



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA JEZDCE
MANUFACTURING OF SLIDER

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MARTIN CHLÁDEK

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. KAMIL PODANÝ, Ph.D.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2012/13

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Martin Chládek

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

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

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 diplomové práce:

Výroba jezdce

v anglickém jazyce:

Manufacturing of slider

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh technologie výroby jezdce aretačního mechanismu používaného u okenního kování. Součástka je z ocelového plechu, prostorového nepravidelného tvaru s otvorem a bude vyráběna technologií stříhání a ohýbání. Na tuto problematiku bude také zaměřena literární studie.

Cíle diplomové práce:

Práce bude obsahovat rozbor současného stavu, porovnání možných způsobů výroby plošným tvářením se zhodnocením jejich vhodnosti a nevhodnosti a návrh TPV. Pro zvolenou technologii bude provedena aktuální literární studie, následovat bude návrh výroby doložený nezbytnými technologickými a kontrolními výpočty. Součástí řešení bude i návrh sestavy nástroje, konstrukční dokumentace, technicko-ekonomické hodnocení a závěr.

Seznam odborné literatury:

1. MARCINIAK, Zdislaw, J.L. DUNCAN and S.J. HU. Mechanics of Sheet Metal Forming. 2.ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002. 211 s. ISBN 07-506-5300-00.
2. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické vydavatelství CERM, s. r. o., 2006. 217 s. ISBN 80-214-2374-9.
3. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
4. NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
5. FREMUNT, P., J. KREJČÍK a T. PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.
6. HOSFORD, William F. and Robert M. CADDEL. Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 3th ed. New York: Cambridge University Press, 2007. 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.
7. NOVOTNÝ, J. a Z. LANGER. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. 1. vyd. Praha: SNTL, Redakce báňské a strojírenské literatury, 1980. 216 s. L 13-B3-IV- 41/22674.

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

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 22.11.2012

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

CHLÁDEK Martin: Výroba jezdec

Jezdec je součástí aretačního mechanismu vyvinutého firmou TOKOZ a.s. Jedná se o součást komplikovaného tvaru a malých rozměrů z materiálu DC04 (ekvivalent 11 305.21). Jako nejvhodnější pro výrobu součásti byla vybrána technologie stříhání a ohýbání plechu v postupovém nástroji. Byl proveden návrh nástřihového plánu o jedenácti krocích a s ohledem na výsledky výpočtů předběžně zvoleny lisu LEXN 100 a Kaiser KSTU 1600. Následně byl navržen postupový jednořadý nástroj. Na základě těchto návrhů bylo provedeno i několik variant kalkulace ceny výrobku dle zvyklostí firmy TOKOZ. Podle výsledků kalkulace byl jako nejvhodnější zvolen lis Kaiser KSTU 1600.

Klíčová slova: jezdec, aretační mechanismus, stříhání, ohýbání, postupový nástroj, LEXN 100, Kaiser KSTU 1600

ABSTRACT

CHLÁDEK Martin: Manufacturing of slider

Slider is a part of turn restrictor mechanism designed by company TOKOZ a.s. It is a part with complicated form and small dimensions from material DC04 (equivalent according to Czech standard ČSN 11 305.21). As the most suitable option for part manufacturing was chosen cutting and bending in progressive die. A design of forming layout with 11 stations was made and considering the outcomes of related calculations preliminarily selected presses LEXN 100 and Kaiser KSTU 1600. Subsequently was designed one row progressive die. Based on this designs were made few variants of part price calculations according to TOKOZ company customs. According to price calculation outcomes was as the most suitable selected press Kaiser KSTU 1600.

Keywords: slider, turn restrictor mechanism, cutting, bending, progressive die, LEXN 100, Kaiser KSTU 1600

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

CHLÁDEK, Martin. *Výroba jezdec*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů, 2013. 66 s. 9 výkresů. 15 příloh. CD. Vedoucí diplomové práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 24. 5. 2013

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Kamilu Podanému, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování této diplomové práce, pánům Ing. Liboru Denkovi a Pavlu Vaškovi za rady při návrhu nástroje, paní Ing. Ivetě Chládkové za poskytnutí podkladů k materiálu a panu Jiřímu Sládkovi za pomoc se sestavením cenové kalkulace výrobku.

OBSAH

Zadání	
Abstrakt	
Bibliografická citace	
Čestné prohlášení	
Poděkování	
Obsah	
ÚVOD	9
1 SOUČASNÝ STAV	10
1.1 Varianty výroby součástí.....	12
2 TECHNOLOGIE STRÍHÁNÍ A OHÝBÁNÍ	17
2.1 Stříhání	17
2.1.1 Střížná vůle	18
2.1.2 Střížná síla a práce	19
2.2 Ohýbání	19
2.2.1 Stanovení délky polotovaru	22
2.2.2 Maximální a minimální poloměr ohybu	23
2.2.3 Ohýbací síla a práce	24
2.2.4 Odpružení při ohýbání	26
2.3 Konstrukce nástrojů	27
2.3.1 Nástřihové plány a působiště tvářecí síly	28
2.3.2 Části nástrojů	31
2.3.3 Rozměry nástroje a jeho částí	40
2.3.4 Výpočet funkčních částí nástroje	41
2.3.5 Bezpečnostní zásady konstrukce nástrojů	42
2.4 Tvářecí stroje	43
2.5 Maziva.....	45
3 NÁVRH TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU A NÁSTROJE	46
3.1 Nástřihový plán, výpočet sil a práce	46
3.2 Volba stroje	53
3.3 Nástroj.....	54
3.3.1 Návrh a kontrola funkčních částí nástroje	56
3.3.2 Návrh nástroje.....	58
4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	64
5 ZÁVĚR	66
Seznam použitých zdrojů	
Seznam použitých symbolů a zkratk	
Seznam příloh	
Seznam výkresů	

ÚVOD [8], [24]

Strojírenství je jedním z nejvýznamnějších průmyslových odvětví, ačkoliv se nejedná o obor, který by byl na špici v oblasti výzkumu a v dohledné době nelze pravděpodobně očekávat revoluci v jeho principech. Přesto, a možná právě proto, je strojírenství z hlediska produkce výrobků z kovů nebo plastů naprosto nezastupitelné. Role hromadné strojírenské výroby je v dnešní konzumní společnosti, kde většina výrobků je koncipována jako spotřební zboží s nízkou cenou a pouze několikaletým životním cyklem, velmi významná. Její rozvoj spolu s rozvojem elektrotechniky, která ve výrobní oblasti se strojírenstvím úzce souvisí, je například jedním ze základních pilířů enormního hospodářského rozvoje asijských zemí v čele s Čínou.

Strojírenské technologie je možné rozdělit na několik základních kategorií, přičemž z hlediska hromadné produkce výrobků z kovových materiálů mají velký význam zejména technologie slévárenské, obráběcí, ale především tvářecí.

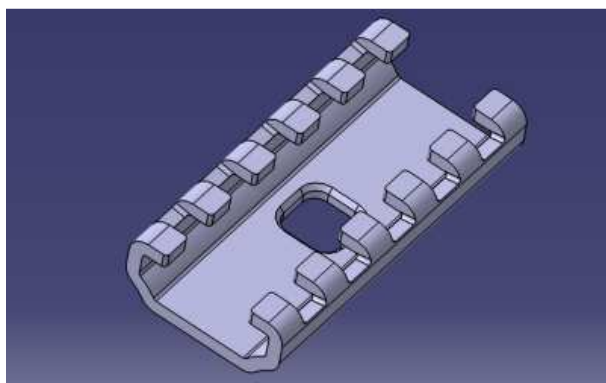
Technologie tváření ve srovnání s obráběním nabízí velmi vysokou produktivitu, relativně snadnou automatizaci velké části procesů, vysokou stabilitu výroby a zejména velmi vysoký stupeň využití materiálu, což příznivě ovlivňuje cenu produktu, protože náklady na materiál tvoří řádově desítky procent z výsledné výrobní ceny. Slévárství sice kvůli možnosti znovu použít odpadový materiál může dosahovat ještě podstatně nižšího procenta odpadu než je tomu u tváření, ale na druhou stranu je provozně a energeticky náročnější, protože kov je nutné uvést do tekutého stavu, a navíc má větší riziko vzniku skrytých vad. Je tedy vcelku zřejmé, proč je více než 90% veškerých výrobků vyráběno tvářením.



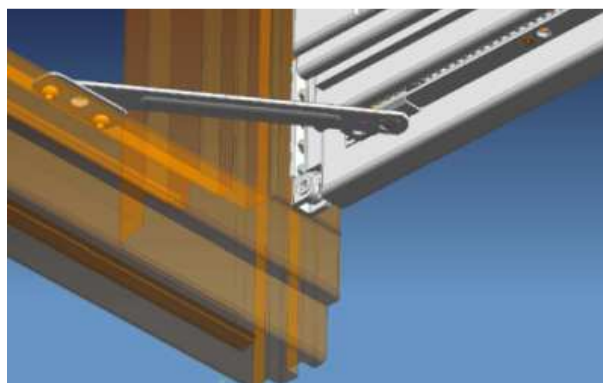
Obr. 1 Plošné tváření - výrobky, nástroje a stroje

1 SOUČASNÝ STAV [1], [4], [7], [11], [39], [43]

Jezdec je součástí aretačního mechanismu vyvinutého a patentovaného společností TOKOZ a.s. Tento mechanismus slouží jako doplňkový prvek celobvodového okenního kování a umožňuje zajištění, tedy aretaci, otevřeného okenního nebo dveřního křídla v téměř libovolné poloze. Jiná řešení, která jsou na trhu k dispozici, obvykle nejsou funkčně navázána přímo na okenní kování. Aretační mechanismus je navíc ovládán přímo klikou okna a je zcela skryt, je-li okno zavřené. Jedná se tedy o uživatelsky komfortní a vizuálně nerušivé řešení. Detailní popis funkce aretačního mechanismu je součástí [1], [7].

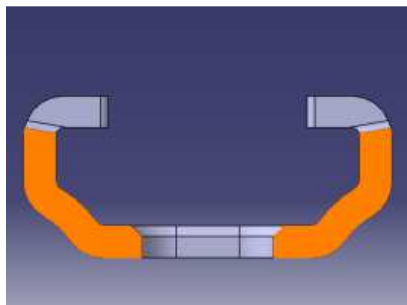


Obr. 1.1 CAD model jezdc

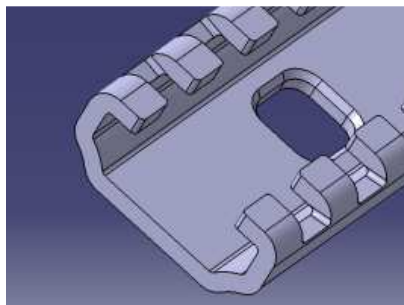


Obr. 1.2 Aretační mechanismus [1]

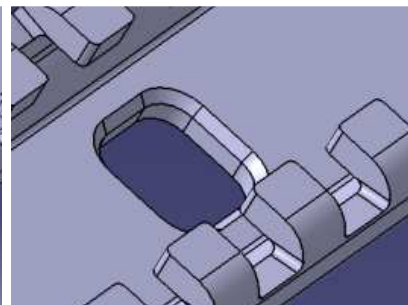
Jezdec je součástí malých rozměrů a komplikovaného tvaru. Na součásti je možné rozlišit 3 základní tvarové prvky: částečně uzavřený C-tvar, ozubení a otvor pro tvarový čep. C-tvar (obr. 1.3) zajišťuje fixaci polohy jezdc na krycí liště aretačního mechanismu s jedním stupněm volnosti, který v nearetovaném stavu umožňuje translační pohyb podél této lišty. Prolis v nejdelší straně C-profilu zabezpečuje dostatečnou vůli mezi krycí lištou a rozkýtným koncem tvarového čepu. Přílišné převýšení čepu by jinak mohlo zabránit nasunutí jezdc s čepem na lištu nebo by mohlo nepřipustně zvýšit tření mezi jezdcem a lištou. Ozubení (obr. 1.4) v aretovaném stavu zapadá do ozubení protikusy – ozubené lišty. Umožňuje tak zamezení pohybu v posledním stupni volnosti a tím zajištění polohy celého mechanismu a tedy i celého okenního či dveřního křídla. Otvor pro tvarový čep (obr. 1.5) má tvar čtverce se zaoblenými rohy. Otvor tak umožňuje jednoznačnou orientaci čepu vůči jezdc a tím i bezproblémové nasazení rozpěry při montáži mechanismu, viz [1]. Zaoblení usnadňuje výrobu a zároveň se v rozích otvoru nenachází ostré hrany působící jako vrub. Sražení je typickou úpravou otvorů pro nýt na straně rozkýtování. Umožňuje vznik tvarového styku a zároveň snižuje obvykle nežádoucí převýšení nýtu.



Obr. 1.3 C-profil jezdc



Obr. 1.4 Detail ozubení



Obr. 1.5 Otvor pro tvarový čep

Funkcí jezdc je umožnění pohybu části mechanismu umístěné v křídle okna vůči části v rámu. V aretovaném stavu je tomuto pohybu zabráněno. Na tvarový čep je nasazena rozpěra propojující tyto dvě části mechanismu a jezdec tak v aretovaném stavu přenáší veškeré síly působící na křídlo okna.

Po montáži celku aretačního mechanismu není možné jezdec vyměnit, a proto je nezbytné zajistit dostatečnou spolehlivost součásti. Únosnost a pevnost jsou zejména otázkou konstrukce, do které lze zasahovat pouze s pomocí konstruktéra součásti. Vzhledem k tomu, že je jezdec pohyblivou součástí, je z hlediska spolehlivosti podstatná zejména odolnost proti opotřebení – otěru. Ta je zajištěna povrchovou úpravou Arcor V7, což je specifická metoda karbonitridace v solné lázni. Takto vzniklá 10 – 20 μm silná vrstva o vysoké tvrdosti zlepšuje otěruvzdornost, ale i korozivzdornost a kluzné vlastnosti povrchu součásti, což je v tomto případě výhodné.



Obr. 1.6 Jezdec s PÚ Arcor



Obr. 1.7 Jezdec s tvarovým čepem vložený na ozubenou lištu

Rozměry, kde je zapotřebí zajistit volnou pohyblivost jezdce a tedy i dostatečné vůle vůči ostatním součástem, např. vnitřní rozměry C-profilu, jsou tolerovány (0; + 0,2) mm. Z tohoto důvodu jsou také předepsány geometrické tolerance rovnoběžnosti a souměrnosti, viz výkres součásti – příloha č. 1. Otvor pro tvarový čep je tolerován (- 0,1; 0) mm. Na ozubení jezdce jsou kladeny výrazně vyšší požadavky ohledně rozměrové přesnosti, aby bylo zajištěno jeho bezproblémové zapadnutí do ozubené lišty. Poloha jednotlivých zubů je tolerována ($\pm 0,025$) mm a jejich šířka (- 0,05; 0) mm. Zároveň je předepsána geometrická tolerance souměrnosti boků zubů vůči ose mezery mezi nimi. Ostatní rozměry jsou tolerovány dle ISO 2768 – mH.

Proti zásadám technologičnosti výrobku jde požadavek na umístění strany s otřepy na vnější stranu ohybů, protože takto existuje zvýšené riziko vzniku trhlin roztahováním otřepů při ohybu. Důvodem je zřejmě riziko zhoršení vzájemné pohyblivosti jezdce a krycí lišty.

Předepsaný materiál je pásová ocel 11 305.21 dle ČSN 41 1305 o tloušťce 1,2 mm, nebo alternativa dle ČSN EN 10139 s označením DC04 (1.0338, dřívější označení dle EN je FeP04).

Tab. 1.1 Mechanické vlastnosti oceli DC04-LC (platnost pro tl. 0,7 – 1,5 mm) [4], [43]

Vlastnost	Označení	Hodnota
Smluvní mez kluzu	$R_{p0,2}$	140 – 210 MPa
Mez pevnosti v tahu	R_m	270 – 350 MPa
Tažnost	$A_{80\text{min}}$	38 %
Tažnost	$A_{50\text{min}}$	40 %
Plošná anizotropie (příčně)	$r_{90\text{min}}$	1,6
Plošná anizotropie (podélně)	$r_{0\text{min}}$	1,3
Exponent deformačního zpevnění	$n_{90\text{min}}$	0,18
Tvrdost (max.)	HV	105

Ocel DC04 je dle normy nelegovaná jakostní ocel, která je plně dezoxidována (uklidněná), dodávaná ve formě pruhů nebo svitků o šířce do 600 mm válcovaných za studena. Ocel je vhodná k hlubokému tažení, je odolná proti stárnutí a je zaručeně svařitelná. Doba platnosti hodnot mechanických vlastností je 6 měsíců od předání k expedici. Po tuto dobu se rovněž nepředpokládá výskyt deformačních čar. Není-li při objednání dohodnuto jinak, je materiál dodán s hladkým povrchem (označeno RL), čemuž odpovídá struktura povrchu $R_a \leq 0,6 \mu\text{m}$.

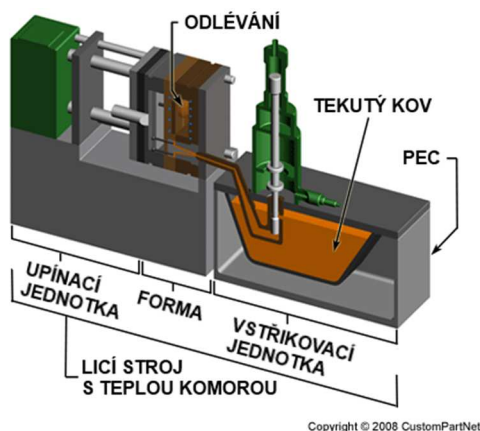
1.1 Varianty výroby součásti [1], [2], [5], [15], [16], [20], [24], [26], [28], [37], [44], [45]

Je vhodné provést analýzu existujících technologií, aby bylo možné rozhodnout o nejvhodnějším způsobu výroby součásti. Základním kritériem rozhodujícím o vhodnosti dané technologie je vyrobitelnost součásti s požadovanými parametry dle výkresové dokumentace. V tomto ohledu je zásadní zejména částečně uzavřený C-tvar součásti a velmi přesné ozubení. Následujícími kritérii pro volbu optimální varianty je hospodárnost výroby, tedy výsledná cena, a dosažitelná kvalita. Je zapotřebí nalézt kompromis mezi těmito dvěma faktory, protože výrobek musí být spolehlivý, ale zároveň i konkurenceschopný z hlediska ceny. Výslednou cenu ovlivňuje zejména zvolená technologie a sériovost výroby, která je také jedním z podstatných hledisek při volbě výrobní technologie. Dále pak případný nákup nového strojového vybavení, provoz strojů, mzdy, transportní náklady atd. Mnoho složek nákladů je přímo úměrných časové náročnosti výroby, kterou je také potřeba brát v potaz.

Některé z výrobních technologií nejsou vhodné již na první pohled přímo svou podstatou. Například soustružení je vhodné pouze pro výrobu součástí rotačního tvaru, materiály vhodné pro vstřikování plastů nebudou mít dostatečné mechanické vlastnosti, součást je příliš malá a komplikovaná pro výrobu zápustkovým kovááním apod. Sériovost v případě jezdce činí 80 000 ks ročně s výhledovým zvýšením až na 200 000 ks, což umožňuje přímo vyřadit technologie vhodné pouze pro malosériovou a kusovou výrobu, jako je frézování nebo tváření pružným prostředím. Důležité je také zohlednit, které technologie jsou ve firmě TOKOZ a.s. k dispozici. Zavedení nové technologie vyžaduje totiž nemalé náklady na strojní vybavení a školení obsluhy. Tyto výdaje se následně promítají do ceny výrobků, nehledě na komplikace způsobené nedostatečnými zkušenostmi s obsluhou a reálným chováním zařízení. Zavedení a dostatečné zvládnutí nové komplexní technologie se časově může pohybovat řádově až v desítkách měsíců. Vhodnou alternativou tak může být výroba v kooperaci.

V důsledku výše uvedených faktorů lze zúžit výběr potenciálních výrobních technologií, které je vhodné zhodnotit blíže, na tyto:

- Tlakové lití – Principem tlakového lití je vstříknutí taveniny kovu pod tlakem řádově desítek MPa do dutiny ocelové formy, která je uchycena na stroji. Tlakový licí stroj umožňuje vytvoření požadovaných tlaků uvnitř formy, dávkování taveniny a otevírání a zavírání obvykle dvoudílné formy podle nastavení licího cyklu. Forma zůstává uzavřena do momentu dostatečného zchladnutí odlitku (dosažení teploty odformování), aby při vyhazování nedošlo k jeho poškození. Bývá také často temperována, aby došlo k urychlení celého licího cyklu a zvýšení její životnosti.



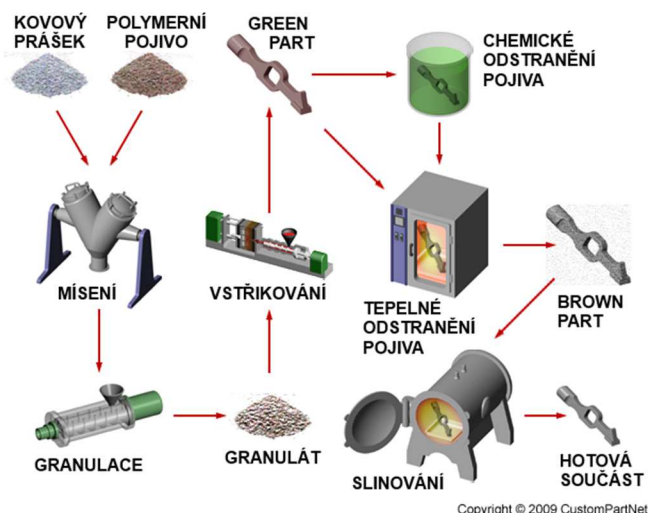
Obr. 1.8 Princip tlakového lití [5]

Ocel je pro tlakové lití nevhodná, protože teplota tavení ocelí se pohybuje nad $1150 \text{ }^\circ\text{C}$ a jako nejvyšší přípustná teplota taveniny při lití

do ocelové formy se uvádí 1000 °C. Vhodnou alternativou by mohla být slitina zinku Zamak 5 (Zn410), která má obdobnou pevnost jako materiál DC04.

Ze zkušeností firmy TOKOZ s tlakovým litím neželezných kovů vyplývá, že ozubení jezdce vyráběného jako tenkostěnný odlitek ze Zn slitiny by nemělo dostatečnou únosnost. Tuto technologii tedy nelze bez změny konstrukce výrobku použít.

- MIM – Metal Injection Molding je progresivní technologií výroby menších kovových součástí s hmotností do cca 250 g kombinující principy vstřikování plastů a práškové metalurgie. MIM je vhodná pro velkosériovou výrobu součástí komplexních tvarů o vysoké přesnosti – odchylka rozměrů se běžně pohybuje do $\pm 0,5 \%$, při zvýšené přesnosti do $\pm 0,3 \%$. Spektrum zpracovatelných materiálů je velmi široké, od nelegovaných ocelí, přes slitiny neželezných kovů a speciální slitiny (např. W, Co, Ni, Ti) až po keramiku nebo karbidy.



Obr. 1.9 Princip MIM [28]

Směs pro vstřikování se vytváří za zvýšené teploty mísením kovového prášku s práškovým termoplastem. Takto vzniklá směs se granulace pro použití ve vstřikovací stroji, ve kterém dochází k roztavení termoplastového pojiva a vzniklá hmota se vstřikuje do formy. Z takto vyrobeného vstřiku nazývaného „green part“ se chemickou nebo tepelnou cestou odstraní převážná část pojiva, čímž vznikne vysoce porézní „brown part“. Ve slinovací peci pak dojde k odpaření zbylého pojiva a slinutí kovového prášku.

Použití technologie MIM je z hlediska vyrobiteľnosti součástí možné. Problém však představuje cena, která je dle zkušeností firmy TOKOZ s výrobou jiných součástí pomocí MIM v kooperaci velmi vysoká. O zavádění této technologie s ohledem na značný vliv know-how a komplexnost zařízení nemá smysl uvažovat.

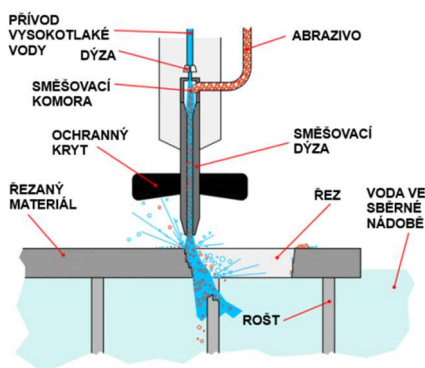
- Nekonenční metody dělení plechu a ohýbání plechu – Jako konvenční metody dělení materiálu se označují ty, které využívají interakce materiálu s pevným nástrojem. Je možné je rozdělit na třískové (např. řezání) a beztrískové (např. lámání, stříhání). Naproti tomu metody označované jako nekonenční využívají k dělení energii přenášenou nepevným řezným médiem (kapalina, plyn) nebo ve formě svazku fotonů či elektronů. Princip většiny těchto metod vychází z technologií svařování, často se liší pouze nastavením parametrů. Mezi nekonenční metody dělení materiálu patří řezání vysokotlakým vodním paprskem, kyslíkem, plazmou, laserem a svazkem elektronů, přičemž z hlediska výroby jezdce nemá smysl uvažovat o řezání kyslíkem a svazkem elektronů, viz příloha č. 2.

Řezání vysokotlakým vodním paprskem (obr. 1.10) spočívá v přeměně kinetické energie vodního paprsku proudícího volně z ústí dýzy na povrch materiálu a v účinku kavitační korozie, ke které při procesu dochází. V případě řezání materiálů tvrdých, houževnatých nebo s velkou tloušťkou se v dýze přimíchávají do vody abrazivní částice (např. Al_2O_3), které podporují řezný účinek paprsku. Touto technologií lze řezat téměř všechny materiály.

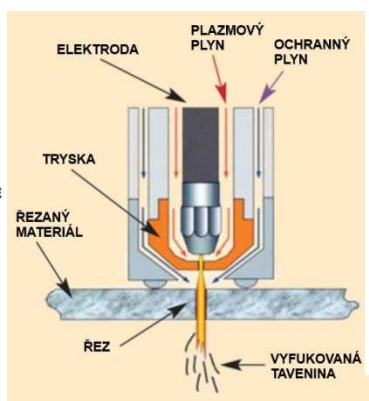
Řezání plazmou podstatou odpovídá svařování plazmou. Zásadním rozdílem je vyšší průtok a tedy i rychlost plazmového plynu, což vede k vyhánění roztaveného materiálu z řezné spáry. Plazmový oblouk dosahuje v důsledku procesů disociace a rekombinace

molekul plazmového plynu (obvykle Ar, H₂, N₂ nebo vzduch) teplot až 20 000 °C. Z tohoto důvodu je možné touto technologií řezat téměř libovolné materiály, ale vzhledem k vysoké ceně procesních plynů se příliš nepoužívá např. k řezání nízkouhlíkových nelegovaných ocelí. Řezání plazmou je doprovázeno vznikem UV záření, hluku o intenzitě až 120 dB a par řezaného materiálu.

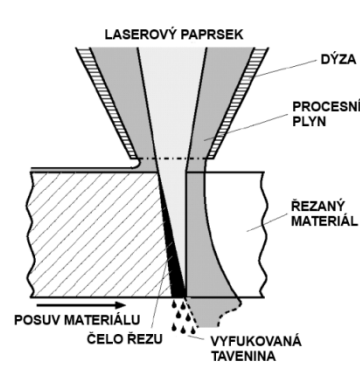
Řezání laserem spočívá v absorpci energie svazku fotonů dopadajícího na řezaný materiál a její přeměně v teplo. Lze rozlišit 3 základní typy řezání laserem lišící se základním principem. Spalovací řezání, někdy též označováno jako řezání plamenem, funguje na obdobném principu, jako řezání kyslíkem. Laserový paprsek předehřívá řezaný materiál nad teplotu hoření a na jeho povrch je vháněn proud kyslíku. Dochází ke slučování kyslíku s železem – hoření. Struska skládající se zejména z oxidů železa je pak z řezné spáry proudem kyslíku vyfukována. Základní podmínkou řezatelnosti kyslíkem je, aby teplota hoření a teplota tavení oxidů byla nižší než teplota tavení materiálu. Tuto podmínku obecně splňují pouze nízkouhlíkové oceli. Tavné řezání spočívá v roztavení materiálu v oblasti řezu a následné vyhánění taveniny inertním plynem (např. N₂ nebo Ar) a v případě sublimačního řezání je intenzita energie dopadajícího paprsku tak vysoká, že převážná část materiálu se odpařuje. S ohledem na vysoké koncentrace energie je možné řezání vysokými rychlostmi, což vede ke snížení tepelného ovlivnění okolí řezu.



Obr. 1.10 Princip řezání vodním paprskem [15]

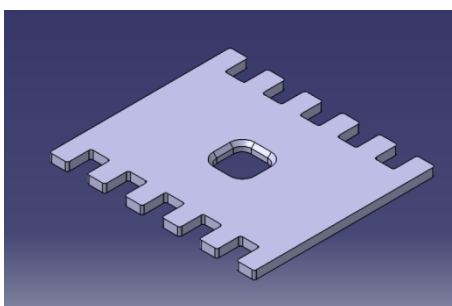


Obr. 1.11 Princip řezání plazmou [37]



Obr. 1.12 Princip řezání laserem [26]

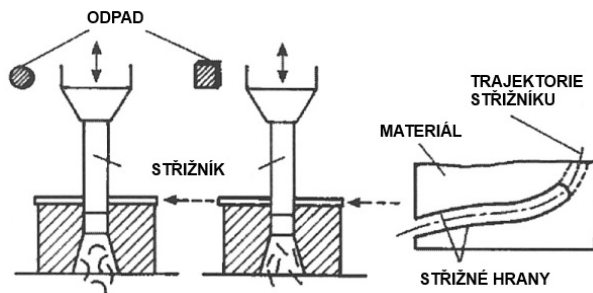
Při ohýbání dochází vlivem lokálních sil nebo ohybového momentu od ohybové síly k trvalé změně křivosti plechů, tyčí, trubek, drátů atd. Deformace není homogenní – je pružně-plastická a v průřezu proměnná, což vede k odpružení a podmiňuje některá omezení konstrukce, jako například minimální a maximální poloměr ohybu.



Obr. 1.13 Výsledný tvar polotovaru po řezání

Z uvažovaných nekonvenčních metod řezání plechu lze požadované přesnosti výroby tvaru ozubení dosáhnout pouze u řezání laserem. Sražení otvoru pro tvarový čep by vyžadovalo zařízení s náklonnou řezací hlavou. Zásadní problém však představuje výroba C-tvaru. Samotnými technologiemi řezání lze dosáhnout maximálně plošného polotovaru (obr. 1.13) a následný ohyb by bylo vzhledem ke komplexnosti tvaru nutné provádět v několika krocích. To je potenciálně realizovatelné v několika nástrojích s ručním zakládáním polotovarů nebo ve složitém postupovém nástroji společně se zařízením zajišťujícím transport jednotlivých dílů. Obě tato řešení se však jeví jako krajně neekonomická.

- Vysekávání na vysekávacích lisech a ohýbání plechu – Vysekávání spočívá ve vytváření požadovaného tvaru součásti z plechu postupným vystřihováním jednoduchých tvarů, jako je např. kruh, obdélník nebo čtverec, podél kontury budoucí součásti. V současnosti je na



Obr. 1.14 Princip vysekávání [24]

trhu dostupné velké množství vysekávacích CNC strojů, jejichž zřejmě nejvýraznějším výrobcem je firma Trumpf. Tato CNC centra často umožňují i některé tvářecí operace, jako výrobu prolisů, zahloubení, jednoduchých lemů nebo žeber. V poslední době se projevuje trend slučování vysekávání s řezáním laserovým paprskem, čímž dochází k rozšíření oblasti využitelnosti strojů.

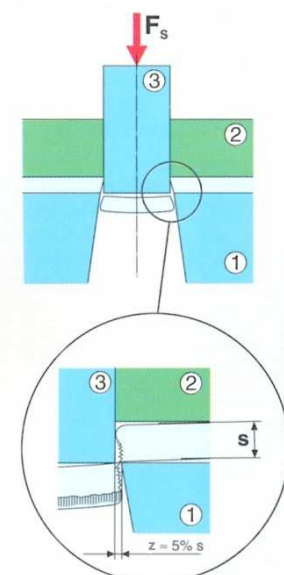
V rámci vysekávání není možné vyrobit požadovaný uzavřený C-tvar součásti. To by znamenalo nutnost ohybu v oddělených operacích, což je však ekonomicky náročné. Detailnější rozbor možností technologie vysekávání je součástí přílohy č. 2.

- Konvenční stříhání a ohýbání plechu – Stříhání spočívá v oddělení materiálu působením protilehlých hran nástroje. Silovým působením ostří nástroje na materiál a vlivem takto vzniklého smykového napětí dochází postupně k elastické deformaci, plastické deformaci a nakonec k lomu materiálu. Ohyb byl již popsán u nekonvenčních metod dělení materiálu výše.

Tato běžná kombinace technologií výrobu součásti umožňuje. Požadovaná přesnost součásti se sice podle údajů z odborné literatury pohybuje na hranici možností této technologie, ale vzhledem k neustálému vývoji je nutné tyto údaje brát s rezervou. Zásadní výhodou této kombinace technologií je možnost použití postupového nástroje sdružujícího jak stříh, tak ohyb. Výroba složitějšího nástroje vyžaduje vyšší vstupní náklady, to je však v důsledku více než kompenzováno skutečností, že kompletní výroba součásti probíhá najednou.

- Přesné stříhání a ohýbání plechu - Součásti vyrobené přesným stříháním mají oproti konvenčnímu stříhání kvalitnější střížnou plochu, která může být často použita jako funkční a to i bez dokončovacích operací. Existuje množství způsobů, jak tohoto výsledku dosáhnout – např. přistříhováním, stříháním se zaoblenou střížnou hranou, stříháním se zkoseným přidržovačem, reverzním stříháním nebo stříháním s tlačnou hranou.

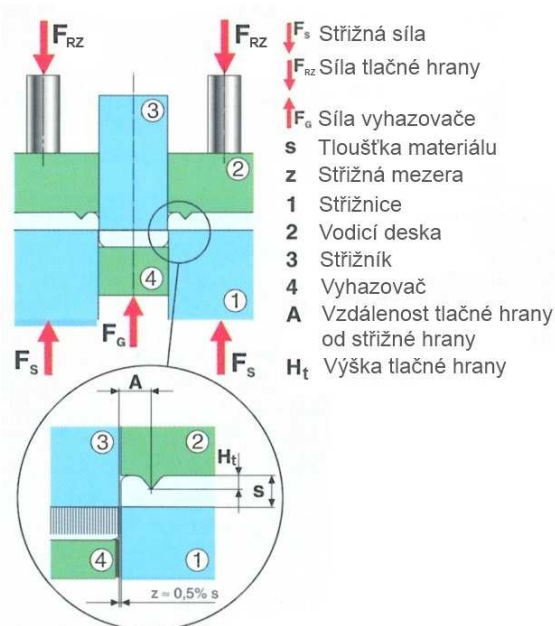
Nejproduktivnější a nejrozšířenější technologií přesného stříhání je v současnosti stříhání s tlačnou hranou, jehož rozvojem a výrobou strojů se zabývá švýcarská firma Feintool. Použitím přidržovače s tlačnou hranou dojde ke vnesení tlakového napětí do roviny stříhu. Toto napětí brání rozevírání trhlin, což vede ke zbrzdění rozvoje lomu ve finální fázi stříhu. Důsledkem je rozšíření pásma plastické deformace až na 100 % střížné plochy. To je dále podpořeno použitím spodního přidržovače (s funkcí vyhazovače), který zpomaluje vnikání materiálu do střížnice, čímž se zlepšuje tečení materiálu, a navíc nedochází k průhybu součásti. Zároveň je zajištěna vyšší kolmost střížné plochy a vzhledem k velmi malým střížným vůlím i nízké rozměrové tolerance. Princip technologie ohýbání je popsán výše.



- F_s Střížná síla
- s Tloušťka materiálu
- z Střížná mezera
- 1 Střížnice
- 2 Vodicí deska
- 3 Střížník

Obr. 1.15 Schéma konvenčního stříhání [2]

Tato technologie umožňuje výrobu jezdce ve velmi vysoké kvalitě a s ohledem na skutečnost, že nejmodernější zařízení firmy Feintool disponuje maximálním počtem 140 zdvihů za minutu, i s vysokou produktivitou. Problém představuje absence strojového vybavení pro přesné stříhání ve firmě TOKOZ. Ačkoliv se o zavedení této technologie uvažuje, tak její dostatečné zvládnutí je dle zástupců firmy Feintool otázkou cca dvou let. Také náklady na výrobu nástroje jsou výrazně vyšší než v případě konvenčního stříhání.



Obr. 1.16 Schéma přesného stříhání [2]

Na základě předchozí analýzy možností dostupných výrobních technologií lze z důvodu nedostatečné přesnosti, která je nutná k výrobě ozubení jezdce, vyloučit řezání vodním paprskem a plazmou. Z důvodu nedostatečných mechanických vlastností tlakové lití a kvůli příliš nákladné výrobě MIM, kombinace nekonvenčních metod dělení materiálu s ohýbáním a vysekávání s ohýbáním. Vhodné je tedy použití konvenčního nebo přesného stříhání s ohýbáním v jednom nástroji.

Je žádoucí, aby bylo možné součást vyrábět pomocí stávající zavedené technologie, proto je vhodnější využití konvenčního stříhání. Firma TOKOZ totiž disponuje značnými zkušenostmi s touto technologií a také množstvím vhodných strojů. V důsledku uvedených skutečností byla pro výrobu jezdce zvolena technologie konvenčního stříhání a ohýbání.

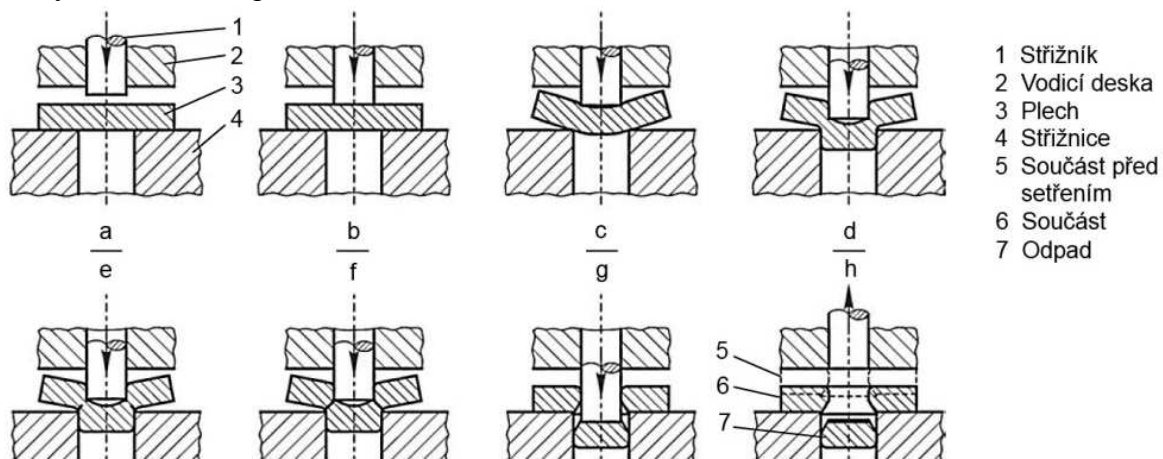
2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ A OHÝBÁNÍ

Stříhání i ohýbání jsou jedny z nejpoužívanějších technologií výroby kovových součástí vůbec. V rámci obou těchto technologií dochází k výskytu množství jevů, které jsou zásadní pro výsledek celého procesu a jejichž pochopení a tedy i schopnost ovlivnění jejich důsledků vyžaduje mimo jiné odborné znalosti z oblasti materiálových věd, principů deformace a souvisejících napětí. Z těchto důvodů je tedy třeba uvést alespoň nejpodstatnější z principů a jevů ovlivňujících technologie stříhání a ohýbání.

2.1 Stříhání [8], [16], [17], [21], [24], [25], [30], [31], [40], [41], [46]

Stříhání plechu je v České republice řazeno do plošného tváření, ačkoliv z hlediska principu náleží mezi technologie dělení. Tento rozpor vzniká na základě úzké souvislosti plošného tváření a stříhání v praxi, kde je obvyklé sdružování tvářecích a střížných operací v rámci jednoho nástroje a obě skupiny technologií jsou často realizovatelné na stejných strojích. Popis střížného procesu, výpočtových vztahů a zákonitostí bude omezen pouze na oblast stříhání plechu, která je pro problematiku výroby jezdecké podstatná.

Stříh je ve své podstatě tvářecí proces, který je doveden až do stádia ztráty soudržnosti materiálu. Průběh je možné rozdělit do 3 základních fází, jejichž projevy jsou pozorovatelné i na výsledné střížné ploše.



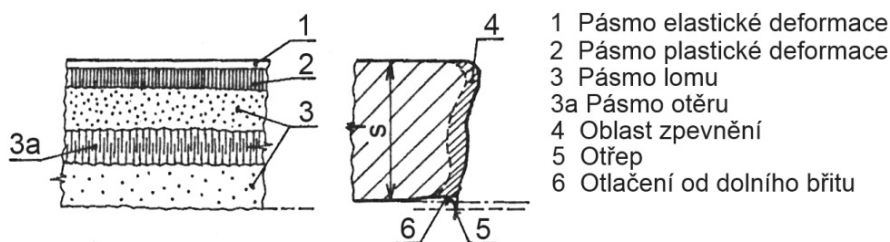
Obr. 2.1 Fáze stříhu [21]

- V první fázi stříhu dochází k vlačování střížníku do povrchu materiálu, rozvoji elastické deformace a prohnutí materiálu (obr. 2.1c). Hloubka vniku se dle materiálových vlastností pohybuje typicky mezi 5 až 8 % tloušťky plechu a jejím projevem je zaoblení hrany děrovaného plechu nebo odpadu.
- S postupujícím vlačováním střížníku narůstají místní napětí v oblasti budoucí roviny stříhu. Po překročení meze kluzu dochází k plastické deformaci (obr. 2.1d) a vzniku pásma tzv. vlastního stříhu. Je žádoucí, aby toto pásmo bylo co nejširší, protože vykazuje nejvyšší kvalitu střížné plochy. Toto pásmo u konvenčního stříhání v závislosti na materiálových vlastnostech představuje 10 až 25 % tloušťky plechu.
- V průběhu plastické deformace dochází k postupnému zpevnování a vyčerpávání zásoby plasticity materiálu a nakonec k dosažení meze pevnosti ve stříhu, což vyústí ve vznik trhlin v oblasti nejvyšších tahových napětí, která se nachází v místě kontaktu materiálu se střížnou hranou (obr. 2.1e). Trhliny vznikají typicky nejdříve na straně střížnice, ale vznikají i na straně střížníku. Šíří se po linii maximálních smykových napětí a v případě správně zvolené střížné vůle se obě protilehlé trhliny setkají, čímž dojde k usmýknutí – oddělení materiálu (obr. 2.1f). Tvar linie maximálních smykových napětí způsobuje typický esovitý tvar střížné plochy. Šířka tohoto pásma je zpravidla největší a zvětšuje se

s narůstající tvrdostí a pevností materiálu. Ke vzniku trhliny může dojít u anizotropních materiálů i v místě výraznější koncentrace vměstků. Tyto trhliny se pak šíří podélným směrem, nepřispívají ke střížnému procesu a jsou tedy nežádoucí. Detailní popis napjatosti při stříhání je obsahem přílohy č. 3.

V důsledku zaoblení střížných hran a relativnímu pohybu břitu podél vzniklých střížných ploch dochází ke vzniku otřepu na výstřížku. Výška této ostřiny je větší u měkkých houževnatých materiálů.

Plastická deformace vede ke zpevnění materiálu, proto je nevyhnutelně zpevněna i oblast v blízkosti střížné plochy. Zpevnění je největší v těsné blízkosti střížné plochy a zasahuje zhruba do hloubky odpovídající tloušťce materiálu s , výraznější je do hloubky $0,35s$. V určitých případech může v důsledku souvisejícího zvýšení křehkosti docházet ke vzniku trhlin při následném ohýbání. Zpevněnou oblast je možné odstranit např. odfrézováním, je-li to nezbytně nutné.



Obr. 2.2 Vzhled střížné plochy [17]

Po ukončení samotného stříhu dochází v důsledku odpružení, tedy vymizení elastických deformací, k zaklínění materiálu na střížniku (obr. 2.1h) a v případě nepříznivé konstrukce nástroje i v otvoru střížnice. Do otvoru střížnice bývá díl protlačen dalším výstřížkem při následujícím zdvihu lisu, v případě zachycení na střížniku je zapotřebí použít stěrače nebo konstrukci nástroje upravit tak, aby některá z jeho částí funkci stěrače zastávala.

2.1.1 Střížná vůle [16], [25]

Střížná vůle v (respektive střížná mezera z) má zásadní vliv na parametry střížného procesu. Ovlivňuje velikost střížné síly a práce, velikost stírací síly, kvalitu střížné plochy a trvanlivost nástrojů. Je-li příliš malá nebo velká nedochází k setkání trhlin v rovině stříhu, ale dochází ke vzniku nežádoucích vytržení materiálu, otěrů apod. Obecně lze prohlásit, že menší velikost střížné mezery vede ke zlepšení kvality stříhu, ale snížení životnosti nástroje, a je tedy vhodnější z ekonomického hlediska volit větší hodnoty, pokud to umožňují požadavky na přesnost součástí. Velikost střížné vůle v závisí zejména na mechanických vlastnostech materiálu a jeho tloušťce a stanoví ji lze pomocí následujících vztahů:

$$\text{pro } s \leq 3 \text{ mm: } z = c \cdot s \cdot \sqrt{0,1\tau_s} \quad (2.1)$$

$$\text{pro } s > 3 \text{ mm: } z = (1,5 \cdot c \cdot s - 0,015) \cdot \sqrt{0,1\tau_s} \quad (2.2)$$

kde: z – střížná mezera

s – tloušťka plechu

τ_s – pevnost materiálu ve stříhu, obvykle $\tau_s = 0,8R_m$, viz příloha č. 3

c – koeficient dle tabulky 2.1

$$v = 2z \quad (2.3)$$

Tab. 2.1 Doporučení pro hodnoty koeficientu c pro stanovení střížné vůle [25]

Případ	Čistá střížná plocha	$R_m \leq 500 \text{ MPa}$	$R_m > 500 \text{ MPa}$	Snížená potřeba síly a práce
c	0,005	0,016	$\geq 0,032$	0,032 – 0,048

2.1.2 Střížná síla a práce [8], [16], [21], [30], [40]

Pro volbu vhodného stroje a návrh nástroje, je nutné znát maximální velikost střížné síly a střížné práce. Vzhledem ke značnému počtu faktorů ovlivňujících celý střížný proces, není exaktní stanovení těchto dvou veličin možné. Proto se používají empirické vztahy odvozené z analýz tohoto procesu.

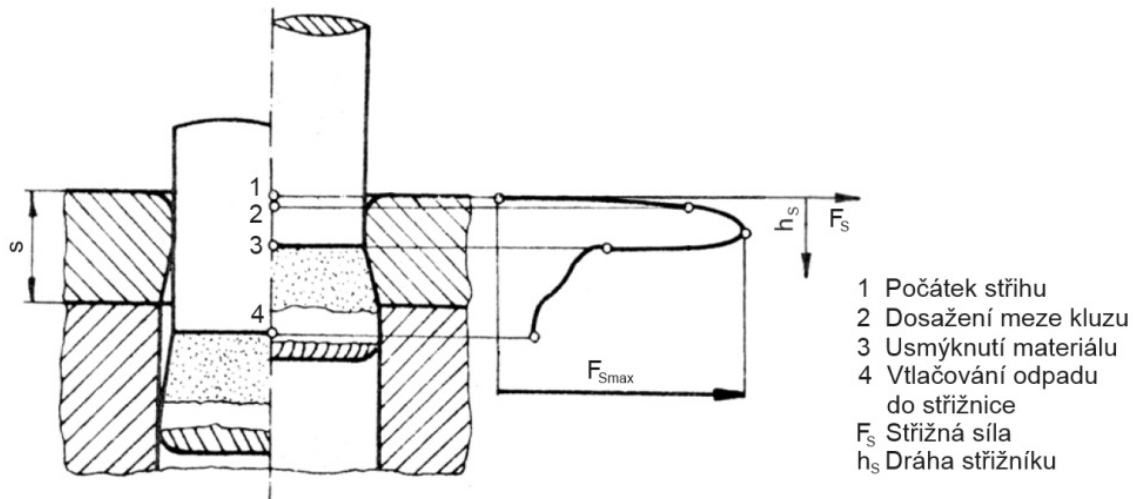
Pro stanovení maximální velikosti střížné síly platí:

$$F_{Smax} = n \cdot S_s \cdot \tau_s \quad (2.4)$$

kde: n – koeficient zohledňující vnější podmínky – zejména otupení nástroje;
běžně se volí v rozmezí 1,1 až 1,3

S_s – velikost střížné plochy ($S_s = l \cdot s$, kde l je obvod stříhané součásti)

Průběh střížné síly je relativně komplikovaný. Zpočátku tvarem přibližně odpovídá křivce zpevnění, což je vzhledem k průběhu stříhu logické. V elastické fázi dochází k strmému vzestupu síly. V plastické je vzestup mírnější a je podmíněn zpevňováním materiálu. Po dosažení maxima síly dochází k jejímu poklesu a to buď v přímo důsledku tvorby trhlin, nebo zmenšujícího se průřezu materiálu s následnou tvorbou trhlin. Vznik trhlin vede k náhlému poklesu síly a po usmýknutí materiálu působí pouze třecí síly mezi střížnými plochami v důsledku jejich esovitého tvaru. Třecí síla působí i v průběhu dalšího klesání střížníku až do dolní úvratě při protlačování odpadu či výstřížku otvorem ve střížnici.



Obr. 2.3 Průběh střížné síly [21]

Jak je zřejmé, přesné stanovení střížné práce, která odpovídá ploše pod grafem síla-dráha střížníku, není bez přímého měření síly v průběhu stříhu a následné numerické integrace možné. Z tohoto důvodu se pro stanovení používají metody empirické. Nejpoužívanější tvar vztahu pro výpočet střížné práce je:

$$W_s = \lambda \cdot F_{Smax} \cdot s \quad (2.5)$$

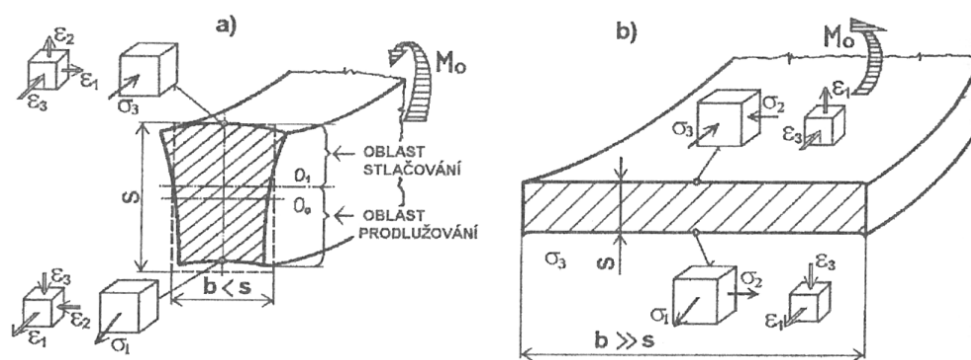
kde: λ – součinitel plnosti diagramu síla-dráha, odpovídá poměru střední a maximální střížné síly, jeho velikost závisí na vlastnostech a tloušťce materiálu a bývá stanovována pomocí tabulek nebo diagramů

2.2 Ohýbání [8], [16], [17], [30]

Při ohýbání dochází v důsledku působení ohybového momentu nebo lokálních sil k pružně-plastické deformaci a tedy k trvalé změně tvaru ohýbané součásti, přičemž se mění úhel polohy jedné části dílce k jeho zbytku, jinak řečeno, mění se křivost dílu. Plastická deformace je lokální – pouze v místě nejvyššího ohybového momentu a je zároveň nehomogenní. Jako polotovary se používají tabule a pásy plechu, dráty, tyče, profily nebo trubky. Způsobů provedení operace ohýbání je z hlediska principů několik, např. volné ohýbání bez tvarového

nástroje (pomocí dvou čelistí vyvíjejících ohybový moment), volné ohýbání pomocí ohybníku, ohýbání v nástrojích nebo zakružování. Pro výrobu součástí z plechů je významné zejména ohýbání v nástrojích, kde funkční části nástroje svým tvarem udávají tvar výsledné součásti – nejsou tedy univerzální.

Z hlediska teorie je nutné rozlišovat ohýbání úzkých pásů (případně tyčí) a širokých pásů. Tyto dvě skupiny jsou vymezeny hodnotami poměru b/s , kde b je šířka plechu. Za úzké pásy jsou obvykle považovány polotovary s $b < s$ a za široké $b \gg s$, někteří autoři uvádějí hraniční hodnotu $b > 3s$. V obou případech nastává jiný stav napjatosti a deformace, což je zásadní pro odvození potřebných vztahů (přílohy č. 4 a č. 5). V případě úzkých pásů je možné zanedbat napětí σ_2 ve směru šířky. Na vnějších vláknech ohýbaného pásu lze pak uvažovat jednoosý tah a na vnitřních jednoosý tlak a trojosé schéma deformace. Ve stlačované oblasti tak dochází k nárůstu šířky a v prodlužované naopak ke zmenšení. Naproti tomu v případě širokých pásů není objemem materiálu umožněna deformace v příčném směru ε_2 , z čehož vyplývá, že napjatost je rovinná. V krajních vláknech pak nastává odpovídající rovinná deformace.



Obr. 2.4 Schémata napjatosti a deformace při ohýbání [16]

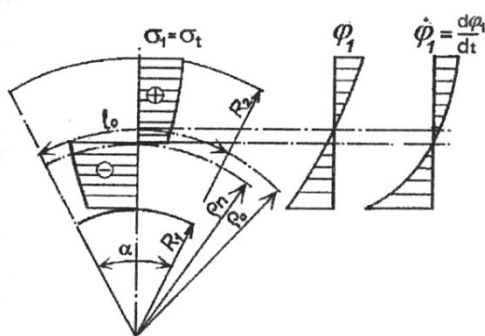
Při odvození vztahů pro deformace, ohybové momenty, ohýbací síly a tvářecí práce jsou, není-li řečeno jinak, aplikovány následující předpoklady:

- Plech ($s = konst.$, $b = konst.$) je ohýbán čistým ohybovým momentem, tzn. podélné a příčné síly a momenty vyvolávající krut jsou zanedbávány.
- $b \gg s$. Okraj plechu se nedeformuje, lze předpokládat rovinný stav deformace.
- Materiál je homogenní a izotropní. Před ohýbáním nevykazuje žádná vnitřní napětí.
- Rovinné průřezy zůstávají kolmé k povrchu plechu a rovnoběžné s osou ohybu.
- Myšlená vlákna, z nichž se skládá materiál, jsou navzájem nezávislá. Tlaková napětí kolmo na plochu plechu se zanedbávají.
- Křivky napětí-deformace materiálů jsou symetrické pro oblast tahu i tlaku.
- Tloušťka plechu zůstává v průběhu ohýbání neměnná.

Z uvedeného množství idealizací je zřejmé, že hodnoty vypočtené pomocí odvozených vztahů se budou hodnotám měřitelným, tedy reálným, pouze přibližovat a nelze očekávat přesný výsledek.

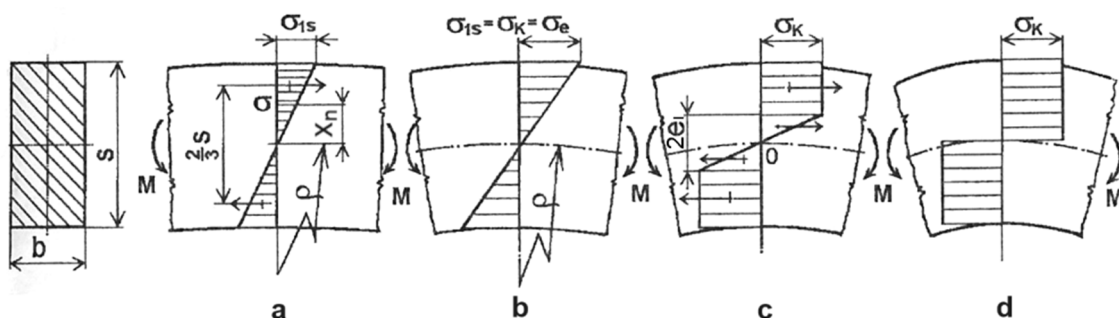
Průběh napětí v ohýbané součásti se mění od vnějšího poloměru z tahové oblasti do tlakové na poloměru vnitřním. Místo, kde je napětí nulové (mění se z tahového na tlakové), se nazývá neutrální vrstvou (obr. 2.5). Tato vrstva se s narůstajícím zakřivením ohýbané součásti posouvá směrem k vnitřnímu poloměru ohybu a v extrémním případě (vypínání plechu) může ležet mimo samotný plech a být tedy zcela imaginární.

Vrstva, jejíž délka se rovná délce počáteční, se nazývá vrstva nulového prodloužení, a pokud dochází ke změně tloušťky materiálu, její poloha není shodná s neutrální vrstvou.



Obr. 2.5 Průběh napětí, přetvoření a rychlosti deformace při ohybu [16]

V počáteční fázi ohybu, např. po dosednutí ohybníku na materiál, se rozvíjí v místě ohybu čistě elastická deformace. Postupným zvyšováním křivosti dochází ke zvyšování poměrné deformace až do momentu dosažení meze kluzu v krajních vláknech. Po překročení meze kluzu dochází k rozvoji plastické deformace a souběžnému zpevňování materiálu. Vzhledem k tomu, že průběh zpevňování je obtížně analyticky popsatelný, nacházejí při odvození ohybových momentů uplatnění idealizované materiálové modely. Nejčastěji se jedná o modely ideálně tuho-plastické (obr. 2.6d) a elasto-plastické bez zpevňování (obr. 2.6c). Odvození ohybových momentů je předmětem přílohy č. 5.



Obr. 2.6 Rozložení napětí v průřezu dle materiálového modelu [16]

Následující odvození vztahů pro deformace vychází z faktu, že za předpokladu, že se tloušťka plechu nemění, je neutrální vrstva zároveň vrstvou střední i vrstvou nulového prodloužení:

$$\varrho_n = R_1 + \frac{s}{2} \quad (2.6)$$

kde: ϱ_n – poloměr neutrální vrstvy
 R_1 – vnitřní poloměr ohýbaného pásu

Poměrnou deformaci materiálu je možno stanovit:

$$\varepsilon = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \quad (2.7)$$

Přičemž délky vláken neutrální vrstvy (l_0) a prodloužených nebo stlačených (l_1) jsou:

$$\begin{aligned} l_0 &= \varrho \cdot \alpha \\ l_1 &= (\varrho \pm x_n) \alpha \end{aligned} \quad (2.8)$$

kde: ϱ – poloměr daného vlákna
 x_n – vzdálenost vlákna od neutrální vrstvy
 α – úhel ohybu (úhel oblouku) v radiánech

Dosažením vztahů (2.8) do rovnice (2.7):

$$\varepsilon_{1,3} = \pm \frac{x_n}{\varrho} \quad (2.9)$$

Pro krajní vlákna ($x_n = s/2$) je pak poměrná deformace:

$$\varepsilon_{1,3s} = \pm \frac{s}{2\varrho} \quad (2.10)$$

A ze souvislosti mezi poměrnou a logaritmickou deformací pak vyplývá vztah pro logaritmickou deformaci – přetvoření:

$$\varphi_{1,2s} = \ln\left(1 + \varepsilon_{1,3s}\right) = \ln\left(1 \pm \frac{s}{2\varrho}\right) \quad (2.11)$$

Vztahy popisující průběh napětí při ohýbání jsou odvozeny v příloze č. 4. Z nich je možné odvodit vztah pro poloměr neutrální vrstvy:

$$\varrho_n = \sqrt{R_1 \cdot R_2} \quad (2.12)$$

kde: R_2 – vnější poloměr ohýbaného pásu

S pomocí tohoto vztahu lze snadno dokázat, že poloha neutrální vrstvy se s narůstajícím zakřivením ohýbaného pásu přesouvá od středního poloměru ($\varrho_s = (R_1 + R_2)/2$) směrem k ose ohybu. V případě, že je ohýbaný pás zatěžován přídavným tahovým nebo tlakovým napětím, které je typicky vyvoláno buď cíleně (např. při vypínání) nebo jako důsledek působení nástroje na vnitřní či vnější plochu ohýbaného plechu, neodpovídá poloha neutrální vrstvy uvedenému vztahu a přesouvá se oproti jím dané poloze více směrem k vnitřnímu poloměru (při tahovém zatížení, tlaku na vnitřním poloměru) nebo směrem k poloměru vnějšímu (opačný případ).

Další významnou vrstvou je takzvaná vrstva nulového prodloužení. Její délka v daný moment se rovná původní délce pásu před ohýbáním a její polohu je možné stanovit z porovnání plochy ohýbané části pásu před a během ohybu, viz obr. 2.5:

$$l_0 = \varrho_0 \cdot \alpha \quad (2.13)$$

$$l_0 \cdot s_0 = \pi R_2^2 \frac{\alpha}{2\pi} - \pi R_1^2 \frac{\alpha}{2\pi} = \varrho_0 \cdot s_0 \cdot \alpha \quad (2.14)$$

kde: s_0 – počáteční tloušťka ohýbaného pásu

$$\varrho_0 = \frac{R_2^2 - R_1^2}{2s_0} = \frac{(R_2 - R_1)(R_2 + R_1)}{2s_0} \quad (2.15)$$

Vzhledem k tomu, že $R_2 - R_1 = s$ a $(R_2 + R_1)/2 = \varrho_s$, lze vztah upravit do výsledné podoby:

$$\varrho_0 = \varrho_n \frac{s}{s_0} \quad (2.16)$$

Z odvozeného vztahu vyplývá, že poloha vrstvy nulového prodloužení závisí na změně tloušťky pásu. Ta se v případě, že plech není zatížen přídavnými tahovými nebo tlakovými napětími, nemění a vrstva nulového prodloužení se pak nachází ve středu tloušťky materiálu.

Se znalostí pozice vrstvy nulového prodloužení lze také stanovit alternativní vztah pro logaritmickou deformaci – přetvoření v tangenciálním směru:

$$\varphi_t = \ln \frac{l}{l_0} = \ln \frac{\varrho}{\varrho_0} \quad (2.17)$$

2.2.1 Stanovení délky polotovaru [29], [42]

V reálném ohýbacím procesu nedochází běžně ke splnění předpokladu konstantní tloušťky materiálu. Při většině ohýbacích operací vyvíjí nástroj tlak na oblast vnitřního poloměru, což v důsledku vyvolá stejný efekt jako přídavná tahová napětí. Dochází ke snížení tloušťky materiálu a tedy i posunu vrstvy nulového prodloužení směrem k ose ohybu. Toto posunutí se v běžné praxi vyjadřuje pomocí součinitele x , který bývá tabelizován a lze jej vyjádřit pomocí vztahu:

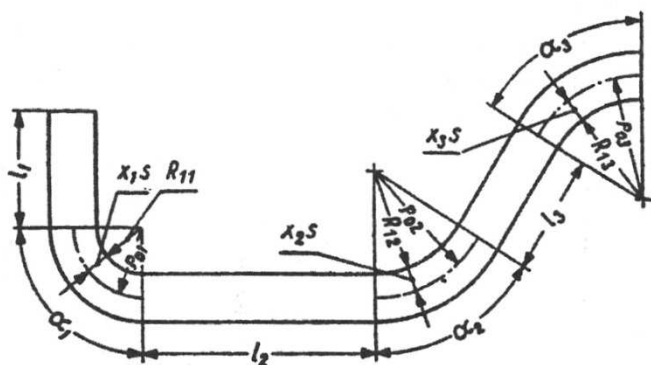
$$x = \frac{\varrho_0 - R_1}{s_0} \quad (2.18)$$

Z toho vyplývá obvykle používaný vztah pro stanovení poloměru vrstvy nulového prodloužení, která je velmi často i v odborné literatuře zaměňována za neutrální vrstvu:

$$\varrho_0 = R_1 + x \cdot s_0 \quad (2.19)$$

Tabelizované hodnoty koeficientu x jsou obvykle uváděny pouze pro úhel ohybu 90° a pro určité tloušťky materiálu. Přesnější hodnoty lze stanovit pomocí vztahu:

$$x_j \approx 0,5 \cdot 1,02^{-\alpha_j} + \left[0,25 + 0,13 \log \frac{12R_{1j}}{s} - \frac{R_{1j}}{300s} \right] \cdot (1 - 1,02^{-\alpha_j}) \quad (2.20)$$



Se znalostí polohy vrstvy nulového prodloužení je možné stanovit délku rozvinutého ohýbaného plechu a tedy i rozměry polotovaru potřebného k výrobě výsledné součásti. Tato délka je totiž rovna délce vrstvy nulového prodloužení. V rovných úsecích zůstává rovna délce původní (l_i) a v ohnutých (zakřivených) úsecích se odvodí ze vztahu (2.19). Celková délka polotovaru je rovna:

Obr. 2.7 Geometrický model pro stanovení délky polotovaru [29]

$$L = \sum_i l_i + \sum_j (R_{1j} + x_j \cdot s_0) \frac{\pi \alpha_j}{180} \quad (2.21)$$

U součástí, které jsou tvarově složité nebo mají vysoké nároky na přesnost, se doporučuje provést praktickou kontrolu délky polotovaru, protože výpočet samotný stejně tak jako koeficient x nezahrnují množství vnějších faktorů a výsledek je proto pouze orientační.

2.2.2 Maximální a minimální poloměr ohybu [8], [16], [29]

S narůstajícím zakřivením ohybu dochází také k nárůstu napětí, které je s ohledem na deformaci největší v krajních vláknech. Nedojde-li v těchto vláknech k překročení meze kluzu, vrátí se materiál po odtížení a s tím související relaxací čistě elastické deformace do původního tvaru. Z toho plyne, že existuje nějaký maximální poloměr ohybu součásti, který když není překročen, tak nedochází k trvalé deformaci. Tento mezní poloměr je dán dosažením meze kluzu a tedy počátkem plastické deformace v krajních vláknech. Z technologického hlediska je stěžejní vnitřní poloměr ohybu, proto je maximální a minimální poloměr ohybu vztažen právě k němu.

Napětí v krajních vláknech pro tento případ, $\varepsilon_{tmin} = f(R_{1max})$, je dle vztahů (2.6) a (2.9) a Hookova zákona:

$$\varepsilon_{tmin} = \frac{s}{2R_{1max} + s} = \frac{\sigma_k}{E} \quad (2.22)$$

kde: σ_k – napětí na mezi kluzu
 E – modul pružnosti v tahu

Úpravou se pak získá vztah pro maximální poloměr ohybu:

$$R_{1max} = \frac{s}{2} \left(\frac{E}{\sigma_k} - 1 \right) \quad (2.23)$$

Analogický případ nastává, pokud dojde v krajních vláknech k dosažení napětí odpovídajícího mezi pevnosti materiálu. Vzhledem k tomu, že s narůstající křivostí ohýbaného pásu dochází ke zvyšování napětí, odpovídá tomuto stavu minimální poloměr

ohybu. Je-li pás ohýbán s menším poloměrem, dochází k dosažení mezního stavu pevnosti a vzniku trhlin na vnější straně plechu (v tahové oblasti).

$$\varepsilon_{tmax} = \frac{s}{2R_{1min} + s} \quad (2.24)$$

ε_{tmax} odpovídá poměrné deformaci na mezi pevnosti, kterou lze stanovit pomocí tahové zkoušky, a výsledný vztah pro minimální poloměr ohybu je:

$$R_{1min} = \frac{s}{2} \left(\frac{1}{\varepsilon_{tmax}} - 1 \right) \quad (2.25)$$

V běžné praxi se však častěji používá empirický vztah:

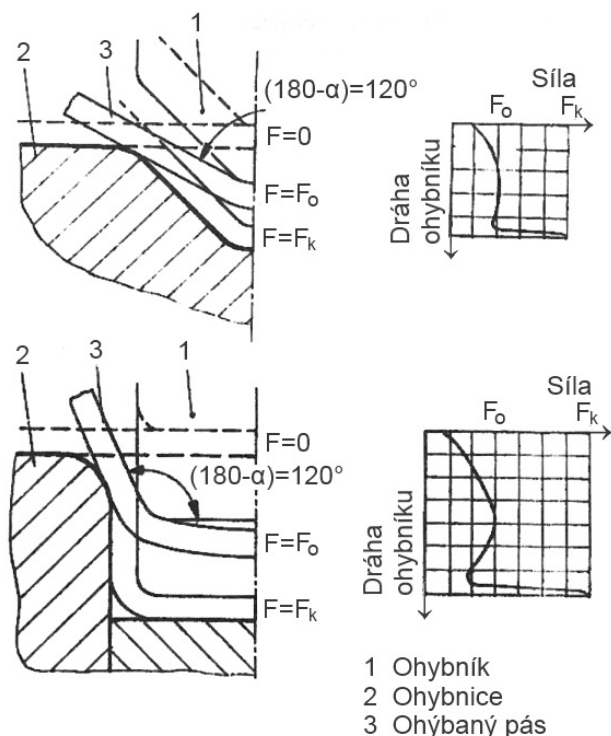
$$R_{1min} = c_r \cdot s \quad (2.26)$$

Hodnoty koeficientu c_r jsou tabelizovány a liší se pro jednotlivé druhy materiálů. Například pro ocel s pevností v tahu mezi 280 a 400 MPa s tažností 21 – 33 % je $c_r = 0,5$ [29]. Je nutno poznamenat, že minimální hodnoty koeficientu c_r platí pro ohýbání s osou ohybu kolmo na směr válcování. Je-li třeba ohýbat s osou ohybu ve směru podélném, doporučuje se volit hodnotu koeficientu dvojnásobnou. Obecné doporučení je ohýbat pokud možno s většími poloměry ohybu.

2.2.3 Ohýbací síla a práce [3], [16], [21], [24], [30], [46]

V oblasti ohýbání plechu v sériové výrobě je nejpodstatnějším technologickým principem ohýbání v nástrojích. Z této skupiny pak má největší význam ohýbání v tuhých nástrojích, zatímco ostatní technologická řešení spadají spíše do oblasti malosériové či kusové výroby nebo vykazují výrazná specifika. Vzhledem k jejich méně častému využití v praxi není zapotřebí se jimi hlouběji zabývat.

V rámci ohýbání v pevném nástroji je možné rozlišit tři základní případy – ohyb do „V“, ohyb do „U“ bez přidržovače a ohyb do „U“ s přidržovačem.



Obr. 2.8 Ohyb do „V“ a ohyb do „U“ a průběh ohýbací síly [30]

V prvních dvou případech („V“ a „U“ bez přidržovače) lze ohýbací proces rozdělit na dvě fáze. První fází je v podstatě volné ohýbání, které začíná ve chvíli dosednutí ohybníku na plech a končí, když ohýbaný plech dosedne na plochy ohybnice. Maximální síla v této fázi se nazývá ohýbací síla a je jí dosaženo zhruba v momentu, kdy je úhel mezi rameny ohýbané součásti 120° ($180^\circ - \alpha = 120^\circ$). Následuje fáze kalibrace, která slouží ke zvýšení přesnosti výsledného výrobku a síla při ní dosažená má několikanásobnou velikost oproti síle ohýbací.

Při ohýbání do „U“ bez přidržovače dochází v průběhu ohýbání k vyboulení dna součásti. Toto vyboulení je odstraněno při kalibraci nebo je zabráněno přímo jeho vzniku použitím přidržovače v ohybnici.

Vzhledem k tvaru jezdce je zapotřebí se zabývat pouze ohybem do „U“. Odpovídající vztahy pro ohyb do „V“ včetně částečného odvození jsou obsahem přílohy č. 6.

Vztah pro ohýbací sílu bez přidržovače obecně (pro „U“ i „V“):

$$F_o = (0,2 - 0,22) \cdot s \cdot l_o \cdot R_m \quad (2.27)$$

kde: l_o – celková délka ohybem vzniklých hran

Při ohybu s přidržovačem orientačně platí pro sílu přidržovače:

$$F_p \geq (0,25 - 1/3)F_o \quad (2.28)$$

Výsledná síla pro ohyb s přidržovačem je pak tedy:

$$F_{op} = F_o + F_p \quad (2.29)$$

Kalibrační síla, které je zapotřebí bez použití přidržovače, nabývá velikosti:

$$F_k = n_k \cdot F_o \quad (2.30)$$

kde: n_k – koeficient dle tab. 2.2, nebo dle ČSN 22 7340 $n_k = 3$

Tab. 2.2 Hodnoty koeficientu n pro stanovení kalibrační síly [46]

n_k	2	2	2,5	3,5
R_1/s_0	> 0,7	0,7	0,5	0,35

V případě, že požadovaný poloměr ohybu je nižší, než poloměr minimální, je zapotřebí jej navíc razit. Toho lze dosáhnout vytvořením výstupků na ohybníku nebo zvětšením poloměru v ohybnici, čímž dojde v oblasti ohybu k stlačení materiálu. Při zvětšeném poloměru v ohybnici se razicí síla stanoví:

$$F_r = p \cdot l_r \cdot R_{p0,2} \cdot K_r \quad (2.31)$$

kde: p – teoretická (maximální) šířka průmětu ražené oblasti kolmo na směr pohybu ohybníku

l_r – délka ražených ohybů

$K_r \approx (2 - 4)$ – korekční součinitel zohledňující zpevnění materiálu a zvýšený odpor proti tečení materiálu v důsledku tření; vyšší hodnoty platí pro menší tloušťky plechu

Výsledná síla při ohýbání s ražením odpovídá principiálně kalibrační síle a je rovna:

$$F_{or} = F_{op} + F_r \quad (2.32)$$

Práce odpovídá ploše pod diagramem síla-dráha. Vzhledem ke komplikovanému průběhu diagramu (zejména v případě s kalibrací) se místo integrace opět používají empirické vztahy, například:

$$W_o = (k_o \cdot F_o + F_p)h_o \quad (2.33)$$

kde: k_o – koeficient v závislosti na technologii

h_o – dráha ohybníku

Pro ohyb do „U“ nabývá $k_o = \frac{2}{3}$:

$$W_o = \left(\frac{2}{3}F_o + F_p\right)h_o \quad (2.34)$$

kde: pro h_o , není-li dáno, platí $h_o = 4s_0$

ČSN 22 7340 uvádí odlišný vztah, v závislosti na kalibrační síle:

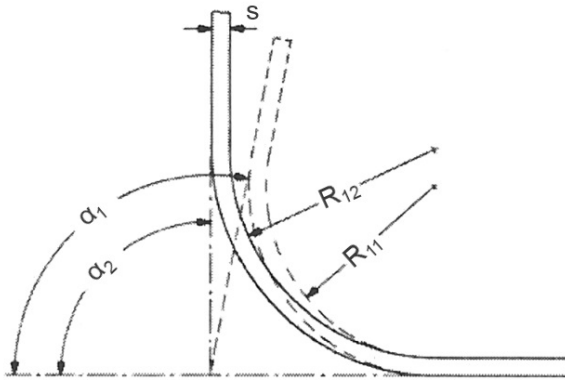
$$W_o = m \frac{F_k \cdot h_o}{1000} \quad (2.35)$$

kde: $h_o = l_z + r_p + r_m + s$ (r_m je zaoblení vstupní hrany tažnice a r_p zaoblení ohybníku a l_z je vzdálenost mezi středy zaoblení)

$$m = \frac{1}{6}$$

2.2.4 Odpružení při ohýbání [9], [25], [32], [33]

Po ukončení ohýbání a odtížení materiálu dochází k relaxaci přítomné elastické deformace a tedy i změně tvaru ohnuté součásti směrem k tvaru původnímu. V případě čistě elastického ohybu dochází k vymizení veškeré deformace a návratu do tvaru před ohybem, v případě elasto-plastického ohybu pouze k vymizení deformace elastické, částečné změně tvaru a vzniku zbytkových napětí. Tento jev se nazývá odpružení a hraje rozhodující roli v otázce přesnosti vyrobeného dílu.



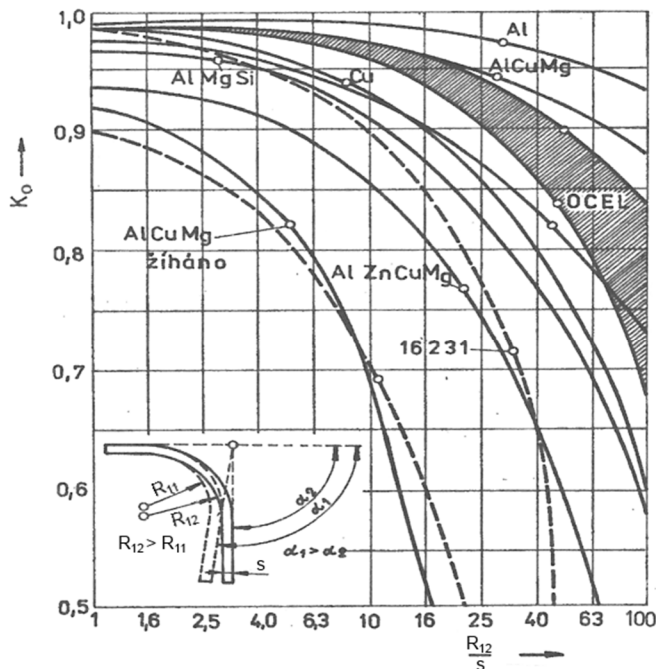
Obr. 2.9 Geometrické schéma odpružení [25]

Vztah pro odpružení při ohybu do „U“:

$$\operatorname{tg} \beta = 0,75 \frac{w}{k \cdot s_0} \cdot \frac{\sigma_k}{E} \quad (2.37)$$

kde: w – vzdálenost opěr (vzdálenost zaoblení ohybnice)

$k = (1 - x)$, kde x (2.18) je koeficient vyjadřující polohu vrstvy nulového prodloužení



Obr. 2.10 Závislost poměru K_0 na poměrném poloměru ohybu [32]

Odpružení je charakterizováno změnou úhlu ohybu po odtížení:

$$\beta = \alpha_1 - \alpha_2 \quad (2.36)$$

kde: α_1 – úhel ohybu na nástroji (před odtížením)

α_2 – výsledný úhel ohybu na součásti (po odtížení)

Analytické stanovení úhlu odpružení vyžaduje znalost zbytkových napětí při odpružení, a proto se i v tomto případě využívá empirických vztahů, diagramů nebo tabulek. Existuje tedy široké spektrum možností.

Často se také používá diagramů závislosti poměru K_0 na poměrném poloměru ohybu R_{12}/s_0 , kde:

$$K_0 = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \frac{R_{11} + 0,5s_0}{R_{12} + 0,5s_0} \quad (2.38)$$

kde: R_{11} – vnitřní poloměr ohybu na nástroji (před odtížením)

R_{12} – výsledný vnitřní poloměr ohybu na součásti (po odtížení)

Pomocí těchto diagramů pak z požadovaných parametrů lze snadno stanovit úhel a poloměr ohybu tak, aby součást po odpružení měla žádaný tvar.

Vlivů na velikost odpružení je mnoho. Mezi ty nejzásadnější patří:

- Poloměr ohybu – čím větší je poloměr ohybu, tím větší je odpružení.
- Tloušťka materiálu – čím větší je tloušťka materiálu, tím menší je odpružení.
- Pevnost materiálu – čím pevnější je materiál, tím větší je odpružení.

V případě požadavku na vysokou přesnost ohýbaného dílce, je zapotřebí dosáhnout co nejnižšího odpružení. Možností snížení odpružení je celá řada:

- Změna úhlu ohybu v nástroji o úhel odpružení.
 - Zmenšení poměru R_{12}/s_0 (zmenšení poloměru ohybu).
 - Ražení v oblasti ohybu.
 - Výroba výztužných žeber.
 - Ohýbání za tepla.
- atd.

2.3 Konstrukce nástrojů [25], [33], [40], [41]

V oblasti tváření je geometrie vyrobeného dílu dána zcela nebo z velké části geometrií nástroje. Proto jsou například oproti obrábění zapotřebí nástroje výrazně větších rozměrů a tedy i síly vyvolující změnu tvaru jsou patřičně vyšší. Výrobky se často v důsledku svého komplikovaného tvaru musí vyrábět ve více krocích nebo i s pomocí několika různých nástrojů.

Při návrhu nástroje je zapotřebí uvážit množství faktorů, nejen požadovanou přesnost, sled a podobu výrobních kroků, ale i dostupné strojové vybavení nebo sériovost, to vše s ohledem na co nejvyšší ekonomičnost výsledné výroby.

Z hlediska technologického, tedy dle druhu a počtu operací lze rozlišit:

- Nástroje jednoduché (jednooperační), vykonávající pouze jednu operaci.
- Nástroje postupové, vykonávající postupně několik operací. Součást je vyrobena v několika zdvizech a mezi jednotlivými operacemi je v nástroji přesouvána.
- Nástroje sloučené, vykonávající více operací jednoho typu (např. pouze stříh). Výrobek je vyroben v průběhu jednoho zdvihu.
- Nástroje sdružené, vykonávající více operací různého typu (např. stříhání a ohýbání).

S ohledem na technologii zvolenou v průběhu rozboru možností výroby jezdce (viz kapitola 1.1) bude následující část omezena pouze na problematiku nástrojů postupových sdružených pro plošné tváření za studena s důrazem na technologie stříhání a ohýbání.

Návrh nástroje probíhá obvykle v následujících krocích:

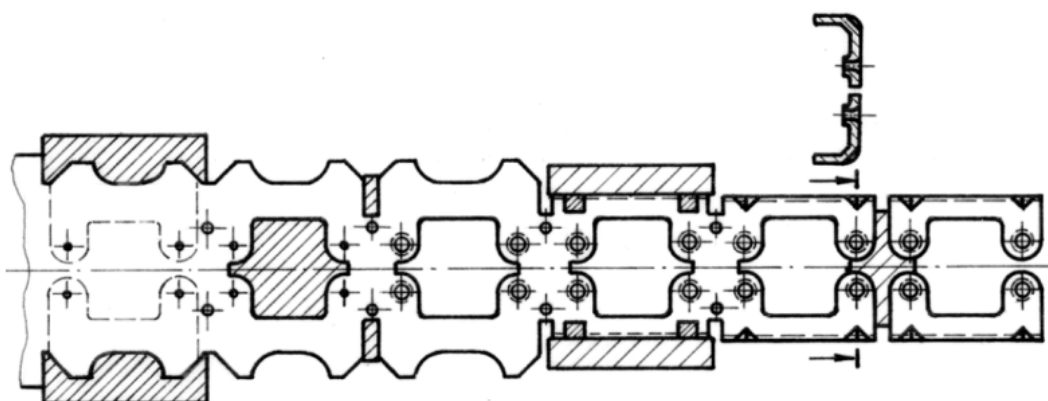
- a) Sestavení nástřihového plánu.
- b) Výpočet tvářecích sil, tvářecí práce a polohy působišť sil.
- c) Předběžná volba stroje.
- d) Základní koncepční úvaha o podobě nástroje.
- e) Stanovení rozměrů nástroje.
- f) Provedení kontrolních výpočtů.
- g) Konstrukce jednotlivých součástí.

V průběhu celého postupu je nezbytné se vracet v případě potřeby k přechozím krokům a provádět úpravy vyplývající z faktorů zohledňovaných až v pozdějších fázích návrhu. Zároveň je nutné zohledňovat jisté zásady. Mezi zásady ekonomické spadá nutnost najít optimum mezi cenou a produktivitou nástroje. Složitější a tedy i dražší nástroj často umožňuje rychlejší či efektivnější výrobu, zvýšené náklady se ale při menších sériích nemusí navrátit. Je také třeba dbát na co největší využití materiálu. Z ohledu bezpečnostního je nutné zaručit bezpečnost obsluhy a to buď konstrukčními opatřeními, nebo alespoň patřičným označením nástroje. Velmi důležité jsou zásady technické. Jednotlivé součásti nástroje musí být vyrobitelné, smontovatelné a nejlépe respektovat požadavek vyměnitelnosti. Je třeba zajistit

dostatečnou životnost nástroje ať již zvýšením odolnosti proti opotřebení jeho funkčních částí, konstrukcí umožňující dostatečný počet přebroušení nebo například zvýšením tuhosti nástroje. Nástroj musí umožňovat výrobu součásti požadované přesnosti a kvality. Vhodné je vyloučení vlivu obsluhy.

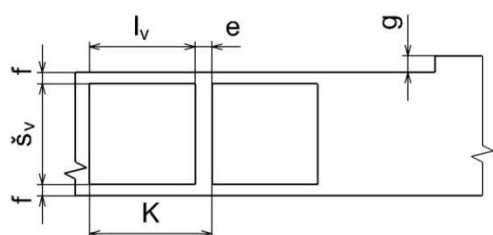
2.3.1 Nástřihové plány a působíště tvářecí síly [10], [21], [22], [25], [30], [41], [46]

Nástřihový plán je grafické znázornění sledu všech operací prováděných v postupovém nástroji a to včetně jednotlivých vzdáleností. V jednodušším případě, kdy je nástroj pouze postupový sloučený střížný, se jedná o znázornění uspořádání výstřižků na páse. Prakticky odpovídá půdorysu pásu plechu procházejícího nástrojem a jsou na něm zřetelně znázorněny změny na výrobku v každé operaci. Tvorba nástřihového plánu se provádí zpočátku, protože je stěžejní pro celý proces návrhu nástroje a v prvotní fázi vychází pouze z obecných znalostí konstrukce nástrojů a požadované součásti.



Obr. 2.11 Nástřihový plán (obecný příklad) [21]

Mezera mezi jednotlivými výstřižky v páse se nazývá můstek (obr. 2.12, rozměr e). Jeho minimální velikost je doporučena a její dodržení je důležité pro zajištění kvality výstřižku, která by přílišnou blízkostí střížných ploch mohla být nepříznivě ovlivněna. Dále je nutné dodržet určitou vzdálenost výstřižku od okraje pásu, vyjma specifických případů, kdy okraj plechu je možné využít jako část obrysu součásti. Tato vzdálenost bývá obvykle označována jako šířka okraje plechu. Šířka pásu plechu, sloužícího k výrobě součástí dle daného nástřihového plánu je pak rovna:



Obr. 2.12 Znázornění jednotlivých rozměrů v nástřihovém plánu [10]

$$B = \check{s}_v + 2f + g \quad (2.39)$$

kde: \check{s}_v – šířka součásti (výstřižku)

f – šířka okraje plechu

g – přídavek v případě použití bočního ostřihovače

Zřejmě nejpodstatnějším rozměrovým údajem vyplývajícím z nástřihového plánu je tzv. délka kroku, která udává potřebnou velikost posunu celého pásu plechu do polohy další operace mezi jednotlivými zdvihy nástroje. Délka kroku je nejvýznamnějším faktorem ovlivňujícím uspořádání funkčních částí nástroje v půdorysu a stanoví se:

$$K = l_v + e \quad (2.40)$$

kde: l_v – délka součásti (výstřižku)

e – můstek

Při navrhování nástřihového plánu je zapotřebí klást zřetel na některé faktory, které zásadním způsobem ovlivňují koncepci nástroje. Vzhledem k značnému podílu materiálových nákladů na ceně výsledné součásti je žádoucí dosáhnout co nejvyššího využití materiálu a tedy i co nejnižšího procenta odpadu. Stupeň využití materiálu popisuje koeficient využití materiálu, který je poměrem plochy součásti (výstřižku) definované její vnější konturou k využití ploše pásu plechu:

$$k_{vm} = \frac{S_v}{B \cdot K} \cdot 100 [\%] \quad (2.41)$$

kde: S_v – plocha součásti (výstřižku)

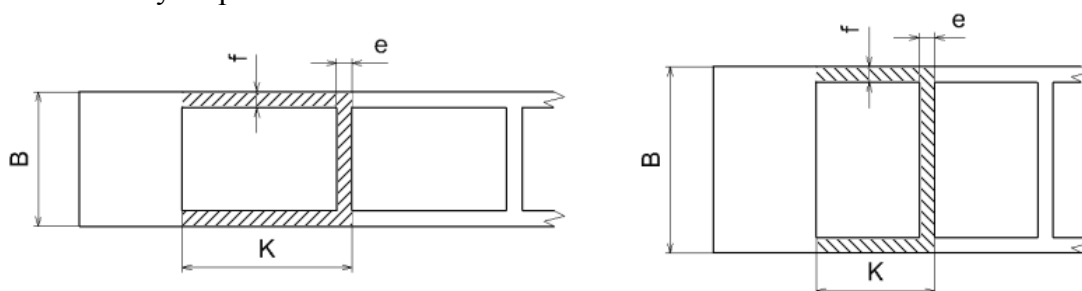
Využití materiálu lze nejméně ovlivnit způsobem uspořádání výstřižků na plechu. Často je výhodnější uspořádání šikmé nebo střídavé a velmi často se uplatňuje uspořádání víceřadé, které zlepšuje stupeň využití zejména u součástí kruhových a složitých tvarů (obr. 2.13). Víceřadé uspořádání však vyžaduje složitější konstrukci nástroje, čímž dochází k zvýšení nákladů na výrobu a údržbu nástroje. To je sice možné řešit stříháním s obrácením (stříháním ve druhé řadě), kde je jedna řada součástí vystřižena při prvním průchodu pásu nástrojem a pro druhý průchod se musí pás otočit o 180°, to však výrazně zvyšuje náročnost manipulace a jednotkové časy a navíc vyžaduje speciální konstrukci dorazů v nástroji.



Obr. 2.13 Nástřihový plán jednořadý, střídavý a víceřadý [41]

Vliv má například u obdélníkových výstřižků i to, zda jsou uspořádány podélně nebo příčně. Za předpokladu, že šířka můstku i okraj pásu jsou srovnatelně velké, je lepšího využití dosaženo při uspořádání příčném (vyžaduje širší pás plechu). Množství odpadu je totiž přímo úměrné součtu délek tří stran obdélníku, které obklopuje. V případě podélního uspořádání jsou to dvě strany dlouhé a jedna krátká oproti dvěma krátkým a jedné dlouhé u uspořádání příčného, viz obr. 2.14.

Nejvyššího využití lze dosáhnout tzv. bezodpadovým stříháním, kde jsou jednotlivé součásti odstříhány navzájem od sebe a okraj plechu je zároveň využit jako část vnějšího obvodu součásti. Využití tohoto uspořádání je však obvykle podmíněno konstrukcí součásti, která mu musí být uzpůsobena.



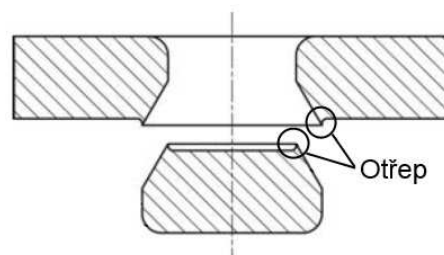
Obr. 2.14 Srovnání podélního a příčného uspořádání obdélníkových výstřižků [30]

Dalším faktorem je úspora pracnosti, čímž je míněna redukce zbytečných kroků v rámci nástroje, zejména manipulačních, a hledání takových řešení, která by nevyžadovala výrobu postupně v několika nástrojích. Toho je dosaženo zejména návrhem nástřihových plánů umožňujících udržení součásti co nejdéle v pásu, což umožňuje snadný posun pouhým podáváním pásu. Součást je pak oddělena až v poslední operaci. Alternativou je oddělení součásti v předposlední operaci a její opětovné vtažení do vzniklého otvoru v pásu plechu, který zajistí transport do místa poslední operace.

Při navrhování nástřihových plánů je zapotřebí brát zřetel i na umístění otřepů u výstřižků. Z principu střížné operace vyplývá, že při děrování vzniká otřep na dolní hraně a při

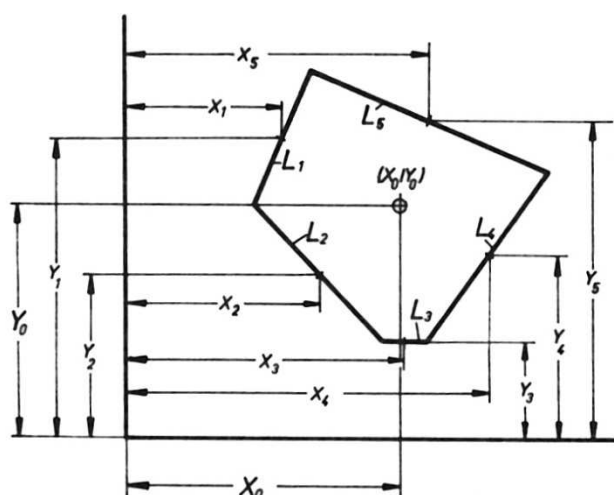
vystřihování na horní. To může být podstatné při určitých funkčních požadavcích na výslednou součást, ale zejména je doporučováno v případě následného ohybu umístit otřep na stranu vnitřního poloměru ohybu, aby nedocházelo ke vzniku trhlin.

Obecně je zatížení nástroje silami působícími v jiném směru než ve směru pohybu beranu nežádoucí. V případě tváření asymetrické součásti je vhodné dvojřadé zrcadlové uspořádání do nástřihového plánu, čímž dojde k vyrovnání působících sil alespoň k podélné ose nástroje. Toto vyrovnání bočních sil má za následek zvýšení životnosti a přesnosti nástroje.



Obr. 2.15 Umístění otřepů při stříhání [21]

S nástřihovým plánem úzce souvisí i stanovení působíště tvářecích sil. V postupových nástrojích totiž působí tvářecí síly na několika místech zároveň. Působí-li výslednice těchto



Obr. 2.16 Schéma stanovení souřadnic působíště střížných sil [46]

silových účinků mimo osu beranu tvářecího stroje, dochází k jeho vychýlení a tím snížení přesnosti výrobku a zejména životnosti nástroje i stroje.

Stanovení působíště střížných sil je snadné s ohledem na skutečnost, že jsou přímo úměrné délce obvodu střížné plochy. Obvykle se stanovuje souřadnice působíště v podélném směru (x) a v příčném směru (y) vůči počátku souřadného systému, který je volen nejlépe tak, aby žádná z dílčích ani výsledných souřadnic neměla záporné znaménko. V případě, že je nástřihový plán v některé z těchto os symetrický, leží souřadnice na ose souměrnosti. Polohu působíště střížných sil lze stanovit graficky nebo přesněji početně:

$$x_0 = \frac{L_1 x_1 + L_2 x_2 + \dots + L_n x_n}{L_1 + L_2 + \dots + L_n} \quad (2.42)$$

$$y_0 = \frac{L_1 y_1 + L_2 y_2 + \dots + L_n y_n}{L_1 + L_2 + \dots + L_n}$$

kde: L_i – délka elementu stříhaného obvodu

x_i/y_i – souřadnice geometrického těžiště elementu v příslušné ose

Do výsledného působíště je však potřeba zahrnout i ostatní, například ohýbací síly. Postup je obdobný, pouze místo délky elementu a souřadnice jeho těžiště se ve výpočtu použije velikost příslušné síly a souřadnice jejího působíště:

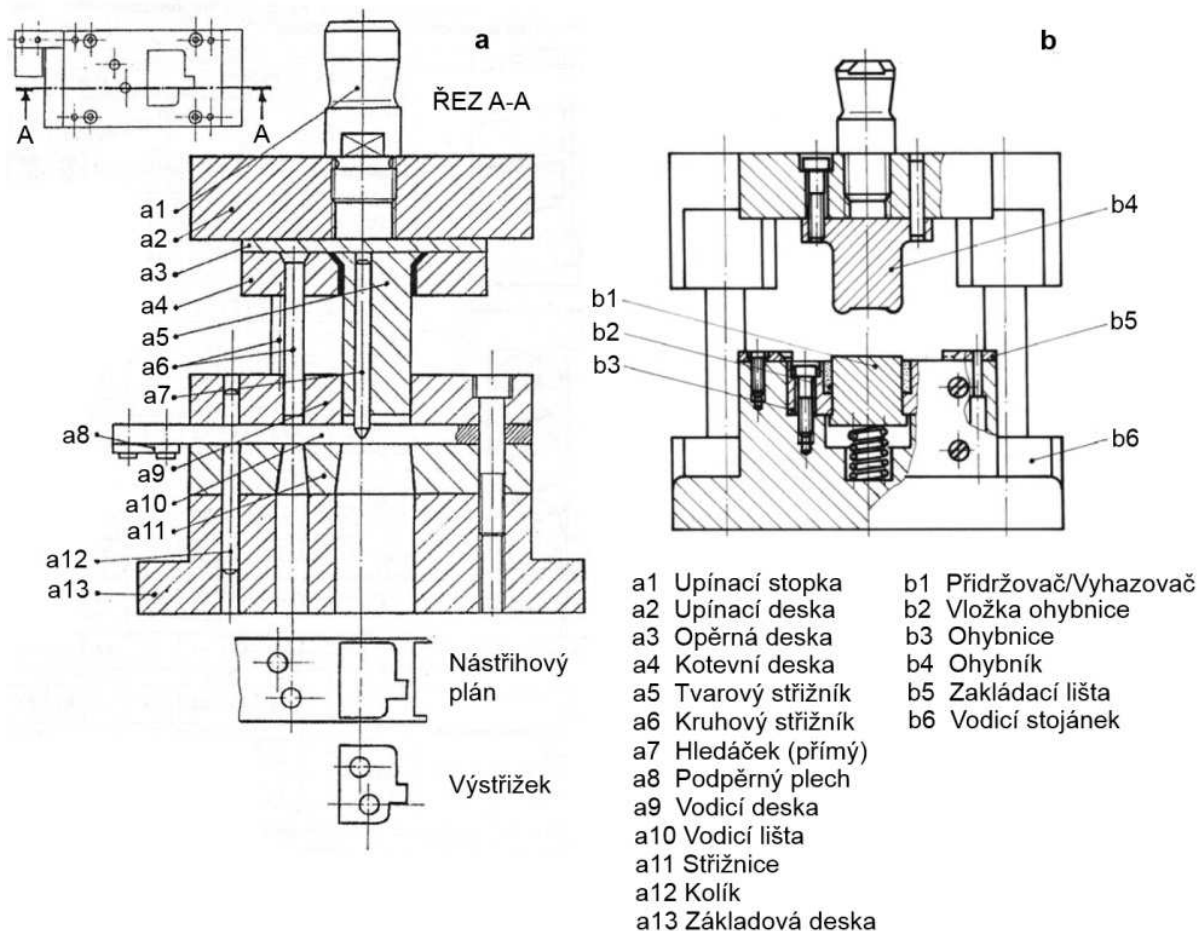
$$x_0 = \frac{F_1 x_1 + F_2 x_2 + \dots + F_n x_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n} \quad (2.43)$$

$$y_0 = \frac{F_1 y_1 + F_2 y_2 + \dots + F_n y_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n}$$

Při výpočtu je možné nahradit jednotlivé střížné síly jejich výslednicí s působíštěm vypočítaným dle vztahů (2.42). Do výsledného působíště sil se pak u menších nástrojů pro použití v excentrických lisech umísťuje upínací stopka, čímž je zajištěna přesná poloha nástroje vůči ose beranu lisu.

2.3.2 Části nástrojů [25], [23], [40], [22], [46], [32], [33], [21], [36]

Nástroje pro plošné tváření mají několik základních částí, které jsou nepostradatelné pro samotnou funkci nástroje a často pak i množství doplňkových částí, jejichž použití je dáno konkrétním technologickým postupem. Jednoduchý postupový střížný nástroj s deskovým vedením je znázorněn na obrázku 2.17a a jednoduchý ohýbací nástroj se sloupkovým vedením na obrázku 2.17b.

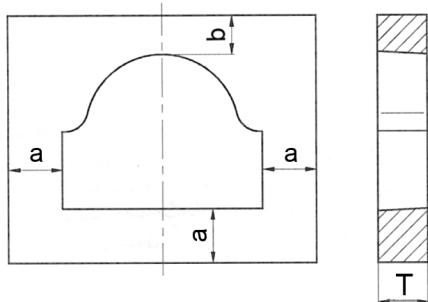


Obr. 2.17a Části jednoduchého postupového střížného nástroje [23]

Obr. 2.17b Některé části jednoduchého ohýbacího nástroje [21]

- Základová deska – Hlavním úkolem základové desky (obr. 2.17a pozice a13) je upevnění nástroje na stole lisu, proto se navrhuje na každé straně o cca 25 mm širší než střížnice (obr. 2.17a a11), aby bylo umožněno upnutí upínkami. Její velikost musí umožňovat překrytí propadového otvoru ve stole lisu a odvozuje se z nástřihového plánu. Tloušťka závisí na velikosti nástroje a běžně se pohybuje mezi 25 až 60 mm. Deska je opatřena otvory pro propad odpadu, přičemž jejich rozměr se volí mírně větší než ve střížnici (o cca 1 až 2 mm). V případě sloupkového vedení nástroje se sloupky kotví do základové desky (nalisovány s přesahem H6/r5) nebo je tato deska nahrazena spodní částí normalizovaného vodícího stojánu. Čepy, oka nebo jiné prvky sloužící k manipulaci s nástrojem se rovněž usazují do základové desky.
- Střížnice a ohybnice - Střížnice je jednou z nejdůležitějších součástí střížných úseků nástroje. Mimo otvorů sloužících přímo ke stříhu obsahuje střížnice zpravidla i otvory pro dorazy, ostřihovače apod. Je zapotřebí volit vzdálenost jednotlivých otvorů tak, aby nemohlo dojít k poškození střížnice v důsledku působení tvářecích sil nebo při tepelném zpracování. Jako orientační minimální hodnota vzdálenosti otvorů mezi sebou se uvádí

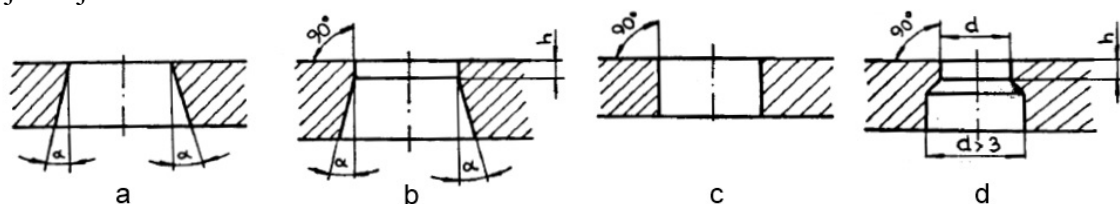
4 mm. Minimální vzdálenost funkčních otvorů od okraje je pak v případě kruhového otvoru 25 mm (obr. 2.18 rozměr b) a v případě, že je otvor hranatý a jeho strana je rovnoběžná s okrajem desky 35 mm (obr. 2.18 rozměr a).



Obr. 2.18 Schématické znázornění vzdáleností otvorů od okraje střížnice [21]

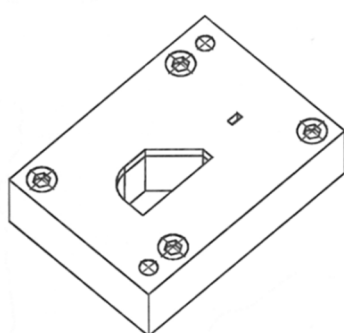
Tvar otvorů ve střížnici může být v případě stříhání malých součástí s nižší přesností kuželový (obr. 2.19a), při přebroušování však dochází ke změně rozměru otvoru. Pro přesnější nebo složitější výstřižky a větší série se proto používá tvar kuželový s fazetkou (obr. 2.19b). Při přesném stříhání, nebo pokud je použit vyhazovač, je možný také tvar čistě válcový (obr. 2.19c). Rozměr otvoru ve střížnici je stěžejní pro výsledný rozměr součásti při vystřihování.

Střížnice může být řešena jako jednolitá (celistvá) pro celý nástroj, pokud se jedná o čistě střížný nástroj menších rozměrů (do 200 mm) pro výrobu součástí jednoduchých tvarů. Maximální rozměry celistvé desky jsou s ohledem na tepelné zpracování 300 x 300 mm. V současné době je však výrazně častější uplatnění dělených a zejména vložkovaných střížnic. Vložkování výrazným způsobem zjednodušuje výrobu, protože menší součásti je snazší obrábět nebo v nich elektroerozivně vytvářet otvory a tvarové prvky. V případě poškození pak není třeba vyměňovat celou střížnici. Střížné vložky se vyrábějí z nástrojových ocelí nebo ze slinutých karbidů. Jednotlivé vložky se usazují do otvorů v desce z měkké oceli, kde jsou zajištěny proti vytažení zalisováním s uložením H7/n6, osazením, případně překrytím krycí lištou. Není-li otvor ve vložce rotačně symetrický, je zapotřebí zajistit její polohu např. kolíkem, příložkou, nebo musí být její vnější tvar nekruhového tvaru.

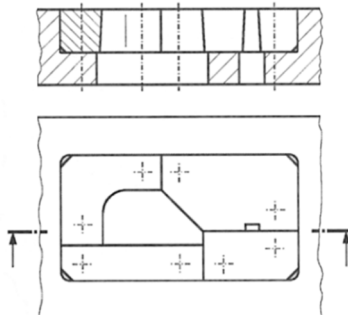


Obr. 2.19 Tvary otvorů ve střížnici [32]

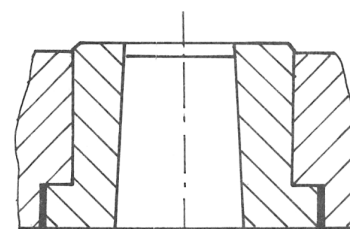
U dělených střížnic se jednotlivé funkční segmenty zalisovávají do nekalené desky nebo se připevňují k základové desce pomocí šroubů a pojistí se kolíky. Funkční délky segmentů by neměly překročit 250 až 300 mm. Možností je také vyrobit střížnici jako nekalenou desku a funkční hrany otvorů opatřit návary ze samokalitelných slitin.



Obr. 2.20a Celistvá střížnice [21]



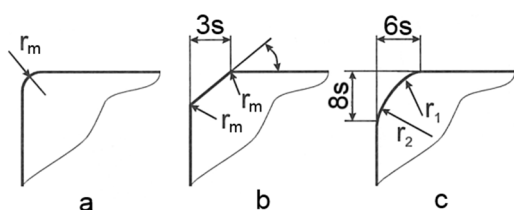
Obr. 2.20b Dělená střížnice [21]



Obr. 2.20c Vložkovaná střížnice [22]

Ohybnice je rovněž možné konstruovat jako celistvé nebo dělené a často se vybavují spodními přidržovači či vyhazovači. V případě, že je zapotřebí provádět ohyb do U na

obou stranách o více než 90°, používají se boční klíny nebo otočné čelisti. Pohyb těchto elementů je nejčastěji vyvozován od pohybu beranu lisu nebo ohybníku. Při návrhu konkrétního tvaru a rozměrů ohybnic je nutné zohledňovat odpružení.



Obr. 2.21 Konstrukční řešení vstupní hrany ohybnice [25]

Poloměr zaoblení vstupní hrany ohybnic se volí $r_m = (2 - 6) \text{ mm}$. U ohýbání tlustých plechů o tloušťce $s > 3 \text{ mm}$ je vhodné tuto hranu srazit pod úhlem až 45° a nově vzniklé hrany zaoblit na r_m (obr. 2.21b). Další možností je nahradit vstupní hranu křivkou ve tvaru traktixy (obr. 2.21c). Toto řešení usnadňuje pohyb materiálu kolem hrany, je však obtížněji vyrobitelné. Je důležité, aby zaoblení obou hran bylo stejné, protože

ohýbaný materiál sklouzává směrem k menšímu poloměru zaoblení, takže by mohlo dojít k nežádoucí změně tvaru výsledné součásti. Obdobně je zapotřebí pozměnit poloměry zaoblení při ohýbání součástí s nestejně širokými rameny, kde materiál sklouzává v důsledku tření směrem k širšímu ramenu. Vliv na posun ohýbané součásti mají také nestejně ohýbací vůle. Velikost zaoblení na dně ohybnice se volí $R = 0,7(r_p + s)$, kde r_p je poloměr zaoblení ohybníku. U ohýbání do U je také možné zaoblení vytvořit pouze na ohybníku.

Vůle při ohýbání do V je rovna tloušťce ohýbaného materiálu a ustavuje se patřičným seřízením lisu. U ohýbání do U se vůle určí:

$$v = (s \text{ až } s_{max}) + c_v \cdot s \quad (2.44)$$

kde: v – jednostranná vůle

c_v – součinitel vyjadřující vliv tření na zaoblení vstupní hrany tažnice

$$(c_v = 0,06 - 0,15)$$

s_{max} – maximální tloušťka plechu

Menší velikost vůle vede k nárůstu ohýbací síly a ovlivňuje příznivě odpružení.

Hloubka ohybnice se volí na základě tloušťky ohýbaného materiálu a délky ramen výsledné ohnuté součásti.

- Vedení plechu – Při posunu materiálu v nástroji je zapotřebí vymezení jeho polohy. To u postupových nástrojů zajišťují zejména tzv. vodící lišty (obr. 2.17 pozice a10). Jedná se o dvojici lišt upevněných vzájemně rovnoběžně ke střížnici. Jejich vzdálenost je dána šířkou plechu a musí umožňovat jeho volný průchod i v případě, že se plech v průběhu tváření rozšiřuje. Tato vzdálenost se stanovuje:

$$a_v = m_p + p_p + v + h_p \quad (2.45)$$

kde: m_p – jmenovitá šířka pásu

p_p – tolerance pásu

v – vůle mezi pásem a lištami

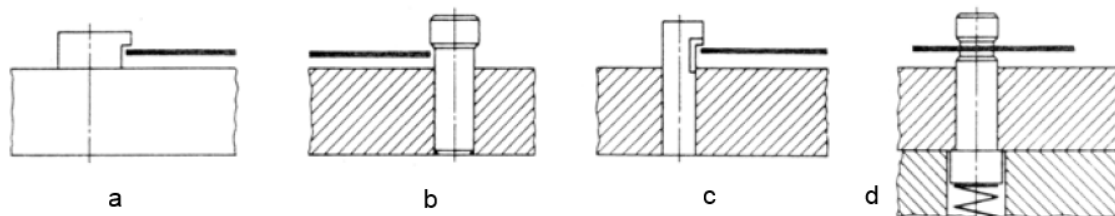
h_p – tolerance vzdálenosti lišt

Jmenovitá šířka pásu se určuje na základě nástřihového plánu a tolerance je udávána normou. Její konkrétní hodnota je předmětem jednání s dodavatelem. Vůle mezi lištami se volí minimálně 0,1 mm. Kolísání tolerance šířky pásu a přesné ustavení pásu je možné řešit přitlačení pásu na jednu z lišt pomocí odpružených elementů (odpružená lišta, odpružené palce, atp.). Většina těchto elementů však zvyšuje tření pásu a tím ztěžuje jeho průchod. Alternativou může být použití ostřihovače.

Výška lišt je v běžných případech 5 nebo 8 mm. Je nutné, aby byly lišty stejně vysoké, jinak by mohlo docházet k nežádoucím deformacím střížníků v důsledku nesouososti. Pro

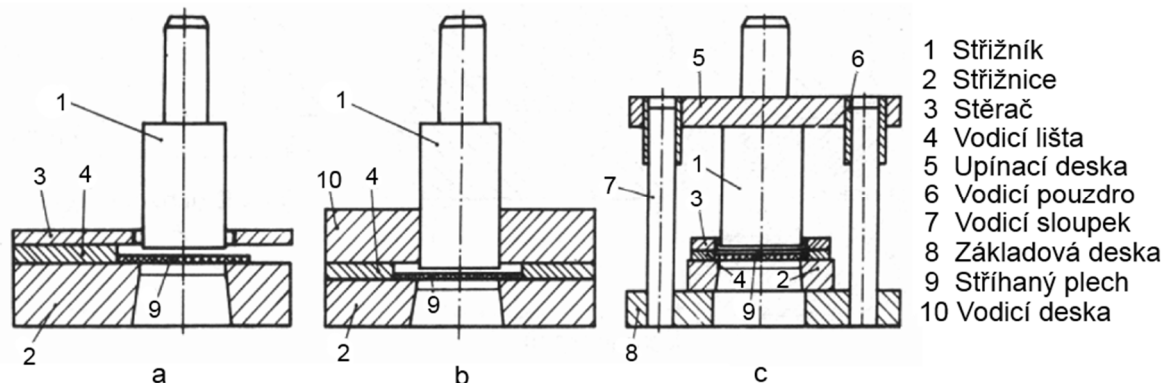
snadnější zavádění počátku pásu se lišty navrhují cca o 80 mm delší než střížnice. Tyto volné konce, které se umísťují na vstupní stranu nástroje, se vybavují podpěrným plechem.

Vodicí lišty (obr. 2.22a) je možné nahradit i kolíky různých tvarů a to buď pevnými (obr. 2.22b,c), nebo odpruženými (obr. 2.22d), které mají drážku nebo zápich na obvodu, ve kterém je pás veden.



Obr. 2.22 Možnosti vedení plechu [21]

- Vedení nástroje – Výraznější rozdíly v konstrukci vykazují nástroje zejména s ohledem na způsob vedení. Nejjednodušší jsou nástroje bez vedení (obr. 2.23a), kde vzájemná poloha horní a dolní části nástroje je dána přesností vedení beranu lisu. Nejsou příliš přesné a jsou vhodné v zásadě pouze pro jednooperační děrování nebo ostříhování v malých sériích. Vedené nástroje je možné rozdělit na dvě skupiny: nástroje s vodicí deskou (obr. 2.23b) a nástroje s vodicími sloupky s kluzným nebo valivým vedením (obr. 2.23c). Vedení má za úkol zajistit dostatečně přesnou vzájemnou polohu funkčních částí nástroje a zpracovávaného materiálu, rovnoměrnost střížných vůlí a případně i vyrovnávání dopadů vznikajících bočních sil. To v důsledku zvyšuje přesnost a životnost nástroje.



Obr. 2.23 Nástroj nevedený, s vodicí deskou a s vodicími sloupky [36]

Vodicí deska spojuje dvě funkce. Slouží k vedení střížníků, ohybníků atp. a zároveň plní funkci stěrače. Při stříhání totiž v důsledku odpružení dochází k zachycení děrovaného plechu na střížníku a je tedy třeba zabránit pohybu plechu vzhůru společně se střížníkem. Vodicí deska bývá buď pevně připevněna ke spodní části nástroje, nebo je řešena jako odpružená a je součástí horní části nástroje. Pokud je odpružená, je zapotřebí vymezit její dolní polohu, což se obvykle provádí pomocí výškových dorazů.

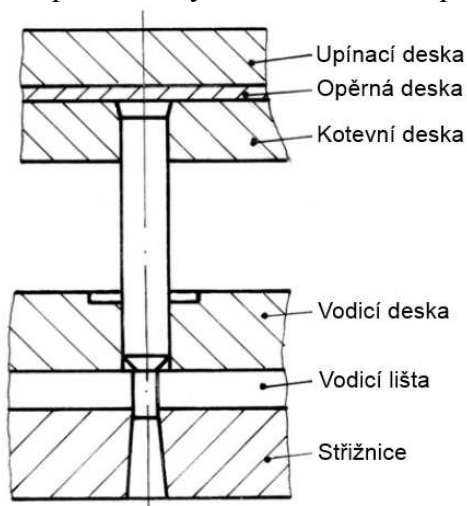
Tloušťka vodicí desky se běžně pohybuje mezi 18 až 32 mm. Otvory pro vedení tvárníků (střížníky, ohybníky, atd.) se vyrábějí pro uložení H7/h6 a u horního ústí otvoru se často zhotovují mazací drážky, ze kterých pak tvárník při pohybu strhává mazivo.

Vodicí sloupky se buď přímo zalisovávají do základové desky, nebo se používá přírubové konstrukce, kde je sloupek uložen v pouzdru, které se k základové desce přišroubuje. Horní, pohyblivá část nástroje je v nejjednodušším případě vybavena vodicími pouzdry, která jsou buď kluzná, nebo se v nich pohybuje klec s valivými elementy.

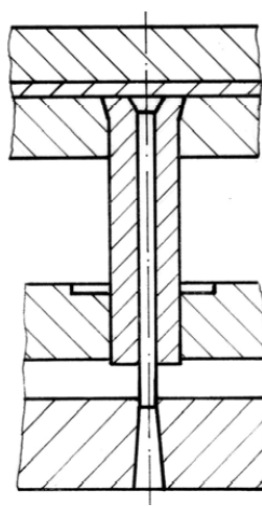
Kluzná vedení se dají používat do cca 250 zdvihů za minutu a výška zdvihu nesmí být menší, než je rozteč mazacích drážek. Kuličkové vedení je určeno pro vyšší rychlosti nebo

pro případy, kdy je zapotřebí vyšší přesnost a tuhost vedení, což je zajištěno předpětím kuliček. Tento typ vedení se vyznačuje lehkým chodem, velmi nízkým opotřebením, minimálním zahříváním a prakticky nulovou potřebou údržby. Je však oproti kluznému několikanásobně dražší. Válečkové vedení dále zlepšuje přesnost a tuhost vedení, vzhledem k velmi vysoké ceně je však používáno jen zcela sporadicky. Při velmi vysokých požadavcích na přesnost vedení je možné použít vodicí desku i vodicí sloupky zároveň.

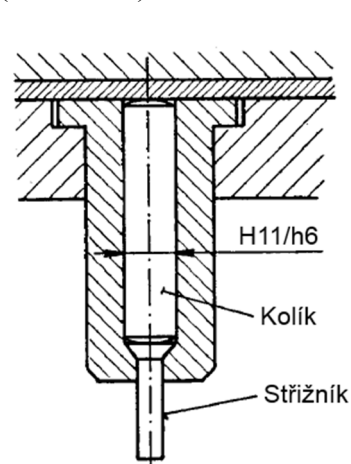
- Střížníky a ohybníky – Střížníky jsou protikusem střížnice a jejich tvar tedy odpovídá příslušnému tvaru otvoru ve střížnici. Konstruuji se z nástrojových ocelí nebo jako vložkované, kde nosná část je vyrobena z běžné konstrukční oceli. U vložkovaných bývá funkční část připevněna šrouby, musí být však zároveň zajištěna její přesná poloha, což se obvykle provádí pomocí válcového osazení. Vložkovaním zejména v případě střížníků větších rozměrů dochází k významné úspoře drahých nástrojových materiálů. Dále je možné s ohledem na riziko vybočení, zvláště u tenkých střížníků, rozlišit střížníky nevedené, vedené, kde je střížník uložen ve vodicím pouzdře (obr. 2.24b), anebo zesílené, kde požadovaný tvar a rozměr má pouze koncová funkční část (obr. 2.24a).



Obr. 2.24a Zesílený střížník vedený ve vodicí desce [21]



Obr. 2.24b Střížník vedený ve vodicím pouzdře [21]

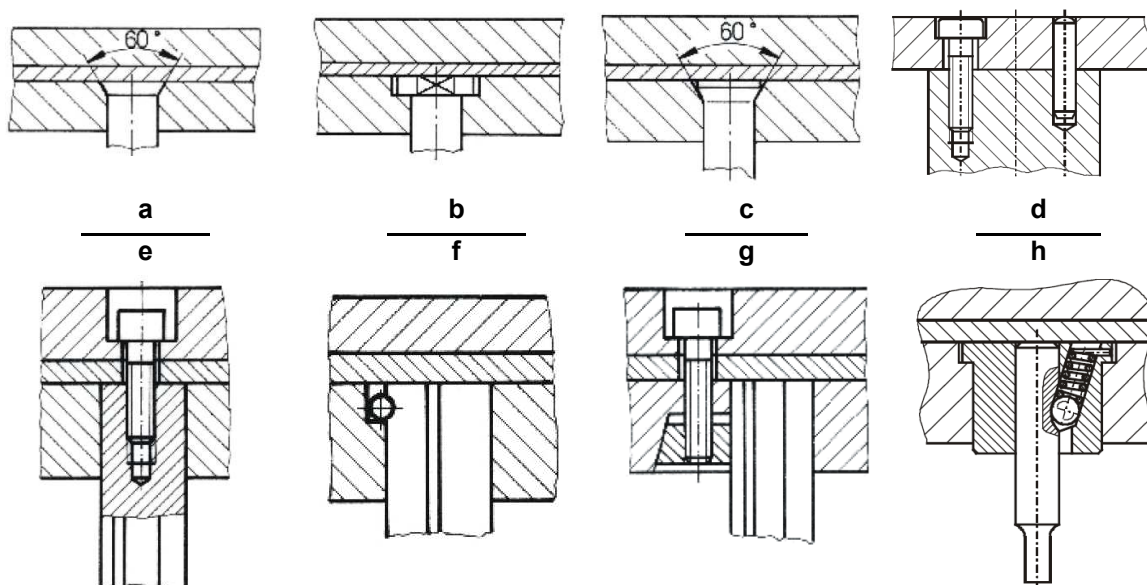


Obr. 2.24c Zesílený střížník vedený ve vodicím pouzdře [32]

Použití nevedených střížníků je podmíněno úspěšnou kontrolou na vzpěr. Orientačně je možné o jejich užití uvažovat pro poměr $d/s > 0,7$, kde d je průměr stříhaného otvoru, a pro poměrné délky $l/d < 4$. V případě, že střížník neprojde kontrolou na vzpěr, je možné jej konstruovat jako zesílený, kde délka funkční tenké části se volí mezi 1,5 až 2,0 s , průměr zesílené části 4 až 5 s a přechodový poloměr 2 až 2,5 s . Alternativou je uplatnění vedených střížníků, u kterých je zkrácena volná délka, na které hrozí ztráta vzpěrné stability. To je možné zajistit pomocí vodicí desky a v případě velmi tenkých střížníků pomocí vodicích pouzder nebo zesíleným střížníkem vedeným ve vodicí desce (obr. 2.24a).

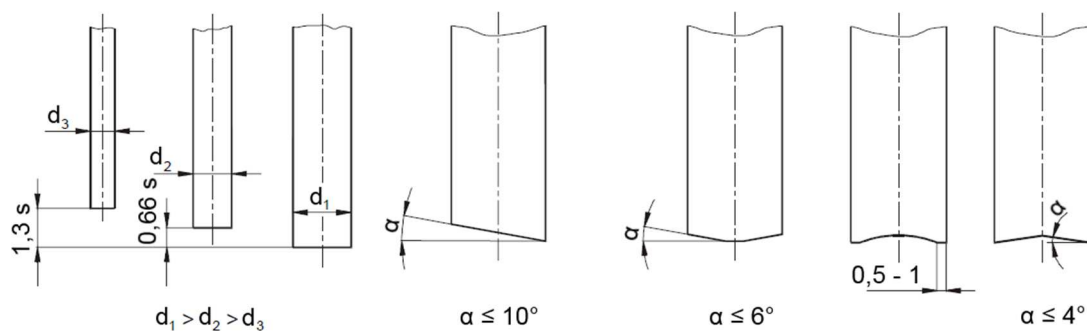
Uchycení střížníků v kotevní desce zajišťuje střížníky proti vytažení stírací silou a má mnoho variant. V nejjednodušším případě se konec kaleného střížníku na jeho upínací straně žihá a následně roznýtuje (obr. 2.25a). Nejčastěji se používá uchycení pomocí osazení válcového tvaru (obr. 2.25b), méně často kuželového (obr. 2.25c). Kuželový tvar sice nabízí potenciál přesného středění, ale je výrobně náročnější. U větších střížníků a střížníků s přírubou je možné uchycení pouze šrouby (obr. 2.25d) s případným zapuštěním příruby. Výrobně snadnou variantou je zalití střížníku do pryskyřice a to obzvláště u střížníků složitých tvarů. V případě vysokých stíracích sil je však nutné navíc

zajistit střížník pomocí šroubů (obr. 2.25d,e) nebo příčnými kolíky (obr. 2.25f). Existují i další méně obvyklá řešení, např. uchycení pomocí klínu (obr. 2.25g), upínek nebo v případě nutnosti časté výměny střížníků pomocí kuliček držených v zápichu střížníku pružinou (obr. 2.25h) či závitovým kolíkem („červíkem“).



Obr. 2.25 Příklady uchycení střížníků v kotevní desce [21]

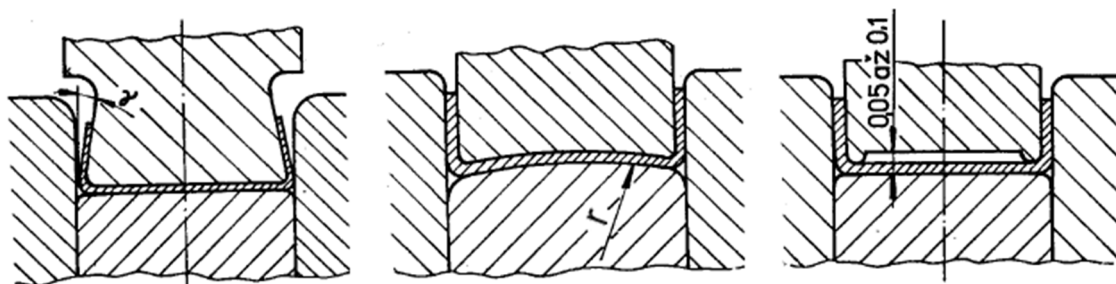
Čelo střížníku je nejčastěji rovné a kolmé k jeho ose. Je-li třeba dosáhnout snížení střížné síly, používají se čela zkosená nebo různě tvarově upravená. Tím dojde ke snížení maximální velikosti střížné síly, která ale působí na delší dráze, takže výsledná střížná práce zůstává zachována. Je nutné mít na vědomí, že takováto úprava čela střížníku vede k deformaci vystřihovaného dílu, což v případě děrování obvykle nevádí. V případě vystřihování je tedy s ohledem na zachování rovinnosti součásti třeba zkosit hrany střížnice, což je značně výrobně náročné. Alternativou je pak použití střížníků odstupňovaných délek, které v průběhu zdvihu stříhají postupně. Kvůli zajištění plynulosti chodu nástroje se rozdíly délek volí rovny zhruba $2/3 s$. Je také potřeba dodržet zásadu, že tenké střížníky musí stříhat až jako poslední, aby nedošlo k jejich poškození v důsledku napětí vznikajících při vniku silnějších střížníků do materiálu.



Obr. 2.26 Příklady úprav střížníků ke snížení střížných sil [21]

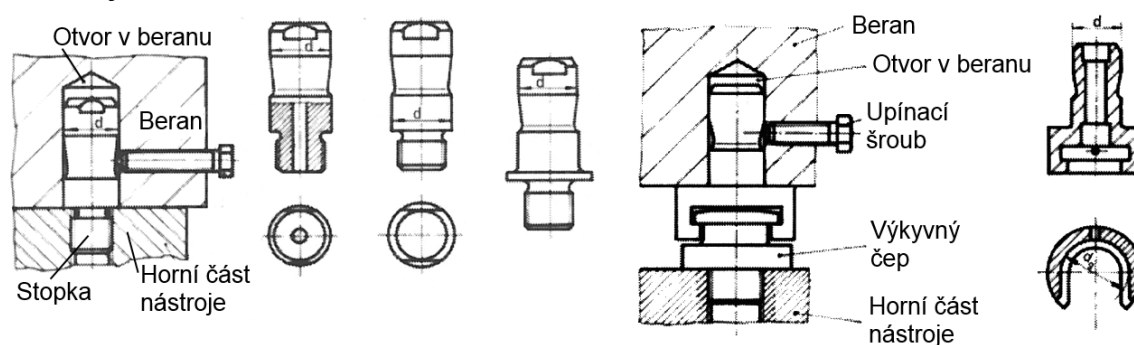
Tvar ohybníku je dán požadovaným výsledným tvarem součásti v dané ohýbací operaci se zohledněním odpružení (obr. 2.27). Poloměr zaoblení ohybníku je roven vnitřnímu poloměru ohybu, pokud se neupravuje kvůli kompenzaci odpružení. Šířka ohybníku musí být minimálně stejná jako šířka ohýbané součásti.

U větších ohybníků se ohýbací hrany vložkují kvůli úspoře materiálu obdobně jako u střížníků. Je důležité zajistit odolnost povrchu ohybníku proti opotřebení, proto se funkční hrany kalí a leští. Upínání ohybníků je obdobné jako u střížníků.



Obr. 2.27 Příklady úprav ohybníků pro kompenzaci odpružení [32]

- Kotevní deska – Kotevní deska (obr. 2.17 a4) slouží k uložení tvárníků. Její tloušťka se obvykle pohybuje mezi 10 a 32 mm. Jsou v ní vyrobeny otvory pro tvárníky, které jsou patřičně upraveny s ohledem na jejich uchycení (obvykle válcová nebo kuželová zahlabení, viz obr. 2.25). Jednotlivé otvory musí být kolmé na plochu desky, aby nedocházelo k nežádoucímu namáhání tvárníků v důsledku jejich vybočení. Rozměry kotevní desky jsou stejné jako rozměry upínací desky, pokud je nástroj veden pomocí vodicí desky. V případě použití vodicích sloupek musí být rozměr patřičně menší, aby bylo možné do upínací desky nalisovat vodicí pouzdra.
- Opěrná deska – Opěrná deska (obr. 2.17 a3) se používá pouze v případě, že u tenkých tvárníků není úspěšná kontrola na otláčení. Aby se v takovém případě zabránilo vtačování tvárníku do upínací desky, vkládá se mezi kotevní a upínací desku deska opěrná, která se vyrábí z kalené nástrojové oceli. Odborná literatura uvádí obvykle tloušťku 4 mm, reálně se však navrhuje o tloušťce 8 mm a vyšší. Pokud jsou tvárníky vyžadující tuto úpravu nástroje umístěny jen v jedné jeho části, je možné použít opěrnou desku dělenou.
- Upínací deska – Upínací deska (obr. 2.17 a2) slouží k upevnění horní části nástroje k beranu lisu a zároveň podepírá jednotlivé tvárníky, není-li použita opěrná deska. Je-li nástroj vybaven vodicími sloupkami, jsou v upínací desce nalisována vodicí pouzdra. Tloušťka desky bývá obvykle 23 až 50 mm. Pokud se nástroj upíná k beranu lisu pomocí upínek, tak mívá upínací deska oproti kotevní desce rozměr dvoustranně větší o cca 25 mm.
- Upínací stopka – Stopka (obr. 2.17 a1) se používá zejména u menších nástrojů pro excentrické lisu. Umístěna je v působišti tvářecích sil a vkládá se do otvoru v beranu lisu. U malých nástrojů slouží k upnutí, u větších pouze k zajištění pozice vůči beranu. Její velikost je dána velikostí lisu, přičemž průměr se pohybuje mezi 12 a 63 mm. Tvary jsou normalizovány. V současné době se nejčastěji používají stopky se závitem, které se našroubují do upínací desky nástroje. Toto řešení umožňuje stopku vyšroubovat, čímž se zlepšuje možnost uložení nástroje mimo lis, a zároveň je možné použít jednu stopku pro více nástrojů. Pro vyrovnání nepřesností ve vedení lisu je možné použít i stopky výkyvné se složitější konstrukcí.



Obr. 2.28 Příklady tvarů stopek [25]

Některé části nástrojů nejsou pro jejich základní funkci nezbytné, jejich použití je však časté. Nejčastěji slouží k zlepšení přesnosti vedení pásu plechu a tedy i přesnosti výsledných součástí.

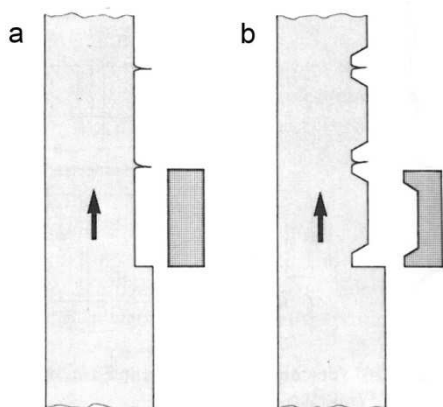
➤ Dorazy – Dorazy obecně jsou funkční prvky nástrojů zajišťující definovanou polohu pásu v podélném směru (vyjma dorazů výškových). Existuje několik základních skupin dorazů.

Dorazy pevné jsou nejjednodušší variantou dorazů. Jedná se o osazený nebo hladký kolík umístěný do střížnice tak, aby se o něj zachytil můstek pásu po vystřížení součásti. Tento typ se používá pouze při ručním podávání, protože vyžaduje po každém zdvihu nástroje nadzvednutí pásu, aby můstek mohl projít nad dorazem. Přesnost je tedy do určité míry ovlivněna obsluhou. Dorazy zpětné jsou variantou pevných dorazů pro použití při stříhání tlustých plechů, kde použití pevného dorazu, který musí být umístěn nedaleko otvoru ve střížnici, vede k nežádoucímu zeslabení střížnice, případně by mohlo dojít k ulomení dorazu v důsledku napěchování plechu po vniknutí sousedícího střížníku. Přední hrana těchto dorazů bývá zkosená, aby můstek pásu mohl snadno projít přes doraz. Ustavení polohy je následně zajištěno zpětným pohybem pásu a zastavením můstku o zadní hranu dorazu.

Dorazy načínací slouží k ustavení pásu v počáteční fázi stříhání při zavádění nového pásu. V tento moment totiž ještě není pás dostatečně daleko v nástroji, aby se mohl uplatnit klasický doraz nebo hledáčky, případně hrozí při nesprávné délce vsunutého pásu poškození nástroje. V případě potřeby je možné použít i několik těchto dorazů po sobě. Pokud má vodící lišta výšku 8 mm, tak se otvor pro načínací doraz vytváří pouze v liště, při výšce lišty 5 mm je třeba vytvořit i vybrání ve vodící desce, pokud je použita. Tyto dorazy se konstruují jako odpružené nebo neodpružené a po jejich použití při zavedení pásu se přesouvají do nefunkční polohy.

Dorazy pro druhou řadu a načínací dorazy pro druhou řadu se používají v případě, že nástřihový plán je koncipován jako dvouřadý střídavý, ale výroba nástroje se zdvojenými funkčními elementy je neekonomická a proto se využívá tzv. stříhání v druhé řadě. Tento postup spočívá ve vhodném uspořádání výstřížků v první řadě tak, aby odpad umožnil po otočení o 180° i stříhání řady druhé pomocí stejných funkčních elementů.

Pohyb tzv. automatických dorazů je odvozen od pohybu beranu a k návratu do původní polohy využívají pružin. K uvolnění pásu dochází v dolní úvratí beranu, kdy je pás již ustaven pomocí hledáček nebo přímo probíhá střížná operace. Při zvedání beranu se dorazy vrací do původní pozice, kdy zajišťují polohu pásu plechu. Na rozdíl od pevných dorazů je tak toto řešení možné použít i v nástrojích s vysokým stupněm mechanizace, protože nevyžaduje zásah obsluhy a oproti ostříhovačům nesnižuje využití materiálu.

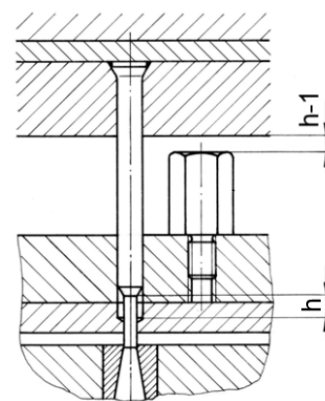


Obr. 2.29 Základní provedení ostříhovačů [46]

Poněkud specifickou skupinou jsou ostříhovače. Jedná se totiž o kombinaci střížníku s dorazem. Ostříhovač (střížník) odstříhává úzkou část okraje plechu a takto vzniklá hrana v příčném směru se při následném posuvu zarazí o kalený doraz slícovaný se zadní hranou ostříhovače. Délka ostříhovače v podélném směru je tedy rovna délce kroku. Zároveň dochází při použití odpružených elementů ve vodících lištách k úpravě šířky pásu na přesně danou hodnotu. Ostříhovač se v tomto případě umísťuje na stejnou stranu jako odpružený element. Základní tvary ostříhovačů jsou normalizovány, je však možné je sloučit s tvarovým střížníkem, je-li to žádoucí. Z hlediska tvaru půdorysu jsou nejpoužívanější dva

tvary. Jednodušší tvar odstřihuje pruhy plechu obdélníkového tvaru. Dojde-li však k opotřebení a zaoblení jeho hran, vzniká ostřina, která ztěžuje nebo dokonce znemožňuje posuv materiálu za doraz (obr. 2.29a). To lze řešit použitím komplikovanějšího a tedy i výrobně náročnějšího tvaru, který v plechu vytvoří vybrání, ve kterém již vznikající ostřina dalšímu posuvu nevádí (obr. 2.29b). Ostřihovače se používají zejména při výrobě součástí s vysokými požadavky na přesnost z plechů o tloušťce do 2 mm. Je nutno podotknout, že jejich použití vede ke snížení využití materiálu a proto se od něj v poslední době upouští.

- **Výškové dorazy** – Výškové dorazy mají na rozdíl od dorazů běžných zcela odlišnou funkci. Běžně mají podobu válce přišroubovaného buď k vodící, nebo kotevní desce (obr. 2.30) a slouží jako distanční element vymezující maximální přiblížení horní části nástroje k dolní. Toho se využívá jako bezpečnostního opatření při použití zesílených střížníků, kdy by při přílišném zasunutí těchto střížníků do střížnice mohlo jejich osazení poškodit střížné hrany. Dále mohou tyto dorazy sloužit k vymezení polohy nástroje např. při ražení nebo zabránit úplnému dosednutí odpružené vodící desky, je-li to žádoucí. Výškové dorazy je vhodné umístit v co největší blízkosti působíště tvářecí síly, aby nedocházelo k naklápění částí nástroje vůči sobě. Také je možné použít dva tyto dorazy, přičemž by měly být umístěny úhlopříčně.



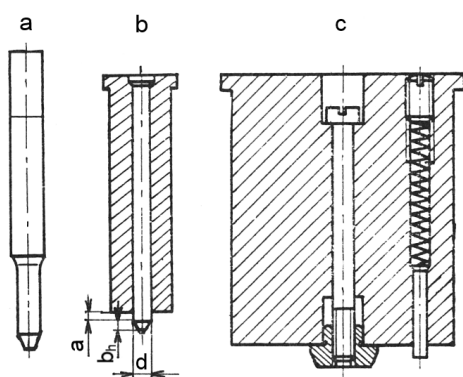
Obr. 2.30 Výškový doraz [21]

- **Hledáčky** – Hledáčky nabízejí další možnost zpřesnění ustavení polohy pásu plechu v nástroji a to zároveň v podélném i příčném směru. Nejčastěji se používají spolu s válečkovými podavači, které mohou mít kolísající přesnost podávání. Hledáčky korigují do určité míry rozptyl podávání a tím zlepšují v postupových nástrojích vzájemnou polohu tvarových prvků vytvářených v různých krocích. Jejich použití postrádá význam v jednooperačních nástrojích a je-li nepřesnost podávání nižší než hodnota x_h pro danou tloušťku plechu s v tabulce 2.3.

Tab. 2.3 Vhodnost použití a rozměry hledáček [22]

s [mm]	0,2	0,3	0,5	0,8	1,0	1,2	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0
a [mm]	2s			s			0,8s		0,5s		
x_h [mm]	0,02		0,03		0,04		0,06		0,08		0,1

Vzhledem k tomu, že přesnost běžně používaných podavačů je v nejlepším případě $\pm 0,05$ mm, má u nižších tlouštěk plechu použití hledáčku značný význam.



Obr. 2.31 Varianty provedení hledáček [22]

Hledáčky je možné konstruovat jako přímé (obr. 2.31b,c) nebo nepřímé (obr. 2.31a). Přímé využívají již vystřižených otvorů v součásti, pokud jsou tyto dostatečně velké a nehrozí jejich poškození. Pro nepřímé je zapotřebí vytvořit speciální technologický otvor v oblasti odpadu, v případě že nejsou dostupné otvory v součásti, jsou umístěny příliš blízko sebe nebo není přípustné jejich poškození. Z toho vyplývá, že hledáčky je možné umístit nejdříve v druhém kroku, přičemž patřičné otvory se stříhají v kroku prvním. Použití se doporučuje u materiálů silnějších než 0,3 mm z důvodu rizika deformace plechu. Hodnota x_h

z tabulky 2.3 označuje nutnou vůli hledáčku v příslušném vystřiženém otvoru a rozměr $b_h = 0,5d$ pro $d \leq 6 \text{ mm}$, pro průměry větší se volí jednotně $b_h = 4 \text{ mm}$. Hodnota a pak udává délku válcové části hledáčku, je-li tento součástí střížníku. Je totiž nezbytné, aby poloha pásu byla ustavena ještě před dosednutím střížníku. Délka nepřímých hledáček se volí o 6 mm větší než u střížníků.

- Stěrače – Stěrače slouží ke stažení pásu plechu, pokud se zachytí v důsledku odpružení materiálu na střížníku, nebo jiné pohyblivé části nástroje. Stěrače musí být dostatečně tuhé a jejich funkční plocha musí být kolmá na osu pohybu nástroje, aby nedocházelo k nežádoucímu namáhání střížníků, vedení nástroje nebo beranu lisu. Z hlediska konstrukce je možné rozlišit stěrače pevné a pohyblivé, přičemž obě varianty mohou být umístěny buď na nástroji, nebo na lisu. Pokud je použita vodicí deska, tak přebírá funkci stěrače. Stejně tak lze upravit tvar vodicích lišt, u kterých vyroběním vybrání lze vytvořit drážku mezi vodicími lištami a střížnicí, ve které je veden pás plechu a je zabráněno jeho pohybu nahoru. Pohyblivé stěrače využívají k vyvození stírací síly pružin nebo pryžových elementů.

2.3.3 Rozměry nástroje a jeho částí [10], [27], [33], [35]

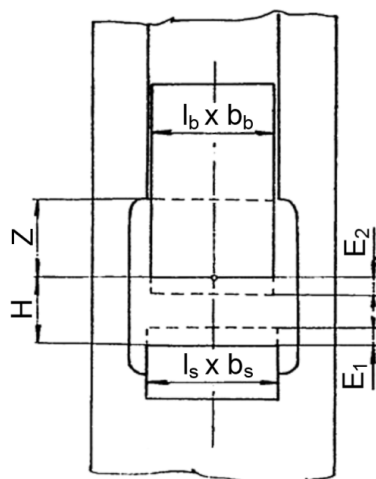
Vnější rozměry nástroje nejsou dány pouze nástřihovým plánem a zvolenými konstrukčními řešeními (např. způsobem vedení), ale i volbou stroje. Základová deska musí být dostatečně velká, aby překryla propadový otvor ve stole lisu, a celkové rozměry nesmí být větší, než je velikost desky stolu stroje nebo upínací plochy beranu (obr. 2.32 rozměr $l_b \times b_b$). Podstatným údajem je také velikost sevření lisu, která je určující pro stanovení minimální hodnoty sevřené výšky nástroje. Tuto výšku má nástroj v momentě maximálního přiblížení horní a dolní části, tedy v dolní úvrati. Sevření lisu je dáno vzdáleností beranu od desky stolu, když je beran lisu v dolní úvrati, deska stolu je ustavena v nejnižší poloze, beran v nejvyšší a je nastaven největší zdvih lisu (beran lisu je v dolní úvrati z hlediska přestavitelnosti zdvihu Z v nejnižší možné poloze). Tato hodnota sevření lisu se běžně uvádí v technické dokumentaci stroje. Jak je zřejmé, minimální hodnota sevřené výšky nástroje může být ještě nižší, dojde-li k přestavení beranu a stolu lisu:

$$H_N = H - E_1 - E_2 \quad (2.46)$$

kde: H – katalogová hodnota sevření lisu

E_1 – přestavitelnost desky stolu

E_2 – přestavitelnost beranu



Obr. 2.32 Rozměrové parametry tvářecích strojů [27]

Půdorysné rozměry nástroje jsou dány nástřihovým plánem. Šířka střížnice je v nejjednodušším případě dána šířkou pásu plus šířkou vodicích lišt. Délka je dána délkou a počtem kroků s přídatkem, aby byla zajištěna dostatečná pevnost střížnice. Rozměry základové desky se pak liší podle způsobu vedení a upínání nástroje.

Pro výslednou kvalitu a dodržení rozměrových tolerancí stříhaných součástí jsou podstatné rozměry a tolerance střížníků a otvorů ve střížnici a velikost střížné vůle. V případě děrování hraje rozhodující roli rozměr střížníku a v případě vystřihování rozměr střížnice. V obou případech se tedy stanovuje rozměr rozhodující části nástroje a druhá část má rozměr upraven o velikost střížné vůle, kterou lze definovat právě jako rozdíl obou rozměrů. Stanovení jmenovitých rozměrů a tolerancí střížníků a střížnic je detailně popsáno včetně potřebných vztahů v normě ČSN 22 6015. V praxi se však obvykle vychází z firemních zvyklostí. Aktuální trend směřuje k navrhování jmenovitých rozměrů

funkčních částí na střed tolerančního pole součásti místo jednoho z mezních rozměrů (horního nebo dolního, podle toho, jedná-li se o děrování nebo vystřihování), jak popisuje norma. Z provozních zkušeností totiž vyplývá, že i bez změny parametrů procesu dochází ke kolísání stříhaného rozměru až o 0,03 mm.

2.3.4 Výpočet funkčních částí nástroje [6], [10], [21], [25], [33]

Při návrhu nástroje pro plošné tváření je zapotřebí některé jeho části navrhovat na základě výpočtu nebo kontrolovat jejich funkceschopnost s ohledem na namáhání. Mezi tyto výpočty patří stanovení tloušťky střížnice, kontrola střížníků na otláčení a na vzpěr a v případě stříhání vysokopevnostních materiálů i kontrola namáhání střížné hrany střížníku, jejíž postup je obsahem přílohy č. 7.

Tloušťka střížnice vychází z její kontroly na ohyb a stanovuje se pomocí následujícího vztahu, jehož odvození je obsahem přílohy č. 8:

$$T = \sqrt{\frac{3F_s \cdot l}{2b_d \cdot \sigma_{dov}}} \quad (2.47)$$

kde: l – vzdálenost opor desky

F_s – střížná síla

b_d – šířka desky

σ_{dov} – dovolené napětí

Velikost dovoleného napětí v ohybu je pro kalené materiály 300 MPa a pro zušlechtně (kalené a popuštěné) 500 MPa. Orientačně lze tloušťku desky stanovit i:

$$T = \sqrt[3]{F_s} \quad (2.48)$$

Střížníky (tvárníky obecně) působí v důsledku tvářecích sil na své opěrné ploše, která je v kontaktu s upínací deskou, značné tlaky. Dojde-li k překročení určité hranice, tak může dojít i k postupnému otláčování kontaktní plochy a postupnému „zapracovávání“ střížníku do upínací desky. Zabránit tomuto jevu je možné použitím opěrné desky. Její použití však nemusí být nutné a proto je třeba provést následující kontrolní výpočet.

$$\sigma_{dov} \geq \frac{F_s}{S} \quad (2.49)$$

kde: F_s – střížná síla

S – velikost opěrné plochy střížníku

Dovolené napětí je 180 MPa pro upínací desky z oceli a 90 MPa pro desky z litiny. V případě neúspěšné kontroly je nutné použít opěrnou desku.

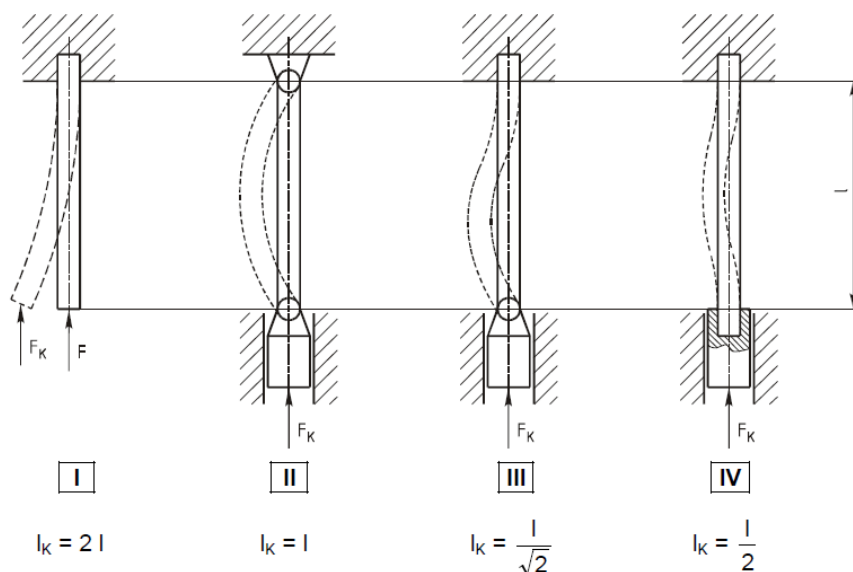
Je-li střížník zatížen tlakově ve směru své osy, což je situace nastávající i při stříhání, dojde v důsledku nerovnoměrnosti napětí v průřezu, způsobené například materiálovými nehomogenitami a vadami, k jeho mírnému vybočení. Zvyšováním zatížení se zvyšuje i vybočení kvantifikovatelné excentricitou osy střížníku. Zatěžovací síla pak působí na rameně o velikosti excentricity, čímž vzniká momentové zatížení. V momentě překročení určité kritické velikosti zatěžovací síly dojde k překročení mezního stavu vzpěrné stability – k vybočení a zborcení střížníku. Tomuto stavu je zapotřebí se vyhnout. Pro stanovení kritické velikosti zatěžovací síly se používá Eulerův vztah:

$$F_{krit} = \frac{\pi^2 E \cdot I}{l_k^2} \quad (2.50)$$

kde: E – modul pružnosti v tahu (průměrná hodnota pro ocel $E = 2,1 \cdot 10^5$ MPa)

I – moment setrvačnosti průřezu střížníku (tabulka příslušných vztahů je obsahem přílohy č. 9)

l_k – redukovaná délka vyplývající ze způsobu uložení střížníku



Obr. 2.33 Případy vzpěru podle Eulera [21]

Pro nevedený střížník, který odpovídá případu vzpěru č. III, je pak maximální přípustná délka:

$$l_{krit} = \pi \sqrt{\frac{2E \cdot I}{F_s \cdot \nu}} \quad (2.51)$$

kde: ν – koeficient bezpečnosti ($\nu = 1,5 - 2$)

a pro střížník vedený, který odpovídá případu č. IV:

$$l_{krit} = \pi \sqrt{\frac{4E \cdot I}{F_s \cdot \nu}} \quad (2.52)$$

Platnost uvedených vztahů se omezuje na elastickou oblast, kterou lze vymezit pomocí štíhlosti střížníku λ_s :

$$\lambda_s = \sqrt{\frac{l_k^2 \cdot S}{I}} \geq \lambda_{smin} = \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_{kd}}} \quad (2.53)$$

kde: S – plocha průřezu střížníku

σ_{kd} – hranice rovnoměrné deformace v tlaku

Mezní štíhlost střížníku λ_{smin} je tedy materiálovou konstantou a orientačně nabývá hodnoty pro uhlíkové oceli 100, pro legované oceli 85 a pro litinu s lupínkovým grafitem 80.

Kontrolu na vzpěr stačí provést pouze u nejkritičtějšího střížníku – s nejmenším poměrem plocha průřezu ku délce. Vyhoví-li tento, pak vyhoví i ostatní. Výjimku mohou představovat pouze střížníky komplikovaného tvaru. V případě, že je zapotřebí délka střížníku větší, než je kritická, je zapotřebí jej konstruovat jako zesílený, vedený anebo ve vodicím pouzdře.

2.3.5 Bezpečnostní zásady konstrukce nástrojů [33]

S ohledem na ochranu obsluhy musí být zavedena bezpečnostní opatření jednak na straně lisu a jednak na straně nástroje. Musí být zabráněno tzv. přímému nebezpečí od pohybujících se částí nástroje a dále musí být zajištěna ochrana proti vymrštěným úlomkům zpracovávaného materiálu nebo nástroje, pokud by došlo k jeho poškození.

Nebezpečí od pohybujících se částí nástroje lze minimalizovat vysokým stupněm automatizace procesu, kdy není nutné v průběhu výroby manipulovat rukou v pracovním prostoru nástroje. Toho lze docílit například vhodným návrhem nástřihového plánu, kdy je

součást vedena až do poslední operace v pásu, a použitím automatických podavačů. V případě zakládání jednotlivých kusů do pracovního prostoru nástroje a následného spouštění lisu by z bezpečnostního hlediska mělo být spouštění lisu zajištěno dvěma dostatečně vzdálenými spínači vyžadujícími současný stisk.



Obr. 2.34 Označení nebezpečného nástroje

Z hlediska konstrukce nástroje je často vhodné jej vybavit krytem z děrovaného plechu nebo plexiskla, aby bylo možné vizuálně kontrolovat průběh tvářecí operace a zároveň byla zajištěna zmíněná ochrana obsluhy. Kryty je možné také řešit jako pohyblivé, kdy jsou upevněny na beranu lisu a v případě kontaktu s překážkou dojde k nouzovému vypnutí stroje. Obecně je však nejvhodnější zajistit ochranu obsluhy pouze vhodnou konstrukcí nástroje. Toho je docíleno při splnění následujících podmínek:

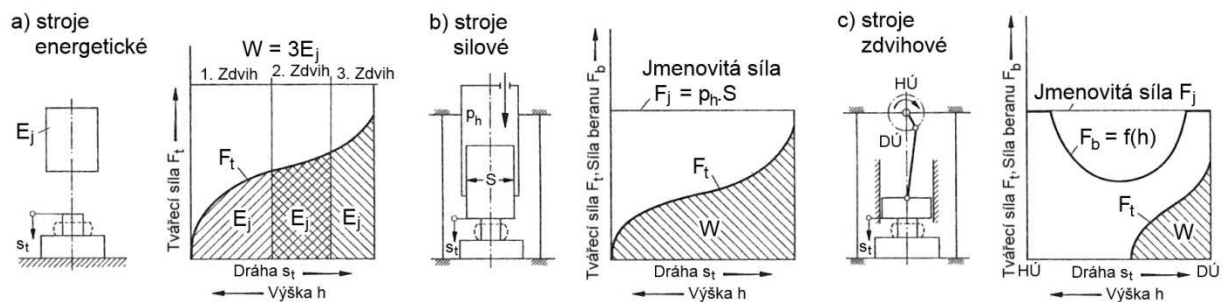
- Automatizovaný provoz bez nutnosti ruční manipulace, viz výše.
- Vzdálenost mezi horní a dolní polovinou nástroje je při horní úvratí maximálně 8 mm nebo při dolní úvratí alespoň 25 mm.
- Nástroje vyžadující ruční manipulaci musí být koncipovány tak, aby se v nich nenacházely žádné přístupné funkční prvky, které by mohly způsobit úraz.

Nejsou-li tyto podmínky splněny, musí být nástroj viditelně označen žlutým nebo oranžovým pruhem šířky 2 cm a velkým písmenem N, aby obsluha byla upozorněna, že musí dbát zvýšené opatrnosti.

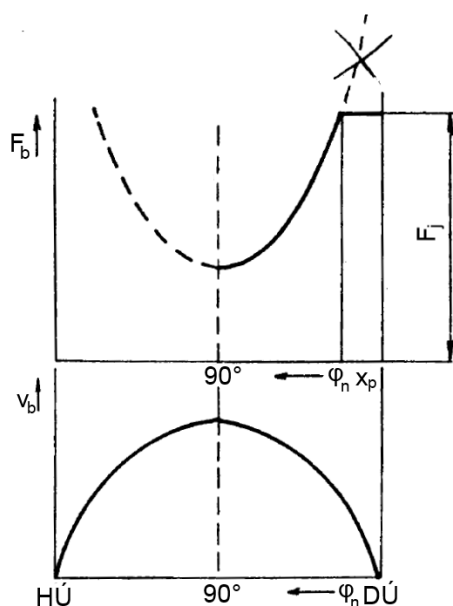
2.4 Tvářecí stroje [18], [27], [34], [35]

Obecně lze rozdělit tvářecí stroje do tří skupin dle formy využívané energie. Jedná se o stroje energetické, silové a zdvihové. Stroje energetické (obr. 2.35a) využívají zejména kinetickou složku energie. Základním zástupcem této skupiny je padací buchar, který využívá kinetické energie beranu o vysoké hmotnosti. Tyto stroje se používají prakticky výhradně pro objemové tváření. Z hlediska výroby jezdce zvolenou technologií stříhání a ohýbání mají tedy význam pouze stroje silové a zdvihové.

Stroje silové (obr. 2.35b), jejichž nejrepresentativnějším zástupcem je hydraulický lis, využívají zejména energie potenciální. Síla na beranu F_b je konstantní a její maximální velikost může být velmi vysoká. Pokud je třeba dosáhnout v dolní úvratí přesné polohy, tak je nutné zastavit pohyb beranu pomocí zarážek nebo uzavřením nástroje, kdy síla potřebná pro další deformaci je vyšší než jmenovitá síla stroje. Nezávislost velikosti síly na výšce h je zásadní výhodou těchto strojů, umožňující jejich použití například pro složité tažné operace. Rychlost pohybu beranu je libovolně říditelná, obecně však nízká.



Obr. 2.35 Schéma a diagramy síla dráha tvářecích strojů [18]



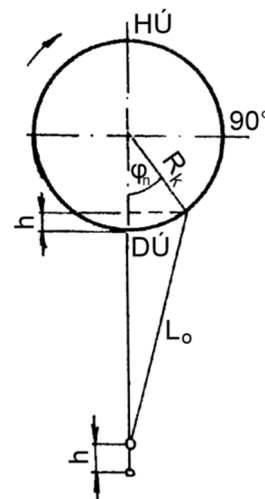
Obr. 2.36 Průběh síly a rychlosti beranu klikového lisu [34]

výstředníkového pouzdra na výstředníkovém čepu hřídele, čímž je zvýšena univerzálnost stroje. Tím se však mění silové poměry a také pracovní dráha stroje, na což je třeba brát zřetel.

V současnosti dochází k rozšiřování servohydraulických a servomechanických lisů, které spojují výhody mechanických a hydraulických lisů. Zásadní je možnost dosažení vysoké rychlosti beranu a zároveň i její regulace. To umožňuje pohyb beranu velmi vysokou rychlostí v neproduktivní fázi zdvihu a následné zpomalení dle potřeby při tvářecí operaci. Regulace rychlosti umožňuje provádění velmi složitých tvářecích operací. Lze ji ale použít například i pro snížení rázu při stříhu houževnatých materiálů o velké tloušťce, typicky austenitických korozivzdorných ocelí, a tím dosáhnout vyšší životnosti stroje i nástroje.

Volba konkrétního stroje probíhá primárně na základě velikosti tvářecích sil a tvářecí práce. Tyto dva parametry tvářecího procesu jsou zcela určující v otázce proveditelnosti navrženého tvářecího procesu na daném stroji. Potřebná síla a práce navrženého technologického postupu musí být nižší než dovolené parametry pro daný stroj, doporučuje se, aby nepřekročily jejich 0,8násobek. Překročí-li potřebná tvářecí síla jmenovitou sílu lisu, tak u hydraulického lisu dojde k zastavení pohybu beranu a u lisů klikových nebo excentrických k destrukci pojistky stroje. V případě překročení jmenovité práce stroje je pouze nutné omezit počet zdvihů, jinak by docházelo k přetěžování elektromotoru lisu. Snížení počtu zdvihů však zvyšuje nákladnost výroby. Z hlediska konstrukce nástroje jsou pak podstatné i některé další parametry stroje, zejména rozměrové, jako například velikost upínací plochy stolu a beranu, velikost propadu ve stolu, sevření lisu nebo rozměry upínací dutiny beranu.

Třetí skupinou jsou stroje zdvihové, které využívají obou druhů energie. Základním představitelem jsou klikové lisu. Velikost působící síly F_b závisí na výšce h a v dolní úvratí roste teoreticky do nekonečna a předpokládá se tedy v určitém finálním úseku zdvihu konstantní (obr. 2.36). Tato konstantní síla se nazývá silou jmenovitou a je jí dosaženo na tzv. pracovní dráze x_p . Velikost této dráhy je dána určitou hodnotou natočení klikového hřídele φ_n (obr. 2.37) a bývá typicky nejvýše $\varphi_n = 30^\circ$, což odpovídá 6,7 % výšky zdvihu lisu. K tváření lze využít maximálně jednu čtvrtinu otáčky klikového hřídele ($\varphi_n = 90 - 0^\circ$) a tvářecí síla nesmí překročit dostupnou sílu beranu F_b , viz diagram na obr. 2.35c. S ohledem na uvedené skutečnosti je možné použití klikových lisů pouze u technologií, kde není nutné využití síly na velké dráze, například pro zvolené stříhání a ohýbání. Specifickou variantou klikových lisů jsou lisu excentrické. Jejich konstrukce umožňuje přestavení výšky zdvihu natočením



Obr. 2.37 Schéma klikového lisu [34]

2.5 Maziva [2], [9], [19], [25], [38], [46]

Maziva jsou nedílnou součástí tvářecího procesu. Ovlivňují nejen odolnost nástrojů proti opotřebením, ale i stav povrchu tvářeného materiálu a silové a napjatostní poměry. U nepovlakovaných nástrojů je mazání nezbytné. Maziva je možné rozdělit do několika základních skupin: s vodou mísitelná, s vodou nemísitelná, pevná, folie a nátěry. Požadavků na vlastnosti maziv je velké množství, některé si dokonce do určité míry protirečí a jejich význam je pro různé aplikace jinak velký. Některé významné požadavky na maziva v oblasti technologie tváření jsou:

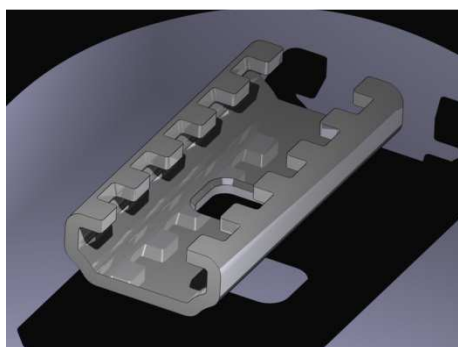
- Tvorba souvislého filmu, který je odolný tlaku a teplotě a který odděluje povrch nástroje od povrchu tvářeného materiálu.
- Dobrá smáčivost povrchu a vysoká přilnavost.
- Žádné nežádoucí fyzikální nebo chemické reakce s mazanými povrchy (např. vyvolání koroze, barevných změn).
- Zlepšení koeficientu tření.
- Vysoká schopnost odvodu tepla.
- Snadná odstranitelnost maziva z mazaných povrchů.
- Nezávadnost pro zdraví a životní prostředí (zejména s ohledem na obsah chloru).

V oblasti tváření se používají různé typy maziv. Minerální a syntetické oleje nacházejí uplatnění obzvláště v automatizovaných procesech a vedle mazání plní i funkci chlazení. V případě zvýšených nároků na vlastnosti oleje se přidávají různé typy aditiv, např. pevné mazivo MoS_2 při enormních nárocích na mazací funkci. Plastická maziva se sestávají z tekutého maziva či oleje s přísadkou zahušťující složky, kterou bývají kovová mýdla – soli mastných kyselin. Uplatnění nacházejí zejména v oblastech, kde jsou značné nároky na mazání a není možné časté doplňování maziva. Emulze nebo suspenze olejů, vosků, mýdel nebo pevných maziv ve vodě umožňují intenzivní chlazení a například pevné mazivo MoS_2 se nejčastěji nanáší právě ve formě suspenze. Pevná maziva se používají v případech, kdy není třeba intenzivní chlazení, ale zároveň je nutná vysoká únosnost maziva. Do této skupiny patří mimo sulfidu molybdeničitého i často používaný grafit. Ve specifických případech, kdy mazací film musí odolávat extrémním tlakům, se mazaný polotovár povrchově upravuje, aby vznikla nosná vrstva. Typickým případem je technologie protlačování, kdy se povrch polotovaru nejdříve fosfátuje, čímž vznikne porézní povrchová vrstva. Následně nanášené mazivo (obvykle kovové mýdlo) proniká do pórů a nemůže tak být strháváno pohybem nástroje pryč z povrchu.

V běžné praxi je snaha o uplatnění co nejmenšího možného počtu maziv v rámci daného výrobního provozu. Hlavním důvodem je snížení rizika mísení při změně typu maziva a tím nežádoucí změny jeho vlastností. Volba probíhá pomocí praktických zkoušek, protože katalogové hodnoty vlastností nedávají dostatečnou představu o chování maziva při reálném tvářecím procesu.

3 NÁVRH TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU A NÁSTROJE

Jezdec je dílem malých rozměrů a složitého tvaru, který je součástí aretačního mechanismu sloužícího k zafixování polohy okenního křídla v otevřeném stavu. Profil součásti má uzavřený C-tvar, který je při takto malých rozměrech obecně obtížně výrobitelný. Vysoké nároky jsou kladeny na přesnost drobného ozubení, které je zásadní pro funkci dílu, kterou je zajištění polohy vůči protikusu – ozubené liště. Součást bude vyráběna technologií stříhání a ohýbání v postupovém nástroji ze zastudena válcovaného plechu tloušťky 1,2 mm z oceli DC04, s ohledem na automatizaci výrobního procesu ve formě svitku. Součást bude po vyrobení opatřena povrchovou úpravou Arcor V7 zlepšující odolnost proti opotřebení a korozi a kluzné vlastnosti povrchu součásti.

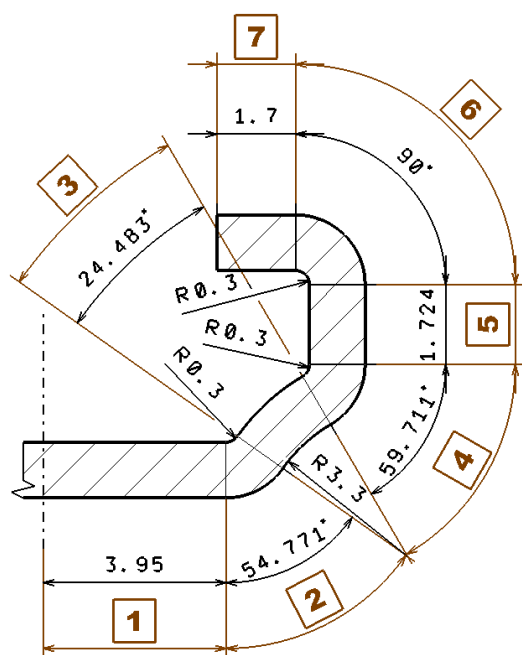


Obr. 3.1 Jezdec

Cílem je návrh postupového nástroje sloužícího k výrobě jezdců včetně příslušných výpočtů a kalkulace výrobních nákladů.

3.1 Nástřihový plán, výpočet sil a práce [46]

Návrh nástřihového plánu je prvním krokem při tvorbě nového nástroje a zároveň podává



Obr. 3.2 Rozměry jezdců nutné pro stanovení rozvinuté délky

názornou představu o sledu jednotlivých operací. Prvním nutným krokem při sestavování nástřihového plánu pro stříhané a zároveň ohýbané součásti je stanovení potřebné plochy vstupního materiálu – tzv. rozvinuté délky ohýbané součásti. Její znalost je zásadní pro zvážení možnosti uspořádání součástí na pásu plechu a ke stanovení nezbytné šířky pásu a délky kroku.

V případě jezdců jsou všechny osy ohybu rovnoběžné, délka součásti je tedy jednoznačně dána. Druhý rozměr rozvinuté součásti se stanoví pomocí výpočtu popsaného v kap. 2.2.2. Číselné rozlišení jednotlivých segmentů ohnutého profilu součásti a jejich rozměry nutné pro stanovení rozvinuté délky jsou na obr. 3.2. Délky nezakřivených segmentů 1, 5 a 7 jsou rovny původní délce.

$$l_1 = 3,95 \text{ mm}$$

$$l_5 = 1,724 \text{ mm}$$

$$l_7 = 1,7 \text{ mm}$$

Pro stanovení délky ohnutých částí profilu je nutné znát poloměry ohybu, úhly oblouků a koeficienty změny polohy plochy nulového prodloužení stanovené dle vztahu 2.20:

$$x_2 \approx 0,5 \cdot 1,02^{-54,771} + \left[0,25 + 0,13 \log \frac{12 \cdot 0,3}{1,2} - \frac{0,3}{300 \cdot 1,2} \right] \cdot (1 - 1,02^{-54,771}) = 0,375$$

$$x_3 \approx 0,5 \cdot 1,02^{-24,483} + \left[0,25 + 0,13 \log \frac{12 \cdot 3,3}{1,2} - \frac{3,3}{300 \cdot 1,2} \right] \cdot (1 - 1,02^{-24,483}) = 0,476$$

$$x_4 \approx 0,5 \cdot 1,02^{-59,711} + \left[0,25 + 0,13 \log \frac{12 \cdot 0,3}{1,2} - \frac{0,3}{300 \cdot 1,2} \right] \cdot (1 - 1,02^{-59,711}) =$$

$$= 0,369$$

$$x_6 \approx 0,5 \cdot 1,02^{-90} + \left[0,25 + 0,13 \log \frac{12 \cdot 0,3}{1,2} - \frac{0,3}{300 \cdot 1,2} \right] \cdot (1 - 1,02^{-90}) = 0,343$$

Rozvinutá délka je pak dle vztahu 2.21 (s ohledem na symetrii stanovena pro polovinu):

$$\frac{L'}{2} = 3,95 + (0,3 + 0,375 \cdot 1,2) \frac{\pi \cdot 54,771}{180} + (3,3 + 0,476 \cdot 1,2) \frac{\pi \cdot 24,483}{180} +$$

$$+ (0,3 + 0,369 \cdot 1,2) \frac{\pi \cdot 59,711}{180} + 1,724 + (0,3 + 0,343 \cdot 1,2) \frac{\pi \cdot 90}{180} + 1,7 =$$

$$= 11,637 \text{ mm}$$

Celková rozvinutá délka je pak rovna dvojnásobku:

$$L' = 2 \frac{L'}{2} = 23,274 \text{ mm} \quad (3.1)$$

Vzhledem k tomu, že výpočet je přibližný, je možné výslednou hodnotu zaokrouhlit. V případě nedodržení výrobních tolerancí součásti v důsledku nevhodného zaokrouhlení může být nutné provést úpravy nástroje. Tomu by se dalo vyhnout zřejmě pouze pomocí simulace metodou konečných prvků. Zvolená délka polotovaru na základě výsledku výpočtu (3.1) je:

$$L = 23,4 \text{ mm}$$

Výsledný rozvinutý tvar jezdce lze tedy přibližně považovat za obdélník o stranách 23,4 mm a 29,6 mm, viz příloha č. 1. O způsobu uspořádání součástí na pás plechu nerozhoduje jen výsledná míra využití materiálu, ale v případě velmi malých poloměrů ohybu, kterých je na jezdcích několik, i směr os ohybů vůči směru válcování použitého materiálu. Je tedy nutné určit minimální poloměr ohybu (2.25) pro daný materiál a z jeho velikosti vyvodit příslušné závěry. Místo poměrného prodloužení krajních vláken v tahové oblasti je možné pro orientační výpočet použít hodnoty tažnosti (tab. 1.1):

$$R_{1min} = \frac{1,2}{2} \left(\frac{1}{0,38} - 1 \right) = 0,979 \text{ mm} \quad (3.2)$$

Poněkud nižší hodnotu pak podává empirický vztah (2.26) s koeficientem $c_r = 0,5$.

$$R_{1min} = c_r \cdot s = 0,5 \cdot 1,2 = 0,6 \text{ mm} \quad (3.3)$$

Rozdíl těchto hodnot je zřejmě způsoben uvažováním množství idealizací při odvozování prvního ze vztahů. Důvěryhodněji tak vzhledem k častému použití v praxi působí druhá hodnota. Navíc s ohledem na to, že použitá hodnota koeficientu c_r byla stanovena pro materiál s nižší tažností, lze předpokládat, že minimální poloměr by mohl být reálně menší. To však nic nemění na skutečnosti, že je nutné součásti na pás uspořádat s osami ohybů kolmo na směr válcování a požadované poloměry ohybu o velikosti 0,3 mm, což je méně než stanovené hodnoty minimální, razit. Tímto je pevně dáno uspořádání na pásu a nelze zvažovat uspořádání jiná a srovnávat využití materiálu.

Literatura (např. [46]) pro výstřižky stanovených rozměrů uvádí velikost můstků i šířku okraje pásu plechu:

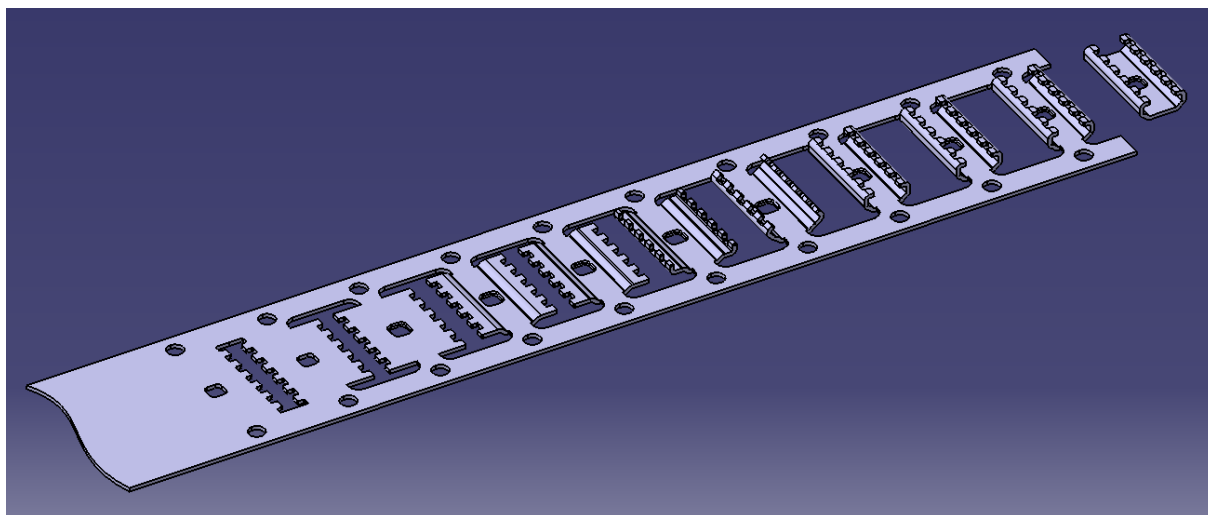
$$e = f = 1,4 \text{ mm}$$

Minimální šířka pásu dle 2.39 a délka kroku (2.40) jsou pak:

$$B = \check{s}_v + 2f + g = 29,6 + 2 \cdot 1,4 + 0 = 32,4 \text{ mm} \quad (3.4)$$

$$K = l_v + e = L + e = 23,4 + 1,4 = 24,8 \text{ mm} \quad (3.5)$$

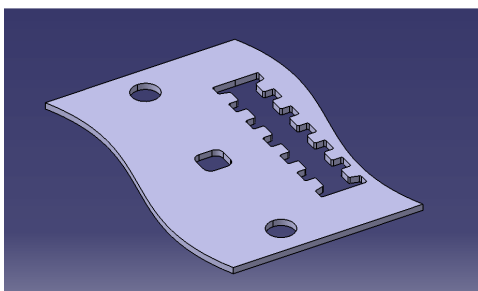
Použití víceřadého nástřihového plánu nepřipadá kvůli složitosti součástí, požadované přesnosti a předpokládané sériovosti v úvahu.



Obr. 3.3 Kompletní nástřihový plán

Konečná podoba celého navrženého nástřihového plánu je na obrázku 3.3. Následující popis jeho návrhu je logicky rozdělen do jednotlivých kroků odpovídajících budoucímu nástroji. Toto rozdělení bylo použito také při samotném návrhu. V obr. 3.3 je možné jednotlivé kroky snadno rozlišit pomocí dvojic kruhových otvorů pro hledáčky, které jsou umístěny na středu jednotlivých kroků. Pro zlepšení přehlednosti je připojen i výpočet jednotlivých sil a prací pro operace prováděné v příslušných krocích a na závěr i související stanovení polohy působíště sil.

- Krok č. 1 – V současné době je zřejmá tendence vyhýbat se bočním ostříhovačům, zejména kvůli úspoře materiálu. Pro ustavení přesné polohy plechu se tedy převážně využívá hledáčky. Otvory pro hledáčky (nepřímé i přímé) je třeba stříhat pokud možno co nejdříve, nejlépe ihned v prvním kroku. Kvůli riziku poškození není možné využít otvoru pro tvarový čep pro přímé hledáčky a vzhledem k zvolenému příčnému uspořádání výstřížků na pásu, není ani možné vytvořit středový můstek mezi díly, kde by mohl být umístěn hledáček nepřímý. S ohledem na symetrii sil je tedy nutné použít dva nepřímé hledáčky, které budou umístěny v okrajích pásu, který musí být patřičně zvětšen.



Obr. 3.4 Krok č. 1

Výhodou tohoto řešení je zvýšení přesnosti ustavení pásu v jednotlivých operacích.

Otvor pro tvarový čep má dostatečnou vzdálenost od takto zvolených otvorů pro hledáčky a je tedy možné jej také stříhat v prvním kroku. Stejně tak je možné stříhat i ozubení. To lze díky příčnému uspořádání dílů provést oboustranně pomocí jednoho střížníku, stříhání druhého ozubení však umístěním spadá již do druhého kroku. Je výhodnější, aby střížník měl co nejjednodušší tvar, aby se snížilo riziko jeho poškození. Proto je lepší nestříhat celou konturu najednou, ale provést ostřížení boků součásti až v některém z dalších kroků. Přitom je zapotřebí ostřížení provést tak, aby byla součást nesena pásem pomocí nosných můstků i do dalších operací. Příčně umístěný tvarový střížník vyžaduje zvětšení kroku. Vzhledem k uvedeným změnám a nutnosti zachování určité šířky můstků mezi jednotlivými otvory a okrajem pásu je třeba zvětšit krok a šířku pásu oproti vypočteným minimálním hodnotám (3.4) a (3.5). Zvolené hodnoty jsou:

$$B = 54 \text{ mm} \quad (3.6)$$

$$K = 28 \text{ mm} \quad (3.7)$$

Maximální velikosti střížných sil se stanoví vztahem (2.4). Pro volbu stroje jsou stěžejní pouze maximální hodnoty sil, proto se běžně označují pouze jako střížné nebo ohýbací, protože nehrozí záměna. Při výpočtu je vhodné uvažovat maximální možné hodnoty mechanických vlastností materiálu (tab. 1.1).

Střížná síla pro vystřížení otvoru pro tvarový čep:

$$F_{S1,1} = n \cdot S_s \cdot \tau_s = 1,3 \cdot 1,2 \cdot (2\pi 1,3 + 4 \cdot 2,4) \cdot 0,8 \cdot 350 = 7\,761,1\,N \quad (3.8)$$

Střížná síla pro vystřížení otvoru pro hledáček (průměr hledáčku zvolen 5 mm):

$$F_{S1,2} = 1,3 \cdot 1,2 \cdot (2\pi 2,5) \cdot 0,8 \cdot 350 = 6\,861,2\,N \quad (3.9)$$

Střížná síla pro stříhání obou ozubení (délka obvodu stanovena pomocí CAD):

$$F_{S1,3} = 1,3 \cdot 1,2 \cdot 124,256 \cdot 0,8 \cdot 350 = 54\,275,0\,N \quad (3.10)$$

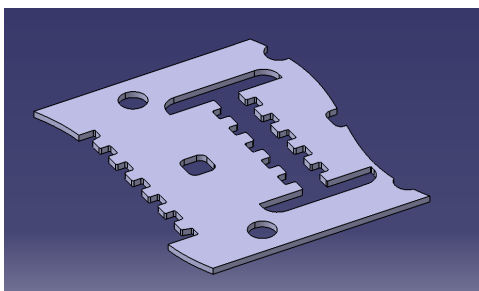
Celková střížná síla v prvním kroku je součtem jednotlivých sil:

$$F_{C1} = F_{S1,1} + 2F_{S1,2} + F_{S1,3} = 75\,758,5\,N \quad (3.11)$$

Potřebná střížná práce se pak stanoví pomocí vztahu 2.5. [46] uvádí pro stříhání hodnotu součinitele $\lambda = 0,6$:

$$W_1 = \lambda \cdot F_{C1} \cdot s = 0,6 \cdot 75\,758,5 \cdot 1,2 = 54,55\,J \quad (3.12)$$

- Krok č. 2 – Aby bylo možné ohýbat ramena součásti, je zapotřebí ostříhnout část zbytku kontury (alespoň mimo úseku o šířce 7,9 mm, který zůstává rovný). Ponechaná neostřížená část pak bude plnit funkci nosného můstku, který umožňuje unášení součásti společně s pásem plechu. Vnější okraj stříhaného otvoru je vhodné zaoblit, aby bylo možné zanořit otvory pro hledáčky více ke středu pásu při zachování dostatečné zbývající šířky plechu a tím dosáhnout zlepšení využití materiálu, viz obr. 3.5. Vzhledem k uspořádání spadá polovina stříhu umístěním do třetího kroku.



Obr. 3.5 Krok č. 2

Šířka nosného můstku byla zvolena 6,5 mm. Střížná síla pro stříhání obou ostřížení je pak (délka obvodu byla stanovena pomocí CAD):

$$F_{S2,1} = n \cdot S_s \cdot \tau_s = 1,3 \cdot (1,2 \cdot 43,523) \cdot (0,8 \cdot 350) = 19\,010,8\,N$$

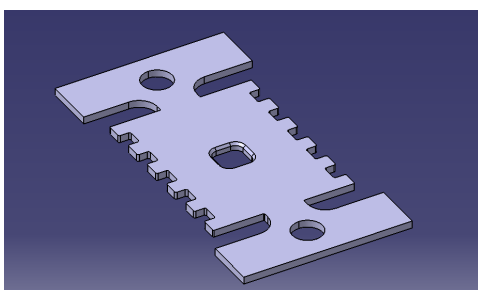
Celková střížná síla je pak dvojnásobkem (dva zrcadlově uspořádané střížníky):

$$F_{C2} = 2 \cdot F_{S2,1} = 38\,021,6\,N \quad (3.13)$$

A střížná práce ve druhém kroku:

$$W_2 = \lambda \cdot F_{C2} \cdot s = 0,6 \cdot 38\,021,6 \cdot 1,2 = 27,38\,J \quad (3.14)$$

- Krok č. 3 – Do tohoto kroku, jak již bylo uvedeno výše, spadá i část ostřížení kontury, viz obr. 3.6, není tak ještě možné začít s ohýbáním. Proto lze v tomto kroku provést pouze ražení sražení hrany otvoru pro tvarový čep. To by sice bylo možné již v kroku předchozím, je však vhodné tuto pozici ponechat volnou pro případ potřeby přidání dalšího střížníku nebo úprav při odladování nástroje. S ohledem na zamýšlenou funkci tohoto sražení není zapotřebí dbát na jeho přílišnou výslednou přesnost.



Obr. 3.6 Krok č. 3

V rámci operace ražení, která není při stříhání a ohýbání plechu příliš obvyklá, je možné rozlišit dva případy – gravírování, kdy dochází k vytváření mělkých reliéfů a ražení objemové, kdy dochází k přesunům většího množství materiálu. V tomto případě nelze jednoznačně rozhodnout, o který z těchto případů se jedná. S ohledem na skutečnost, že je třeba stanovit

mezni hodnoty sil, je vhodnější předpokládat, že se jedná o objemové ražení, při kterém jsou silové nároky výrazně vyšší. Vztah pro stanovení síly dle [46] je:

$$F_R = k_w \cdot A \quad (3.15)$$

kde: k_w – empirický koeficient dle materiálu a typu ražení, pro ocel a objemové ražení nabývá hodnoty $k_w = 1\,200 - 1\,500\text{ MPa}$

A – průmět ražené plochy kolmo na osu razníku

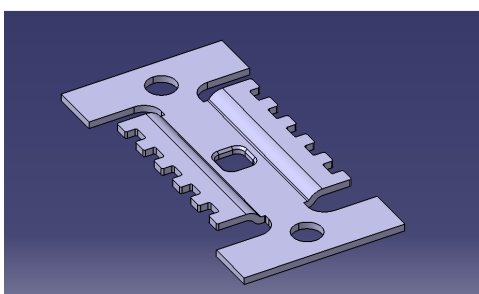
Pro daný případ je razná síla, která je i celkovou silou ve třetím kroku:

$$F_{C3} = F_{R3} = 1\,400[(\pi 1,7^2 + 9,2 \cdot 4) - (\pi 1,3^2 + 2,4 \cdot 7,6)] = 10\,653,9\text{ N} \quad (3.16)$$

Vztah pro stanovení přetvárné práce je obdobný, pouze koeficient $\lambda = 0,5$ a dráha razníku z principu nemůže být rovna tloušťce plechu. V tomto případě bude rovna hloubce sražení, která je 0,4 mm:

$$W_3 = \lambda \cdot F_{C3} \cdot h = 0,5 \cdot 10\,653,9 \cdot 0,4 = 2,13\text{ J} \quad (3.17)$$

- Krok č. 4 – V blízkosti čtvrtého kroku již nejsou žádné střížníky, které by znemožňovaly ohyb. Vzhledem ke komplikovanému tvaru jezdce je zapotřebí rozložit ohýbání jeho ramen do několika kroků. Bude tedy provedeno ohýbání spodního ohybu o poloměru 0,3 mm, který vyžaduje ražení, a zároveň ohybu navazujícího. Ten kvůli zjednodušení konstrukce nástroje a zjednodušení následujících operací bude proveden o větší úhel, aby konec ramena byl v horizontální poloze.



Obr. 3.7 Krok č. 4

V dalších krocích bude tento rádius ohýbání do protisměru a dojde ke zvětšení jeho poloměru ohybu v důsledku narovnávání, proto je třeba v této operaci volit poloměr menší. Konkrétně byl zvolen o velikosti 1,6 mm. Aby nedošlo k prohýbání „dna“ součásti, je vhodné použití spodního odpruženého přidržovače. Pokud by došlo k deformaci otvoru pro tvarový čep v důsledku sousedícího ohybu v míře, která by byla na závadu jeho funkci, bude v rámci ladění nástroje zřejmě nutné přidat další razník, který danou oblast bude přidržovat.

Odpružení lze očekávat vzhledem k esovitému tvaru ohybu minimální, pozitivní vliv má i použitý materiál, protože u oceli DC04 je navíc odpružení velmi malé, viz příloha č. 12. Případná odchylka ramene jezdce od horizontální polohy bude samovolně odstraněna v dalších krocích.

Potřebná ohýbací síla v tomto kroku je dle vztahu 2.27:

$$F_{o4} = (0,2 - 0,22) \cdot s \cdot l_o \cdot R_m = 0,22 \cdot 1,2 \cdot (4 \cdot 29,6) \cdot 350 = 10\,940,2\text{ N}$$

Síla přidržovače je pak dle vztahu 2.28:

$$F_{p4} \cong 0,3F_{o4} = 0,3 \cdot 10\,940,2 = 3\,282,1\text{ N}$$

Ražení poloměru 0,3 mm se dosáhne zvětšením poloměru v ohybnici z 1,5 mm, což by odpovídalo vnitřnímu poloměru zvětšenému o tloušťku plechu, na 1,7 mm. Šířka ražené oblasti potřebná pro výpočet razné síly dle vztahu 2.31 je pak (úhel ohybu byl stanoven pomocí CAD modelu):

$$p = R_2' \sin \alpha = 1,7 \cdot \sin 54,025^\circ = 1,376\text{ mm}$$

Síla pro ražení je:

$$F_{r4} = p \cdot l_r \cdot R_{p0,2} \cdot K_r = 1,376 \cdot (2 \cdot 29,6) \cdot 210 \cdot 3,5 = 59\,872,5\text{ N}$$

Vzhledem k tomu, že ohýbací síla v konečné fázi zdvihu klesá, bude celková síla reálně poněkud nižší, než pouhý součet maximálních sil. Bližší přiblížení však není bez simulací nebo experimentů možné:

$$F_{C4} = F_{o4} + F_{p4} + F_{r4} = 74\,094,8\text{ N} \quad (3.18)$$

V tomto případě je potřeba rozdělit potřebnou přetvárnou práci na dvě složky – na práci pro ohyb s přidržovačem dle 2.34 (dráha ohybníku h_o byla zvolena podle předpokládané geometrie funkčních částí nástroje):

$$W_{o4} = \left(\frac{2}{3} F_o + F_p \right) h_o = \left(\frac{2}{3} 10\,940,2 + 14\,222,3 \right) 1,3 = 27,97 J$$

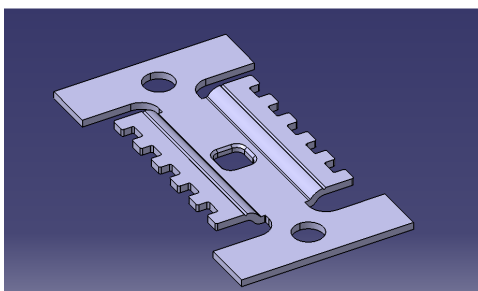
a pro ražení (dráha razníku $h_r = R_2' - R_2$):

$$W_{r4} = \lambda \cdot F_{r4} \cdot h_r = 0,5 \cdot 59\,872,5 \cdot (1,7 - 1,5) = 5,99 J$$

Celková práce je součtem obou těchto složek:

$$W_4 = W_{o4} + W_{r4} = 33,96 J \quad (3.19)$$

➤ Krok č. 5 – Třetí navazující ohyb (obr. 3.2 úsek 4) představuje jistou komplikaci.



Obr. 3.8 Krok č. 5

Postupným vytvářením tohoto poloměru dojde k uzavírání součásti. Nejdříve je však zapotřebí ohnout ozubení, aby byla geometrie ohybu ozubení jednoznačně definována funkčními elementy nástroje. Ohýbání ozubení až nakonec by také mohlo vést k nekontrolovatelnému hroucení součásti působením ohybníku. Použití vnitřního kalibračního trnu není v tomto případě příliš vhodné, protože lze předpokládat, že by docházelo k jeho sevření uzavíranou součástí a vzhledem ke štíhlosti trnu

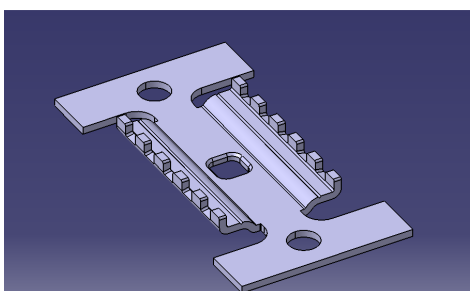
pravděpodobně i k odlomení. Z těchto důvodů je zapotřebí provádět třetí navazující ohyb až jako poslední, ale vzhledem k uzavřenému tvaru součásti jej není ve finální fázi možné kalibrovat ani razit. Proto zde lze s výhodou použít netradiční postup, který je v současnosti ve firmě TOKOZ zaváděn při výrobě jiné součásti. Jedná se o vytvoření naseknutí plechu (tvářeného V-vrubu), které pak jednoznačně definuje polohu a úhel ohybu a zároveň prakticky eliminuje odpružení. Toto naseknutí je vhodné vytvářet vzhledem k přesunům materiálu již do plochého polotovaru, v tomto případě by však ohyb ve čtvrtém kroku mohl vést k jeho nepřijatelnému nedefinovanému rozevírání, a proto je zařazeno až v kroku pátém. Přidržovač (vyhazovač) není v tomto případě kvůli nízké hloubce výlisku nutný, přizvednutí zajistí odpružené vedení pásu.

Principiálně se jedná o ražení, tentokrát na rozdíl od ražení sražení otvoru pro tvarový čep spíše o gravírování. Geometrie vrubu byla na základě zkušeností zvolena o hloubce $h_v = 0,3 mm$ a vrcholovém úhlu 80° , ten je sice větší než předpokládaný úhel ohybu (cca 60°), to však umožňuje snadné zbroušení při ladění nástroje. Pro výpočet razné síly při gravírování uvádí [46] hodnotu koeficientu $k_w = 300 - 400 MPa$:

$$F_{C5} = F_{R5} = k_w \cdot A = 350(2 \cdot 29,6 \cdot 2 \cdot 0,3 \cdot tg40^\circ) = 10\,431,7 N \quad (3.20)$$

$$W_5 = \lambda \cdot F_{C5} \cdot h_v = 0,5 \cdot 10\,431,7 \cdot 0,3 = 1,56 J \quad (3.21)$$

➤ Krok č. 6 – V šestém kroku je proveden již zmiňovaný ohyb ozubení. Vzhledem



Obr. 3.9 Krok č. 6

k předepsanému poloměru ohybu $0,3 mm$ je opět nutné ražení a kvůli hloubce ohybnice i použití vyhazovače. Postup výpočtu sil a prací včetně uvedených závěrů a předpokladů je shodný se čtvrtým krokem.

$$F_{o6} = (0,2 - 0,22) \cdot s \cdot l_o \cdot R_m = 0,22 \cdot 1,2 \cdot (2 \cdot 29,6) \cdot 350 = 5\,470,1 N$$

$$\begin{aligned}
F_{p6} &\cong 0,3F_{o6} = 0,3 \cdot 5\,470,1 = 1\,641,0 \text{ N} \\
p &= R_2' \sin \alpha = 1,7 \cdot \sin 90^\circ = 1,7 \text{ mm} \\
F_{r6} &= p \cdot l_r \cdot R_{p0,2} \cdot K_r = 1,7 \cdot (2 \cdot 29,6) \cdot 210 \cdot 3,5 = 73\,970,4 \text{ N} \\
F_{C6} &= F_{o6} + F_{p6} + F_{r6} = 81\,081,5 \text{ N}
\end{aligned} \tag{3.22}$$

Dráha ohybníku h_o pro výpočet ohýbací práce byla opět zvolena podle předpokládané geometrie funkčních částí nástroje:

$$W_{o6} = \left(\frac{2}{3} F_o + F_p \right) h_o = \left(\frac{2}{3} 5\,470,1 + 1\,641,0 \right) 5,59 = 29,56 \text{ J}$$

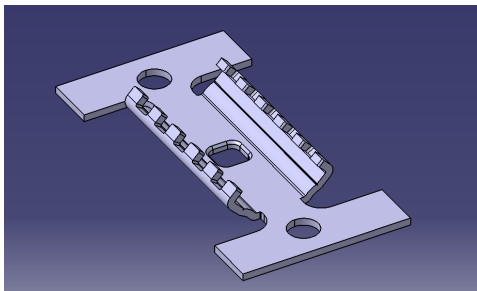
Práce nutná pro ražení (dráha razníku $h_r = R_2' - R_2$):

$$W_{r6} = \lambda \cdot F_{r6} \cdot h_r = 0,5 \cdot 73\,970,4 \cdot (1,7 - 1,5) = 7,40 \text{ J}$$

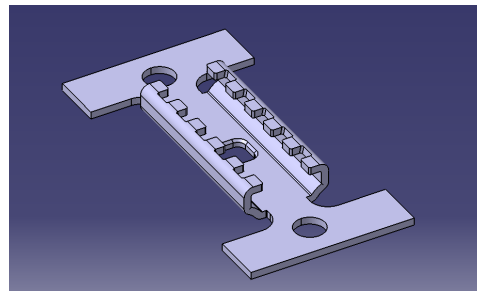
Celková práce je jejich součtem:

$$W_6 = W_{o6} + W_{r6} = 36,96 \text{ J} \tag{3.23}$$

- Krok č. 7 – V sedmém kroku je částečně ohýbán třetí navazující ohyb s naseknutím a tedy i částečně uzavřen C-tvar součásti. Teoreticky by bylo možné provést celý ohyb v jednom kroku, rozdělení však umožňuje delší přidržování již hotových částí dílu, z nichž některé jsou ve finální fázi ohybu nepřístupné kvůli ozubení. Zmenší se tak riziko vzniku odchylek od požadovaného tvaru. Vzhledem k hloubce ohybnice je třeba použít přidržovač.



Obr. 3.10 Krok č. 7



Obr. 3.11 Krok č. 8

Výpočet příslušných sil je shodný s předchozími kroky. Ohyb sice neproběhne o 90° , ale maximální síly bude dosaženo, protože ta nastává v momentu, kdy ohýbaná ramena svírají úhel cca 120° .

$$\begin{aligned}
F_{o7} &= (0,2 - 0,22) \cdot s \cdot l_o \cdot R_m = 0,22 \cdot 1,2 \cdot (2 \cdot 29,6) \cdot 350 = 5\,470,1 \text{ N} \\
F_{p7} &\cong 0,3F_{o7} = 0,3 \cdot 5\,470,1 = 1\,641,0 \text{ N} \\
F_{C7} &= F_{o7} + F_{p7} = 7\,111,1 \text{ N}
\end{aligned} \tag{3.24}$$

$$W_7 = W_{o7} = \left(\frac{2}{3} F_o + F_p \right) h_o = \left(\frac{2}{3} 5\,470,1 + 1\,641,0 \right) 2,92 = 15,44 \text{ J} \tag{3.25}$$

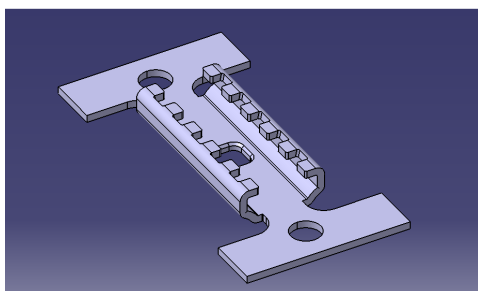
- Krok č. 8 – V osmém kroku je dokončen ohyb a tedy i uzavření součásti. Opět je třeba použít přidržovače. Výpočet sil je totožný, jako u předchozího kroku. Je však nutno podotknout, že v této fázi ohybu se síla nachází již ve fázi poklesu a reálně tedy bude nižší než síla vypočtená.

$$\begin{aligned}
F_{o8} &= 0,22 \cdot 1,2 \cdot (2 \cdot 29,6) \cdot 350 = 5\,470,1 \text{ N} \\
F_{p8} &\cong 0,3F_{o8} = 0,3 \cdot 5\,470,1 = 1\,641,0 \text{ N} \\
F_{C8} &= F_{o8} + F_{p8} = 7\,111,1 \text{ N}
\end{aligned} \tag{3.26}$$

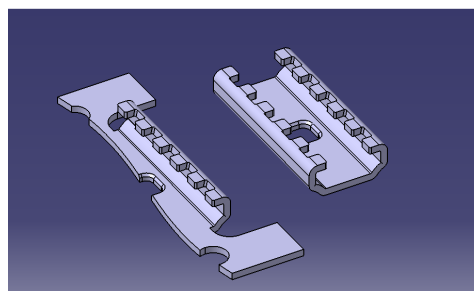
$$W_8 = W_{o8} = \left(\frac{2}{3} F_o + F_p \right) h_o = \left(\frac{2}{3} 5\,470,1 + 1\,641,0 \right) 3,85 = 20,36 \text{ J} \tag{3.27}$$

- Kroky č. 9 a 10 – Tyto dva kroky jsou navrženy jako „volné“. V případě devátého se jedná o opatření pro případ potřeby vřazení dalšího kroku do již hotového nástroje. Tím se sice mírně zvýší cena nástroje, ale pokud by bylo tohoto kroku zapotřebí a nebyl k dispozici,

tak by mohlo být nutné dokonce vyrobit nástroj nový. Vzhledem ke složitosti součásti je riziko výskytu nepředvídatelných okolností nemalé, takže toto opatření má určitě význam.



Obr. 3.12 – Kroky č. 9 a 10



Obr. 3.13 Krok č. 11

Krok desátý zůstává volný, protože v jedenáctém kroku dojde k rozstřížení okrajů pásu a odstřížení součásti. Relativně rozměrné střížníky, kterých je pro tuto operaci zapotřebí, omezují prostor, který je k dispozici v předchozím kroku. Aby bylo zajištěno, že devátý volný krok bude v případě potřeby moci plnit svůj účel bez omezení, je nutné vřazení tohoto volného „technologického“ kroku.

- Krok č. 11 – Jak již bylo zmíněno, v tomto kroku dochází k oddělení součásti od okrajů pásu, které jsou zároveň pro zlepšení transportovatelnosti rozstříhovány (na části délky kroku).

Střížná síla (délka obvodu je rovna šířce okraje pásu a šířce nosného můstku):

$$F_{S11} = n \cdot S_s \cdot \tau_s = 1,3 \cdot 1,2 \cdot (8,2 + 6,7) \cdot 0,8 \cdot 350 = 6\,508,3 \text{ N}$$

Celková střížná síla je pak dvojnásobkem (dva zrcadlově uspořádané střížníky):

$$F_{C11} = 2 \cdot F_{S11} = 13\,016,6 \text{ N} \quad (3.28)$$

$$W_{11} = \lambda \cdot F_{C11} \cdot s = 0,6 \cdot 13\,016,6 \cdot 1,2 = 9,37 \text{ J} \quad (3.29)$$

3.2 Volba stroje

Volba stroje probíhá zejména na základě potřebné tvářecí síly. Je-li totiž tato síla vyšší než jmenovitá síla stroje, není možné navržený výrobní proces provést. Vzhledem k faktu, že výpočet síly je relativně nepřesný, je třeba, aby potřebná síla nepřekročila 0,8násobek síly jmenovité. V případě operací, které vyžadují silové působení stroje na delší dráze (např. hluboké tažení), je nutné tuto skutečnost při výběru stroje zohlednit, viz kapitola 2.4.

Velikost celkové síly nutné pro realizaci navrženého postupu výroby se stanoví prostým součtem celkových sil v jednotlivých krocích:

$$F_c = \sum_{i=1}^{11} F_{ci} = 317\,280,8 \text{ N} \quad (3.30)$$

Firma TOKOZ a.s. disponuje velkým množstvím excentrických lisů. Parametry vybraných strojů jsou obsahem přílohy č. 14. Z hlediska stanovené velikosti tvářecí síly je možné použít lis o jmenovité síle 630 kN. Je však nutné brát v potaz, že výsledný nástroj bude vybaven i množstvím odpružených elementů, které nemohly být součástí výpočtu a zvyšují silové nároky na stroj. Aby bylo minimalizováno riziko přetížení stroje, je vhodnější zvolit stroj výkonnější, se jmenovitou silou 1000 kN. Firma TOKOZ vlastní čtyři odpovídající stroje s podobnými parametry i obdobným příslušenstvím, konkrétně dva lisy LEXN 100 C, jeden LEXN 100 P a jeden LEXN 100. Tato volba zároveň v důsledku potenciální zaměnitelnosti strojů nabízí minimalizaci rizika zastavení výroby v případě poruchy stroje.



Obr. 3.15a Lis LEXN 100 P



Obr. 3.15b Lis Kaiser KSTU 1600

Další možnost představuje použití lisu Kaiser KSTU 1600 modernější konstrukce. Ačkoliv je tento stroj z hlediska jmenovité síly (1600 kN) pro navržený výrobní postup až zbytečně výkonný, má množství výhod, kterými lze jeho volbu odůvodnit. Vzhledem k odlišné konstrukci stojanu má vyšší tuhost a nabízí tak i potenciálně lepší přesnost výroby. Umožňuje vyšší počet zdvihů za minutu, viz tab. 3.1 nebo příloha č. 14. Dále také umožňuje ukládání parametrů nastavení výrobního procesu. Díky tomu lze snížit počet neshodných výrobků při seřizování nástroje a zkrátit

dobu seřízení, která zejména u menších výrobních dávek má významný vliv na výslednou cenu výrobku.

Tab. 3.1 Vybrané parametry předběžně zvolených strojů

Stroj		LEXN 100 C	LEXN 100 C	LEXN 100 P	LEXN 100	Kaiser KSTU 1600
Jmenovitá síla	[kN]	1000	1000	1000	1000	1600
Max. počet zdvihů	[min ⁻¹]	75	75	75	75	150
Velikost zdvihu	[mm]	10 - 125	10 - 125	10 - 125	10 - 125	50 - 150
Sevřená výška	[mm]	380	380	380	380	450

Vzhledem k dostatečné podobnosti parametrů všech strojů je možné navrhnout nástroj tak, aby jej bylo možné použít na libovolném z nich. Konečná volba stroje pak proběhne na základě cenových kalkulací výrobních nákladů.

3.3 Nástroj

Před započítáním samotné konstrukční práce na nástroji, je třeba alespoň orientačně rozhodnout o podobě a řešení některých částí nástroje.



Obr. 3.16 Nástroj s odpruženou vodicí deskou

Vzhledem k vysoké požadované přesnosti vyráběné součásti musí být nástroj vybaven sloupkovým vedením, nejlépe kuličkovým, a zároveň i vodicí deskou. Vodicí deska bude z důvodu lepší přístupnosti funkčních částí nástroje řešena jako odpružená, při rozdělení horní a dolní části nástroje (tzv. „roztržení“) pak není desku zapotřebí demontovat. Pokud odpružená vodicí deska v dolní fázi zdvihu dosedá na materiál, působí jako přidržovač, což příznivě ovlivňuje

kvalitu stříhu. Dle zavedených zvyklostí se tato deska řeší jako desky dvě – samotná vodicí deska, ve které jsou zejména umístěna vodicí pouzdra vedení a tzv. deska stírací, která má stejné rozměry jako střížnice a umožňuje zvětšit vedenou délku tvárníků.

Spadá sem také rozhodnutí, které díly budou pořízeny normalizované, případně které mohou být levně z normalizovaných dílů vyrobeny. V tomto případě budou jako normálie použity: vodicí sloupky včetně kuličkových klecí a vodicích pouzder, spojovací materiál (šrouby, kolíky, apod.), šrouby pro vymezení zdvihu, pružiny, jednoduché střížníky a razníky, upínací stopka, případně i výškové dorazy. Jako jakýsi etalon kvality v oblasti normálií platí

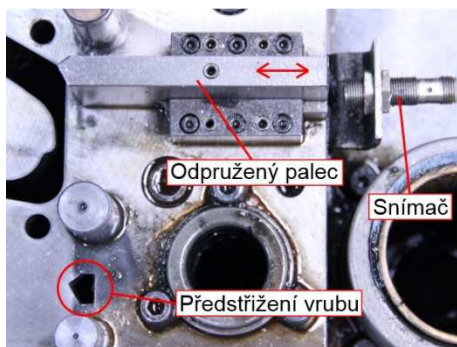
renomovaná německá firma Fibro, často je však možné použití rozměrově shodných ekvivalentů jiných výrobců. Nejobvyklejšími dodavateli nástrojových normálií firmy TOKOZ jsou místní firmy CECHO (zastupující polského výrobce FCPK Bytów) a Eichler Company.



Obr. 3.17 Podložné lišty

Základové desky menších nástrojů se ze spodní strany dlouhodobě vybavují vybráním pro podložné lišty, které umožňují osazení nástroje i na lisy s větším propadovým otvorem a zároveň regulovat výšku nástroje. Velikost propadu ve stole lisu tak nadále nepředstavuje podstatný parametr.

Nástroj bude nutné po vyrobení postupně odladit, aby byly kompenzovány nepředpokládané nebo neuvažované vlivy. To reálně hrozí zejména v oblasti ohýbání, bude tedy vhodné ohýbací úseky nástroje řešit formou vyměnitelných segmentů, pro případ nutnosti změn, kterých nelze dosáhnout pouhou úpravou navržené funkční geometrie. Ideální by bylo, pokud by jednotlivé segmenty byly vzájemně zaměnitelné, aby bylo možné kamkoliv vřadit další krok, přičemž budou následující segmenty posunuty a dojde k využití volného kroku. To ovšem znamená, že vodící deska (spolu se stírací) nemohou být v této sekci řešeny klasickým způsobem, kdy jsou pouze vybaveny otvory odpovídajícími tvarům jednotlivých tvárníků. Zajímavou možnost představuje umístění ohýbacích segmentů přímo na pohyblivou skupinu vodící desky. To vyžaduje vymezení polohy vodící desky při dolní úvrati a zároveň je nutné zajistit přenos sil a dostatečnou tuhost desky. Toho lze dosáhnout zvýšením kotevní desky nebo vložením distanční desky v místě ohybníků, kde pak bude dosedat vodící deska, která musí zůstat odpružená, aby plnila stírací funkci ve střížných částech nástroje.



Obr. 3.18 Boční jištění

Dále je zapotřebí zajistit jištění nástroje - kontrolu, zda došlo k řádnému podání pásu do požadované polohy. To se nejčastěji provádí pomocí indukčních snímačů, které při sepnutí umožní spuštění stroje v daném zdvihu. Existuje vícero provedení, například pomocí odpruženého palce, který je zatlačován do předstříženého vrubu v okraji plechu, který však zeslabuje nosný průřez pásu a často je tak nezbytné použít pás širší. Z hlediska spotřeby materiálu je proto vhodnější jištění koncové, které navíc kontroluje i to, zda nedošlo při podávání ke vzpříčení pásu v nástroji, což by vedlo k závažné havárii.

Z uvedených návrhových úvah vyplývá i schematické uspořádání a provedení desek nástroje. Kuličkové vedení bude umístěno v základové, upínací a vodící desce. Ty pak budou muset mít patřičně větší rozměry oproti deskám ostatním. Použití opěrné desky podléhá výsledku kontroly na otláčení, lze však očekávat, že bude nutné. Kotevní deska bude mít standardní provedení pouze ve střížných částech nástroje, v oblasti ohýbání bude nahrazena deskou distanční, která bude umožňovat vyvození dostatečných tlaků na ohýbací segmenty. K vodící desce bude v místech stříhu (začátek a konec nástroje) umístěna stírací deska a v oblasti ohybů ohýbací segmenty. Obdobně bude řešena i střížnice a ohybnice. Mezi touto skupinou a základovou deskou bude umístěna druhá opěrná deska, která navíc umožní zjednodušení otvorů pro odpružené elementy ve střížnici nebo ohybnicích. Vymezení horní úvrati odpružených elementů se zajišťuje osazením nebo tvarovými výstupky, které se pohybují v zahlužení otvoru nebo v případě použití druhé opěrné desky pouze v otvoru v této desce, který má větší rozměr.

3.3.1 Návrh a kontrola funkčních částí nástroje [21], [31], [47]

Po zvážení základní koncepce nástroje a jeho prvků je vhodné provést veškeré kontrolní výpočty, aby byly známy všechny omezující faktory a nebylo nutné později nástroj přepracovávat.

- Kontrola na vzpěr – Nejdříve je vhodné provést kontrolu střižníků a razníků na vzpěr, protože může být nutné použít jejich zesílenou formu, což má pak za následek i odlišné výsledky kontroly na otláčení. U ohybníků vzhledem k jejich navrhované konstrukci ztráta vzpěrné stability nehrozí. Při použití odpružené vodící desky lze považovat volnou délku tvárníků nad materiálem za nulovou, protože deska dosedá téměř nebo úplně na materiál. Zásadní je tedy volná délka nad vodící deskou, kde se tvárníky chovají jako nevedené a jejich kritickou délku lze stanovit pomocí vztahu (2.51). Pro úvodní výpočet se předpokládá průřez po celé délce konstantní. Momenty setrvačnosti průřezů byly stanoveny pomocí CAD systému. Pro výpočet byl použit tabulkový procesor MS Excel, vypočtené hodnoty jsou v tabulce 3.2.

Tab. 3.2 Kritické délky tvárníků

Součást	I_{min}	F_S nebo F_R	l_{krit}
	$[m^4]$	$[N]$	$[mm]$
Tvarový střižník - otvor pro čep	$4,491 \cdot 10^{-11}$	7761,1	126,46
Kruhový střižník - hledáček	$3,068 \cdot 10^{-11}$	6861,2	111,16
Tvarový střižník - ozubení	$1,017 \cdot 10^{-9}$	54275	227,56
Tvarový střižník - ostříh kontury	$1,063 \cdot 10^{-10}$	19010,8	124,31
Razník - sražení hrany otvoru	$7,829 \cdot 10^{-11}$	10653,9	142,50
Tvarový střižník - odstřížení	$6,316 \cdot 10^{-9}$	6508,3	1637,63

Normalizované střižníky se nejčastěji používají o délce 100 mm, tomuto rozměru se pak přizpůsobují i ostatní tvárníky. Použití tvárníků této délky se předpokládá i v navrhovaném nástroji. Jak je zřejmé z výpočtu, který byl proveden s bezpečnostním koeficientem $\nu = 1,5$, kritická volná délka všech tvárníků je nad touto hodnotou. Navíc bude použita vodící deska, takže nehrozí, že by nastal mezní stav vzpěrné stability. V případě výrazné změny průřezu tvárníků v průběhu konstrukce může být nutné provést nový kontrolní výpočet.

- Kontrola na otláčení – Dále je třeba rozhodnout o nutnosti použít opěrnou desku. Výpočet probíhá podle vztahu (2.49). Jednotlivé plochy průřezů S byly stanoveny pomocí CAD systému, k výpočtu kontaktních tlaků byl použit tabulkový procesor MS Excel.

Tab. 3.3 Kontrola na otláčení

Součást	S	F_S nebo F_R	σ_{kont}
	$[mm^2]$	$[N]$	$[MPa]$
Tvarový střižník - otvor pro čep	23,55	7761,1	329,56
Kruhový střižník - hledáček	19,63	6861,2	349,53
Tvarový střižník - ozubení	227,80	54275	238,26
Tvarový střižník - ostříh kontury	82,13	19010,8	231,47
Razník - sražení hrany otvoru	31,16	10653,9	341,91
Tvarový střižník - odstřížení	408,30	6508,3	15,94

Prakticky ve všech případech došlo k překročení dovoleného napětí pro ocelovou upínací desku $\sigma_{dov} = 180 MPa$, použití opěrné desky je proto nezbytné.

- Stanovení tloušťky střížnice – Je také vhodné mít představu o potřebné tloušťce střížnice, která je silně namáhána. Vzhledem k předpokládané koncepci nástroje, kde střížnice bude ležet přímo na opěrné a základové desce, by neměl s tloušťkou střížnice nastat problém. Protože nejsou známy potřebné geometrické parametry pro výpočet dle vztahu 2.47, je třeba provést jejich odhad. Vzdálenost opěr bude pro potřeby výpočtu orientačně rovna dvojnásobku šířky pásu, šířka střížnice 4násobku délky kroku, zatěžující síla bude rovna součtu sil v prvním až třetím kroku a dovolené napětí bude 500 MPa :

$$T = \sqrt{\frac{3F_s \cdot l}{2b_d \cdot \sigma_{dov}}} = \sqrt{\frac{3(75\,758,5 + 38\,021,6 + 10\,653,9)(2 \cdot 54)}{2(4 \cdot 28)500}} = \quad (3.32)$$

$$= 18,97 \text{ mm}$$

Běžně používaná tloušťka střížnice u obdobně velkých nástrojů je 32 mm . Pevnostní požadavky tedy budou bez problémů splněny.

- Střížná vůle – Na přesnost rozměrů jezdce jsou kladeny značné nároky, je tedy třeba volit střížnou vůli co nejmenší. Pro výpočet střížné mezery dle vztahu (2.1) je tedy zvolena nejnižší hodnota koeficientu c . Střížná vůle je pak dvojnásobkem střížné mezery.

$$z = c \cdot s \cdot \sqrt{0,1\tau_s} = 0,005 \cdot 1,2 \cdot \sqrt{0,1 \cdot 0,8 \cdot 350} = 0,032 \text{ mm} \quad (3.33)$$

$$v = 2z = 2 \cdot 0,032 = 0,064 \text{ mm} \quad (3.34)$$

Stanovená hodnota odpovídá doporučenému rozmezí dle [31], viz příloha č. 11. Dle zkušeností firmy TOKOZ však takto malá vůle může působit nežádoucí zaklínění plechu na střížnicích a zvyšuje riziko poškození střížníků. Z tohoto důvodu byla zvolena velikost střížné vůle:

$$v = 0,1 \text{ mm}$$

- Stanovení minimálního průřezu kolíků pro uchycení střížníků – Uchycení střížníků bude provedeno pomocí kalených kolíků. Je tedy vhodné na základě stírací síly stanovit kritický průřez při namáhání na stříh. Stírací síla se stanovuje ze síly střížné pomocí následujícího empirického vztahu:

$$F_{St} = c_s \cdot F_{Smax} \quad (3.35)$$

kde: c_s – empirický koeficient dle tloušťky materiálu, pro $s = 1,2 \text{ mm}$ nabývá za běžných podmínek v nejnepríznivějším případě dle [21] hodnoty $c_s = 0,18$

Poněkud problematické je stanovení mechanických vlastností kolíků, protože dodavatelé normálíí uvádí pouze skutečnost, že kolíky jsou kaleny na $\text{HRC } 60 \pm 2$. Tuto hodnotu je možné přepočítat na pevnost v tahu, bohužel však není známo, jestli jsou kolíky kaleny pouze povrchově nebo i v jádru. Proto bude třeba při výpočtu použít velmi vysoký koeficient bezpečnosti, např. $v = 4$. $\text{HRC } 58$ odpovídá např. podle [47] přibližně $R_m = 2\,200 \text{ MPa}$. Potřebný průřez kolíku při namáhání na stříh se stanoví:

$$S_{min} = \frac{F_{St} \cdot v}{\tau_s} \quad (3.36)$$

kde: τ_s – pevnost materiálu kolíku ve stříhu
 v – koeficient bezpečnosti

Výsledky výpočtu provedeného pomocí tabulkového procesoru MS Excel jsou uvedeny v tabulce 3.4.

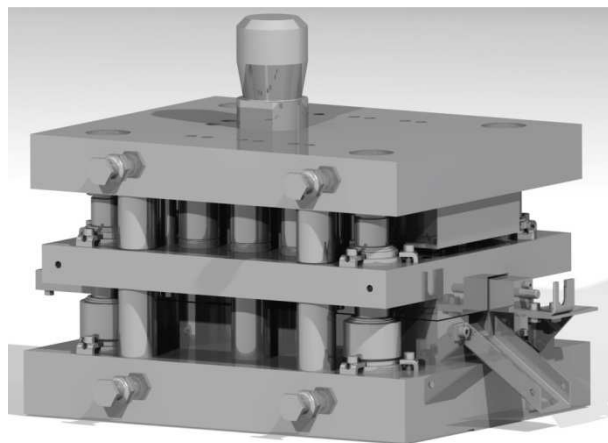
Tab. 3.4 Minimální průřezy kolíků při namáhání na stříh stírací silou

Součást	F_S nebo F_R	F_{St}	S_{min}
	[N]	[N]	[mm ²]
Tvarový střížník - otvor pro čep	7761,1	1397,0	3,175
Kruhový střížník - hledáček	6861,2	1235,0	2,807
Tvarový střížník - ozubení	54275,0	9769,5	22,203
Tvarový střížník - ostříh kontury	19010,8	3421,9	7,777
Razník - sražení hrany otvoru	10653,9	1917,7	4,358
Tvarový střížník - odstřížení	6508,3	1171,5	2,662

Vypočtené hodnoty je třeba zohlednit při návrhu uchycení jednotlivých střížníků, obzvláště u tvarového střížníku pro stříhání ozubení.

3.3.2 Návrh nástroje [12], [13], [14]

Na základě navrženého nástřihového plánu, zvolených strojů a provedených koncepčních úvah byl vytvořen základ konstrukční dokumentace postupového nástroje ve formě 3D modelu a výkresu sestavy nástroje.



Obr. 3.19 Navržený nástroj

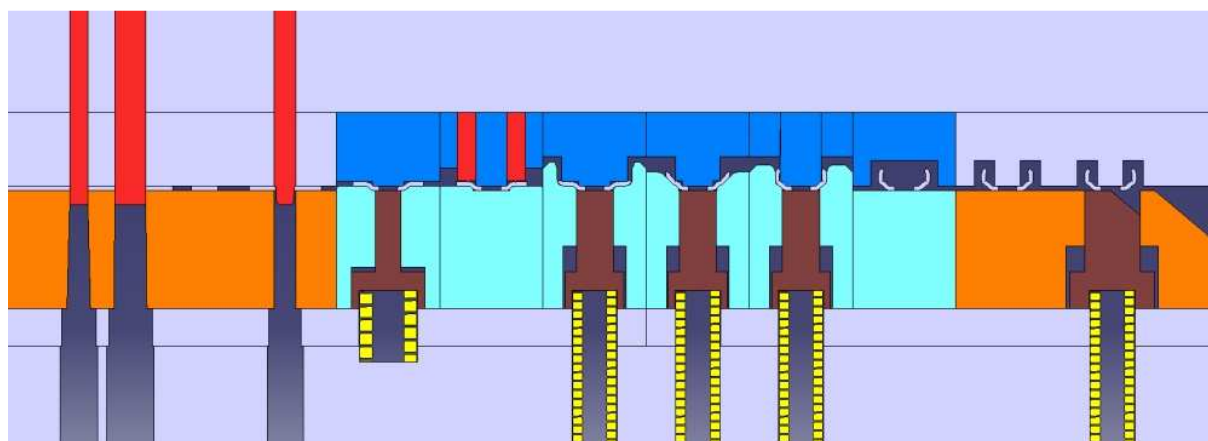
Nástroj byl navržen jako jednořadý, vedený pomocí kuličkového sloupkového vedení a s odpruženou vodicí deskou. Prováděny jsou operace stříhání, ohýbání a ražení. Namísto standardního provedení ohybníků je použito ohýbacích segmentů, které jsou uchyceny na vodicí desce. Tato koncepce umožňuje výměnu nebo přemístění jednotlivých segmentů v případě potřeby úprav nástroje. Ze stejného důvodu byl ponechán jeden z těchto segmentů jako

„volný“, tedy nevykonávající žádnou funkci. Odpružení vodicí desky je zajištěno plynovými pružinami o jmenovité síle 1000 daN (10 kN). Takto vysoká síla byla zvolena, aby nedocházelo k naklápění vodicí desky v důsledku ohýbacích sil, které začínají působit již několik milimetrů před dolní úvratí. Vedení pásu je zajištěno pomocí odpružených vodicích kolíků a zpočátku i pomocí zaváděcích vodicích lišt. Ustavení pásu zajišťují nepřímé hledáčky. Aby nedocházelo k zachytávání pásu plechu na hledáčkách, které jsou pevně uchyceny ve vodicí desce a nezasouvají se tak do desek stíracích, je pás z hledáček stahován pomocí odpružených odtlačovacích kolíků. Upnutí nástroje na lisu bude prováděno pomocí upínek a upínací stopky. Základní parametry navrženého nástroje (obr. 3.19) jsou v tab. 3.5.

Tab. 3.5 Základní údaje navrženého nástroje

Parametr	Hodnota	
Typů součástí	[-]	96
Součástí celkem	[-]	395
Hmotnost (výpočet pomocí CAD)	[kg]	cca 194
Maximální rozměry (d x š x v)	[mm]	532 x 375 x 358,2
Sevřená výška	[mm]	256,2 + výška podložných lišt
Zdvih (min. – max.)	[mm]	35 - 85
Odhadní cena	[EUR]	16 400

Nástřihový plán (kap. 3.1) nebyl v průběhu návrhu nástroje měněn. Pás materiálu prochází přes vodící lišty a v prvním kroku jsou vystřiženy otvory pro hledáčky, otvor pro tvarový čep a také oboustranně ozubení. Následně je ve druhém kroku částečně obstřížen bok součásti, přičemž zůstává zachován úzký pruh materiálu, který plní funkci nosného můstku udržujícího součást i nadále v pásu. Ve třetím kroku je raženo sražení otvoru pro tvarový čep. Následuje první ohyb s ražením poloměru společně s ohybem navazujícího poloměru o větší úhel v kroku čtvrtém. V pátém je prováděno ražení náseku v místě třetího ohybu, což umožní pozdější bezproblémové dovření tohoto ohybu. Poté je ohýbáno ozubení součásti a v dalších dvou krocích je postupně ohýbán poloměr naseknutý v pátém kroku. Devátý krok je ponechán volný pro případ dodatečných úprav nástroje a desátý je volný kvůli prostorové náročnosti kroku jedenáctého, kde je součást odstřižena z pásu a zbytek pásu je rozstříhován. Hotová součást je pak pomocí odpruženého vyhazovače přesunuta pryč z nástroje na skluz. Celý tento výrobní postup je znázorněn v řezu nástrojem na obr. 3.20.



Obr. 3.20 Část řezu nástroje

V prvotní fázi návrhu nástroje byl proveden výpočet polohy působíště sil. Znalost tohoto údaje je důležitá pro určení polohy upínací stopky nástroje, viz kap. 2.3.1. V případě výrazné excentricity působíště v ose x je také možné uzpůsobit konstrukci nástroje tak, aby funkční části byly posunuty více směrem dopředu či dozadu, čímž dojde k určité kompenzaci polohy působíště sil vůči vedení nástroje. Tato úprava byla v malé míře provedena. Vzhledem k symetrii funkčních částí nástroje leží souřadnice působíště ve směru osy y (příčně) na ose pásu plechu.

$$y_0 = \frac{54}{2} = 27,00 \text{ mm} \quad (3.31)$$

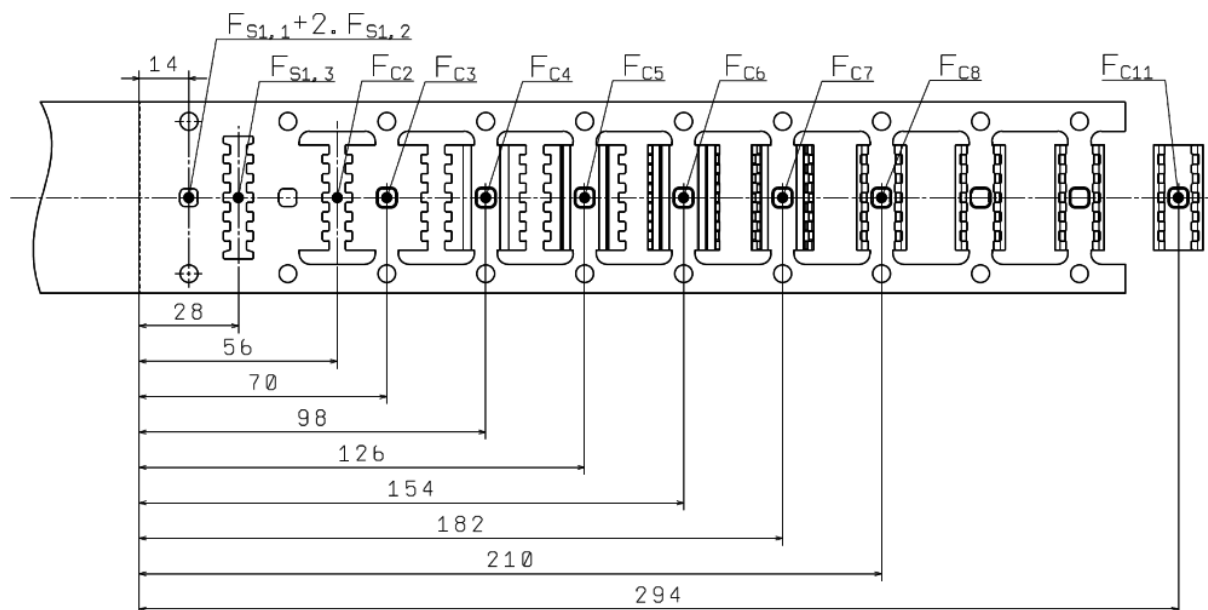
Stejně tak kvůli symetrii jednotlivých funkčních částí nebo jejich párovosti lze snadno určit souřadnici celkových sil ve směru x (podélně) v jednotlivých krocích. Ve většině případů se nachází na středu daného kroku. Výjimku představuje pouze krok první, kde je nutné celkovou sílu rozdělit do dvou skupin. Souřadnice x_0 se stanoví pomocí příslušného vztahu 2.43 a obr. 3.21, který znázorňuje působíště jednotlivých sil.

$$x_0 = \frac{F_1 \cdot x_1 + F_2 \cdot x_2 + \dots + F_n \cdot x_n}{F_c} = \frac{(7\,761,1 + 2 \cdot 6\,861,2) \cdot 14 +}{317\,280,8} \quad (3.32)$$

$$\frac{+54\,275,0 \cdot 28 + 38\,021,6 \cdot 56 + 10\,653,9 \cdot 70 + 74\,094,8 \cdot 98 +}{317\,280,8}$$

$$\frac{+10\,431,7 \cdot 126 + 81\,081,5 \cdot 154 + 7\,111,1 \cdot 182 + 7\,111,1 \cdot 210 +}{317\,280,8}$$

$$\frac{+13\,016,6 \cdot 294}{317\,280,8} = 102,03 \text{ mm}$$



Obr. 3.21 Schéma pro výpočet působíště tvářecích sil

Je nutno podotknout, že poloha skutečného působíště tvářecích sil může být mírně odlišná. Výpočty sil totiž pracují ve valné většině případů s přibližnými empirickými koeficienty a vypočtené maximální hodnoty sil navíc nenastávají v jeden moment, takže i stanovená celková síla nebude reálně dosažena. Vliv klasických vinutých kovových pružin je vzhledem k uvedeným skutečnostem možno zanedbat. Pro odpružení vodící desky je ale použito 6 ks plynových pružin o jmenovité síle 1000 daN (tzn. 10 kN). Tyto pružiny, dle údaje firmy Fibro, která je jejich výrobcem, při maximálním stlačení vyvinou sílu až 1509 daN. Tento vliv již rozhodně nelze považovat za zanedbatelný a je tak třeba provést výpočet působíště sil včetně vlivu těchto pružin. Dle navržených rozměrů a geometrie nástroje lze s pomocí online katalogu firmy Fibro [13] stanovit sílu plynových pružin přibližně v momentě, kdy střížná síla nabývá maxima a zároveň začíná i ražení poloměrů:

$$F_{pr} = 12\,500 \text{ N} \quad (3.31)$$

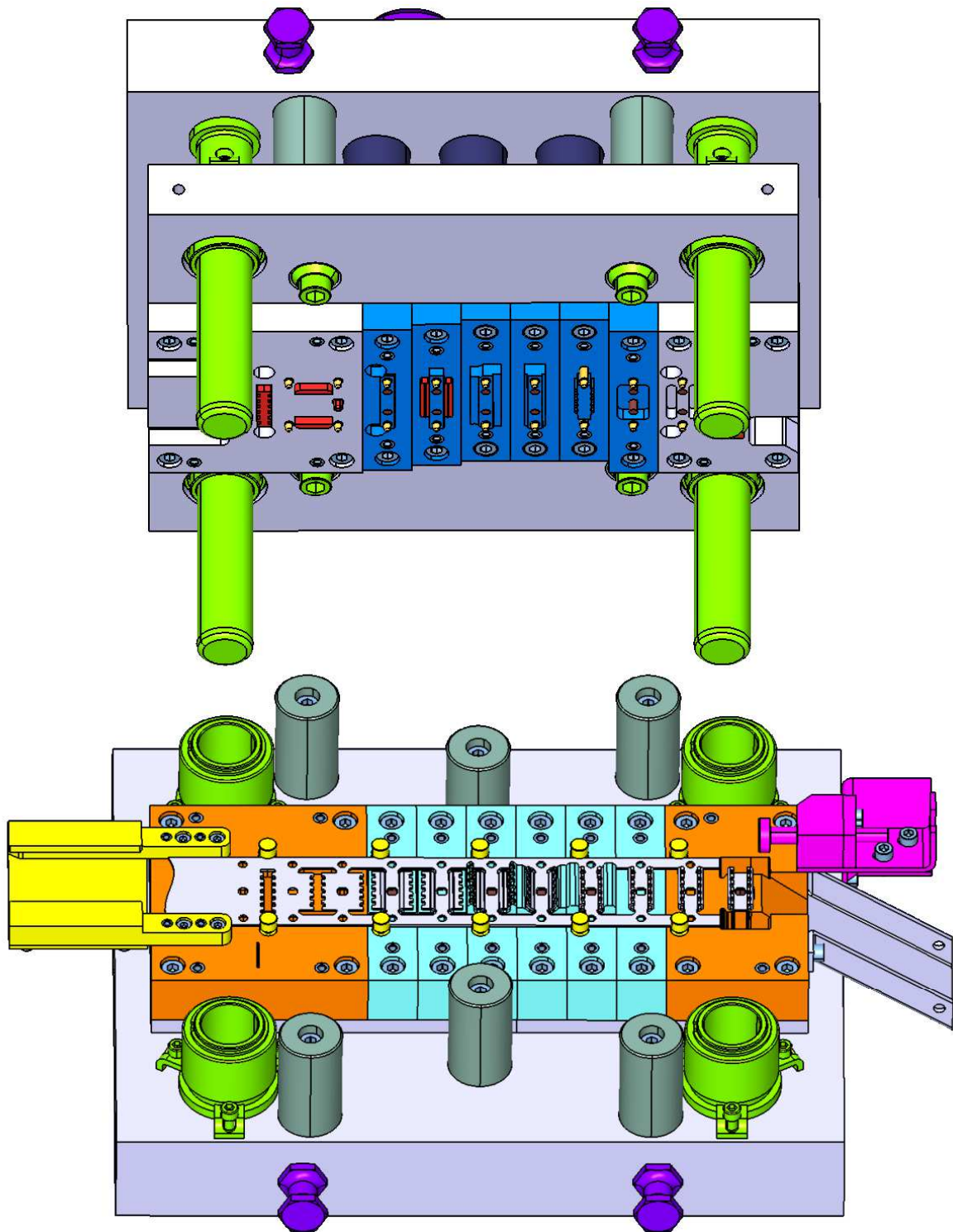
Vzhledem ke svému symetrickému uspořádání k ose nástroje, nebudou mít plynové pružiny vliv na souřadnici působíště v ose y . Střed nástroje, kde se také nalézá působíště celkové síly pružin, má vzhledem k umístění funkčních částí odpovídajících nástřihovému plánu souřadnici ve směru osy x 147 mm.

$$x_{opr} = \frac{F_C \cdot x_0 + 6F_{pr} \cdot 147}{F_C + 6F_{pr}} = \frac{317\,280,8 \cdot 102,03 + 6 \cdot 12\,500 \cdot 147}{317\,280,8 + 6 \cdot 12\,500} = \quad (3.32)$$

$$= 110,63 \text{ mm}$$

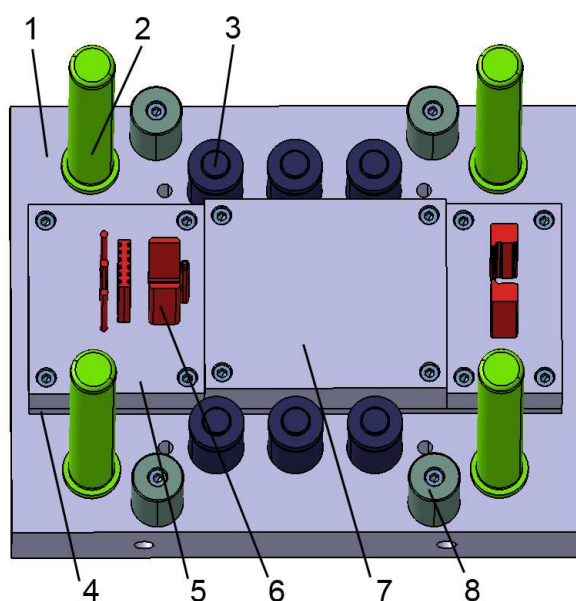
S ohledem na vypočtenou hodnotu a umístění funkčních částí v nástroji bylo zvoleno umístění stopky 36 mm mimo osu nástroje, což představuje odchylku méně než 1 mm od vypočítané hodnoty.

Zjednodušený popis sestavení nástroje nabízí zároveň dobrou možnost popsat jeho jednotlivé součásti. Použitá čísla pozic v popisu montáže a v obrázcích 3.23 až 3.26 nesouhlasí s výkresovou dokumentací. Obě kompletně sestavené části nástroje (horní a dolní) včetně vysvětlení barevného rozlišení, které je dodržováno i na jiných obrázcích v rámci této kapitoly, jsou na obrázku 3.22.



- | | |
|---|--|
| ■ Střížníky a razníky | ■ Vyhazovače a odtlačovací kolíky |
| ■ Střížnice | ■ Výškové dorazy |
| ■ Horní ohýbací segmenty (ohybníky) | ■ Transportní a upínací elementy |
| ■ Dolní ohýbací segmenty (ohybnice) | ■ Plynové pružiny |
| ■ Hledáčky | ■ Jištění |
| ■ Vedení nástroje | ■ Spojovací materiál |
| ■ Vedení pásu | Barvy vinutých pružin odpovídají jejich typu |

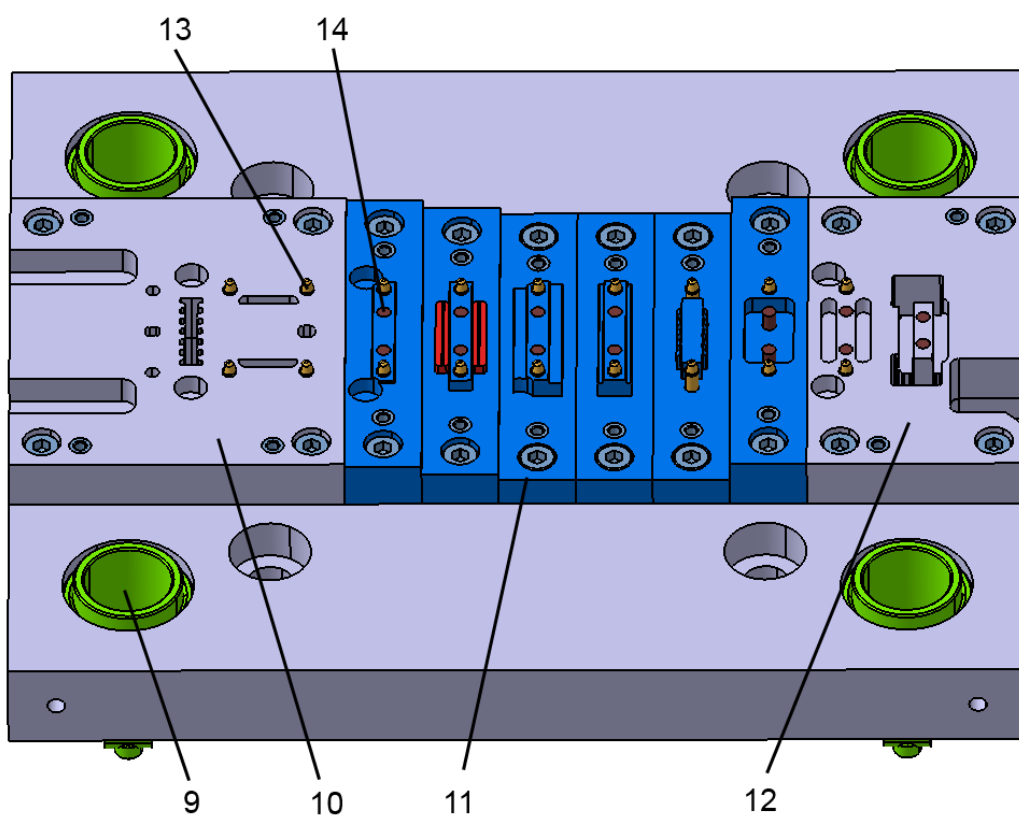
Obr. 3.22 Sestavený nástroj



Obr. 3.23 Počáteční fáze sestavování nástroje

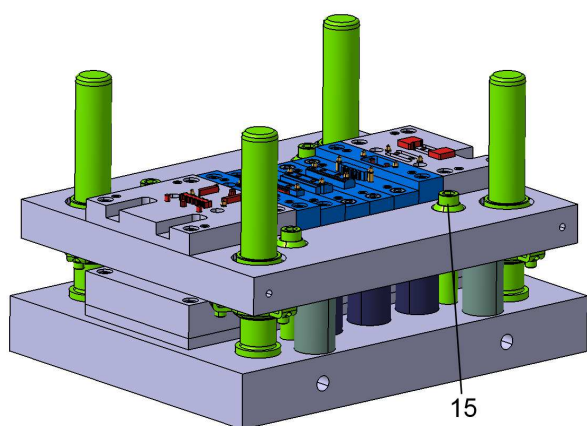
Sestavování horní části je vhodné začít přišroubováním částí, které vyžadují přístup z horní strany upínací desky (1), protože zbytek montáže probíhá snáz, pokud je horní část nástroje položena právě na horní straně upínací desky. U navrženého nástroje je tak zapotřebí nejdříve upevnit vodící sloupky (2) a plynové pružiny (3). Po položení nástroje na horní stranu upínací desky se na spodní stranu upínací desky přiloží obě části dělené opěrné desky (4), do obou kotevních desek (5) se uloží střižníky (6). Následně se přiloží distanční deska (7), která plní funkci výškového dorazu a všechny desky se přišroubojí k upínací desce. Nakonec se připevní výškové dorazy (8).

Poté je třeba sestavit podskupinu vodící desky. Do příslušných otvorů ve vodící desce se vloží pružiny. K vodící desce se přiloží stírací desky (10) a (12) a jednotlivé ohýbací segmenty (11), v jejichž příslušných otvorech jsou vloženy hledáčky (13) a odtlačovací kolíky (14) a vše se sešroubuje a skolíkují s vodící deskou. Následně se k vodící desce připevní vodící pouzdra (9) a kalené opěrné vložky v místě kontaktu plynových pružin.



Obr. 3.24 Sestavení podskupiny vodící desky

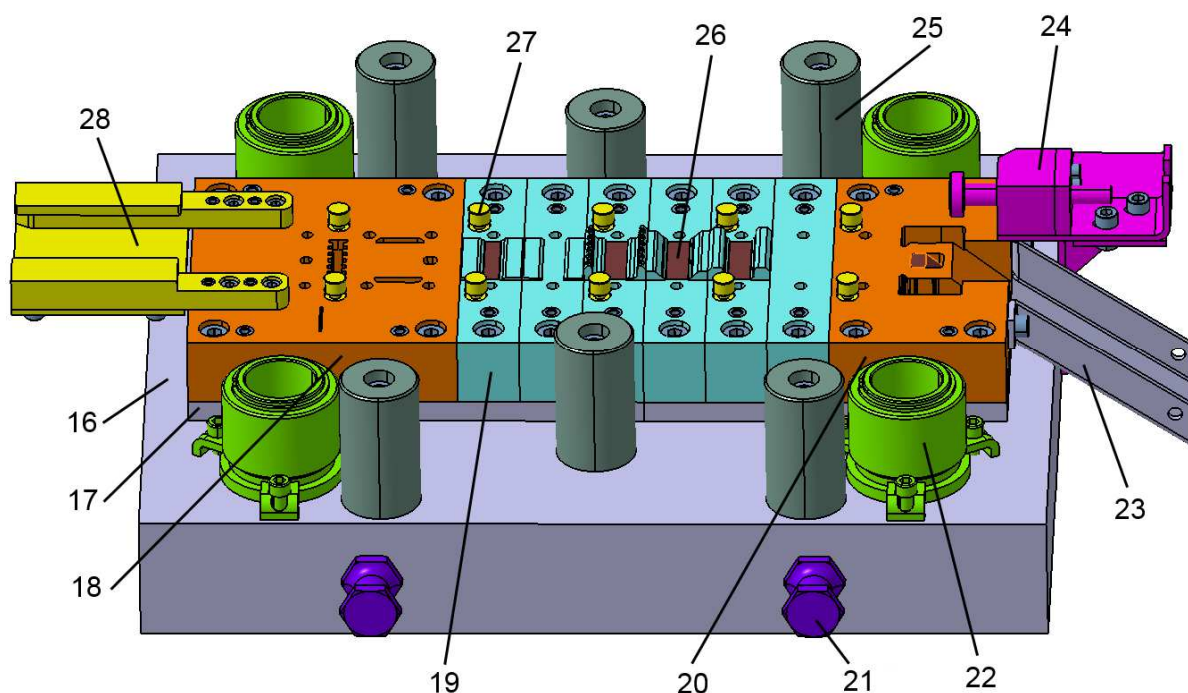
Nyní je třeba obě části smontovat dohromady pomocí distančních šroubů (15), čímž je ukončena montáž horní části nástroje.



Obr. 3.25 Kompletace horní části nástroje

Sestavení spodní části je analogické. Na základovou desku (16) se přiloží obě části dělené spodní opěrné desky (17). Do příslušných otvorů v opěrné a základové desce se umístí pružiny a na opěrnou desku se přiloží střížnice (18,20) a spodní ohýbací segmenty (19), do jejichž otvorů byly vloženy vodící kolíky (27) a vyhazovače (26). Poté se celý komplet sešroubuje a skolíkují. Následuje montáž vodících pouzder (22) a výškových dorazů (25). Nakonec se k dolní části nástroje upevní podstava koncového jištění (24), vodící lišty s podpěrným plechem (28) a skluz (23).

Pokud jich nebylo třeba již dříve, tak se montáž ukončí našroubováním transportních čepů (21) do obou částí nástroje a upínací stopky do horní části.



Obr. 3.26 Sestavení spodní části nástroje

Nástroj v provozu musí být dostatečně mazán. V současnosti se ve firmě TOKOZ pro tváření používá tvářecí olej Condaform 3442 E a pro povrchově upravené materiály (zejména galvanicky zinkované) olej Castrol Iloform PN 221, který je odpařivý a neznečišťuje tak vyráběné díly. Výjimku pak představuje prakticky pouze výroba součástí, kde zákazník požaduje aplikaci konkrétního typu maziva. Obvykle se používá stejný typ maziva pro mazání pásu plechu i pro mazání nástroje. Pro výrobu jezdce byl tedy pro mazání nástroje i pásu plechu zvolen osvědčený olej Condaform 3442 E. Technické listy obou nejčastěji používaných olejů jsou obsahem přílohy č. 13.

4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Základním faktorem ovlivňujícím konkurenceschopnost výrobku je jeho výsledná cena. Vyjma situací, kdy je odbyt podmíněn žádanou značkou nebo specifickými funkčními vlastnostmi, případně neotřelým designem, je třeba dosáhnout ceny co nejnižší. Ke stanovení slouží tzv. cenová kalkulace, která umožňuje do ceny výrobku zahrnout veškeré náklady na materiál, výrobu a také část celkových nákladů firmy souvisejících s odbytem, vývojem výrobků a správou. K takto stanoveným nákladům je pak třeba přičíst i určité procento zajišťující ziskovost výrobku.

Ve firmě TOKOZ a.s. se k tomuto účelu používá zavedený informační systém, pro návrhové kalkulace ve fázi návrhu výroby a v nabídkovém řízení pak tabulkového procesoru MS Excel. Ukázka nevyplněné kalkulační tabulky je obsahem přílohy č. 15. Postup výpočtu je následující (zadávaní názvových a identifikačních parametrů je pomínuto):

- a) Zadání vstupních údajů o materiálu a jeho potřebě
 - Základní cena materiálu [EUR/t], příplatek za zpřesněnou toleranci [EUR/t], legovací příplatek [EUR/t], příplatek za dopravu [EUR/t]. Z těchto údajů je vypočítána celková cena materiálu [EUR/kg], která je pak přepočítána dle aktuálního kurzu [Kč/kg].
 - Hmotnost dílu [g], tloušťka a šířka pásu [mm], délka kroku [mm] a počet součástí vyrobených na jeden zdvih stroje [-]. Z těchto údajů se určí spotřeba materiálu na 100 ks vyrobených součástí a k té je přičtena procentuální ztráta způsobená zaváděním a koncem pásu. Následně je stanovena cena materiálu [Kč/100 ks] a množství odpadu. Celková cena materiálu se pak navyšuje ještě o skladovou přírážku [%].
- b) Zadání základních množstevních parametrů
 - Sériovost [ks/rok], velikost výrobní dávky [ks] a počet zdvihů [min^{-1}]. Sériovost a velikost výrobní dávky jsou dány jednak požadavky zákazníka a jednak požadavkem efektivity výroby. Počet zdvihů se stanovuje z parametrů zvoleného stroje a dle zkušenosti. Z těchto údajů je stanoven počet zdvihů za směnu [-], počet vyrobených kusů za směnu [ks], počet normominut na výrobu 100 ks [Nmin/100 ks] a roční spotřeba materiálu [kg/rok].
- c) Zadání výrobních nákladů (stroje, práce a seřízení)
 - Zvolený stroj či pracoviště má dány náklady na normohodinu provozu [Kč/Nhod], na obsluhu [Kč/Nhod] a seřízení [Kč/Nhod]. S využitím vypočteného počtu normominut na výrobu 100 ks se stanoví výrobní náklady (VN) na provoz stroje a obsluhu na 100 ks [Kč/100 ks]. Dle složitosti nástroje a typu stroje se pak dle interního normativu a zkušenosti stanoví potřebný čas na seřízení a z velikosti výrobní dávky následně VN na seřízení rozpočítané na množství 100 ks [Kč/100 ks].
- d) Určení úplných výrobních nákladů (ÚVN)
 - K sumě VN se přičtou procentuální sazby režie obchodní, správní a technického rozvoje.
- e) Technicky nutné ztráty (TNZ)
 - TNZ se stanovují procentuálně z VN na stroj a obsluhu s režijní přírážkou danou koeficientem. TNZ popisují míru zmetkovitosti výroby např. v důsledku seřizování nástroje. V případě víceoperačních výrob je nutné procentuální sazby sčítat podle počtu následujících operací, aby do každé z operací vstupoval potřebný počet součástí.
- f) Výsledná cena
 - Výsledná cena výrobku [Kč/100 ks] je dána součtem ÚVN, TNZ a nákladů na materiál mínus prodejní cena odpadu.

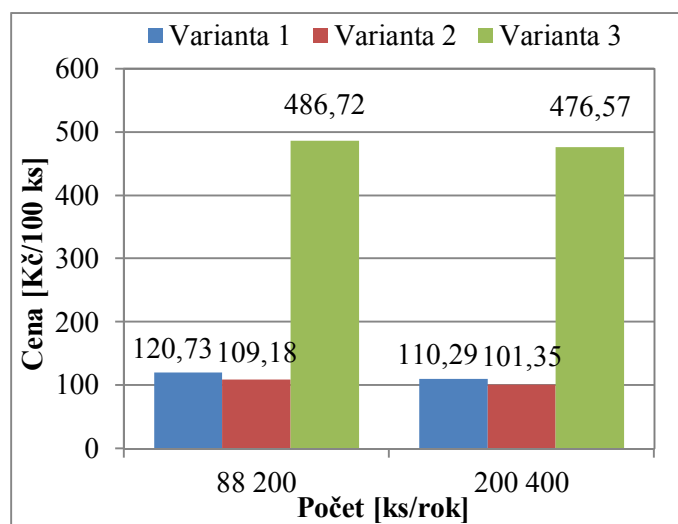
Pro cenovou kalkulaci budou zvažovány tři varianty. První je navržený výrobní postup v postupovém nástroji na lisu LEXN 100 P, druhý na modernějším stroji Kaiser KSTU 1600

a třetí je alternativní postup výroby v několika operacích na menších strojích v několika sdružených nástrojích jednodušší konstrukce. Lis LEXN 100 P byl zvolen jako konkrétní zástupce skupiny lisů LEXN 100, které mají shodné hodinové náklady na provoz, obsluhu i seřízení, z hlediska výrobní ceny je tak možná jejich záměna. Modernější stroj u druhé varianty umožňuje zvýšení počtu zdvihů a snížení seřizovacích časů, viz kap. 3.2. Ve třetí variantě je možné snížit šířku pásu, ale je nutné před ohýbáním, kdy jsou součásti zakládány do nástrojů ručně, zařadit omílání, aby bylo sníženo riziko poranění obsluhy o otřepy.

Tab. 3.6 Výsledky cenových kalkulací

Varianta	1	2	3			
Operace	Stříhat	Stříhat	Stříhat	Omílat	Ohýbat (2 ks)	Ohýbat (2 ks)
Stroj	LEXN 100 P	KSTU 1600	LEXN 100 P	VOZ 250	LEN 40R	LEN 40R
Počet zdvihů [min^{-1}]	50	55	50	-	Dle obsluhy	Dle obsluhy
Výrobní čas [Nmin/100 ks]	2,20	2,00	2,20	0,45	12,50	12,50
Čas seřízení [min]	60,00	45,00	45,00	0,00	35,00	35,00
ÚVN [Kč/100 ks]	90,93	79,69	86,26	5,97	181,65	181,65
TNZ [%]	1,00	0,75	0,50	0,00	0,50	0,50
TNZ [Kč/100 ks]	0,72	0,49	1,08	0,06	1,80	0,90
ÚVN+TNZ [Kč/100 ks]	91,65	80,19	87,35	6,03	183,45	182,55
Výsledná cena [Kč/100 ks]	120,73	109,18	486,72			

Z výsledků provedených cenových kalkulací je již na první pohled zřejmé, že přínos postupových nástrojů a s nimi spojeného zvýšeného stupně automatizace výrobního procesu je enormní. Při srovnání nejnákladnější varianty 3 se značným podílem manuální práce v operacích ohýbání a varianty 1, z níž byla varianta 3 odvozena, se jedná o úsporu cca 75 % výrobních nákladů. Tím se také potvrzuje správnost volby postupového nástroje v rámci volby výrobní technologie v kap. 1.1. Ze srovnání první a druhé varianty vyplývá, že pro



Graf 4.1 Srovnání jednotlivých variant při zadané a zvýšené velikosti série

navrhovaný výrobní postup je z hlediska ceny výhodnější použití modernějšího zařízení Kaiser KSTU 1600. Rozdíl oproti starším lisům LEXN 100 však není příliš markantní a v případě potřeby je možné použít i tyto stroje. Srovnání těchto dvou variant také ukazuje na význam dalšího technického vývoje v oblasti výrobních zařízení, který má nejen očekávatelný dopad na zlepšování kvality výroby, ale i na její nákladnost. Zvýšení velikosti série a tedy i výrobní dávky nemá na výslednou cenu valný vliv, ani nedojde ke změně pořadí vhodnosti variant vzhledem k výrobním nákladům, viz graf 4.1.

5 ZÁVĚR

Jezdec je součástí aretačního mechanismu vyvinutého firmou TOKOZ a.s. Tento mechanismus je součástí celoobvodového okenního kování a slouží k zajištění (aretaci) otevřeného okenního nebo dveřního křídla v téměř libovolné poloze. Jezdec je součástí malých rozměrů a zároveň složitěho tvaru, zejména s ohledem na uzavřený C-tvar. Je také požadováno dodržení úzkých výrobních tolerancí, zejména vzhledem k zajištění funkce ozubení součástí. Předepsaný materiál je zastudena válcovaný plech o tloušťce 1,2 mm z hlubokotažné oceli DC04 (ekvivalentem je ČSN 11 305.21).

Na základě rozboru a možností dostupných technologií byla pro výrobu jezdece zvolena kombinace konvenčního stříhání a ohýbání v postupovém nástroji. Důvodem pro volbu této technologie byl zejména komplikovaný tvar a značné nároky na přesnost součástí, hospodárnost, produktivita a v neposlední řadě i dlouholeté zkušenosti firmy TOKOZ s touto kombinací technologií.

Byl navržen nástřihový plán čítající 11 kroků, zahrnující operace stříhání, ohýbání a ražení. Jeden z těchto kroků byl ponechán volný pro případ potřeby dodatečných úprav nástroje a jeden z důvodu předpokládaných rozměrů funkčních částí nástroje v kroku navazujícím. Následně byl proveden výpočet tvářecích sil a prací dle navrženého nástřihového plánu. Na základě stanovené tvářecí síly a se zohledněním určité rezervy, která umožní pokrytí sil způsobených pružinami v nástroji, byly ze strojů firmy TOKOZ předběžně zvoleny pro výrobu jezdece čtyři srovnatelné lisy typu LEXN 100 a modernější lis Kaiser KSTU 1600.

V návaznosti na předběžnou volbu stroje byla provedena rozvaha koncepce nástroje včetně prvotního návrhu funkčních částí a kontrolních výpočtů. Byl navržen postupový nástroj sestávající se z 395 součástí, vybavený sloupkovým kuličkovým vedením a odpruženou vodící deskou. Ohýbací funkční části byly navrženy netradičně jako výměnné ohýbací segmenty umožňující jejich snadnou výměnu, přičemž horní část těchto segmentů je uchycena na vodící desce.

Na závěr byla zhotovena cenová kalkulace výrobních nákladů dle zavedeného postupu firmy TOKOZ ve třech variantách. Nejvýhodnější je dle výsledků kalkulací použití navrženého nástroje na lisu Kaiser KSTU 1600 s výslednou cenou 109,18 Kč/100 ks. V případě nutnosti je však možné také osazení na starší lisy LEXN 100 s výslednou výrobní cenou 120,73 Kč/100 ks. Navržený nástroj je uzpůsoben k upnutí na obou typech lisů.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. CHLÁDEK, Martin. *Variantní řešení výroby jezdce*. Brno, 2010. 32 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojího inženýrství. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
2. BIRZER, Franz. FEINTOOL AG. *Feinschneiden und Umformen: Wirtschaftliche Fertigung von Präzisionsteilen aus Blech*. zweite Auflage. Landsberg/Lech: Verlag Moderne Industrie, 1999. Die Bibliothek der Technik, Bd. 134. ISBN 3-478-93154.
3. ČSN 22 7340. *Tvářecí nástroje. Ohýbadla. Všeobecné požadavky na konstrukci a výpočet*. Praha: Český normalizační institut, 1991, 16 s.
4. ČSN EN 10139. *Pásky z nízkouhlíkových ocelí válcované za studena, bez povlaku, pro tváření za studena - Technické dodací podmínky*. Český normalizační institut, 2002.
5. Die Casting Process, Defects, Design. *Custompart.net* [online]. 2013 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/die-casting>
6. DOLEŽÍ, Vítězslav a Dušan GALIS. STŘEDNÍ ŠKOLA PRŮMYSLOVÁ A UMĚLECKÁ, Opava. *Mechanika II: Výukový manuál* [online]. 2009, 137 s. [cit. 2013-04-10]. Dostupné z: http://www.sspu-opava.cz/UserFiles/File/Mechanika_II_vyukovy_manual_na_SSPU_Opava.pdf
7. DVOŘÁK, Luboš. TOKOZ A.S. *Zajišťovací ústrojí pro okna, dveře a podobně* [patent]. E05C 17/00, E05C 17/06. Česká republika. Přihláška vynálezu, 2008-196.
8. DVOŘÁK, Milan et al. *Technologie II*. 2. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 238 s. ISBN 80-214-2683-7.
9. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: Plošné a objemové tváření*. 2. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007, 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
10. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Ladislav ŽÁK. *Technologie tváření: Návod do cvičení*. Vydání druhé. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005, 103 s. ISBN 80-214-2881-3.
11. *EUROPEAN STEEL AND ALLOY GRADES* [online]. 2011 - 2013 [cit. 2013-04-11]. Dostupné z: <http://www.steelnumber.com/index.php>
12. FCPK BYTÓW. *CAD CATALOG*. 2010. Dostupné z: http://fcpk.pl/en/download/3d_catalogs/
13. FIBRO GMBH. *Fibro: PARTcommunity 2D/3D CAD Models* [online]. 2013 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://fibro.partcommunity.com/portal/portal/fibro>
14. FIBRO GMBH. *Normalien* [online]. 2012, 1187 s. [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: http://www.fibro.de/fileadmin/data/FIBRO/Blaetterkataloge/Hauptkatalog2013/files/assets/downloads/files/Gesamtkatalog_Normalien_de_2013.zip. Katalog.
15. *File:Diagram of water jet cutter machine.png* [online]. 2008 [cit. [2013-05-12]]. Dostupné z: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diagram_of_water_jet_cutter_machine.png
16. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. vydání první. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
17. FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. první vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 167 s. ISBN 80-214-2764-7.

18. GROTE, Karl-Heinrich a Jörg FELDHUSEN [HRSG.]. *Dubbel: Taschenbuch für den Maschinenbau*. 23., neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. ISBN 978-364-2173-059.
19. HARDTMANN, A. TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN. *Fertigungstechnik I: Zweiter Teil: Grundlagen der Umformtechnik* [online]. 2001 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/fakultaet_maschinenwesen/iff/lut/studium/ft1/skript_ft1_2.pdf
20. INDO-MIM. *Indo-US MIM Tec Pvt. Ltd.: Metal Injection Molding* [online]. [2013] [cit. 2013-04-12]. Dostupné z: <http://www.indo-mim.com/home.html>
21. KLEPZIG, Wolf. *Werkzeugkonstruktion (Vorlesung): Schneid- und Umformwerkzeuge für die Blechbearbeitung (Stanzwerkzeuge)* [online]. 2002, 65 s. [cit. 2013-04-11]. Dostupné z: http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/fakultaet_maschinenwesen/iff/lut/studium/wz_uzt/12_wzuzt02_werkzeugkonstruktion.pdf
22. KOTOUČ, Jiří, Jan ŠANOVEC, Jan ČERMÁK a Luděk MÁDLE. *Tvářecí nástroje*. vydání první. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1993, 349 s. ISBN 80-010-1003-1.
23. LACHMANN, Lutz. TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ. *Arbeitsheft zur Konstruktion eines Folgeschneidwerkzeuges*. Chemnitz, 2010.
24. LACHMANN, Lutz. TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ. *Umformtechnik: Arbeitsblätter - Professur für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik*. Chemnitz, 2012.
25. LACHMANN, Lutz. TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ. *Umformwerkzeuge: Arbeitsblätter - Profesur für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik*. Chemnitz, 2010.
26. LETSCH, Holger. TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ. *Strahltechnische Verfahren (Vorlesungen): Laserstrahlschneiden*. Chemnitz, 2011.
27. MAŇAS, Stanislav. ČVUT. *Výrobní stroje a zařízení: Tvářecí stroje* [online]. 2006 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12135-VSZ/download/obor_stud/VSZ_-_2351054/VSZ_-_Tvareci_stroje.pdf
28. Metal Injection Molding. *Custompart.net* [online]. 2013 [cit. 2013-04-12]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/metal-injection-molding>
29. MORAVEC, Ján. *Ohýbanie a ohýbacie nástroje*. vydanie prvé. Žilina: EDIS - vydavateľstvo ŽU, 2003, 93 s. ISBN 80-8070-040-0.
30. NEUGEBAUER, Reimund [Hrsg.] et al. *Umform- und Zerteiltechnik: Manuskript eines Kompendiums zur Unterstützung der Ausbildung an den umformtechnischen Lehrstühlen der Hochschulen Mitteldeutschlands*. Zwickau: Verlag Wissenschaftliche Scripten, 2005, XIV, 632 s. Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik: Berichte aus dem IWU, Band 31. ISBN 39-375-2435-5.
31. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Vydání první. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1980, 213 s. ISBN 04-234-80.
32. NOVOTNÝ, Karel. *Přípravky a nástroje: Část tvářecí nástroje* [online]. 2002 [cit. 2013-04-19]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/pripravky_a_nastroje__novotny_zemcik.pdf

33. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Vydání první. Brno: VUT Brno, 1992, 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
34. NOVOTNÝ, Karel. *Výrobní stroje a zařízení: Část tvářecí stroje* [online]. 2002 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/vyrobní_stroje_a_zarizeni__novotny.pdf
35. NOVOTNÝ, Karel. *Výrobní stroje: Část I - tváření*. Vydání druhé. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 1987, 112 s. ISBN 55-593/1-87.
36. OEHLER, Gerhard a Fritz KAISER. *Schneid- Und Stanzwerkzeuge: Konstruktion, Berechnung, Werkstoffe*. 8. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag, 2001. Klassiker der Technik. ISBN 3-540-67371-7.
37. Plasma Cutting & Plasma Cutters: Farmweld. *Farmweld* [online]. [2013] [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.farmweld.co.uk/plasma-cutting>
38. Plastické mazivo - Wikipedia. *Wikipedie, otevřená encyklopedie* [online]. 2013 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Plastick%C3%A9_mazivo
39. PTÁČEK, Luděk et al. *Nauka o materiálu II*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002, 392 s. ISBN 80-7204-248-3.
40. ROMANOVSKIJ, V. P. *Příručka pro lisování za studena*. Vydání první. Praha: SNTL - Státní nakladatelství technické literatury, 1959, 537 s. DT 621.986.
41. SCHULER GMBH. *Handbuch der Umformtechnik*. Berlin Heidelberg: Springer, 1996, 565 s. ISBN 35-406-1099-5.
42. TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN - LEHRSTUHL FÜR UMFORM- UND URFORMTECHNIK. *Anleitung zum Beleg „Folgeschneidwerkzeug“* [online]. 2012 [cit. 2013-4-18]. Dostupné z: http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/fakultaet_maschinenwesen/iff/lut/studium/wz_uzt/12_wzuzt08.pdf
43. THYSSENKRUPP STEEL EUROPE. *Tiefziehstähle DD, DC und DX: Für Bauteile höchster Umformkomplexität* [online]. Februar 2013 [cit. 2013-04-18]. Dostupné z: <http://www.thyssenkrupp-steel-europe.com/de/publikationen/produktinformationen/feinblech.jsp>
44. TRUMPF. *Děrovací nástroje a tvářecí nástroje, sestavovací přípravky a brusy nástrojů (Katalog)* [online]. [2013] [cit. 2013-04-18]. Dostupné z: www.cz.trumpf.com/index.php?eID=tx_nawsecured1&u=0&file=fileadmin/DAM/cz.trumpf.com/PDF/Katalog%20SW.pdf&t=1366368268&hash=771b42b9e77c75b18c48532e02a9fc12
45. TRUMPF. *Home - TRUMPF Gruppe* [online]. 2013 [cit. 2013-04-18]. Dostupné z: <http://www.trumpf.com/>
46. TSCHÄTSCH, Heinz a Jochen DIETRICH. *Praxis der Umformtechnik: Arbeitsverfahren, Maschinen, Werkzeuge*. 10., überarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2010, XII, 432 s. ISBN 978-3-8348-1013-7.
47. Tvrdost ocelových plechů HV-HB-HRC. SALZGITTER MANNESMANN STAHLHANDEL. *Salzgitter Mannesmann Stahlhandel: Člen skupiny Salzgitter* [online]. [2013] [cit. 2013-05-04]. Dostupné z: <http://www.salzgitter.cz/index.php?page=39>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Význam	Jednotka
a	délka válcové části hledáčku	[mm]
a_v	vzdálenost mezi vodičícími lištami	[mm]
A	průmět ražené plochy kolmo na osu razníku	[mm ²]
A_{50min}	tažnost	[%]
A_{80min}	tažnost	[%]
b	šířka ohýbaného plechu	[mm]
b_b	šířka upínací plochy beranu	[mm]
b_d	šířka desky	[mm]
b_h	délka kuželové části hledáčku	[mm]
b_m	šířka zatíženého mezikruží	[mm]
b_s	šířka upínací plochy stolu lisu	[mm]
B	šířka pásu plechu	[mm]
c	koeficient pro stanovení střížné vůle	[-]
c_r	koeficient pro stanovení minimálního poloměru ohybu	[-]
c_s	koeficient pro stanovení stírací síly	[-]
c_v	součinitel vyjadřující vliv tření na zaoblení vstupní hrany tažnice	[-]
C	koeficient pro výpočet síly pro ohyb do „V“	[-]
d	průměr	[mm]
D	průměr	[mm]
$DÚ$	dolní úvrat'	[-]
e_l	polovina tloušťky elastické oblasti při ohybu	[mm]
e	můstek	[mm]
E	modul pružnosti v tahu	[MPa]
E_1	přestavitelnost desky stolu	[mm]
E_2	přestavitelnost beranu	[mm]
E_j	jmenovitá energie	[J]
f	šířka okraje plechu	[mm]
F	síla	[N]
F_b	síla na beranu	[N]
F_C	celková síla	[N]
F_G	síla vyhazovače při přesném stříhání	[N]
F_j	jmenovitá síla	[N]
F_k	kalibrační síla	[N]
F_{krit}	kritická zatěžovací síla	[N]
F_N	normálová síla	[N]
F_o	ohýbací síla (obecně)	[N]
F_{op}	síla pro ohyb s přidržovačem	[N]
F_{or}	síla při ohýbání s ražením	[N]
F_{oV}	síla pro ohyb do „V“	[N]
F_{oU}	ohýbací síla při ohybu do „U“	[N]
F_{oUp}	síla pro ohyb do „U“ s přidržovačem	[N]
F_p	přidržovací síla	[N]
F_{pr}	síla pružiny	[N]
F_r	síla pro ražení ohybu	[N]
F_R	síla pro ražení	[N]
F_{RZ}	síla tlačné hrany při přesném stříhání	[N]

F_s	střížná síla	[N]
F_{smax}	maximální velikost střížné síly	[N]
F_{st}	stírací síla	[N]
F_t	tvářecí síla	[N]
g	přídavek v případě použití bočního ostříhovače	[mm]
h	výška	[mm]
h_o	dráha ohybníku	[mm]
h_p	tolerance vzdálenosti lišt	[mm]
h_r	dráha razníku	[mm]
h_s	dráha střížníku	[mm]
H	katalogová hodnota sevření lisu	[mm]
H_N	minimální sevřená výška nástroje	[mm]
H_t	výška tlačné hrany	[mm]
HÚ	horní úvrat'	[—]
I	moment setrvačnosti průřezu	[mm ⁴]
I_{min}	minimální hodnota momentu setrvačnosti pro daný průřez	[m ⁴]
J	moment setrvačnosti průřezu k neutrální ose	[mm ⁴]
k	koeficient pro stanovení úhlu odpružení	[—]
k_o	koeficient v závislosti na technologii pro stanovení ohýbací práce	[—]
k_{vm}	koeficient využití materiálu	[%]
k_w	koeficient pro výpočet síly při ražení	[—]
K	délka kroku	[mm]
K_o	poměr výsledného úhlu ohybu na součásti a úhlu ohybu na nástroji	[—]
K_r	korekční součinitel pro výpočet razicí síly při ohybu	[—]
l	délka, vzdálenost	[mm]
l_0	délka vláken vrstvy nulového prodloužení	[mm]
l_1	délka prodloužených nebo stlačených vláken	[mm]
l_b	délka upínací plochy beranu	[mm]
l_i	délka rovného úseku ohýbané součásti	[mm]
l_k	redukováná délka vyplývající ze způsobu uložení střížníku	[mm]
l_{krit}	kritická délka střížníku	[mm]
l_o	celková délka ohybem vzniklých hran	[mm]
l_r	délka ražených ohybů	[mm]
l_s	délka upínací plochy stolu lisu	[mm]
l_v	délka součásti (výstřížku)	[mm]
l_z	vzdálenost mezi zaoblením ohybníku a ohybnice	[mm]
L	délka polotovaru při ohýbáním (tzv. rozvinutá délka)	[mm]
L'	vypočtená rozvinutá délka	[mm]
L_i	délka elementu stříhaného obvodu	[mm]
L_o	délka ojnice	[mm]
m	koeficient pro výpočet ohýbací práce dle ČSN 22 7340	[—]
m_p	jmenovitá šířka pásu	[mm]
M	moment	[Nmm]
M_{el}	ohybový moment pro čistě elastický ohyb	[Nmm]
M_o	ohybový moment	[Nmm]
M_{pl}	ohybový moment pro ideálně tuho-plastický ohyb	[Nmm]
n	koeficient zohledňující vnější podmínky při stříhu	[—]
n_{90min}	exponent deformačního zpevnění	[—]
n_k	koeficient pro stanovení kalibrační síly při ohybu	[—]

p	šířka průmětu ražené oblasti kolmo na směr pohybu ohybníku	[mm]
\bar{p}	průměrný kontaktní tlak	[Pa]
p_h	tlak hydraulického média	[Pa]
p_p	tolerance pásu	[mm]
r	poloměr	[mm]
r_{0min}	plošná anizotropie (podélně)	[–]
r_{90min}	plošná anizotropie (příčně)	[–]
r_m	poloměr zaoblení vstupní hrany ohybnice	[mm]
r_p	poloměr zaoblení ohybníku	[mm]
R	poloměr zaoblení na dně ohybnice	[mm]
R_1	vnitřní poloměr ohýbaného pásu	[mm]
R_{11}	vnitřní poloměr ohybu na nástroji (před odtížením)	[mm]
R_{12}	výsledný vnitřní poloměr ohybu na součásti (po odtížení)	[mm]
R_{1j}	vnitřní poloměr ohýbaného pásu v úseku j	[mm]
R_{1max}	maximální poloměr ohybu	[mm]
R_{1min}	minimální poloměr ohybu	[mm]
R_2	vnější poloměr ohýbaného pásu	[mm]
R'_2	změněný vnější poloměr ohybu při ražení	[mm]
R_e	výrazná mez kluzu	[MPa]
R_k	poloměr kliky klikového hřídele	[mm]
R_m	mez pevnosti v tahu	[MPa]
$R_{p0,2}$	smluvní mez kluzu	[MPa]
s	tloušťka plechu	[mm]
s_0	počáteční tloušťka plechu	[mm]
s_{max}	maximální tloušťka plechu	[mm]
s_t	dráha beranu při tváření	[mm]
S	plocha	[mm ²]
S_{min}	minimální průřez kolíků pro uchycení střížníků	[mm ²]
S_s	velikost střížné plochy	[mm ²]
S_v	plocha součásti (výstřížku)	[mm ²]
\check{s}_v	šířka součásti (výstřížku)	[mm]
T	tloušťka střížnice	[mm]
TNZ	technicky nutné ztráty	[Kč/100 ks], [%]
ÚVN	úplné výrobní náklady	[Kč/100 ks]
v	vůle	[mm]
v_b	rychlost beranu	[mm · s ⁻¹]
VN	výrobní náklady	[Kč/100 ks]
w	vzdálenost opěr	[mm]
W	práce	[J]
W_o	ohýbací práce	[J]
W_{om}	modul průřezu v ohybu	[mm ³]
W_r	práce pro ražení	[J]
W_s	střížná práce	[J]
x	součinitel posunu osy nulového prodloužení směrem k ose ohybu	[–]
x_0	poloha působíště sil v ose x	[mm]
x_{0pr}	poloha působíště sil v ose x se zohledněním pružin	[mm]
x_h	nutná vůle hledáčku v otvoru v plechu	[mm]
x_i	souřadnice geometrického těžiště elementu v ose x	[mm]

x_j	součinitel posunu osy nulového prodloužení v úseku j	[–]
x_n	vzdálenost vlákna od neutrální vrstvy	[mm]
x_o	délka ramene působící normálové síly	[mm]
x_p	pracovní dráha lisu	[mm]
y_0	poloha působišť sil v ose y	[mm]
y_i	souřadnice geometrického těžiště elementu v ose y	[mm]
z	střížná mezera	[mm]
Z	zdvih	[mm]
α	úhel (ohybu, oblouku, obecný)	[rad], [°]
α_1	úhel ohybu na nástroji (před odtížením)	[°]
α_2	výsledný úhel ohybu na součásti (po odtížení)	[°]
α_j	úhel ohybu úseku j	[°]
β	úhel odpružení	[°]
γ	úhel podbroušení ohybníku	[°]
ε	poměrná deformace	[–]
$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$	hlavní poměrné deformace	[–]
$\varepsilon_{1,3}$	poměrná deformace vláken při ohybu pro oblast tahu nebo tlaku	[–]
$\varepsilon_{1,3s}$	poměrná deformace krajních vláken při ohybu	[–]
ε_{ef}	efektivní poměrná deformace	[–]
ε_{tmax}	poměrná deformace krajních vláken pro minimální poloměr ohybu	[–]
ε_{tmin}	poměrná deformace krajních vláken pro maximální poloměr ohybu	[–]
λ	součinitel plnosti diagramu síla-dráha	[–]
λ_s	štíhlost střížníku	[–]
λ_{smin}	mezní štíhlost střížníku	[–]
ν	koeficient bezpečnosti	[–]
ϱ	poloměr vlákna při ohybu	[mm]
ϱ_0	poloměr vrstvy nulového prodloužení	[mm]
ϱ_n	poloměr neutrální vrstvy	[mm]
ϱ_s	střední poloměr ohýbaného pásu	[mm]
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	hlavní normálová napětí	[MPa]
σ_{1s}	napětí v krajních vláknech	[MPa]
σ_{dov}	dovolené napětí	[MPa]
σ_{ef}	efektivní napětí	[MPa]
σ_k	napětí na mezi kluzu	[MPa]
σ_{kd}	hranice rovnoměrné deformace v tlaku	[MPa]
σ_{kont}	kontaktní tlak na opěrné ploše střížníku	[MPa]
σ_n	normálové napětí	[MPa]
σ_o	ohybové napětí	[MPa]
σ_p	přirozený přetvárný odpor materiálu	[MPa]
σ_t	tangenciální napětí	[MPa]
σ_ϱ	radiální napětí	[MPa]
τ_k	smykové napětí působící na střížník/střížnici	[MPa]
τ_{max}	maximální smykové napětí	[MPa]
τ_s	pevnost materiálu ve střihu	[MPa]
φ	logaritmická deformace (přetvoření)	[–]
φ_1	logaritmická deformace (přetvoření) ve směru hl. napětí σ_1	[–]

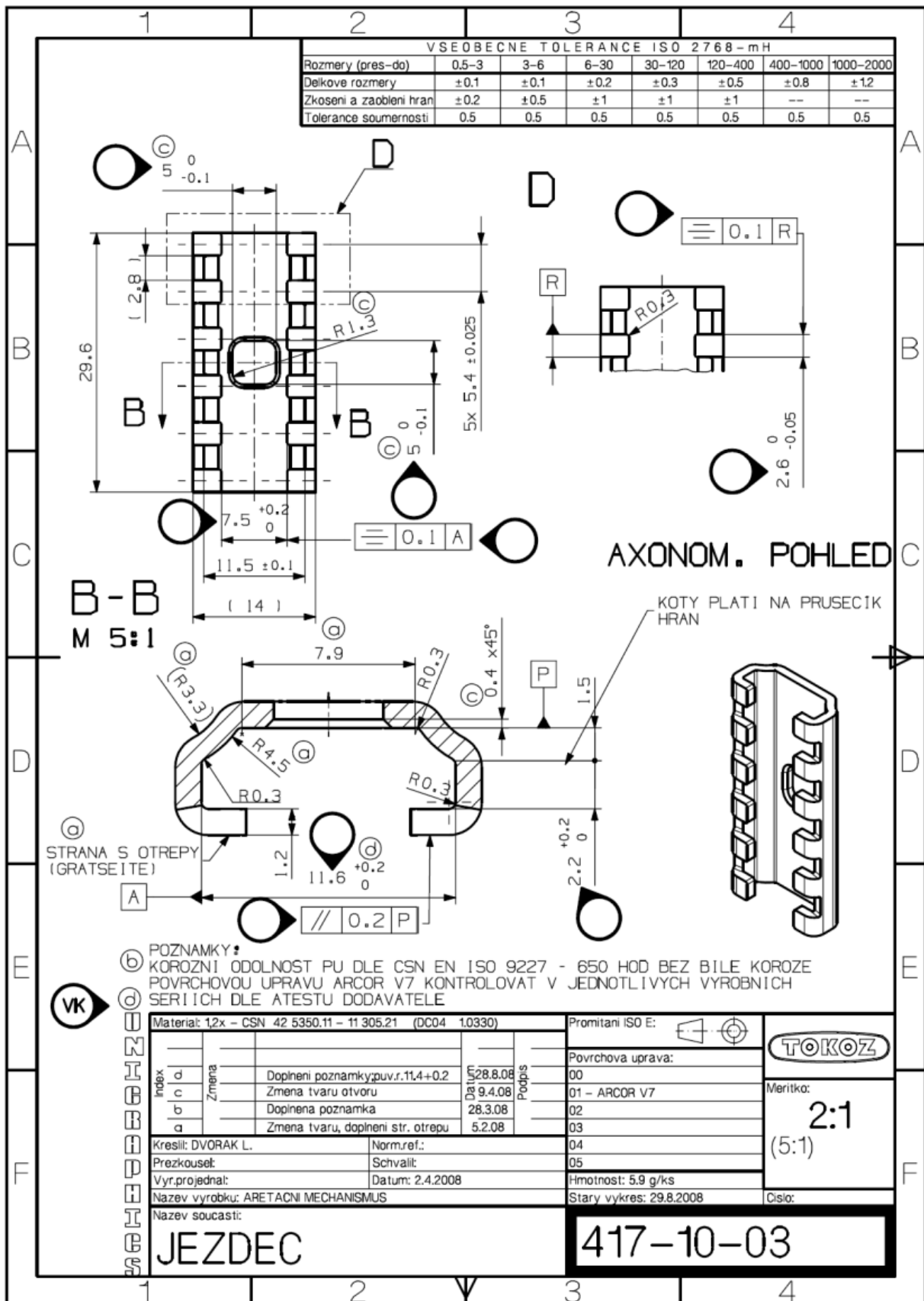
$\dot{\varphi}_1$	rychlost logaritmické deformace ve směru hl. napětí σ_1	$[s^{-1}]$
$\varphi_{1,2s}$	logaritmická deformace (přetvoření) při ohybu v krajních vláknech	$[-]$
φ_n	úhel natočení klikového hřídele	$[^\circ]$
φ_t	přetvoření v tangenciálním směru	$[-]$

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha č. 1 – Výkres součásti
- Příloha č. 2 – Shrnutí výhod a nevýhod různých výrobních technologií pro výrobu jezdce
- Příloha č. 3 – Napjatost při stříhání
- Příloha č. 4 – Průběh napětí při ohýbání
- Příloha č. 5 – Odvození ohybových momentů
- Příloha č. 6 – Síla a práce při ohybu do „V“
- Příloha č. 7 – Odvození vztahu pro tloušťku střižnice
- Příloha č. 8 – Kontrola namáhání střižné hrany střižníku
- Příloha č. 9 – Vztahy pro stanovení momentu setrvačnosti průřezu
- Příloha č. 10 – Doporučené nástrojové materiály a jejich tepelné zpracování
- Příloha č. 11 – Doporučené velikosti střižné vůle pro kovové materiály
- Příloha č. 12 – Diagram pro stanovení odpružení při ohybu
- Příloha č. 13 – Technické listy maziv
- Příloha č. 14 – Parametry některých tvářecích strojů firmy TOKOZ
- Příloha č. 15 – Kalkulační tabulka

PŘÍLOHA Č. 1 – VÝKRES SOUČÁSTI [Interní dokument firmy TOKOZ a.s.]

Uvedený výkres je zmenšeninou, není tedy v měřítku. Kromě velikosti nebyl výkres dodatečně nijak upraven.



PŘÍLOHA Č. 2 – SHRnutí VÝHOD A NEVÝHOD RůZNÝCH VÝROBNÍCH TECHNOLOGIÍ PRO VÝROBU JEZDCE [1], [20], [44], [45]

Pro volbu výrobní technologie je důležitá zejména její schopnost dosáhnout požadovaných parametrů součástí (tolerance, tvar, atd.). Jen na základě tohoto kritéria lze v případě obtížně vyrobitelných součástí vyloučit valnou většinu dostupných výrobních postupů. Druhým nejvýznamnějším faktorem je výrobní cena součástí, na jejímž základě je možné již na první pohled často vyloučit další skupinu technologií. Každá z technologií zvažovaných pro výrobu jezdce má množství dalších vlastností, které vzhledem k uvedeným výběrovým kritériím nemají pro volbu valný význam. Je však vhodné být s nimi seznámen, protože poskytují objektivnější pohled na jednotlivé metody a v případě změny koncepce nebo vývoje obdobného výrobku mohou být brány v potaz. Následný výčet vlastností technologií je vztažen konkrétně na výrobu jezdce, v mnoha případech je však platný obecně.

Tlakové lití

Výhody:

- Vysoká produktivita – Je možné vyrobít vícenásobnou formu a tedy i více kusů v jednom licím cyklu.
- Vysoké procento využití materiálu – Díky recyklaci vtokových soustav je minimalizováno množství odpadu.
- Možnost sloučení jezdce s tvarovým čepem – Vzhledem k použití jiné technologie, než bylo původně zamýšleno konstruktérem, by muselo dojít ke změně konstrukce jezdce, aby lépe odpovídala potřebám nového výrobního procesu. V rámci těchto úprav by mohl být sloučen s tvarovým čepem, čímž by došlo k úspoře jedné montážní operace.
- Zavedená technologie – Firma TOKOZ má dlouholeté zkušenosti s tlakovým litím slitin zinku a disponuje množstvím odborníků.

Nevýhody:

- Nákladná a složitá konstrukce formy – Komplikovaná konstrukce formy, obzvláště vícenásobné, by se nepříznivě odrazila na její ceně a tedy i na ceně výsledného výrobku.
- Riziko skrytých vad – Existuje riziko vzniku skrytých slévárenských vad, jako je například zvýšená porozita, které by mohly nepříznivě ovlivnit spolehlivost výrobku.
- Problémy s dodržением tolerancí – V důsledku teplotní roztažnosti formy by mohlo dojít k nedodržení relativně úzkých tolerancí, zejména u ozubení jezdce.
- Změna materiálu a konstrukce součásti
- Nesplnění pevnostních požadavků na ozubení

MIM

Výhody:

- Velmi vysoká produktivita – Obdobně jako v případě tlakového lití by se předpokládalo použití vícenásobné formy.
- Velmi vysoké procento využití materiálu – Vzhledem k tomu, že pojivem je termoplast, je možné recyklovat vtokové soustavy. Součásti jsou obvykle vyráběny tak, aby nebylo nutné provádět dodatečné dokončovací operace.
- Vysoká rozměrová přesnost – Dosažitelná přesnost rozměrů je až $\pm 0,3$ %.
- Široké spektrum použitelných materiálů
- Vynikající vlastnosti materiálu – Výsledná hustota materiálu po slinování je obvykle vyšší než 97 % hustoty teoretické, porozita je tudíž velmi malá.
- Možnost sloučení jezdce s tvarovým čepem – Platí obdobně jako u tlakového lití.

Nevýhody:

- Velmi nákladná technologie – Zavedení této technologie by bylo velmi nákladné, proto je nutné počítat s výrobou v kooperaci.

Nekonvenční metody dělení plechu a ohýbání plechu

Řezání vysokotlakým vodním paprskem:

Výhody: žádné tepelné ovlivnění materiálu

Nevýhody: nedostatečná přesnost řezu; příliš velká řezná spára při použití abraziva; odchylka kolmosti řezu v řádu stupňů; nízká rychlost řezání ($450 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ pro materiál tloušťky 1 mm); riziko koroze

Řezání kyslíkem:

Výhody: levná technologie

Nevýhody: výrazné tepelné ovlivnění okolí řezu; velmi nízká kvalita řezu; není vhodné pro velkosériovou výrobu a výrobu součástí malých rozměrů

Řezání plazmou:

Výhody: vysoká rychlost řezání ($9 - 12 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ u tenkých plechů); dobrá kvalita řezu při použití pokročilejších variant technologie (HD plazma, plazma stabilizovaná vodní parou)

Nevýhody: tepelné ovlivnění okolí řezu; vysoké pořizovací i provozní náklady; negativní průvodní jevy (hluk, UV záření, vznik par)

Řezání laserem:

Výhody: vysoká rychlost řezání; vysoká kvalita řezu; nízké tepelné ovlivnění řezu

Nevýhody: vysoké pořizovací náklady (vedoucí vzhledem k velkému rozšíření technologie k výrobě v kooperaci); nutnost ochranných opatření vzhledem k riziku odrazu paprsku

Řezání svazkem elektronů:

Výhody: vynikající parametry řezu

Nevýhody: enormní náklady; velmi nízká produktivita

Ohýbání:

Výhody:

- Ohýbání v nástrojích je ve firmě TOKOZ dobře zvládnutou technologií
- Řezání laserem je běžně dostupná technologie v rámci kooperace

Nevýhody:

- Velmi komplikovaný výrobní proces – Nutným rozdělením řezání a ohýbání do samostatných operací dochází k značnému nárůstu nákladů.

Konvenční stříhání a ohýbání plechu

Zásadní výhodou této kombinace technologií je možnost použití postupového nástroje sdružujícího jak stříh, tak ohyb. Výroba složitějšího nástroje vyžaduje vyšší vstupní náklady, to je však v důsledku kompenzováno skutečností, že kompletní výroba součásti probíhá v jedné operaci. Produktivita může být zvýšena použitím víceřadého nástroje, který je však také nákladnější. Toto řešení přímo vybízí k značnému stupni automatizace.

Výhody:

- Vysoce produktivní metoda – Produktivita souvisí s počtem zdvihů použitého lisu. U moderních zařízení může přesahovat i 100 ks za minutu.
- Velmi dobře zvládnutá technologie – Firma TOKOZ má s návrhem, výrobou a použitím postupových nástrojů dlouholeté zkušenosti.

Nevýhody:

- Požadovaná přesnost se pohybuje na hranici možností technologie – Vzhledem k nízkým předepsaným tolerancím je zapotřebí patřičně upravit konstrukci nástroje. Mohou také nastat problémy při rozběhu a odladování výroby.

Vysekávání na vysekávacích lisech a ohýbání plechu

Samotné vysekávání, které je obvykle používáno pro výrobu součástí větších rozměrů, než má jezdec, dosahuje běžně přesnosti max. $\pm 0,1$ mm, bylo by tedy nutné počítat s využitím řezání laserem. Je možné vyrobít zahloubení kruhových otvorů a to dokonce i pro šrouby s šestihrannou hlavou. Mělo by být tedy možné s pomocí speciálního nástroje vyrobít i zahloubení otvoru pro tvarový čep. Vysekávací centra umožňují vytvoření jednoduchých ohybů – v případě zařízení firmy Trumpf s úhlem ohybu do 90° s tolerancí $\pm 1^\circ$. Vzhledem k malým rozměrům a složitému tvaru jezdce je třeba předpokládat, že ohyb bude možný v nejlepším případě jen zčásti. Výroba součástí tedy bude muset probíhat nejméně ve dvou oddělených operacích. K vysekávacím CNC centrům existuje široká nabídka přídatných zařízení, s jejichž pomocí by mělo být možné celý výrobní proces do značné míry automatizovat. Tímto způsobem zvýšení pořizovacích nákladů je však s ohledem na velikost série jen stěží odůvodnitelné.

Výhody:

- Oproti kombinaci klasického řezání laserem a ohýbání možnost přidružení části ohýbání již do operace vysekávání – Zjednodušení závěrečné operace ohýbání by vedlo k zjednodušení konstrukce potřebného nástroje a tedy i jeho ceny.
- Potenciálně vysoká možnost automatizace
- Velká flexibilita vysekávacího CNC centra umožňující v případě jeho koupě snazší vyplnění přebytečné kapacity

Nevýhody:

- Vyžaduje množství specifických řešení – Například zahloubení otvoru pro tvarový čep by vyžadovalo výrobu nestandardního nástroje.
- Vysoké pořizovací náklady – Technologie vysekávání není ve firmě TOKOZ zavedena.
- Nutná výroba v několika oddělených operacích

Přesné stříhání a ohýbání plechu

Výhody:

- Velmi vysoká přesnost a kvalita stříhu
- Vysoká produktivita – Nejmodernější zařízení firmy Feintool umožňují přes 100 zdvihů za minutu.

Nevýhody:

- Velmi složitá konstrukce postupového nástroje nebo ohýbání v samostatné operaci
- Zvýšená spotřeba materiálu – V plechu je zapotřebí ponechat volné místo pro tlačnou hranu, které v důsledku zvyšuje procento odpadu.
- Firma TOKOZ nedisponuje stroji umožňujícími přesné stříhání

PŘÍLOHA Č. 3 – NAPJATOST PŘI STŘÍHÁNÍ [16], [31], [40], [46]

Plastická deformace při zatěžování jednoosým tahem nebo tlakem začíná v momentě překročení meze kluzu σ_k (výrazné R_e nebo smluvní $R_{p0,2}$). V průběhu následujícího rozvoje plastické deformace materiál zpevňuje a v případě odtížení je pro nové dosažení plastického stavu nutné překročit přirozený přetvárný odpor materiálu σ_p , jehož závislost na logaritmickém přetvoření φ popisují tzv. křivky zpevnění. V tomto případě pak podmínka nutná pro dosažení plastického stavu – podmínka plasticity pro jednoosý tah má tvar:

$$\sigma_1 = \sigma_p \quad (\text{P3.1})$$

V případě komplikovanějšího stavu napjatosti, však logicky nelze podmínku plasticity v uvedeném tvaru uplatnit. Z tohoto důvodu byly odvozeny podmínky plasticity τ_{max} (podmínka maximálních smykových napětí) a podmínka HMH (podmínka energetická). Podmínka HMH uvádí, že k první plastické deformaci dochází v okamžiku, kdy efektivní napětí dosáhne meze kluzu.

$$\sigma_{ef} = \sqrt{\frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \quad (\text{P3.2})$$

Zjednodušeně lze funkci této podmínky chápat, jako převod trojosého stavu napjatosti do stavu jednoosého, ve kterém jsou materiálové vlastnosti snadno stanovitelné pomocí tahové zkoušky.

Při otevřeném střihu nastává přibližně rovinný stav deformace, pro který platí fyzikální předpoklad:

$$\varepsilon_2 = \frac{\varepsilon_{ef}}{\sigma_{ef}} \left[\sigma_2 - \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3) \right] = 0 \quad (\text{P3.3})$$

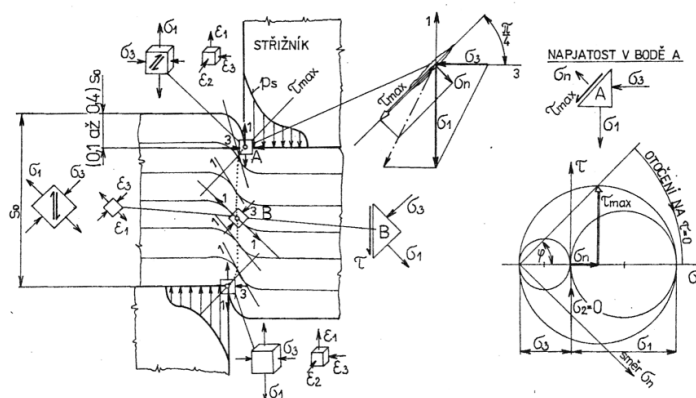
Z tohoto předpokladu lze pak odvodit vztah pro napětí σ_2 :

$$\sigma_2 = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3) \quad (\text{P3.4})$$

Dosažením do podmínky plasticity HMH se získá podmínka plasticity pro rovinný stav deformace a z Mohrových kružnic napětí (obr. P3.1) lze odvodit vztah pro maximální smykové napětí:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_p \quad (\text{P3.5})$$

$$\tau_{max} = \frac{1}{\sqrt{3}} \sigma_p \quad (\text{P3.6})$$



Obr. P3.1 Schéma napjatosti a deformace při běžném uzavřeném střihání a Mohrovy kružnice [16]

Analýzy napjatosti na břitu střížníku v okamžiku usmýknutí ukazují, že $\sigma_2 \approx 0$ a jedná se tedy nejen o rovinný stav deformace ale i napjatosti, pro který zde platí:

$$\sigma_3 \approx \frac{-\sigma_1}{2} \quad (\text{P3.7})$$

Dosazením do podmínky plasticity (P3.5) vznikne vztah pro napětí σ_1 :

$$\sigma_1 = \frac{4}{3\sqrt{3}} \sigma_p \cong 0,7698 \cdot \sigma_p \quad (\text{P3.8})$$

Aby proběhl stříh (došlo k usmýknutí), je nutné porušit soudržnost materiálu. K tomu dojde, když přetvárný odpor σ_d překročí mez pevnosti materiálu v tahu R_m . Z toho vyplývá vztah pro střížné napětí, obvykle nazývané pevnost ve stříhu nebo střížný odpor:

$$\sigma_1 = \tau_s = 0,77 \cdot R_m \quad (\text{P3.9})$$

Empiricky stanovena se tato hodnota podle různých zdrojů pohybuje mezi 0,55 až 0,9 R_m , v závislosti na konkrétním materiálu a jeho tloušťce. V praxi se používá téměř výhradně hodnota 0,8 R_m , která odpovídá odvozené hodnotě s jistou rezervou zahrnující např. vliv rozdílných rychlostí deformace. Někteří autoři [46] doporučují volit pro materiály s vysokou pevností hodnotu 0,7 R_m a pro materiály s nižší pevností a vysokou tažností 0,9 R_m .

Největší tahové napětí je v blízkosti místa kontaktu materiálu se střížnou hranou, tedy v bodě A. Ze vztahů (P3.5), (P3.6) a (P3.7) vyplývá:

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{3}{2} \sigma_3 \quad (\text{P3.10})$$

Z Mohrových kružnic je zřejmé, že normálová složka napětí σ_n (kolmá na τ_{max}) je kladná, tedy tahová a je možné ji stanovit vztahem:

$$\sigma_n = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \quad (\text{P3.11})$$

Tato normálová složka napětí vede k rozevírání trhlin v závěrečné fázi stříhu, čímž podporuje jejich šíření. Této skutečnosti využívá technologie přesného stříhání, kdy je do oblasti stříhu vnášeno přídavné tlakové napětí, které vede k tomu, že normálové napětí je rovněž tlakové. Trhliny jsou pak uzavírány a dochází k zbrzdění jejich rozvoje a tím i rozšíření pásma plastické deformace.

Ve střížné rovině dochází směrem do jejího středu ke změně orientace tahových vláken, tedy i τ_{max} , což má za následek typicky esovitý tvar střížné plochy.

PŘÍLOHA Č. 4 – PRŮBĚH NAPĚTÍ PŘI OHÝBÁNÍ [16], [30]

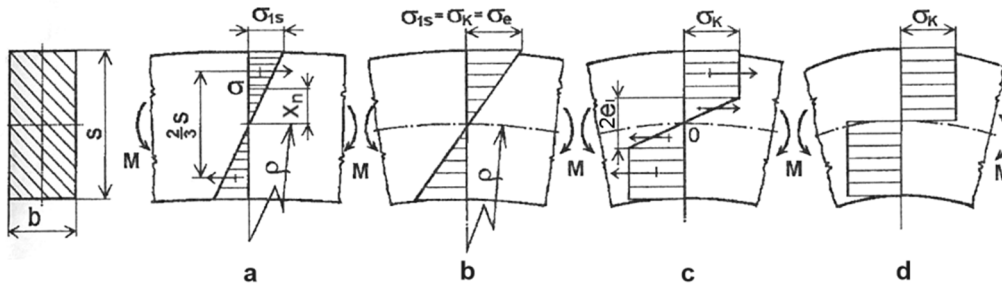
Na počátku ohybu, kdy nastává pouze elastická deformace, je možné napětí stanovit s pomocí Hookova zákona:

$$\sigma_{1,3} = E \cdot \varepsilon_{1,3} = \pm E \frac{x_n}{\rho} \quad (\text{P4.1})$$

Maximální hodnoty v krajních vláknech nastávají dle uvedených předpokladů pro hodnotu $x_n = s/2$:

$$\sigma_{1,3s} = \pm E \frac{s}{2\rho} \quad (\text{P4.2})$$

Mezní hodnota pro platnost uvedených vztahů pro výpočet napětí je v případě ohýbání úzkých pásů dosažení napětí na mezi kluzu v krajních vláknech, tedy: $\sigma_{1s} = \sigma_k$. V dalších fázích ohybu je nutné respektovat zvolený materiálový model (viz Obr. P4.1).



Obr. P4.1 Rozložení napětí v průřezu dle materiálového modelu [16]

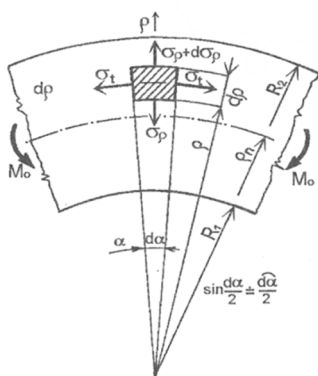
V případě ohýbání širokých pásů, kdy se předpokládá rovinná deformace ($\varepsilon_2 = 0$) a v krajních vláknech je radiální napětí rovno nule ($\sigma_3 = 0$), nabývá podmínka plasticity HMH (P3.5) tvar:

$$\sigma_1 = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_k \quad (\text{P4.3})$$

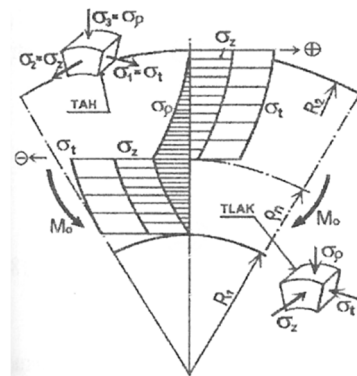
Počátek plastické deformace tedy nastane, když napětí v krajních vláknech dosáhne hodnoty odpovídající podmínce plasticity: $\sigma_{1s} = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_k$.

Je zapotřebí brát zřetel na skutečnost, že při ohýbání širokých pásů nastává obecně stav trojosé napjatosti a v krajních vláknech vzhledem k nulové velikosti radiálního napětí dvojosé. Za předpokladu, že dochází pouze k dvojosé deformaci ($\varepsilon_2 = 0$) a materiál se chová ideálně tuhoplasticky, lze ze silové rovnováhy v radiálním směru na elementu pásu v tahové oblasti odvodit následující rovnici, viz obr. P4.2:

$$\sum F_\rho = -\sigma_\rho \cdot b \cdot \rho \cdot d\alpha + (\sigma_\rho + d\sigma_\rho)(\rho + d\rho)b \cdot d\alpha - 2\sigma_t \cdot b \cdot d\rho \cdot \sin \frac{d\alpha}{2} = 0 \quad (\text{P4.4})$$



Obr. P4.2 Geometrický model ohybu širokých pásů [16]



Obr. P4.3 Rozložení napětí při ohybu širokých pásů [16]

Po úpravě (zanedbání součinů diferenciálů a $\sin \alpha \approx \alpha$):

$$\frac{d\sigma_\varrho}{d\varrho} - \frac{\sigma_t - \sigma_\varrho}{\varrho} = 0 \quad (\text{P4.5})$$

S pomocí podmínky HMH (P3.5) ve tvaru $\sigma_t - \sigma_\varrho = \frac{2}{\sqrt{3}}\sigma_k$ lze odvodit vztahy pro radiální a tangenciální složky napětí:

$$\sigma_\varrho = -\frac{2}{\sqrt{3}}\sigma_k \ln \frac{R_2}{\varrho} \quad (\text{P4.6})$$

$$\sigma_t = \frac{2}{\sqrt{3}}\sigma_k \left(1 - \ln \frac{R_2}{\varrho}\right) \quad (\text{P4.7})$$

A zcela analogicky pro tlakovou část:

$$\frac{d\sigma_\varrho}{d\varrho} + \frac{\sigma_t - \sigma_\varrho}{\varrho} = 0 \quad (\text{P4.8})$$

$$\sigma_\varrho - \sigma_t = \frac{2}{\sqrt{3}}\sigma_k \quad (\text{P4.9})$$

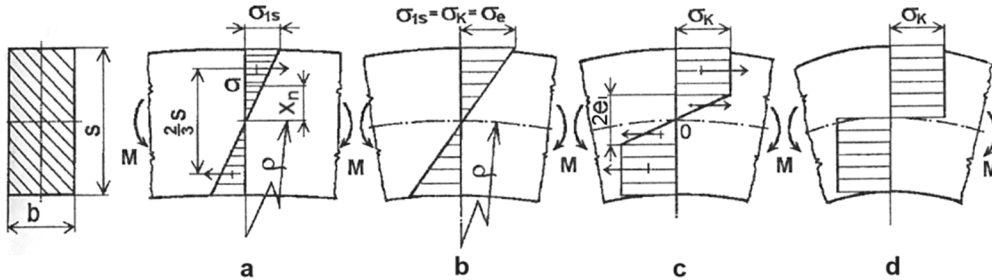
$$\sigma_\varrho = -\frac{2}{\sqrt{3}}\sigma_k \ln \frac{\varrho}{R_1} \quad (\text{P4.10})$$

$$\sigma_t = -\frac{2}{\sqrt{3}}\sigma_k \left(1 + \ln \frac{\varrho}{R_1}\right) \quad (\text{P4.11})$$

Z rovnosti vztahů pro radiální napětí v tlakové (P4.10) a tahové části (P4.6) lze následně stanovit vztah pro určení polohy neutrální vrstvy.

PŘÍLOHA Č. 5 – ODVOZENÍ OHYBOVÝCH MOMENTŮ [16], [30]

Vztah pro výpočet ohýbacího momentu, který je nezbytný pro stanovení ohýbací síly, se liší podle toho, jaký materiálový model je uvažován a zda se jedná o ohýbání úzkých nebo širokých pásů plechu.



Obr. P5.1 Rozložení napětí v průřezu dle materiálového modelu [16]

Velikost ohýbacího momentu je rovna síle, odpovídající objemu napěťového obrazce viz obr. P5.1, krát rameno, na kterém působí. Pro čistě elastický ohyb úzkých pásů je pak tedy s ohledem na předpoklad symetrie rozložení napětí v tahové a tlakové oblasti:

$$M_{el} = 2 \int_{x_n=0}^{s/2} \sigma_1 \cdot b \cdot x_n dx_n \quad (P5.1)$$

Dosažením za napětí σ_1 ze vztahu:

$$\sigma_{1,3} = E \cdot \varepsilon_{1,3} = \pm E \frac{x_n}{\varrho} \quad (P5.2)$$

a integrací se vypočte výsledný vztah pro elastický ohybový moment:

$$M_{el} = 2 \int_{x_n=0}^{s/2} E \frac{x_n}{\varrho} b \cdot x_n dx_n = \frac{2E \cdot b}{\varrho} \left[\frac{x_n^3}{3} \right]_0^{s/2} = E \frac{b \cdot s^3}{12} \frac{1}{\varrho} = \frac{EJ}{\varrho} = \frac{b \cdot s^2}{6} \sigma_{1s} \quad (P5.3)$$

kde: J – moment setrvačnosti průřezu k neutrální ose

Ve chvíli dosažení napětí na mezi kluzu v krajních vlákních nabývá $\sigma_{1s} = \sigma_k$ a vztah pro výpočet ohybového momentu bude:

$$M_{el} = \frac{b \cdot s^2}{6} \sigma_k \quad (P5.4)$$

Při dalším zvyšování zakřivení plechu dochází již k rozvoji plastické deformace. Vzhledem k tomu, že popis reálného zpevnování materiálu je analyticky příliš obtížný, bývají uplatňovány, jak již bylo zmíněno, různé materiálové modely. V případě ideálně tuho-plastického modelu lze vztah pro ohybový moment stanovit:

$$M_{pl} = 2 \int_{x_n=0}^{s/2} \sigma_k \cdot b \cdot x_n dx_n = 2\sigma_k \cdot b \left[\frac{x_n^2}{2} \right]_0^{s/2} = \frac{b \cdot s^2}{4} \sigma_k \quad (P5.5)$$

A pro elasto-plastický model bez zpevnění:

$$M_o = M_{el} + M_{pl} = 2 \int_{x_n=0}^{e_l} \sigma_1 \cdot b \cdot x_n dx_n + 2 \int_{x_n=e_l}^{s/2} \sigma_k \cdot b \cdot x_n dx_n \quad (P5.6)$$

kde: e_l – polovina tloušťky elastické oblasti

S uvážením vztahu:

$$\varepsilon_{1,3} = \pm \frac{x_n}{\varrho} \quad (P5.7)$$

a vztahu (P5.2) v podobě platné pro tento případ: $\sigma_k = E \frac{e_l}{\varrho}$, pak platí:

$$M_{el} = 2 \int_{x_n=0}^{e_l} \sigma_1 \cdot b \cdot x_n dx_n = \frac{2E \cdot b}{\varrho} \left[\frac{x_n^3}{3} \right]_0^{e_l} = \frac{2}{3} \sigma_k \cdot b \cdot e_l^2 \quad (\text{P5.8})$$

$$M_{pl} = 2 \int_{x_n=e_l}^{s/2} \sigma_k \cdot b \cdot x_n dx_n = 2\sigma_k \cdot b \left[\frac{x_n^2}{2} \right]_{e_l}^{s/2} = \sigma_k \cdot b \left(\frac{s^2}{4} - e_l^2 \right) \quad (\text{P5.9})$$

$$M_o = M_{el} + M_{pl} = \sigma_k \cdot b \left(\frac{s^2}{4} - \frac{e_l^2}{3} \right) \quad (\text{P5.10})$$

Obdobné odvození pro elasto-plastický materiálový model s křivkou zpevnění aproximovanou Ludwik-Holomonovou rovnicí je sice možné, ale pro běžné použití již příliš komplikované.

Při ohýbání širokých pásů je s uvážením všech již zmíněných předpokladů odvození vztahů pro ohýbací momenty zcela analogické, pouze je nutné uplatnit podmínku plasticity v podobě (P4.3) $\sigma_1 = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_k$. Stanovené vztahy pak nabývají podoby:

$$M_{el} = \frac{b \cdot s^2}{6} \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_k \quad (\text{P5.11})$$

$$M_{pl} = \frac{b \cdot s^2}{4} \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_k \quad (\text{P5.12})$$

$$M_o = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_k \cdot b \left(\frac{s^2}{4} - \frac{e_l^2}{3} \right) \quad (\text{P5.13})$$

PŘÍLOHA Č. 6 – SÍLA A PRÁCE PŘI OHYBU DO „V“ [9], [16], [24], [30], [46]

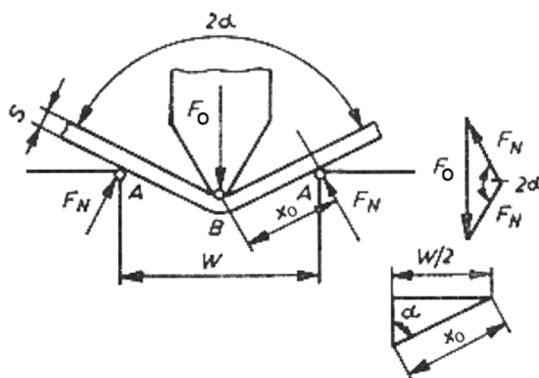
Vzhledem k tomu, že vnější moment je roven síle krát rameno, na kterém síla působí a vztahům vyplývajícím z geometrického modelu, lze při ohýbání do „V“ stanovit vztah pro vnější moment v závislosti na ohýbací síle:

$$M = F_N \cdot x_o \quad (\text{P6.1})$$

$$F_N = \frac{F_o}{2 \sin \alpha} \quad (\text{P6.2})$$

$$x_o = \frac{w}{2 \sin \alpha} \quad (\text{P6.3})$$

$$M = \frac{F_o \cdot w}{4 \sin^2 \alpha} \quad (\text{P6.4})$$



Obr. P6.1 Geometrický model ohybu do „V“ [30]

Ohýbací sílu lze nyní stanovit z rovnosti vnitřního (ohybového) a vnějšího momentu. Běžně se v tomto případě používá ohybový moment s použitím tuho-plastického materiálového modelu (P5.5). Vzhledem k tomu, že nezohledňuje oblast elastické deformace, dochází do určité míry ke kompenzaci vlivu zpevnění.

$$\frac{F_o \cdot w}{4 \sin^2 \alpha} = \frac{b \cdot s^2}{4} \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_k \quad (\text{P6.5})$$

$$F_o = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_k \frac{b \cdot s^2}{w} \sin^2 \alpha \quad (\text{P6.6})$$

Pro volbu vhodného stroje je však zapotřebí znát maximální sílu. Ta dle vztahu (P6.6) nastane pro $\sin^2 \alpha = 1$, tedy pro $\alpha = 90^\circ$. Výsledný vztah má pak podobu:

$$F_o = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_k \frac{b \cdot s^2}{w} \quad (\text{P6.7})$$

Vzhledem k tomu, že analyticky odvozené vztahy jsou velmi komplikované a často nezahrnují množství působících faktorů, jako je například změna opěrných bodů v důsledku zaoblení ohybnice, parabolický tvar ohýbaného pásu v průběhu fáze volného ohybu apod., používají se v praxi empirické vzorce.

Pro ohyb do „V“:

$$F_{oV} = 1,2 \frac{b \cdot s^2 \cdot R_m}{w} \quad (\text{P6.8})$$

kde: w – vzdálenost opěr (zaoblení ohybnice)

$w = 5R_1$ pro $R_1 > R_{1min}$ a $w = 7R_1$ pro $R_1 = R_{1min}$

Nebo alternativní vztah:

$$F_{oV} = \frac{b \cdot s^2 \cdot R_m}{w - s_0} \quad (\text{P6.9})$$

Případně zpřesněná varianta s deklarovanou platností pro $s_0 = 0,5 - 10 \text{ mm}$
a $\frac{w}{s_0} = 5 - 10$:

$$F_{oV} = C \frac{b \cdot s^2 \cdot R_m}{w} \quad (\text{P6.10})$$

kde: $C = 1 + 4 \frac{s_0}{w}$ pro $\frac{w}{s_0} \leq 10$ a $C = 1$ pro $\frac{w}{s_0} > 10$

$w = 5R_1$ pro $R_1 > R_{1min}$ a $w = 7R_1$ pro $R_1 = R_{1min}$

Práce pro ohyb do „V“:

$$W = k_o \cdot F_o \cdot h_o \quad (\text{P6.11})$$

kde: k_o – koeficient v závislosti na technologii, pro ohyb do „V“ $k_o = \frac{1}{3}$

h_o – dráha ohybníku

$$W = \frac{1}{3} F_{oV} \cdot h_o \quad (\text{P6.12})$$

kde: pro h_o , není-li dáno, platí $h_o = 0,5w - 0,35s_0 - 0,4R_1$

Odpružení při ohybu do „V“:

$$\beta \approx 3 \frac{\sigma_k}{E} \left(\frac{R_1}{s_0} \right) \alpha_1 \quad (\text{P6.13})$$

$$tg\beta = 0,375 \frac{w}{k \cdot s_0} \frac{\sigma_k}{E} \quad (\text{P6.14})$$

kde: w – vzdálenost opěr

$k = (1 - x)$, kde x je koeficient vyjadřující polohu vrstvy nulového prodloužení

PŘÍLOHA Č. 7 – ODVOZENÍ VZTAHU PRO TLOUŠŤKU STŘIŽNICE [6]

Pro stanovení tloušťky střížnice se vychází z předpokladu, že se jedná o rovinnou desku namáhanou na ohyb. Napětí v ohybu je rovno:

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_{om}} \quad (\text{P7.1})$$

kde: M_o – ohybový moment

W_{om} – modul průřezu v ohybu

Dosazením následujících vztahů a položením ohybového napětí rovno dovolenému, lze pak získat vztah pro tloušťku střížnice:

$$M_o = \frac{F_s \cdot l}{4} \quad (\text{P7.2})$$

$$W_{om} = \frac{b \cdot T^2}{6} \quad (\text{P7.3})$$

$$\sigma_o = \frac{3F_s \cdot l}{2b_d \cdot T^2} \quad (\text{P7.4})$$

$$T = \sqrt{\frac{3F_s \cdot l}{2b_d \cdot \sigma_{dov}}} \quad (\text{P7.5})$$

kde: l – vzdálenost opor desky

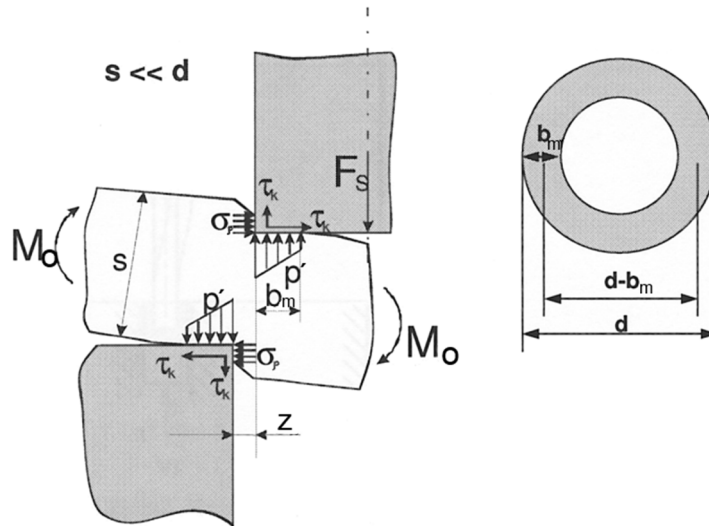
F_s – střížná síla

b_d – šířka desky

σ_{dov} – dovolené napětí

PŘÍLOHA Č. 8 – KONTROLA NAMÁHÁNÍ STŘIŽNÉ HRANY STŘIŽNÍKU [25]

Tento kontrolní výpočet se používá pouze zřídka, pokud hrozí vznik plastické deformace střížné hrany nástroje v důsledku příliš vysoké pevnosti ve stříhu stříhaného materiálu. Činná část střížníku není v oblasti čela v důsledku prohýbání stříhaného materiálu zatížena na celé ploše, viz obr. P8.1).



Obr. P8.1 Schéma namáhání střížné hrany[25]

Se zanedbáním smykových a radiálních napětí (τ_k a σ_ρ) je střížná síla rovna síle normálové působící na zatíženou část čela střížníku:

$$F_s = \pi d \cdot s \cdot \tau_s = F_N = \bar{p} \pi (d - b_m) b_m \quad (\text{P8.1})$$

kde: s – tloušťka plechu
 d – průměr střížníku
 b_m – šířka zatíženého mezikruží

Empiricky bylo stanoveno, že $b_m \approx 0,5 s$, takže průměrný kontaktní tlak \bar{p} lze vyjádřit:

$$\bar{p} = \frac{2}{1 - \frac{s}{2d}} \cdot \tau_s \quad (\text{P8.2})$$

Pokud je $s \ll d$, pak nabývá hodnoty:

$$\bar{p} \approx 2\tau_s \quad (\text{P8.3})$$

Aby bylo zajištěno, že nedojde k plastické deformaci střížné hrany, je nutné splnit podmínku:

$$\bar{p} \leq \sigma_k \quad (\text{P8.4})$$

Odvození bylo provedeno pro válcový střížník. V případě jiných tvarů probíhá analogicky.

**PŘÍLOHA Č. 9 – VZTAHY PRO STANOVENÍ MOMENTU
SETRVAČNOSTI PRŮŘEZU [6], [33]**

Průřez	Moment setrvačnosti průřezu
Plný kruhový	$I = \frac{\pi d^4}{64}$
Dutý kruhový	$I = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{64}$
Čtvercový	$I = \frac{a^4}{12}$
Obdélníkový ($a < b$)	$I = \frac{ba^3}{12}$
Dutý obdélníkový ($A < B$)	$I = \frac{BA^3 - ba^3}{12}$
Trojúhelníkový (a – délka strany a h - příslušná výška trojúhelníka)	$I = \frac{ah^3}{36}$
Šestihranný (délka strany a)	$I = 0,5413a^4$
Osmihranný (délka strany a)	$I = 1,865a^4$
Eliptický ($a > b$, a a b jsou délky poloos)	$I = \frac{\pi ab^3}{64}$

PŘÍLOHA Č. 10 – DOPORUČENÉ NÁSTROJOVÉ MATERIÁLY A JEJICH TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ [22], [33]

Zvýrazněny jsou materiály doporučené firmou TOKOZ a.s.

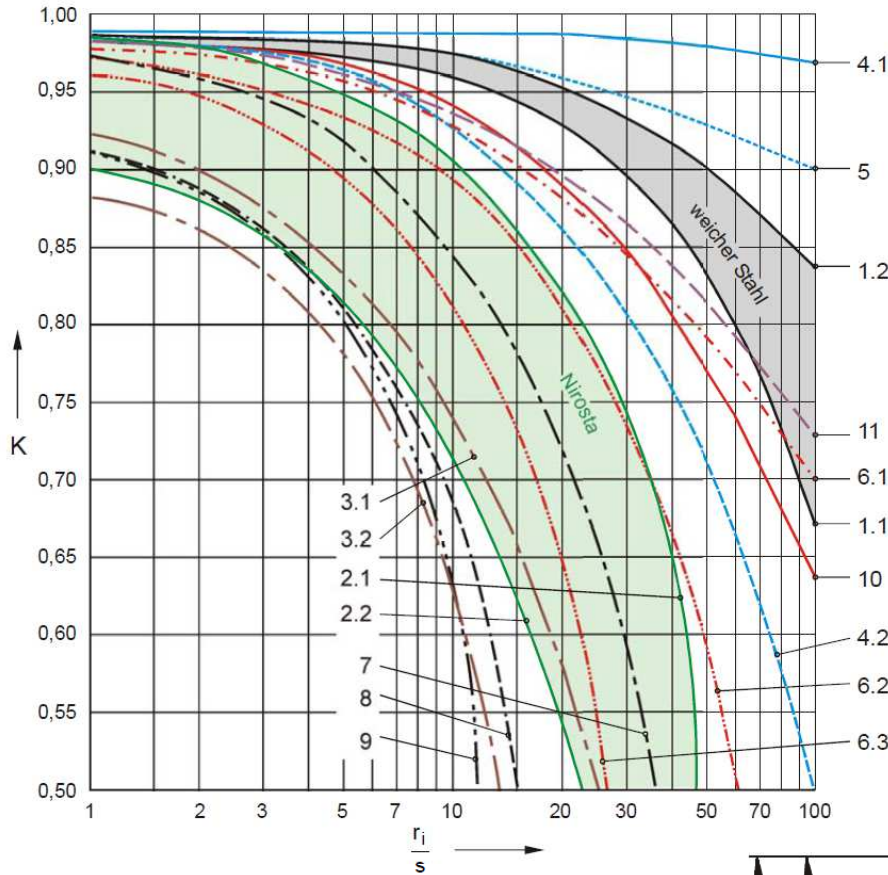
Část nástroje	Doporučený materiál	Doporučené tepelné zpracování
Základová deska	10 370; 11 373; 11 523 ; 11 500; 42 2425 (větší nástroje)	Cementováno do hloubky 0,5 mm HRC 60 - 62
Střížnice	19 191; 19 312; 19 422; 19 436 ; 19 437; 1.2379	HRC 60 - 62
Ohybnice	19 191; 19 221; 19 312; 19 315; 19 422; 19 436 ; 19 437; 1.2379	HRC 55 - 60
Vodící lišty	11 500 ; 11 600; 14 220	Cementováno; HRC 60 - 62
Střížníky	19 191; 19 312; 19 422; 19 436 ; 19 437; 19 421; 1.2379	HRC 61 - 63
Pouzdra střížníků	19 312	HRC 52 – 56
Ohybníky	19 191; 19 221; 19 312; 19 315; 19 436 ; 19 437; 1.2379	HRC 55 - 60
Vodící deska	11 500 ; 12 050	
Kotevní deska	11 500 ; 12 050	
Opěrná deska	11 700; 12 050; 19 083; 19 312 ; 19 573;	HRC ≤ 61
Upínací deska	10 373; 11 500; 11 523 ; 12 050; šedá litina	
Upínací stopka	11 600	
Dorazy	12 061; 19 191; 19 312 ; 19 436; 19 437	HRC 56 ± 2
Výškové dorazy	11 500 ; 19 312	
Hledáčky	14 220; 19 191; 19 421	HRC 56-60
Stěrače / Stírací desky	12 061; 19 191; 19 321	

PŘÍLOHA Č. 11 – DOPORUČENÉ VELIKOSTI STŘIŽNÉ VŮLE PRO KOVOVÉ MATERIÁLY [31]

Tab. 12. Velikost střížné vůle pro kovové materiály

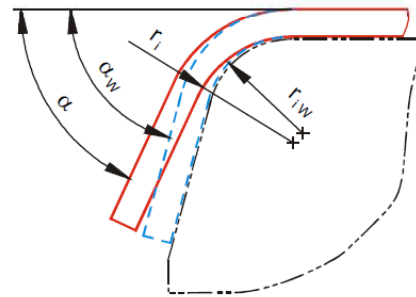
Tloušťka materiálu s (mm)	Mez pevnosti σ_{Pt}						Tvrdost 45 až 50 HRC	
	do 400 MPa		400 až 600 MPa		nad 600 MPa		z (%)	z (mm)
	z (%)	z (mm)	z (%)	z (mm)	z (%)	z (mm)		
0,1	3 až 5	0,003–0,005	0,005–0,007	5 až 7	0,007–0,009	7 až 9	10 až 12	0,010–0,012
0,2		0,006–0,010	0,010–0,014		0,014–0,018			0,020–0,024
0,3		0,009–0,015	0,015–0,021		0,021–0,027			0,030–0,036
0,4		0,012–0,020	0,020–0,028		0,028–0,036			0,040–0,048
0,5		0,015–0,025	0,025–0,035		0,035–0,045			0,050–0,060
0,6	4 až 6	0,024–0,036	0,036–0,048	6 až 8	0,048–0,060	8 až 10	11 až 13	0,066–0,078
0,8		0,032–0,048	0,048–0,064		0,064–0,080			0,088–0,104
1,0		0,040–0,060	0,060–0,080		0,080–0,10			0,110–0,130
1,2		0,048–0,072	0,072–0,096		0,096–0,12			0,132–0,156
1,5		0,060–0,090	0,090–0,12		0,12–0,15			0,165–0,195
1,8	5 až 7	0,090–0,126	0,126–0,162	7 až 9	0,162–0,198	9 až 11	12 až 14	0,216–0,252
2,0		0,1–0,140	0,140–0,180		0,180–0,220			0,240–0,280
2,5		0,125–0,175	0,175–0,225		0,225–0,275			0,300–0,350
3,0		0,150–0,210	0,210–0,270		0,270–0,330			0,360–0,420
3,5		0,245–0,350	0,315–0,420		0,385–0,490			0,490–0,560
4,0	7 až 10	0,280–0,40	0,360–0,480	9 až 12	0,440–0,560	11 až 14	14 až 16	0,560–0,640
4,5		0,315–0,45	0,405–0,540		0,495–0,630			0,630–0,720
5,0		0,35–0,50	0,450–0,600		0,550–0,700			0,700–0,800
6,0		0,60–0,78	0,72–0,90		0,84–1,02			1,02–1,20
7,0		0,70–0,91	0,84–1,05		0,98–1,19			1,19–1,40
8,0	10 až 13	0,80–1,04	0,96–1,20	12 až 15	1,12–1,36	14 až 17	17 až 20	1,36–1,60
9,0		0,90–1,17	1,08–1,35		1,26–1,53			1,53–1,80
10,0		1,0–1,30	1,20–1,50		1,40–1,70			1,70–2,0
11,0		1,43–1,76	1,65–1,98		1,87–2,20			2,20–2,53
12,0		1,56–1,92	1,80–2,16		2,04–2,40			2,40–2,76
13,0	13 až 16	1,69–2,08	1,95–2,34	15 až 18	2,21–2,60	17 až 20	20 až 23	2,60–2,99
14,0		1,82–2,24	2,10–2,52		2,38–2,80			2,80–3,22
15,0		1,95–2,40	2,25–2,70		2,55–3,00			3,00–3,45
16,0		2,08–2,56	2,40–2,88		2,72–3,20			3,20–3,68

PŘÍLOHA Č. 12 – DIAGRAM PRO STANOVENÍ ODPRUŽENÍ PŘI OHYBU [21]



Vielzahl weiterer K-Werte für $r_i/s = 1$ und $r_i/s = 10$ in /6, S. 687 - 696/

Kurven aus /1, S. 252/ und /6, S. 223/



$$\alpha_W = \frac{\alpha}{K}$$

$$r_{iW} = r_i \cdot K$$

- α Biegewinkel des Blechs
- α_W Biegewinkel im UT des Werkzeuges
- r_i innerer Biegeradius des Blechs
- r_{iW} Biegeradius im UT des Werkzeuges

Art	Nr. in B. 84	Werkstoff		Zugfest. R_m N/mm ²	Streckgr. R_p bzw. $R_{p0.2}$ N/mm ²	Bruchdehnung A %
		Kurzzeichen Zustand	Kurzzeichen Zustand			
weicher Stahl	1.1	DC01	St 12	270 - 410	(140) - 280	28
		DC01 LC	St 2 LG	270 - 410	max. 280	28
	1.2	DC04	St 14	270 - 350	(140) - 210	38
		DC04 LC	St 4 LG	270 - 350	max. 210	38
nichtrost. Stahl, austenitisch	2.1	X10CrNi18-8 weich	X12CrNi 17 7 weich	600 - 700	≥ 250	40
	2.2	X10CrNi18-8 ausgehärtet	X12CrNi 17 7 ausgehärtet	≤ 950	starke Verfestigung	
Chrom-Nickel-Stahl (Nimonic)	3.1	NiCr20Ti	NiCr20Ti F65	≥ 650	≥ 240	25
	3.2	---	NiCo20Cr20MoTi F97	≥ 970	≥ 570	30
Aluminium	4.1	Al 99 O/H111	Al 99 W8	75 - 105	≥ 25	19 - 33*
		Al 99,5 O/H111	Al 99,5 W7			
	4.2	Al 99 H14	Al 99 F12	115 - 155	$\geq 90 - 95^*$	2 - 6*
Al 99,5 H14		Al 99,5 F11				
Al-Legierungen	5	Al Mg1 O/H111	AlMg1 W11	100 - 145	≥ 35	15 - 24*
		Al Mn1 O/H111	AlMn1 W9	90 - 130	≥ 35	17 - 28*
	6.1	Al Si1MgMn O	AlMgSi1 W	≤ 150	≤ 85	14 - 18*
	6.2	Al Si1MgMn T4; T451	AlMgSi1 F21	≥ 205	≥ 110	12 - 15*
	6.3	Al Si1MgMn T61; T6151	AlMgSi1 F28	≥ 280	≥ 205	10 - 12*
		Al Si1MgMn T6; T651	AlMgSi1 F32	$\geq 300 - 310^*$	$\geq 240 - 260^*$	6 - 10*
	7	Al Mg2Mn0,8 H22	AlMg2Mn0,8 G22	220 - 270	≥ 130	7 - 11*
	8	Al Cu4MgSi(A) T4; T451	AlCuMg1 F39	≥ 390	$\geq 245 - 260^*$	12 - 15*
	9	Al Cu4Mg1 T42	AlCuMg2 F42(?)	$\geq 420 - 425^*$	$\geq 260^*$	8 - 15*
Kupfer	10	Cu R220	Cu F22	220 - 260	≤ 140	33 - 42*
Messing	11	CuZn33 R280	CuZn33 F28	280 - 380	≤ 170	40 - 50*

* abhängig von Blechdicke

Bild 84: Rückfederungsfaktor K in Abhängigkeit des auf die Blechdicke bezogenen Biegeradius

PŘÍLOHA Č. 13 – TECHNICKÉ LISTY MAZIV



Iloform® PN 221

Tvářecí mazivo

Popis produktu

Iloform® PN 221 je odpařivý olej s obsahem rozpouštědla pro tváření ocelových materiálů.

Použití produktu

Iloform® PN 221 je určen pro lisování ocelových plechů pro transformátory (např. rotorové plechy).

Přínosy produktu

Iloform® PN 221:

- obsah aromátů nižší než 0,01%
- rychle se odpařuje
- poskytuje krátkodobou ochranu proti korozi

Typické parametry

Vzhled	bezbarvá kapalina
Hustota ko při 15°C dle DIN 51757	760 kg/m ³
Viskozita při 20°C dle DIN 51562	1,0 mm ² /s
Bod vzplanutí dle ISO 2592	58 °C

	Mastné látky	Aktivní síra	Neaktivní síra	Fosfor
Aditivace	+	-	-	-

Iloform® PN 221, Datum vydání 30.7.2010

Strana 1 / 1

Castrol, Iloform a Castrol logo jsou ochrannými známkami firmy Castrol Limited, chráněny zákonem.

V tomto tisku jsou zohledněny veškeré současné znalosti a informace k produktu ke dni jeho vydání. Nicméně některé údaje mohou podléhat změnám vzhledem ke změně formulace produktu po datu vydání tohoto tisku.

Tyto údaje popisují výrobek pouze z hlediska použití. Výrobek může být bez předchozí konzultace s námi používán výše uváděným způsobem. Použití výrobku jiným způsobem, než odpovídá účelu použití, může být spojeno s riziky, která nejsou v tomto tisku uváděna. Údaje o použití výrobku vzhledem bezpečnému nakládání s ním vyhledejte v jeho bezpečnostním listu. Změna technických parametrů vyhrazena.

Castrol Lubricants (CR), s.r.o., Industrial Lubricants & Services, V Parku 2294/2, 148 00 Praha 4
telefon : 296 770 311, E-mail: info.cz@castrol.com

www.castrol.com/industrial

CONDAFORM 3442 E

MINERÁLNÍ TVÁŘECÍ OLEJ BEZ OBSAHU CHLÓRU

POPIS

CONDAFORM 3442 E je tvářecí olej bez obsahu chlóru určený zejména pro složité tvářecí a obráběcí operace.

CONDAFORM 3442 E je vhodný zejména pro tváření ocelí včetně oceli nerezové, lze jej též použít pro neželezné kovy.

Označení ISO-L-MHF

VÝHODY

- zaručuje výborné mazací vlastnosti a odolnost proti opotřebení pod vysokými tlaky
- snadno odstranitelný zásaditými přípravky nebo saponáty
- snadná kontrola obrobku díky průsvitnosti oleje a příjemná vůně
- zajišťuje mezioperační protikorozní ochranu
- nízká kinematická viskozita usnadňuje aplikaci a snižuje množství zbytkového oleje na vylisovaných částech

FYZIKÁLNÍ ÚDAJE

	TEST	PRŮMĚRNÁ HODNOTA
Barva	*MCC 101	světle hnědá
Hustota při 15 °C	*MCC 43 (ISO 3675)	0,916 g/cm ³
Kinematická viskozita (při 20 °C)	*MCC 40	190 mm ² /s
Kinematická viskozita (při 40 °C)	*MCC 35	63 mm ² /s
Kinematická viskozita (při 100 °C)	*MCC 35	10 mm ² /s
Bod vzplanutí (otevřený kelímek)	*MCC 44 (ISO 2719)	> 180 °C
Koroze mědi	*MCC 55 (ISO 2160/72)	4c
Skladovací teplota		- 10 až +40 °C
Doporučená délka skladování		1 rok

* MCC – Metoda kontroly CONDAT

CONDAT Lubrifiants
Avenue Frédéric Mistral B.P. 16
386 70 Chasse-sur-Rhone
Francie

výhradní zastoupení: **REXIM spol. s r.o.**
U Pazderek 25
181 00 Praha 8
tel.: 224 31 21 68
fax.: 233 54 02 46
www.rexim.cz
e-mail: rexim@rexim.cz

SEZNAM VÝKRESŮ

Výkres sestavení horní části nástroje – 417-10-03-00/1

Výkres sestavení dolní části nástroje – 417-10-03-00/2

Výkres sestavení nástroje – 417-10-03-00

Výkres ohýbacího segmentu K5 D – 417-10-03-21

Výkres ohýbacího segmentu K5 H – 417-10-03-27

Výkres razicí vložky segmentu K5 H – 417-10-03-40

Seznam položek sestavení horní části nástroje – 417-10-03-00/1-K

Seznam položek sestavení dolní části nástroje – 417-10-03-00/2-K

Seznam položek sestavení podsestavy jištění – N681005140900-J-K