



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH NÁSTROJE PRO VYSTŘIŽENÍ TVAROVÉHO PŘÍSTŘIHU

PROPOSAL OF SHEARING TOOL FOR THE MANUFACTURE OF SHAPED BLANK

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jan Straka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Eva Peterková, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Bc. Jan Straka
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	Ing. Eva Peterková, Ph.D.
Akademický rok:	2018/19

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:

Návrh nástroje pro vystřížení tvarového přístříhu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh střížného nástroje pro vystřížení tvarového přístříhu jako polotovaru pro výrobu A-sloupku karoserie automobilu. Téma diplomové práce bude vypracováno ve spolupráci s firmou ŽĐAS, a.s.

Cíle diplomové práce:

Provedení aktuální literární studie se zaměřením na technologii stříhání.

Návrh tvaru přístříhu a postupu výroby.

Provedení technologických a kontrolních výpočtů.

Volba stroje a návrh postupového střížného nástroje pro výrobu zadaného přístříhu.

Seznámení s CAD programem CATIA V5 používaným v dané firmě.

Vypracování 3D modelu nástroje s následným vyhotovením výkresové dokumentace nástroje dle pokynů vedoucích.

Technicko-ekonomické hodnocení navržené výroby.

Seznam doporučené literatury:

TSCHÄTSCH, Heinz. Metal forming practise: processes - machines - tools. New York: Springer-Verlag, c2006. ISBN 35-403-3216-2.

Handbuch der Umformtechnik: processes - machines - tools. New York: Springer, c1996. ISBN 35-406-1099-5.

SUCHY, Ivana. Handbook of die design: processes - machines - tools. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, c2006. ISBN 00-714-6271-6.

LIDMILA, Zdeněk. Teorie a technologie tváření: processes - machines - tools. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-7231-579-6.

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. Vyd. 4., V Akademickém nakladatelství CERM 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 978-80-214-3425-7.

KOTOUČ, Jiří. Tvářecí nástroje: plošné a objemové tváření. Praha: České vysoké učení technické, 1993. ISBN 80-010-1003-1.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

STRAKA Jan: Návrh nástroje pro vystřížení tvarového přístříhu

Práce předkládá konstrukční návrh postupového střížného nástroje pro výrobu tvarových přístříhů z plechu Usibor 1500 (22MnB5) o tloušťce 1,5 mm. Nástroj je navržen pomocí softwaru CATIA V5 ve spolupráci s firmou Žďas, a.s. Na základě literární rešerše procesu stříhání byly navrženy střížníky, určena střížná vůle a pořadí operací v nástroji. Navrhovaný střížný nástroj se skládá z vyráběných i normalizovaných součástí. Dílce z nástroje vypadávají pomocí skluzu na dopravníkový pás. Nástroj je navržen pro provoz na výstředníkovém lisu AIDA 1000 s nominální silou 10 000 kN. Střížníky, které nejsou normalizované jsou vyrobeny z nástrojové oceli a tepelně zpracovány dle výkresové dokumentace.

Klíčová slova: tváření, stříhání, ocel 22MnB5, střížný nástroj

ABSTRACT

STRAKA Jan: Proposal of shearing tool for the manufacture of shaped blank

The thesis presents a design of a progressive cutting tool for the production of shaped blanks from sheet metal Usibor 1500 (22MnB5) with a thickness of 1.5 mm. The tool is designed by using CATIA V5 software in cooperation with Žďas, a.s. company. Based on the literature review of the cutting process, cutters were designed, shear clearance and order of operations in the tool were determined. The proposed cutting tool consists of both manufactured and standardized parts. Tool parts fall out of the chute onto the conveyor belt. The tool is designed to operate on an AIDA 1000 excentric press with a nominal force of 10,000 kN. Cutters that are not standardized are made of tool steel and heat treated according to drawing documentation.

Keywords: forming, shearing, steel 22mnB5, shearing tool

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

STRAKA, Jan. *Návrh nástroje pro vystřížení tvarového přístřihu*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116719>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Eva Peterková.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V dne

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji paní Ing. Evě Peterkové, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce. Dále děkuji celému konstrukčnímu oddělení Nástrojárny Žďas, a.s. a obzvláště panu Ing. Luboši Novotnému za podnětné a cenné rady týkající se konstrukce nástroje. V neposlední řadě děkuji za podporu a trpělivost celé mojí rodině a přítelkyni.

OBSAH

Zadání
Abstrakt
Bibliografická citace
Čestné prohlášení
Poděkování
Obsah

ÚVOD	11
1 ROZBOR ZADÁNÍ [18].....	12
1.1 Zadání součástí.....	12
1.1.1 Tvar výstřížku	13
1.1.2 Materiál přístříhu [17], [32]	14
1.2 Výrobní možnosti [1], [2], [3], [4], [5], [6], [12], [14], [28].....	15
1.2.1 Obecné zhodnocení	18
2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ.....	19
2.1 Teorie střížného procesu [1], [6].....	19
2.2 Napětový a deformační stav při stříhání [1], [6]	20
2.2.1 Výpočet střížné síly a střížné práce [1], [6]	21
2.2.2 Rozbor napětového a deformačního stavu [6].....	22
2.3 Kvalita výstřížků [1], [8], [23], [28], [30].....	23
2.4 Střížná vůle [1], [6], [8].....	25
2.5 Nástroje pro stříhání na lisech [1], [5], [7], [8], [28], [29], [30]	25
3 VÝPOČTOVÁ ČÁST [25], [6], [1], [23]	27
3.1 Výpočet sil a práce	27
3.2 Ověření použitelnosti střížníků [6], [27].....	33
3.2.1 Výpočet pro střížník o průměru 24,1 mm	33
3.2.2 Výpočet pro střížník o průměru 40 mm	34
3.2.3 Ověření oválných střížníků	35
3.3 Nástřihové plány [30], [8]	35
3.4 Výpočet střížné vůle.....	41
3.5 Volba strojního zařízení [31]	41
4 KONSTRUKCE NÁSTROJE [24]	44
4.1 CAD technologie a CATIA V5 [24]	44
4.2 Postup návrhu střížného nástroje prostřednictvím programu CATIA	45
4.3 Popis funkce nástroje	51

5. TECHNICKO-EKONOMICKÉ HODNOCENÍ.....	53
6 ZÁVĚRY.....	58

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam příloh

Seznam výkresů

ÚVOD

V dnešní moderní době je automobilový průmysl jedním z nejdůležitějších průmyslových odvětví. Objem výroby v tomto odvětví patří ve srovnání s ostatními průmyslovými sektory k největším, ať už z hlediska počtu zaměstnaných pracovníků nebo počtu vyrobených součástí. Významnou složku tvoří také síť subdodavatelů pro firmy vyrábějící automobily. V mnoha zemích je výroba pro automobilový průmysl stěžejním pilířem ekonomiky.

Faktorem ukazujícím prosperitu a úspěch dané firmy na trhu je zisk. Jako v každé firmě je i zde kladen důraz na co nejvyšší možný zisk. Ten lze dosáhnout zvyšováním kupní ceny finálních výrobků, čímž se sníží konkurenceschopnost a zájem lidí o koupi daného produktu. Z toho vyplývá, že zvyšování ceny finálního produktu není příliš efektivní cesta k vyšším výdělkům. Dalším důležitým prostředkem jak zvýšit příjmy firmy je snižování nákladů. Náklady se snižují například úpravou technologie výroby daných dílů, co největší úsporou materiálu, optimalizací výrobních linek, aplikací robotizovaných a automatizovaných pracovišť, snižováním zmetkovitosti atd.

Rovinné plechové dílce se dají vyrábět různými způsoby. Ne všechny technologie však zajistí požadovanou produktivitu a ekonomičnost výroby. Důležitým faktorem pro výrobu plechových dílců je také ekonomika produkce. Pro velkosériovou výrobu, jako například v automobilním průmyslu se jeví jako nejvhodnější technologie výroby tvarového přístříhu stříhání na lisu. Stříhání je rychlý, efektivní a léty osvědčený způsob výroby tvarových přístříhů.

Diplomová práce je zpracována ve spolupráci s konstrukčním oddělením divize Nástrojárna společnosti Žďas a. s. sídlící ve Žďáru nad Sázavou. Práce je zaměřena na návrh a konstrukci 3D modelu střížného nástroje pro výrobu tvarového přístříhu z plechu. Tvar přístříhu je určen zákazníkem. Materiál je dodáván ve formě svitku, tudíž je kladen důraz na maximální možné procento využití plechového pásu. Dílce vystřížené tímto nástrojem budou dále zpracovávány technologií tažení. Tvar přístříhu je pomocí simulací a experimentů navržen tak, aby po tahové operaci už nemusel být ostříhován na přesný rozměr. Součástí práce je i technicko-ekonomické zhodnocení.



Obr. 1 Užití plechů v automobilovém průmyslu [10],[11]

1 ROZBOR ZADÁNÍ [1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 14, 17, 18, 28, 32]

Zadáním práce je vytvořit návrh postupového nástroje pro výrobu tvarového přístříhu v podobě 3D modelu. Vzhledem k tomu, že zadání práce je navrženo firmou Žďas, a.s. je podmínkou řešení to, aby návrh nástroje byl vytvořen v programu CATIA V5 od společnosti D'assault systémes, neboť firma tento program výhradně využívá pro vytváření konstrukčních modelů a výkresové dokumentace v technologické přípravě výroby. Důvodem využití výše zmíněného programu je úzká spolupráce firmy Žďas, a.s. s jinými automobilními firmami, které jej též používají. Tímto se z konstrukčního pohledu značně zjednoduší a urychlí komunikace mezi firmami.

V práci má být dále provedena literární studie se zaměřením na technologii stříhání zahrnující teorii střížného procesu a provedení technologických a kontrolních výpočtů. Součástí práce je též seznámení a popis softwaru CATIA V5, jenž bude využit k tvorbě modelu a výkresové dokumentace dle pokynů vedoucí práce. V neposlední řadě bude provedena volba stroje na němž bude nástroj provozován. Nedílnou součástí závěrečné diplomové práce je též technicko-ekonomické zhodnocení daného řešení problému výroby tvarového přístříhu.

Jak bylo zmíněno výše, práce je tvořena ve spolupráci se strojírenskou firmou Žďas a.s. sídlící ve Žďáru nad Sázavou. Výroba v této firmě byla započata již před více než 65 lety. V podniku pracuje více než 2250 stálých zaměstnanců. Výrobní program podniku je



Obr. 2 Společnost Žďas a.s. [18]

zaměřen na výrobu tvářecích strojů, strojů pro volné kování, zařízení na zpracování kovového odpadu, hydraulických lisů, strojů pro zpracování hutních polotovarů, rovnaček a dodávek strojního vybavení válcoven. Ve společnosti je též v provozu slévárna, kde je možno odlévat odlitky až do 50 000 kg. Na kovárně lze zpracovávat výkovky až do hmotnosti 9 000 kg. V divizi nástrojárna (v jejíž spolupráci je tato diplomová práce vytvářena) probíhá výroba střížných a lisovacích nástrojů především pro oblast automobilního průmyslu. Firma vyrábí stroje a zařízení přímo na přání zákazníka. Ve výrobních halách se nachází kvalitní stroje pro těžké i lehké obrábění, montáž a testování produktů firmy.

1.1 Zadání součásti

Předkládaná diplomová práce je primárně zaměřena na konstrukční návrh střížného nástroje pro výrobu tvarových přístříhů, jejichž tvar je zobrazen na obr. 4. Výstupem práce má být 3D model nástroje a výkresy dílců dle pokynů vedoucí diplomové práce.

Zadání výroby nástroje vznikne poptávkou zákazníka po nástroji na tvarový přístříh. Nejdříve se projednají požadované parametry související s nástrojem jako je požadovaný materiál přístříhu, množství vyrobených dílců, rozměry a tvary a v neposlední řadě také parametry lisovacího stroje, kterým zákazník disponuje. Jedná se hlavně o zdvih lisu, světla výška mezi stolem a beranem lisu, tvar a rozteče upínacích drážek, velikost a umístění otvorů pro výpad odpadu stolem lisu a lisovací síla. Po ujasnění všech detailů a schválení cenové nabídky zákazníkem může započít konstrukční část výrobního procesu.

Další částí výrobního procesu, která už ale není součástí řešení diplomové práce, je fáze technologická. Ta následuje po vyhotovení všech konstrukčních prací (tvorba modelů, výkresová dokumentace atd.) a je zaměřena na tvorbu technologických postupů pro výrobu a montáž jednotlivých součástí nástrojů. Předposlední fází je samotná výrobní část a montáž. V poslední fázi je nástroj odzkoušen a převezen a zprovozněn u zákazníka.

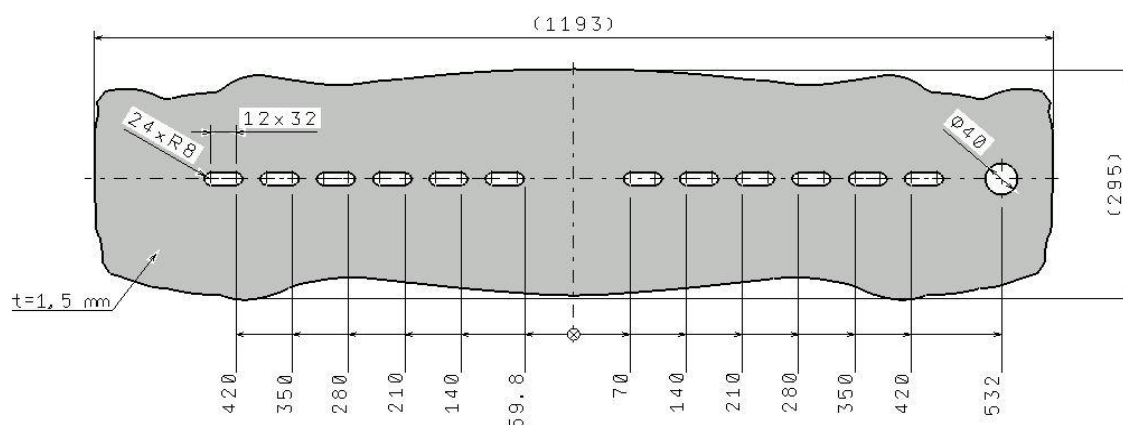


Obr. 3 Umístění součásti na karoserii automobilu [36]

Součástí, pro kterou bude v rámci práce navržen střížný nástroj pro zhotovení výchozího přístříhu, bude vyráběna z plechu o tloušťce 1,5 mm technologiemi stříhání a tažení. V praxi by měla sloužit jako přední nárazníkový pevnostní díl osobního automobilu. Na obr. 3 lze vidět, kde je v karoserii automobilu tento díl umístěn. Přesněji, tento dílec slouží jak výztuha nárazníku, aby nedošlo k poškození zařízení umístěných za ním při slabším nárazu. V případě vážnější autonehody je dílec součástí sestavy pasivní bezpečnosti, jejíž úkolem je ochránit posádku vozu před zraněními.

1.1.1 Tvar výstřížku

Tvar přístříhu pro výše popsanou součást je výsledkem simulací a experimentů tažení finálního výtažku. V praxi je nejdříve vyroben tažný transferový nástroj pro výrobu výtažků "na hotovo", tzn. bez ostříhování přírubby v poslední operaci. Na základě výsledků počítačových simulací a výpočtů je určen předběžný tvar přístříhu pro danou tažnou operaci. Takový tvar se vypálí laserem z plechu, ze kterého se bude vyrábět později celá série. Vypálený tvarový polotovaru se odzkouší v tažném nástroji. Pokud je tvar vyhovující, může se zadat výroba střížného nástroje s příslušným odsimulovaným tvarem přístříhu polotovaru. Pokud tvar vyhovující není, dochází k jeho úpravám, až do fáze, kdy je tvar polotovaru ideální. Po dodání výsledné kontury výstřížku může započít fáze konstruování nástroje. V případě výstřížku řešeného v této diplomové práci je tvar dán dle obr. 4.

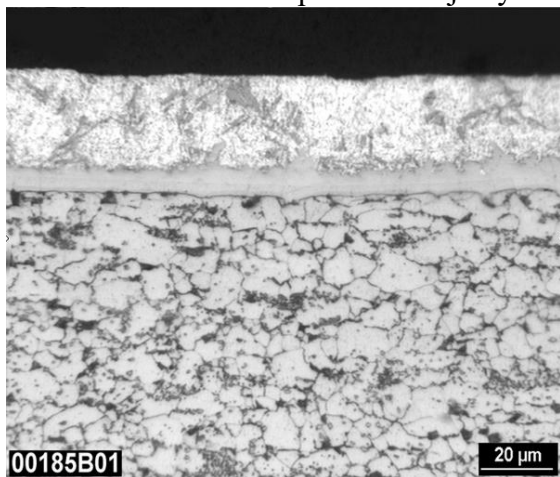


Obr. 4 Základní tvar a rozměry plechového přístříhu

1.1.2 Materiál přístřihu

Vzhledem k tomu, že zadaná součást je částí automobilové karoserie a působí zde jako pevnostní díl zajišťující pasivní bezpečnost posádky vozu, je zde volen materiál Usibor® 1500 vyráběný firmou ArcelorMittal. Označení plechu dle oficiální normy je 22MnB5. Jedná se o plech vyráběný válcováním za tepla a je určen k použití v automobilovém průmyslu pro pevnostní a bezpečnostní prvky karoserií. Díky vysoké odolnosti a pevnosti tohoto plechu je vhodný pro výztužné díly, které musí odolávat velmi vysoké zátěži před tím, než se poruší.

Plech Usibor® 1500 je vhodný pro dílce se složitou komplexní geometrií. Tvařitelnost plechu za studena je velice dobrá. Velice dobrá tvařitelnost za tepla umožňuje výrobu



Obr. 6 Struktura plechu v dodaném stavu s povlakem Zn [17]

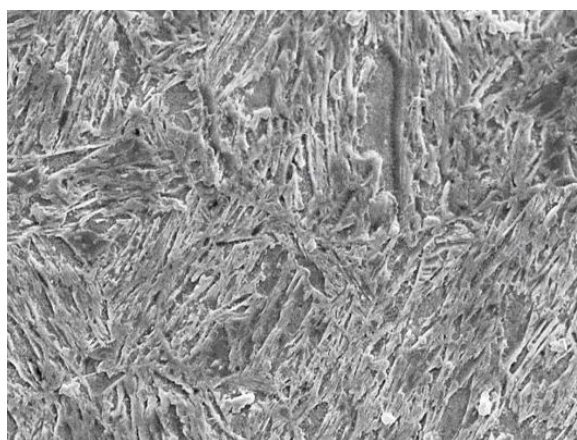
koroznímu prostředí (například sůl z vozovky). Materiál je dodáván s povrchovou úpravou galvanicky nanášeného zinku popřípadě ZnFe povlaku.

Materiál Usibor® 1500 je vhodný pro díly karoserií, které musí být odolné a pevné hlavně v případě dopravní nehody. Používají se na části, které svou pevností chrání posádku vozu před zraněními. Na obr. 5 je znázorněno nejčastější použití a rozmístění konstrukčních prvků karoserie z oceli Usibor®. Nejčastější dílce, které jsou z tohoto materiálu jsou nárazníkové nosníky, výztuže dveří, výztuhy čelního skla, výztuhy B-sloupků, podlahové střešní výztuhy, střešní prvky a příčníky



Obr. 5 Příklad užití oceli Usibor® na pevnostních dílech automobilu [17]

specializovaných dílů, které mají funkci jako výztuhy či pevnostní díly. Další pozitivní vlastností plechu je výborná homogenita mechanických vlastností. Materiál vykazuje vynikající odolnost vůči únavovému poškození a odolnost vůči rázovému zatížení. Tyto vlastnosti umožňují oproti konvenčním konstrukčním materiálům, vytvářet kompaktnější a lehčí dílce, což je příznivé pro redukci hmotnosti. Použití tohoto plechu je výhodné i z důvodů, že při ohřevu před tvářením za tepla nemusí být ohříván při austenitizaci v žádné speciální ochranné atmosféře. Plech je z výroby ošetřen povrchovou vrstvou tak, že je odolný vůči korozi, takže jej lze užít i na díly karoserie, které jsou vystaveny



Obr. 7 Martenzitická struktura po tepelném zpracování [17]

palubní desky.

Základní chemické složení oceli je uvedeno v tabulce 1. Další prvky obsažené v oceli jsou Cr, Ti, Mo. Procentuální zastoupení těchto prvků je ovšem tak malé, že v tabulce není uvedeno. Před tepelným zpracováním se plech dodává s perliticko-feritickou strukturou a povlakem, dle obr. 6. Tento materiál byl vyvinut pro přímé lisování za tepla po předchozí austenitizaci na 900°C v peci a ochlazení přímo ve tvářecím nástroji, který je vyroben tak, že obsahuje kanálky, ve kterých proudí voda, která chladí celý nástroj. Po tváření a tepelném zpracování má plech martenzitickou strukturu dle obr. 7. Výlisky vyrobené touto technologií neobsahují vnitřní trhliny v základním materiálu. Výrobky z tohoto plechu mohou však být tvářeny i za studena a tepelně zpracovány až po procesu tváření.

Tab. 1 Chemické složení oceli Usibor 1500 (22MnB5)[17]

max C [%]	max Mn [%]	max Si [%]	max B [%]
0,25	1,4	0,4	0,005

Vzhledem k tomu, že plech bude zpracováván v dodaném stavu a poté tepelně zpracován, jsou v tabulce 2 uvedeny hodnoty hlavních mechanických vlastností oceli pro oba stavy.

Tab. 2 Mechanické vlastnosti materiálu Usibor® 1500 (22MnB5)[17], [32]

	mez kluzu R_e [MPa]	mez pevnosti R_m [MPa]	tažnost A [%]
před TZ	350-550	500-700	≥ 10
po TZ	1100	1500	6

1.2 Výrobní možnosti

Z globálního pohledu se k dělení plechů využívá vícero metod uvedených níže. Každá z metod je charakteristická svými pozitivy ale i negativy. Některé metody jsou vhodné pro výrobu zkušebních prototypů, jiné zase pro velkosériovou výrobu. Vhodnost jednotlivých technologií se posuzuje převážně z ekonomického hlediska. Je zapotřebí vzít v úvahu pořizovací cenu zařízení, nástrojů, provozních materiálů a energetickou náročnost. Dále je zapotřebí vybírat technologii i podle produktivity. Zde je hodnocen jednotkový čas na výrobu 1 kusu. V neposlední řadě je posuzováno i procentuální využití materiálu, ze kterého jsou přístřihy vyráběny.

a) Řezání kyslíkovým plamenem

Při tepelném dělení materiálu se využívá zdroje soustředěného tepla. Řezání kyslíkem se využívá pro jednoduchost a relativně nízké pořizovací a provozní náklady. Metoda má široké využití, co se tloušťky a vlastností řezaného materiálu týká. Principem je spalování základního materiálu v proudu kyslíku a vyvíjení tepla, které způsobuje další spalování. V místě řezu vzniká struska, která je vyfukována kyslíkem pryč z místa

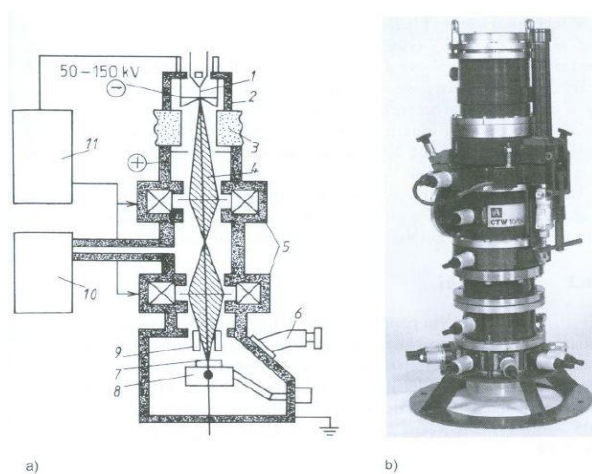


Obr. 8 Řezání kyslíkovým plamenem [12]

řezu. Jako tepelný zdroj je zde využívám kyslíko-acetylenový plamen, jehož šířka se volí podle tloušťky řezaného plechu. Lze řezat materiály o tloušťkách 0,5-2000 mm. Při správném zvolení trysky, tlaku a rychlosti řezu je dosahováno poměrně přesně výsledných rozměrů, bez potřeby dalšího zpracování. Řezací rychlost se standardně pohybuje okolo 100-600 mm/min, což je pro velkosériovou výrobu málo a produkce by byla neefektivní. Předpoklady pro řezání kyslíkovým plamenem jsou takové, že dělený kov musí být hořlavý, nízká tepelná vodivost materiálu, zápalná teplota kyslíkového plamene musí být nižší než tavná teplota děleného materiálu a tavná teplota oxidů musí být nižší než tavná teplota kovu. Plamenem lze bez problémů řezat oceli do 0,3% obsahu uhlíku. Vysokouhlíkové a vysokolegované oceli je nutné přehřívat. Další nevýhodou je značné tepelné ovlivnění materiálu, kde by mohlo dojít k zakalení a nemožnosti užití pro další zpracování. Nevýhodou je nepřilíš vysoká kvalita páleného povrchu. Z bezpečnostního hlediska hrozí riziko popálení obsluhy rozstříkující se struskou.

b) Řezání elektronovým paprskem

Obrábění paprskem elektronů funguje na principu využití kinetické energie elektronů urychlených v jednom směru. Proud elektronů naráží na materiál, kde se vlivem přeměny kinetické energie generuje teplo a dochází k odpařování materiálu v daném místě. Tato metoda je nevýhodná hlavně z toho důvodu, že v pracovní komoře zařízení musí být vakuum. Další nevýhodou je vznik radioaktivního záření. Pořizovací cena zařízení je příliš vysoká a produktivita je malá pro velkosériovou výrobu. Tepelné ovlivnění materiálu není tak výrazné jako u řezání kyslíkovým plamenem. Na obr. 9 je znázorněno schéma zařízení pro dělení materiálu elektronovým paprskem.



Obr. 9 Řezání elektronovým paprskem [13]

c) Řezání plazmovým paprskem

Plazma slouží k řezání vodivých materiálů. Mezi tryskou a řezaným materiálem se vytvoří elektrický oblouk. Z trysky vylétá vysokou rychlostí až 2300 m/s ionizovaný plyn, který vytváří v elektrickém oblouku mezi tryskou a děleným materiálem plazma o vysoké teplotě.



Obr. 10 Řezání plazmovým paprskem [14]

Nejčastěji se používají plyny jako argon, dusík, vodík, kyslík a jejich směsi. Prouděním plynu se vyfukuje natavený kov v místě řezu. Teplota plazmatického plynu může dosahovat až 30 000 °C. Řezná rychlost může být u tenkých plechů mezi 9 a 12 m/min. Dále se využívá sekundárního ochranného plynu,

který chrání plazmatický plyn, oblouk a řezaný materiál před oxidací, čímž se zvyšuje kvalita řezu. U této metody je menší tepelně ovlivněná oblast než u řezání kyslíkem. Proces se dá snadno automatizovat. Lze dosáhnout vysoké kvality řezaného povrchu. Nevýhodou je hluk, vznikající jedovaté plyny, vysoké pořizovací náklady a náklady spojené s provozem.

d) Řezání vodním paprskem

K řezání dochází abrazivním účinkem vysokotlakého paprsku vody, popřípadě vody s přidaným abrazivem. Tlak vody se tvoří ve vysokotlakých čerpadlech a paprsek vzniká v řezací trysce, kde se proud vody fokusuje a urychluje. Tlak se pohybuje mezi 500-6500 Bary. Pro zvýšení účinnosti a výkonu řezání se do vodního paprsku přidává abrazivo ve směšovací trysce. Vhodnou příměsí pro řezání tvrdých materiálů je například indický granát. Standardní přesnost řezání se pohybuje v rozmezí $\pm 0,2$ mm v závislosti na děleném materiálu a jeho tloušťce. Maximální tloušťka děleného materiálu může být až 300 mm. Při dělení materiálu vodním paprskem nedochází k tepelnému ani mechanickému namáhání děleného materiálu. Nevýhodou je nízká produktivita pro sériovou výrobu a hlučnost.



Obr. 11 Řezání vodním paprskem [15]

e) Řezání laserem

Metoda dělení plechů laserem se řadí mezi tepelné metody dělení materiálu. Laserový paprsek vzniká v laserovém zdroji a transportním vláknem nebo systémem zrcadel je veden do řezací hlavy. V řezací hlavě je paprsek zaostřován systémem čoček do velmi úzkého paprsku s vysokým výkonem. Paprsek po dopadu na plech způsobuje natavení materiálu. Laserem je možno dělit různé



Obr. 12 Řezání laserem [16]

druhy materiálů, jak kovové, tak i nekovové. Nevýhodné je využití laseru k dělení leštěných plechů, které mají vysokou odrazivost světla. Při řezání laserem dochází k tepelnému ovlivnění materiálu v okolí řezu. Tepelně ovlivněná oblast je však zanedbatelná ve srovnání například s kyslíkovým řezacím plamenem.

f) Stříhání plechu

Stříhání je jedna ze základních metod dělení materiálu. Při stříhání nedochází k tepelnému ovlivnění děleného materiálu. Principem stříhání je porušení materiálu lomem v ohnisku deformace působením protilehlých nožů. Plastická deformace je vyvolána působením střižníku a střižnice na stříhaný plech. Tato technologie může sloužit k přípravě polotovarů, ale zároveň i k výrobě součástí "na hotovo". Kvalita střižné plochy je dána mnoha faktory, jako například střižnou vůlí, vlastnostmi děleného materiálu, způsoby dělení a v neposlední řadě přesností stroje a nástroje.



Obr. 13 Stříhání ze svitku plechu [33]

1.2.1 Obecné zhodnocení

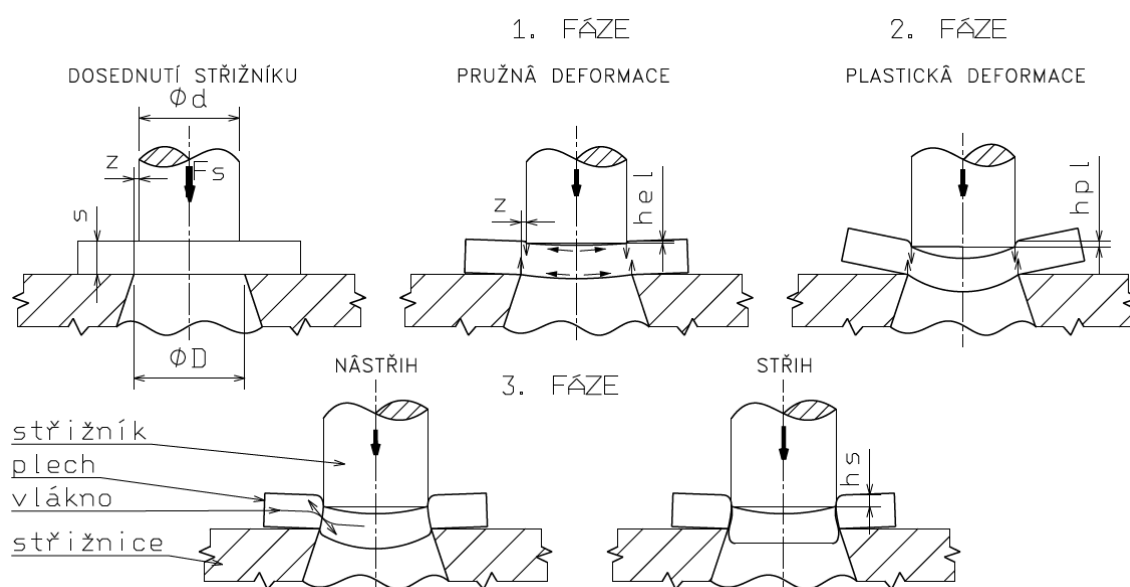
V technologickém postupu výroby zadaného tvarového přístřihu se využívá technologie laserového dělení ve fázi navrhování finální kontury přístřihu. Kontura navržená v simulačním programu je laserem vyřezána z tabule plechu a následně se zkouší v tažných operacích. V případě změny tvaru kontury se jednoduše změní program pro řezání laserovým parskem. V případě využití střižného nástroje hned od počátku výroby, by se v případě změny tvaru dílce musel vyrábět nový střižník i střižnice. Díky tomu se s výhodou používá laserového řezání ve fázi optimalizace tvaru přístřihu. Pokud dojde ke změnám tvaru polotovaru, celý proces se opakuje, dokud není tvar polotovaru téměř dokonalý. Po odladění a odzkoušení se může přistoupit k výrobě střižného nástroje, který bude danou konturu vystřihovat ze svitku plechu. Na obr. 13 je ukázka linky, ve které se vyrábějí dílce ze svitku plechu metodou stříhání. Tato metoda je velice produktivní a při dostatečně velkých sériích je nejvýhodnější ze všech uvedených.

2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ [1, 5, 6, 7, 8, 9, 23, 28, 29, 30, 40, 41]

Následující kapitola popisuje technologii stříhání a teorii střížného procesu. Podstata stříhání spočívá v působení smykového napětí na dělený materiál v místě dělení. Jedná se o technologii vhodnou k přípravě polotovarů za tepla i za studena, dále pro vystřihování na hotovo nebo jako dokončovací operace či pomocná operace např. při lisování plechových dílců.

2.1 Teorie střížného procesu

Stříhání je metoda dělení materiálu při které dojde k porušení lomem. Průvodním jevem celého procesu je plastická deformace, která je ale nežádoucí. K oddělení materiálu dochází buď postupně nebo současně podél střížné křivky. Střížná křivka je dána relativním pohybem dvou břitů, které vytváří smykové napětí. Průběh stříhu s uzavřenou křivkou je patrný z obr. 14.



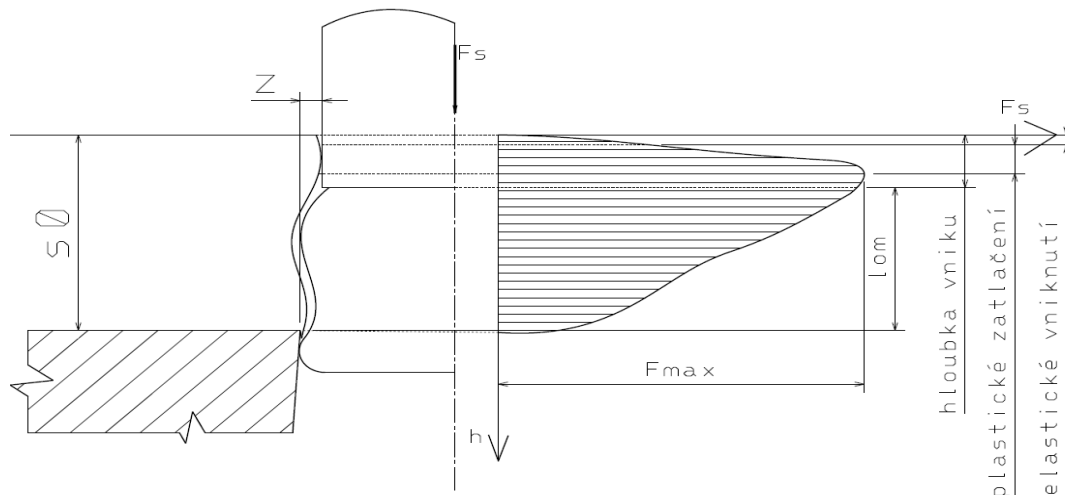
Obr. 14 Průběh stříhu s normální vůlí [6]

Proces stříhu se skládá ze 3 základních fází. V první fázi dochází k dosednutí střížníku na povrch děleného materiálu a jeho postupném vnikání do materiálu. Hloubka vniknutí je závislá na mechanických vlastnostech děleného materiálu. Zpravidla bývá $h_{el}=5$ až 8 % tloušťky základního materiálu. Síly působí od hran střížníku a střížnice způsobují ohyb, což je v daném procesu nežádoucí.

Ve druhé fázi působící napětí překročí mez kluzu děleného materiálu a dochází k trvalé plastické deformaci. Zpravidla bývá hloubka plastického vniknutí $h_{pl} = (10 \text{ až } 25 \%)$ původní tloušťky materiálu. Hloubka plastického i elastického vniknutí závisí na mechanických vlastnostech děleného materiálu.

Při třetí fázi dosáhne napětí působící na dělený materiál hodnoty meze pevnosti ve stříhu τ_s . Nejprve vzniká tzv. nástřih, tzn. vytvoří se trhlinky podporované normálním tahovým napětím ve směru vláken. Trhliny se šíří vysokou rychlostí až do odstřížení výstřížku. Rychlost prostupu trhlín v místě stříhu závisí na střížné vůli. Tvrdý a křehký materiál se odděluje mnohem rychleji a při menším vniknutí než měkký a houževnatý materiál. Při správně zvolené střížné vůli se trhliny šíří tak, že se v místě stříhu setkají.

Na obr. 15 je znázorněn charakteristický průběh síly při stříhání v závislosti na hloubce vniknutí střížníku. Po elastické deformaci, kdy se materiál napěchuje po břitem dojde k plastické deformaci a přetvoření. Celý proces probíhá za studena, bez překrytí, což má za následek zpevňování materiálu při plastické deformaci, a tudíž nárůst střížné síly. Po vzniku nástřihu dochází k poklesu síly, až do určité hloubky než dojde k porušení lomem. Dále je působící síla ovlivněna ještě otěrem vytvořené S plochy.



Obr. 15 Charakteristický průběh střížné síly [6]

2.2 Napěťový a deformační stav při stříhání

Při volném stříhání lze uvažovat rovinný stav deformace a platí fyzikální vztah (2.1), ze kterého vyplývá vztah pro napětí σ_2 (2.2).

$$\varepsilon_2 = \frac{\varepsilon_{ef}}{\sigma_{ef}} \left[\sigma_2 - \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3) \right] = 0 \quad (2.1)$$

kde:

ε_2	složka přetvoření [-]
ε_{ef}	efektivní přetvoření [-]
σ_{ef}	efektivní napětí [MPa]
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	hlavní složky napětí [MPa]

$$\sigma_2 = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3) \quad (2.2)$$

Dle podmínky HMH dochází k plastické deformaci ve chvíli, kdy efektivní napětí dosáhne meze kluzu.

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = \sigma_k^2 \quad (2.3)$$

kde:

σ_k	mez kluzu materiálu [MPa]
------------	---------------------------

Po dosazení σ_2 do podmínky plasticity HMH (2.2) a dalších úpravách vyplyne podmínka plasticity pro rovinný stav deformace (2.4).

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_p \quad (2.4)$$

kde:

σ_p	přetvárný odpor [MPa]
τ_{13}, τ_{max}	maximální smykové napětí [MPa]
ν_σ	Lodeho parametr (pro rovinný stav deformace =0)

Dále z Mohrových kružnic plyne vztah pro maximální smykové napětí.

$$\tau_{13} = \tau_{max} = \frac{\sigma_p}{\sqrt{3+\nu_\sigma}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \sigma_p \quad (2.5)$$

kde:

τ_{13}, τ_{max}	maximální smykové napětí [MPa]
ν_σ	Lodeho parametr (pro rovinný stav deformace =0)

Výzkumem bylo prokázáno, že $\sigma_2=0$ a lze uvažovat rovinný stav napjatosti, kde platí $\sigma_3 \approx \sigma_1/2$. Po dosazení těchto předpokladů do rovnice pro podmínku plasticity (2.4) vyjde vztah pro výpočet napětí σ_1 (2.6). Aby proběhl stříh, musí přetvárné napětí dosáhnout hodnoty meze kluzu $\sigma_p=R_m$, díky čemuž je definován vztah pro střížné napětí (2.7).

$$\sigma_1 = \frac{4}{3\sqrt{3}} \sigma_p \approx 0,77 \sigma_p \quad (2.6)$$

kde:

σ_p	přirozený přetvárný odpor [MPa]
------------	---------------------------------

$$\tau_s = \sigma_1 = 0,77 \cdot R_m \quad (2.7)$$

kde:

R_m	mez pevnosti děleného materiálu [MPa]
τ_s	napětí ve stříhu [MPa]

τ_s je deformační odpor ve smyku, též se nazývá střížný odpor. Dle studijní literatury se nejčastěji využívá $\tau_s=0,8 \cdot R_m$, ovšem může se pohybovat v rozmezí $\tau_s=(0,55 \text{ až } 0,9) \cdot R_m$ v závislosti na druhu a tloušťce stříhaného materiálu.

2.2.1 Výpočet střížné síly a střížné práce

Pro střížnou sílu při děrování a vystřihování platí vztah (2.8).

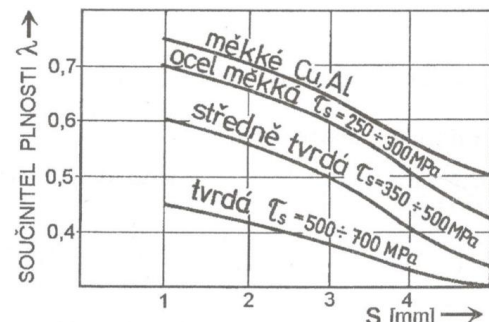
$$F_{stř} = n \cdot L \cdot s_0 \cdot \tau_s = (1 \text{ až } 1,3) \cdot s_0 \cdot L \cdot 0,77 \cdot R_m \quad (2.8)$$

kde:

n	koeficient otupení a vnějších vlivů [-]
L	délka střížné křivky (obvod střížníku) [mm]
s_0	původní tloušťka stříhaného materiálu [mm]
$F_{stř}$	střížná síla [N]

Vztah (2.8) nelze používat v případech, kdy je tloušťka materiálu větší než průměr střížníku. V takovém případě napětí ve stříhu značně roste.

Střížná práce A při stříhání nástrojem s rovnoběžnými střížnými hranami je dána plochou pod křivkou v grafu střížné síly v závislosti na dráze pohybu nástroje, viz obr. 15. Součinitel plnosti λ lze pro některé materiály určit dle grafu na obr. 16.



Obr. 16 Diagram ke stanovení součinitele plnosti [6]

$$A = \lambda \cdot F_{střmax} \cdot s \quad (2.9)$$

kde:

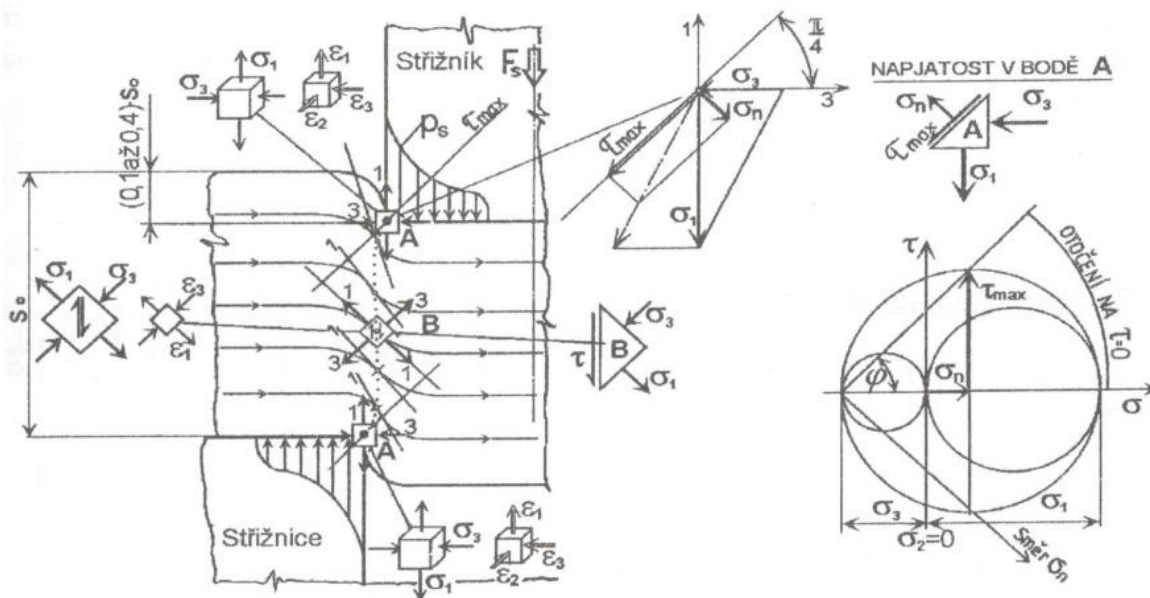
A	střížná práce [J]
$F_{střmax}$	maximální střížná síla [N]
λ	součinitel plnosti [-]
s	tloušťka stříhaného plechu [mm]

2.2.2 Rozbor napět'ového a deformačního stavu

Na obr. 17 je vyobrazeno schéma napjatosti a deformace při stříhu s uzavřenou křivkou (tj. děrování, vystřihování). V místech A, což jsou hrany střížníku a střížnice, je dvouosý stav napjatosti, ovšem deformační stav je prostorový. Podélně se stříhaný plech postupně v průběhu stříhu prodlužuje, vrstevnice znázorněné na obr. 17 mění svoji křivost a tloušťka plechu v místě mezi břity střížného nástroje se zmenšuje. Působí zde tahové napětí σ_1 určené vztahem (2.7). Tlakové hlavní napětí σ_3 je dle zkoušek z praxe téměř rovno polovině σ_1 a platí tedy, že τ_{max} bude dle rovnice (2.10).

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{3}{2} \sigma_3 \quad (2.10)$$

Z Mohrových kružnic a vektorového součtu složek napětí v bodě A lze vidět, že kolmo na rovinu maximálního smykového napětí působí normální složka σ_n , která se podílí na rozevírání trhlin šířících se v rovině stříhu. Vlivem změny orientace křivosti vláken plechu směrem od střížné hrany dochází i ke změně i orientace natočení roviny τ_{max} . Díky tomu vytváří střížná plochy typickou S-křivku. V bodě B uprostřed mezi střížníkem a střížnicí dochází k natočení roviny τ_{max} rovnoběžně s osou střížníku a dochází ke smyku. V bodě B platí, že $\sigma_1 = -\sigma_3$ a $\sigma_n = 0$, z čehož plyne, že jsou splněny podmínky prostého smyku.

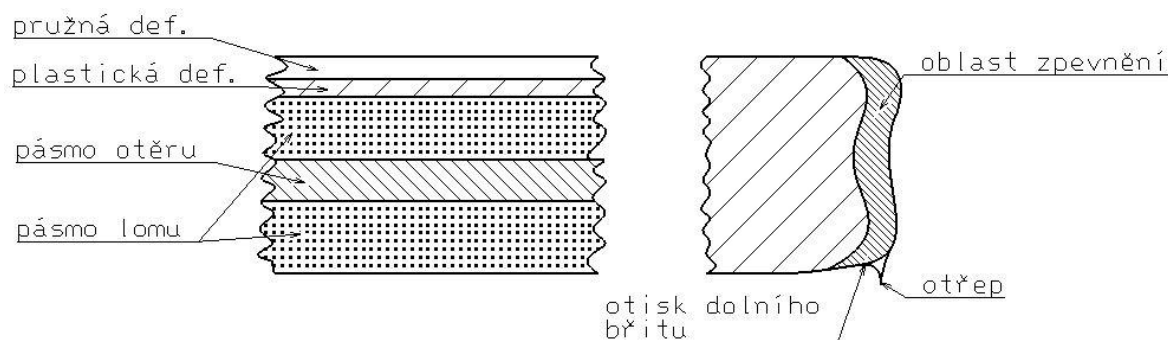


Obr. 17 Schéma deformace a napjatosti při uzavřeném stříhání [6]

2.3 Kvalita výstřížků

Při výrobě součástí je kladen důraz na co možná nejekonomičtější výrobu. Z toho vyplývá, že je požadováno co nejméně možných výrobních operací, aby se snížily náklady na výrobu. V důsledku toho jsou kladeny vysoké nároky na kvalitu střížné plochy, aby už nemusela být dále opracovávána například obráběním. Střížná plocha by v ideálním případě měla být rovná, hladká a bez otřepů.

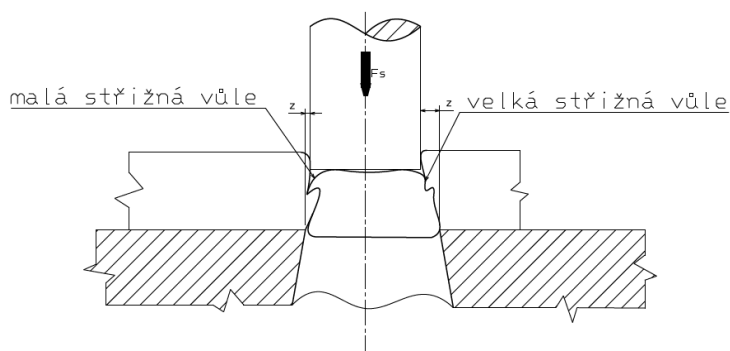
Střížná plocha u ocelových materiálů se u běžného stříhání primárně skládá ze 4 hlavních oblastí dle obr. 18.



Obr. 18 Vzhled plochy stříhu při správné vůli [6]

V první fázi je pásmo otlacení od pružného vnikání horního nože do materiálu (cca 0,06.s). Další pásmo se vyznačuje plastickou deformací materiálu (0,1.s). Třetí oblast je pásmo křehkého lomu (0,8.s) a poslední, čtvrté pásmo je oblastí otlacení od spodního nože (0,04.s). Dále na spodní hraně výstřížků bývá typický otřep. Kromě uvedených pásem vznikají převážně při uzavřeném stříhání na čelním povrchu výstřížků vyleštěné povrchové plochy v podobě proužku, kopírujícího střížnou hranu. Proužek se postupně vytrácí směrem ke středu výstřížku. Tento jev vzniká díky pružně plastické deformaci od nože nástroje.

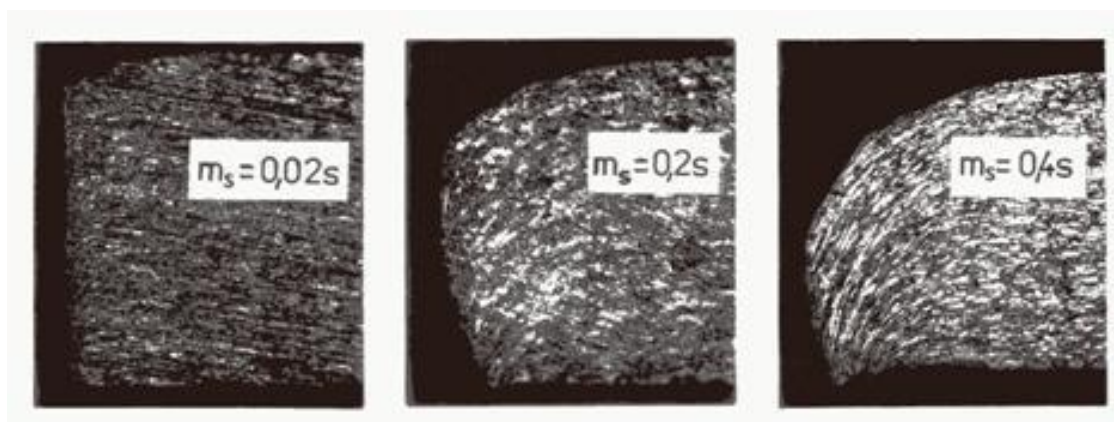
Velikost pásem střížné plochy se mění v závislosti na stříhaném materiálu. Pro tvrdé materiály platí, že pásmo lomu roste a ostatní pásma se zmenšují. Naopak pro měkké materiály platí, že se pásmo lomu zmenšuje a rostou ostatní pásma. Ve střížné ploše vzniká velké množství trhlinek. Trhliny s nejvýhodnější orientací jsou místem oddělení materiálu. Ostatní trhliny zůstávají zárodky poruch (zátrhy, praskliny). Dalším průvodním jevem při procesu stříhání je zpevnění v okolí stříhu. Tento jev společně s trhlinami a dalšími poruchami je pro následující tažné operace nežádoucí. Následky zpevnění lze odstranit buď žíháním nebo obrobením střížné plochy.



Obr. 19 Schéma stříhu při malé nebo velké střížné vůli [6]

Důležitým faktorem, který má zásadní vliv na kvalitu povrchu střížné plochy je vůle mezi střížníkem a střížnicí. Na obr. 19 lze vidět případ s malou nebo naopak velkou střížnou vůlí. Při zvolení nevhodně velké střížné vůle vzniká pásmo otěru na většině střížné plochy. Při malé střížné vůli se na střížné ploše objevuje pásmo lomu ve střední oblasti. Na obr. 18 je schematicky znázorněn vzhled střížné plochy při užití správné vůle. Při správně zvolené střížné vůli a neopotřebeném nástroji se trhliny vznikající od břitu

spojí, tím pádem nejsou ve výstřížku trhliny a nevznikají velké otřepty. Jmenovitá střížná vůle se volí podle druhu a tloušťky děleného materiálu. Obvykle se uvádí v % původní tloušťky stříhaného materiálu s_0 . Na obr. 20 je zachycen skutečný vzhled a struktura střížné hrany při použití různých střížných vůlí.

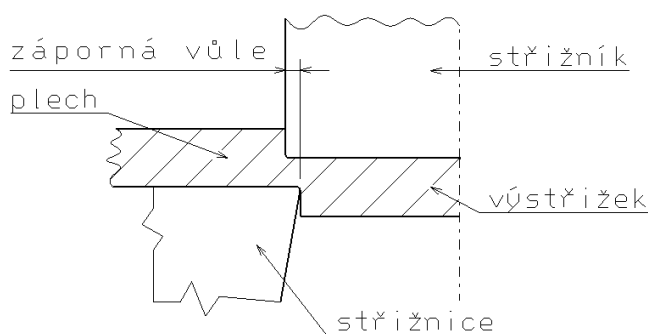


Obr. 20 Tvar a struktura střížné plochy v závislosti na střížné vůli [19]

Dalším faktorem ovlivňujícím nejen kvalitu střížné plochy, ale i velikost střížné síly je stav střížných hran a geometrie nástroje. Opatřené střížné hrany zvětšují střížnou sílu a práci, což je nežádoucí jev. Kvůli opotřebení působí na materiál příčné napětí a způsobuje zpevnění materiálu. Dále kvůli opotřebení vzniká ostřina, která je nežádoucí a způsobuje další otupování nástroje. Velikost ostřiny může být přibližným měřítkem opotřebení činných částí nástroje.

Další možností jak zlepšit kvalitu střížné hrany je snížit tahová pnutí působící při vnikání střížníku do materiálu. Toho lze docílit působením radiální tlakové síly. Z tohoto důvodu se využívá přidržovač s nátlacnou hranou. Tato hrana je vtlačena do materiálu, díky čemu vznikne v horní vrstvě materiálu tlakové pnutí. Rozhodující je zde tlak přidržovače působící na dělený materiál. V tomto případě se jedná o nejčastější metodu tzv. přesného stříhání nazvanou přesné stříhání s nátlacnou hranou.

Užitím tzv. záporné vůle dle obr. 21 lze též zlepšit kvalitu střížné plochy. Principiálně se jedná o sloučení dvou operací a to stříhání a přistříhování. Průměr střížníku bývá zpravidla větší o 0,1 až 0,2 tloušťky plechu, než je průměr střížnice. Střížník nemůže projít střížnicí a musí se zastavit v krajní poloze, přibližně 0,2 až 0,5 mm nad čelem střížnice. Dostřížení výstřížku je zajištěno stříháním následujícího výstřížku, který je položen na předchozí výstřížek. Tato metoda se nazývá přistříhování se zápornou vůlí. Smyslem tohoto uspořádání je vyvolat ve vnějším mezikruží přistříhu tlaková napětí. Při této metodě se zvýší střížná síla přibližně o 20 až 50 %.



Obr. 21 Stříh se zápornou vůlí [1]

Další užívaná metoda je stříhání s protlačení výstřížku skrz střížnici se zaoblenou hranou, která též vykazuje lepší výsledky vzhledu střížné plochy. Příklad na tuto operaci bývá běžně 0,06-0,08 mm na jednu stranu.

2.4 Střížná vůle

Rozměry pracovních částí nástroje se určují v souladu se jmenovitými rozměry a tolerancemi výstřižku. Při prostřihování otvorů je určující rozměr střížníku. Naopak při stříhání obvodu výstřižku je rozhodující rozměr střížnice. Rozměry druhé činné části nástroje se vždy určují s ohledem na technologickou střížnou vůli. Střížnice a střížníky se konstruují s ohledem na opotřebení funkčních částí nástroje. Příslušná vůle se volí s ohledem na požadovanou přesnost výstřižků a s přihlédnutím na opotřebení nástroje během provozu.

Velikost střížné vůle je ovlivněna tvařitelností plechu. Střížná vůle ovlivňuje kvalitu vzniklé střížné plochy, jak už bylo zmíněno výše. V tabulce 3 je uvedena velikost střížné vůle pro plechy do tloušťky 4 mm a pro plechy o tloušťce větší než 4 mm. Střížná vůle je též úměrná mechanickým vlastnostem plechu, a to střížnému napětí.

Tab. 3 Střížná vůle [23]

Tloušťka [mm]	Tvar střížnice	
	bez fazetky	s fazetkou
$s < 4$	$\frac{v}{2} = 0,0013 \cdot s \cdot \sqrt{\tau_s}$ (2.11)	$\frac{v}{2} = 0,0021 \cdot s \cdot \sqrt{\tau_s}$ (2.13)
$s > 4$	$\frac{v}{2} = 0,0010 \cdot s \cdot \sqrt{\tau_s}$ (2.12)	$\frac{v}{2} = 0,0016 \cdot s \cdot \sqrt{\tau_s}$ (2.14)

kde:

- $v/2$ střížná mezera [mm]
- s tloušťka děleného materiálu [mm]
- τ_s střížné napětí [MPa]

Střížná vůle se vypočítá jako dvojnásobek střížné mezery. Střížná vůle je rozdíl mezi rozměrem střížníku a střížnice.

2.5 Nástroje pro stříhání na lisech

Nástroje pro stříhání na lisech závisí na tvaru stříhaných součástek, na požadované přesnosti stříhání, děleném materiálu, sériovosti, technologičnosti a ekonomičnosti výroby. Nástroje lze z konstrukčního hlediska dělit na jednoduché, sdružené nebo postupové. Dále lze nástroje určovat podle počtu hotových výrobků zhotovených na 1 zdvih lisu. Nástroje lze též rozdělit podle způsobu vedení, a to na se sloupkovým vedením, s deskovým vedením a nebo bez vedení. Dále je určující způsob zavádění plechu do nástroje. Ten může být buď automatický pomocí odvíječky pásu plechu ze svitku nebo například robotickým manipulátorem zakládajícím tabule plechu do nástroje a nebo ruční způsob zavádění plechu do nástroje.



Obr. 22 Příklad postupového střížného nástroje [34]

Nejčastěji se využívají nástroje pro vystřihovací a děrovací operace. Vystřihovací nástroje se převážně užívají pro vystřihování výrobku z pásu plechu. Pro složité tvary výstřižků se volí dělené střížnice, popřípadě dělené střížníky. Děrovací nástroje lze s výhodami využívat pro rovinné polotovary, ale také pro tvarové výlisky děrované na rovných plochách a zároveň pro děrování ve tvarových částech výlisků.

Součásti vyráběné z plošných výchozích materiálů se převážně vyrábějí na jeden zdvih. V případě složitých dílců se vyrábí na více zdvihů v postupových nástrojích.

Střížné nástroje jsou nejčastěji využívány na mechanických klikových, excentrických nebo hydraulických lisech. Pro případy potřeby bývají lisy vybaveny vyhazovači, přidržovači, dále



Obr. 23 Umístění nástroje v lisu [35]

pneumatickým a hydraulickým systémem pro ovládání prvků nástrojů. Ve výrobě součástí s geometricky podobnými tvary lze využít přestavitelnost nástrojů. Dále u tvarově jednoduchých přístřihů je vhodné využívat normalizované dílce a stavebnicovou konstrukci nástrojů, které mohou být lehce přestavěny pro jiný typ výstřižků.

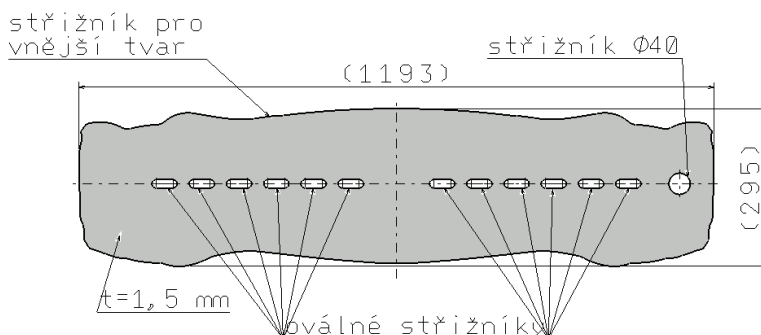
Pro velkosériovou výrobu z pásů nebo svitků plechu se využívají pevné střížné nástroje. Příklad kovového střížného postupového nástroje je na obr. 22, umístění takového nástroje v lisu je znázorněno na obr. 23. Tyto nástroje vystřihují funkční i technologické otvory, ale i vystřihují celý polotovár z pásu, jako polotovár pro další operace. Střížný nástroj však může být umístěn v lince i jako poslední, ostříhovací operace. V tomto případě slouží k oddělení odpadu od hotového dílce nebo prostřížení otvorů do výtažků apod. V případě výroby z pásu plechu se může uspořádat více nástrojů za sebe v jednom lisu.

3 VÝPOČTOVÁ ČÁST [2, 6, 8, 23, 25, 27, 30, 31]

V této kapitole budou vypočteny všechny potřebné parametry a údaje potřebné pro konstrukci nástroje a jeho bezproblémové použití v provozu.

3.1 Výpočet sil a práce

Silový výpočet je důležitý obzvláště kvůli správné volbě lisu na kterém nástroj bude pracovat. U většiny střížných nástrojů jsou střížník i střížnice rovné a k vystřížení součástí dochází po celém obvodu najednou. Pokud je zapotřebí snížit střížnou sílu lze použít střížníky se



Obr. 24 Rozmístění střížníků na dílci

šikmými čely, které vyvolávají tečnou složku střížné síly a tím narovnávají polotovar. Na obr. 24 je znázorněno rozmístění otvorů v hotovém dílci. Kromě znázorněných otvorů se do pásu plechu ještě vystřihují technologické středící otvory. Tyto otvory jsou patrné z obr. 43.

Výpočet střížné síly pro vnější tvar výstřížku

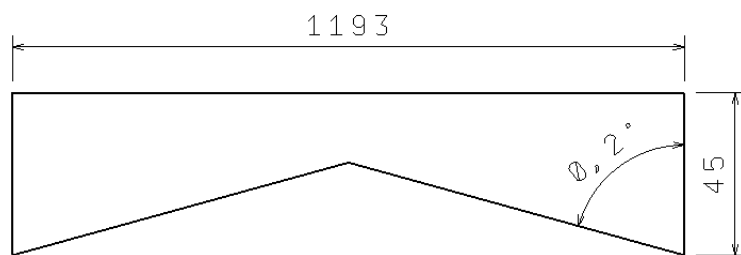
Všechny střížné síly v následujících odstavcích budou počítány podle základního vzorce (2.8). V první fázi výpočtu se určí střížná síla pro obvodový střížník s rovným čelem. Model střížníku je zobrazen na obr. 25.

$$F_{stř1} = n \cdot s \cdot 0,77 \cdot R_m \cdot L_1 = 1,15 \cdot 1,5 \cdot 0,77 \cdot 700 \cdot 2843,85 = 2\,644\,140,6 \text{ N}$$

kde:

L_1 celkový obvod dílce [mm]

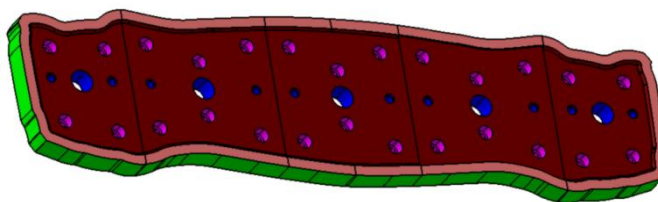
$F_{stř1}$ střížná síla pro obvod dílce, nože s rovným čelem [N]



Obr. 26 Schematický náčrt zkosení střížníku

Koeficient otupení a vlivu vnější faktorů byl volen jako střed intervalu $n = 1 \div 1,3$, z něhož se koeficient volí. Vzhledem k tomu, že nástroj bude pravidelně přebroušován, není nutné volit maximální koeficient otupení. Mez pevnosti

byla zvolena na horní hranici rozsahu, ve kterém se plech Usibor® 1500 vyrábí. Bylo tak učiněno z důvodu určení maximální možné střížné síly, která by mohla při procesu vzniknout. S ohledem na to bude poté zvolen stroj, na kterém se bude nástroj provozovat. Délka L_1 odvodu tvarového výstřížku byla změřena s pomocí programu



Obr. 25 Střížník pro obvodový tvar dílce

CATIA V5, protože díky tvarové složitosti dílce není možné obvod spočítat ručně.

Ve skutečnosti se hlavní tvarové nože nevyrábí s rovným čelem, ale provádí se jejich zkosení. Toto zešíkmení je schematicky znázorněno na obr. 26. Rozměry na obrázku jsou nepoměrné ke skutečným rozměrům, ovšem jsou takto provedeny kvůli názornosti. Na základě dlouholetých zkušeností konstrukčního oddělení, v jejichž spolupráci je tato diplomová práce vypracována, se střížná síla počítá pro tvarový střížník se zešíkmenými čely jako 50-60 % střížné síly pro střížník s rovnými čely. Z důvodu bezpečnosti a nebezpečí přetížení lisu se ovšem tato síla navyšuje na 75 % střížné síly $F_{stř1}$. Úhel zkosení nožů je $0,2^\circ$. Následujícím výpočtem bude určena síla pro stříh se zešíkmenými čely.

$$F_{skut1} = F_{stř1} \cdot 0,75 = 2644140,6 \cdot 0,75 = 1\,983\,105,5 \text{ N} \quad (3.1)$$

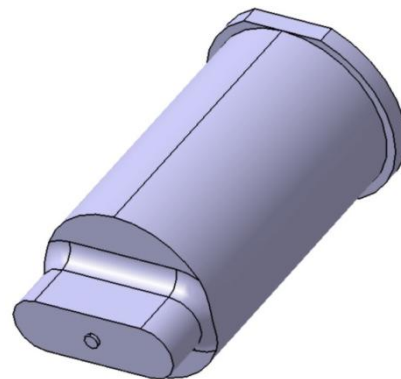
kde:

F_{skut1} skutečná střížná síla na vystřížení obvodu dílce [N]

Nyní je vypočítána skutečná síla, se kterou se bude počítat dále při určení celkové síly vyvíjené lisem. V dalších výpočtech budou určeny síly od ostatních střížníků a další technologické odpory překonávané lisem. Všechny další střížníky už mají rovné čelo, tudíž jejich výpočet bude proveden dle základního vzorce (2.8).

Výpočet střížné síly pro oválné střížníky

V tomto výpočtu bude určena střížná síla, kterou působí oválný střížník na materiál. Střížník je zobrazen na obr. 27. Válcová část slouží jako upínací do kotevní desky a částečně je vedena přesným otvorem v přídržovači. Na čelní ploše střížníku je odlepovač vystřížených částí plechu. Ploška na horní části střížníku slouží k zajištění proti pootočení v kotevní desce. Prvním výpočtem bude určen obvod střížníku. Tento výpočet je nezbytný pro určení střížné síly.



Obr. 27 Oválný střížník

$$L_2 = 2 \cdot \pi \cdot r_{ov} + 2 \cdot l_{ov} = 2 \cdot \pi \cdot 7,85 + 2 \cdot 31,7 = 112,72 \text{ mm} \quad (3.2)$$

kde:

L_2 obvod oválného střížníku [mm]

r_{ov} poloměr zaoblení střížníku [mm]

l_{ov} délka rovné části oválného střížníku [mm]

V dalším výpočtu bude určena střížná síla působící na 1 oválný střížník dle vzorce (2.8).

$$F_{stř2} = n \cdot s \cdot 0,77 \cdot R_m \cdot L_2 = 1,15 \cdot 1,5 \cdot 0,77 \cdot 700 \cdot 112,72 = 104804,2 \text{ N}$$

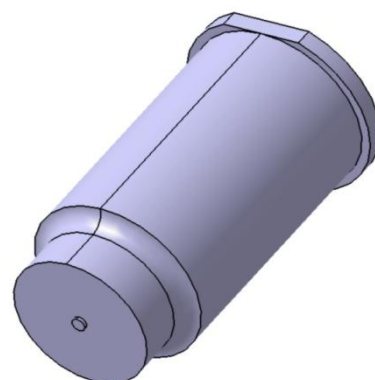
kde:

$F_{stř2}$ střížná síla na 1 oválný střížník [N]

Síla působící na jeden střížník vyšla přibližně 104,8 kN. Vzhledem k tomu, že v kotevní desce je těchto střížníků 12, musí být tato síla v závěrečném výpočtu celkové síly násobena počtem těchto střížníků.

Určení střížné síly pro otvor $\phi 40$ mm

Na obr. 28 je znázorněn model střížníku, který tento otvor vystřihuje. Otvor se nachází uprostřed šířky dílce, jak lze vidět na obr. 4. Bude vystřižen v jednom kroku společně s 12 oválnými otvory. Střížník se skládá z upínací části a části vedené v přídržovači. Dále je v horní části osazení zploštěn, aby bylo zabráněno pootočení. V pracovní části je na čele střížník vybaven odlepovačem výstřížků. Nejprve bude určen obvod střížníku.



$$L_3 = \pi \cdot d_{40} = \pi \cdot 40 = 125,66 \text{ mm} \quad (3.3)$$

kde:

L_3 obvod střížníku $\phi 40$ [mm]
 d_{40} průměr střížníku [mm]

Obr. 28 Střížník o průměru 40 mm

Dále bude vypočtena střížná síla potřebná pro vystřihnutí otvoru tímto střížníkem.

$$F_{stř3} = n \cdot s \cdot 0,77 \cdot R_m \cdot L_3 = 1,15 \cdot 1,5 \cdot 0,77 \cdot 700 \cdot 125,66 = 116835,5 \text{ N}$$

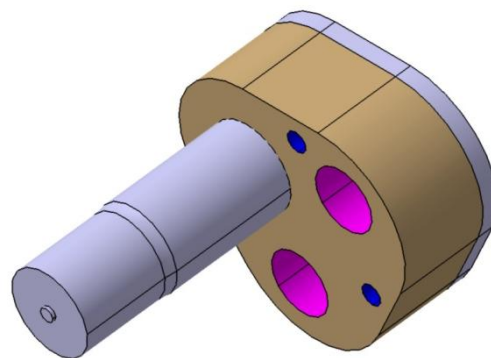
kde:

$F_{stř3}$ střížná síla pro střížník o průměru 40 mm [N]

Výpočty byla určena střížná síla pro zhotovení otvoru o průměru 40 mm v dílci. Hodnota bude dále použita pro výpočet celkové střížné síly.

Střížná síla potřebná na vystřihnutí středících otvorů o průměru 24,1 mm

Tyto střížníky slouží k vytvoření technologických otvorů. Tyto otvory jsou určeny k vystředění plechového pásu v nástroji. Střížník má na čele opět odlepovač. Střížník je upnut v kotevní desce (hnědá barva) a celá deska je podložena kalenou podložkou (šedá barva). Vzhledem k velikosti nástroje a složitému provedení se pro každý střížník volí kotevní deska včetně kalené podložky, která je součástí setu, pro každý střížník zvlášť. Výjimkou je řada oválných střížníků, které jsou blízko sebe, tudíž jsou umístěny v jedné vyráběné kotevní desce. Celá tato sestava, viz obr 29, je namontována na nálitek v horním odlitku. Následujícím výpočtem bude určen obvod střížníku.



Obr. 29 Střížník $\phi 24,1$ s kotevní deskou a podložkou

$$L_4 = \pi \cdot d_{24,1} = \pi \cdot 24,1 = 84,82 \text{ mm}$$

kde:

L_4 obvod střížníku $\phi 24,1$ [mm]
 $d_{24,1}$ průměr střížníku [mm]

Díky vypočítanému obvodu střížníku je nyní možné dále určit působící střížnou sílu.

$$F_{stř4} = n \cdot s \cdot 0,77 \cdot R_m \cdot L_4 = 1,15 \cdot 1,5 \cdot 0,77 \cdot 700 \cdot 84,82 = 78863,5 \text{ N}$$

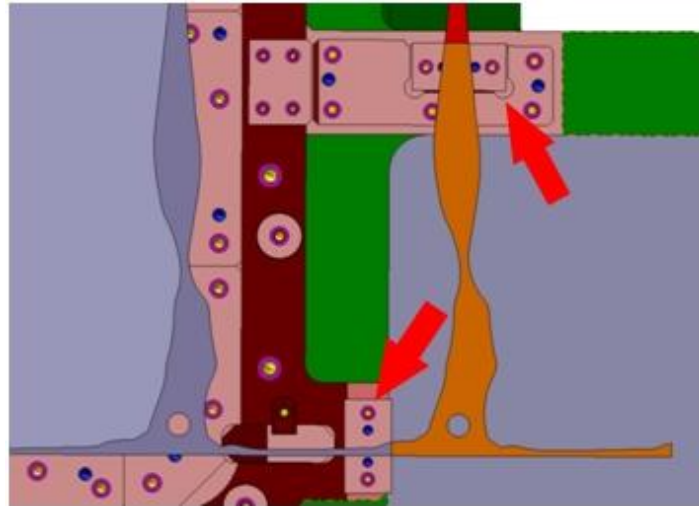
kde:

$F_{stř4}$ střižná síla pro střižník o průměru 24,1 mm [N]

Výpočtem byla určena střižná síla potřebná pro vystřížení technologického otvoru. Vzhledem k tomu, že se do plechu v jednom kroku stříhají 2 technologické otvory najednou, bude tato síla násobena dvěma při určení celkové střižné síly.

Výpočet střižné síly pro rozstřížení odpadových částí plechu

Na obr. 30 je zobrazen pohled na šrotovací nože, které slouží k rozstříhnutí zbytkových částí pásu plechu na menší kusy. Oranžovou a červenou barvou jsou v obrázku zaznamenány kusy, na které bude pás po stříhu rozdělen. Tmavě šedá je pás plechu. Pod rozhraními pásu a odpadů jsou viditelné spodní šrotovací nože. Následujícím výpočtem bude určena střižná síla, kterou musejí nože vyvinout k přestřížení pásu. Délka stříhu byla změřena pomocí odměřování v programu CATIA V5.



Obr. 30 Šrotovací nože a odpadní část pásu plechu

$$F_{srot1} = n \cdot s \cdot 0,77 \cdot R_m \cdot L_{srot1} = 1,15 \cdot 1,5 \cdot 0,77 \cdot 700 \cdot 25,45 = 23662,8 \text{ N}$$

kde:

L_{srot1} délka stříhané části odpadové části pásu podél směru posuvu pásu [mm]

$$F_{srot2} = n \cdot s \cdot 0,77 \cdot R_m \cdot L_{srot2} = 1,15 \cdot 1,5 \cdot 0,77 \cdot 700 \cdot 14,28 = 13277,2 \text{ N}$$

kde:

L_{srot2} délka stříhané části odpadové části napříč směru posuvu pásu [mm]

V navrhovaném nástroji jsou umístěny dva šrotovací nože od každého typu, takže ve výpočtu celkové síly musí toto být zohledněno.

Výpočet celkové střižné síly

Jedná se o součet všech sil potřebných k stříhání dílce. Budou použity hodnoty z předchozích výpočtů s tím, že musí být zohledněn i počet jednotlivých střižníků.

$$F_{stř} = F_{skut1} + 12 \cdot F_{stř2} + F_{stř3} + 2 \cdot F_{stř4} + 2 \cdot F_{srot1} + 2 \cdot F_{srot2} =$$

$$F_{stř} = 1983105,5 + 12 \cdot 104804,2 + 116835,5 + 2 \cdot 78863,5 + 2 \cdot 23662,8 + 2 \cdot 13277,2 = 3\,589\,198,4 \text{ N} \quad (3.4)$$

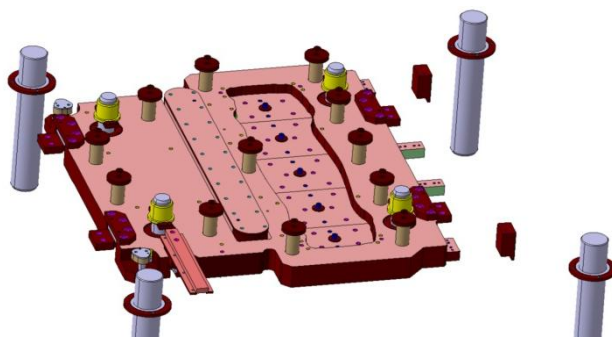
kde:

$F_{stř}$ celková střižná síla [N]

Vypočtená celková střižná síla je důležitá pro návrh stroje.

Výpočet síly od přidržovače

Dle zkušeností konstruktérů nástrojárny je počítána přidržovací síla, pro střížné nástroje k výrobě plechových dílců s uzavřenou křivkou stříhu, jako přibližně 15-20 % z celkové střížné síly. Část této přidržovací síly je vyvinuta vlastní hmotností přidržovače, zbylá část musí být vyvinuta stlačením elastomerových pružin působících na přidržovač. V



Obr. 31 Přidržovač s elastomerovými pružinami zvoleno 12 elastomerových pružin, které jsou rovnoměrně rozmístěny po ploše přidržovače. Elastomerové pružiny budou vybrány z katalogu firmy FIBRO. Potřebná síla vyvíjená každou z pružin bude určena v následujících výpočtech. Zmiňované pružiny jsou patrné na obr. 31, kde jsou znázorněny světle hnědou barvou včetně podložek. Na obrázku je skryt horní odlitek, pro lepší názornost.

$$F_{přidrzt} = 0,15 \cdot F_{stř} = 0,15 \cdot 3589198,4 = 538379,8 \text{ N} \quad (3.5)$$

$$F_{přidrzpr} = \frac{1}{12} (F_{přidrzt} - m_{přidr} \cdot g) = \frac{1}{12} (538379,8 - 765,7 \cdot 9,81) = \quad (3.6)$$

$$F_{přidrzpr} = 44\,239 \text{ N}$$

kde:

$F_{přidrzt}$	potřebná síla na přidržovači [N]
$F_{přidrzpr}$	potřebná síla vyvozená 1 pružinou [N]
$m_{přidr}$	hmotnost přidržovače [kg]
g	tíhové zrychlení [m/s^2]

Výpočtem byla určena minimální síla, která musí být vyvolána každou z 12 pružin. Z katalogu normálií FIBRO bude vybrána pružina, která je schopná vyvodit nejbližší vyšší sílu než byla určena výpočtem. Vybraná pružina je schopna vyvodit sílu $F_{elast} = 53\,000 \text{ N}$. Dalšími výpočty bude určena maximální síla, kterou přidržovač vyvine a dále síla, kterou musí překonat lis, aby byl přidržovač natlačen na plech správnou silou.

$$F_{přidrmax} = 12 \cdot F_{elast} + m_{přidr} \cdot g = 12 \cdot 53\,000 + 765,7 \cdot 9,81 = \quad (3.7)$$

$$F_{přidrmax} = 643511,5 \text{ N}$$

kde:

$F_{přidrmax}$	maximální síla na přidržovači [N]
----------------	-----------------------------------

Maximální síla vyvozená přidržovačem je rovna 17,9 % střížné síly. Z toho vyplývá, že je dostatečná na přitlačení plechu k nástroji, protože se nachází v již zmiňovaném rozsahu přidržovací síly. Zvolené elastomerové pružiny jsou tedy vyhovující a mohou být využity. Při stlačování nástroje v lisu je síla, kterou musí lis vyvinout na stlačení přidržovače snížena o tíhu přidržovače. Odporová síla od pružin je určena následujícím výpočtem.

$$F_{elast12} = 12 \cdot F_{elast} = 12 \cdot 53000 = 636\,000 \text{ N}$$

kde:

$F_{elast12}$	celková síla vyvolaná elastomerovými pružinami [N]
---------------	--

Síla pro stlačení plynových pružin rozevírajících nástroj

Plynové pružiny zde slouží k rozevírání nástroje během manipulace mimo lis. Dále umožňují rychlejší a snadnější upnutí do lisu a jednoduché odstranění skladovacích bloků.

V nástroji je rovnoměrně rozmístěno 5 těchto pružin. Z důvodu předejít nebezpečným stavům je zvolen koeficient bezpečnosti 1,2.

$$F_{plyn} = \frac{1}{5} \cdot k_{plyn} \cdot m_{hdn} \cdot g = \frac{1}{5} \cdot 1,2 \cdot 5350 \cdot 9,81 = 12596 \text{ N} \quad (3.8)$$

kde:

F_{plyn} síla od každé z 5 plynových pružin na rozevření nástroje [N]

k_{plyn} koeficient bezpečnosti rozevření nástroje plyn. pružinami [-]

m_{hdn} hmotnost horního dílu nástroje [kg]

Hmotnost horního dílu byla určena s pomocí programu CATIA. Výpočtem byla určena síla, která musí být lisem překonána při každém zdvihu. Síla u plynových pružin se dá regulovat v určitých mezích dle potřeby. Různá síla se nastaví různým natlakováním pružin.

Síla pro zatlačení zvedačů pásu

Zvedače slouží pro nadlehčení pásu plechu ve fázi, kdy je beran lisu v horní úvratí, aby mohlo snadno dojít k posunu pásu o krok a provedení další operace. Stlačení zvedačů zpět do spodní polohy je provedeno stlačením celého nástroje. Tudíž odpor pružin zvedačů musí být překonán a započítán do silového působení proti pohybu beranu lisu. Vlastní hmotnost zvedačů je v tomto případě zanedbatelná, tudíž se s ní ve vzorci nepočítá. Celkově jsou zvedače nadzvedávány 20 vinutými pružinami, též vybranými z katalogu normálií FIBRO. Síla od každé z pružin je rovna $F_{vin} = 756 \text{ N}$. Výpočet síly na překonání zvedačů je dán následujícím vztahem.

$$F_{zved} = 20 \cdot F_{vin} = 20 \cdot 756 = 15120 \text{ N} \quad (3.9)$$

kde:

F_{zved} síla zvedačů pásu plechu [N]

F_{vin} síla od 1 vinuté pružiny [N]

Celková síla působící při jednom zdvihu lisu (bez vlivu třecích ztrát)

F_{lis} je celková síla, kterou musí lis vyvinout, aby přemohl odpor plechu a pružin nástroje a vystříhl zadaný přístřih. Třecí ztráty ve vedení nástroje jsou ve výpočtu zanedbány, protože v celkové síle by sehrály pouze minimální roli, tudíž na ně není brán zřetel.

$$F_{lis} = F_{stř} + F_{elast12} + 5 \cdot F_{plyn} + F_{zved} = 3589198,4 + 636000 + 5 \cdot 12596 + 15120 = 4\,303\,298,4 \text{ N} \approx 4\,304 \text{ kN} \quad (3.10)$$

kde:

F_{lis} síla vyvíjená liselem [N]

Vypočítaná síla je důležitým parametrem při volbě lisovacího zařízení. Jedná se v podstatě o hlavní parametr při výběru lisu. Je vhodné volit lis takovým způsobem, aby nebyl příliš předimenzován nebo naopak nedisponoval příliš malou lisovací silou. Ovšem při volbě stroje hraje roli i spousta dalších parametrů jako např. rozměry nástroje atd.

Výpočet celkové střížné práce

Celková práce spotřebovaná během jednoho zdvihu lisu k vystřížení požadovaných prvků bude určena dle vztahu (2.9).

$$A = \lambda \cdot F_{stř} \cdot s = 0,57 \cdot 3589198,4 \cdot 1,5 = 3\,068\,764 \text{ J} \approx 3\,069 \text{ kJ}$$

Výpočtem byla určena velikost střížné práce, která bude vykonána při ustřížení plechového dílce. Koeficient plnosti λ byl určen z diagramu na obr. 16.

3.2 Ověření použitelnosti střížníků

V této kapitole bude výpočtově ověřeno, zda navržené střížníky použité pro konstrukci nástroje vydrží namáhání při stříhání. Výpočtem bude ověřena odolnost proti spěchování střížníků. Dále bude ověřena mez vzpěrné stability jednotlivých střížníků.

3.2.1 Výpočet pro střížník o průměru 24,1 mm



Obr. 32 Řez střížníkem a střížnicí pro středící otvory

Model tohoto střížníku je zobrazen na obr. 29. Tyto střížníky jsou v nástroji celkem dva. Každý z nich slouží pro vystřížení kruhových otvorů do pásu plechu. Tyto otvory slouží jako technologické a jsou využity pro vystředění pásu plechu v nástroji, jak již bylo zmíněno.

Pro výpočty bude použita hodnota střížné síly pro daný střížník z výpočtů v kapitole 3.1.

Následujícími vztahy bude určena síla potřebná pro spěchování střížníku. Vztah je počítán dle Siebla [6]. Koeficient tření byl zvolen jako $f=0,05$. Za σ_p je v tomto

případě dosazena mez kluzu oceli 1.3343, ze které je střížník vyroben, což je 870 MPa.

$$F_{pech24,1} = \left(\frac{\pi \cdot d_{24,1}^2}{4} \cdot \sigma_p \right) \left(1 + \frac{f \cdot d_{24,1}}{h_4} \right) = \left(\frac{\pi \cdot 24,1^2}{4} \cdot 870 \right) \left(1 + \frac{0,05 \cdot 24,1}{25} \right) = \quad (3.11)$$

$$F_{pech24,1} = 403\,241,7 \text{ N}$$

kde:

$F_{pech24,1}$ síla nutná pro napěchování střížníku [N]

$d_{24,1}$ průměr střížníku [mm]

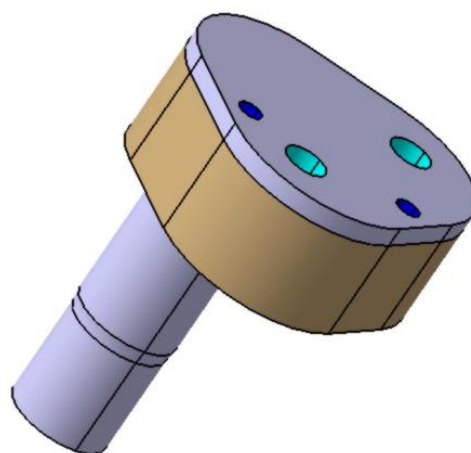
σ_p přirozený přetvárný odpor [MPa]

Porovnáním obou výsledků dostaneme fakt, že síla pro prostřížení plechu je řádově 4,5krát menší než síla nutná k napěchování střížníku. Z toho vyplývá, že střížník je dostatečně dimenzován a nemělo by dojít k jeho napěchování.

Dalším výpočtem bude zjištěno, zda nedojde k otlacení střížníku do litinového nálitku na horním odlitku nástroje. Kotevní deska, v níž je uchycen střížník, je na obrázku znázorněna hnědou barvou. Pokud by napětí způsobené od střížné síly bylo větší než mez pevnosti v tlaku litinového odlitku, musela by se použít kalená podložka mezi střížník a litinový odlitek. Mez pevnosti v tlaku litinového odlitku z materiálu EN-JL-1040 je $R_d=840$ MPa.

$$S_{kot4} = \pi \cdot \frac{D_{24,1}^2}{4} = \pi \cdot \frac{28^2}{4} = 615,44 \text{ mm}^2 \quad (3.12)$$

$$\sigma_{stř4} = \frac{F_{stř4}}{S_{kot4}} = \frac{78863,5}{615,44} = 128,2 \text{ MPa} \quad (3.13)$$



Obr. 33 Střížník s kotevní deskou a podložkou

kde:

- $\sigma_{stř4}$ napětí působící na litinový nálitek [MPa]
- $D_{24,1}$ průměr horní část střižníku [mm]
- S_{kot4} opěrná plocha střižníku [mm²]

Výpočtem bylo ověřeno, že napětí působící na stykové ploše střižníku a litinového nálitku je 6,5krát menší než mez pevnosti litiny v tlaku, ze které je odlitek vyroben. Vyplývá z toho, že by nemělo docházet k horního čela střižníku do odlitku. Pro jistotu je však mezi střižníkem a litinovým odlitkem umístěna kalená podložka, která zajistí, aby nedošlo v žádném případě k otisku střižníku do nálitku.

V dalším výpočtu bude ověřen mezní stav vzpěrné stability pro tento střižník. Kritická vzpěrná délka je dle typu uložení, kdy jeden konec je považován za vetknutý a druhý konec je volný, rovna $\beta=2$. Délka zúžené části střižníku, pro kterou je nutné tento výpočet provést je rovna $h_4=25\text{mm}$.

$$L_{kr4} = \beta \cdot h_4 = 2 \cdot 25 = 50 \text{ mm} \quad (3.14)$$

$$i_4 = 0,25 \cdot D_4 = 0,25 \cdot 24,1 = 6,025 \text{ mm} \quad (3.15)$$

$$J_s = \frac{\pi \cdot D_4^2}{4} \cdot i_4^2 = \frac{\pi \cdot 24,1^2}{4} \cdot 6,025^2 = 16559,2 \text{ mm}^4 \quad (3.16)$$

$$F_{krit4} = \frac{\pi \cdot E \cdot J_s}{L_{kr4}^2} = \frac{\pi \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 16559,2}{50^2} = 4\,369\,869,9 \text{ N} \quad (3.17)$$

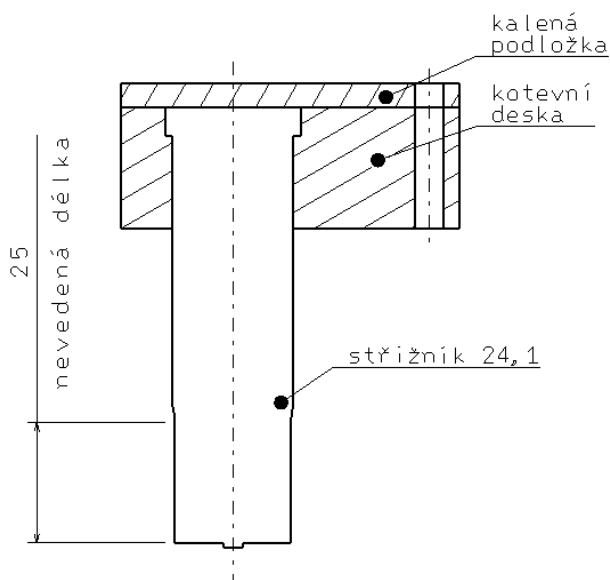
kde:

- F_{krit4} kritická síla na vzpěr střižníku $d=24,1$ mm [N]
- L_{kr4} kritická vzpěrná délka [mm]
- i_4 poloměr setrvačnosti [mm]
- J_s osový kvadratický moment [mm⁴]

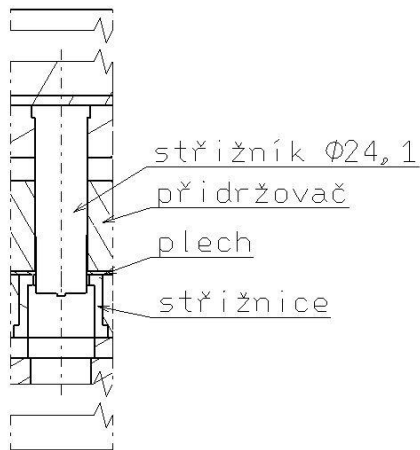
Porovnáním sil $F_{střmax24,1}$ a F_{krit4} se dojde k závěru, že střižník nebude ohrožen ztrátou vzpěrné stability. Z výše uvedených výpočtů vyplývá, že střižník je vhodný pro použití na vystřihování středících otvorů do plechu.

3.2.2 Výpočet pro střižník o průměru 40 mm

Střižník a střižnice tohoto typu se vyskytuje v nástroji pouze 1x. Vystřihuje kruhový otvor uprostřed tvarového přístřihu. Střižník je upevněn v kotevní desce, která je přimontovaná na horní odlitek nástroje. Mezi kotevní deskou a nálitkem na odlitku je ještě umístěna kalená podložka podobně jako v předchozím případě. Střižník je za svůj větší průměr veden v přídržovači. Vzpěrná délka v tomto případě bude 11,5 mm. Výpočet na vzpěrnou stabilitu již není nutné provádět, protože střižník o mnohem menším průměru a větší vzpěrné délce namáhání vydrží, viz kap. 3.2.1.



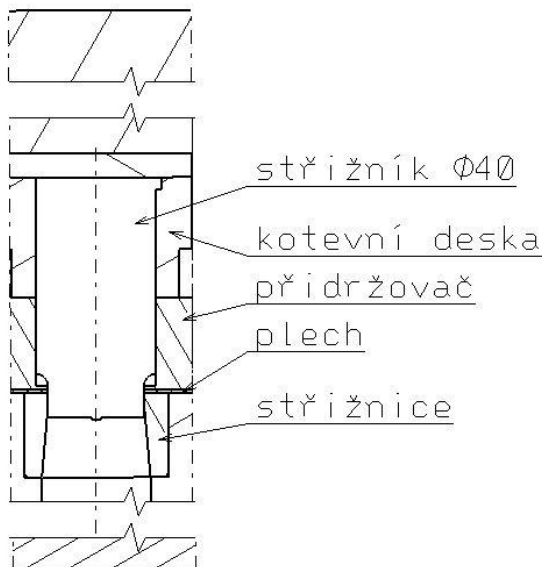
Obr. 34 Řez střižníkem průměru 24,1 mm



Obr. 35 Řez střížníkem $\phi 40$ m

3.2.3 Ověření oválných střížníků

V nástroji je těchto střížníků umístěno celkem 12. Jsou uloženy ve společné kotevní desce s kulatým střížníkem o průměru 40 mm. Jsou podloženy kalenou podložkou, aby se



Obr. 36 Řez uložení oválných střížníků

zabránilo otláčení do horního odlitku. Na obr. 36 je znázorněno uložení střížníku.

Střížník nebude plasticky deformován a může být pro danou operaci použit. Střížník není nutné počítat na ověření vzpěrné stability, vzhledem k tomu, že vzpěrná délka je velmi malá a průřez je dostatečný, aby se střížník nedeformoval.

3.3 Nástřihové plány

Při výrobě stříháním na lisech pomocí střížných nástrojů se využívají pásy plechu. Tyto pásy se mohou odvíjet přímo ze svitku nebo mohou být připraveny nastřiháním tabulí plechu. Způsob rozložení výstřížků na takovém pásu plechu se nazývá nástřihový plán. Při navrhování nástřihového plánu se dbá na to, aby bylo využito materiálu co největší. Zároveň platí určitá pravidla při rozmístování výstřížků na pásu plechu, aby bylo dosaženo požadované kvality výstřížků. Tato pravidla se týkají především šířky mezer mezi jednotlivými výstřížky a mezi výstřížky a krajem plechu.

Při stříhání několika střížníky je dobré dbát na to, aby výslednice střížných sil působila co nejvíce v ose lisu. V případě působení sil mimo osu stroje je beran lisu zatížen momentem, což způsobuje nepřesnost výstřížků a nadměrné opotřebovávání stroje i nástroje.

Důležitá kritéria při volbě nástřihového plánu jsou hlavně úspora materiálu. Dalším kritériem je co nejmenší možná pracnost. Hledí se též na požadovanou polohu ostrin po stříhu. Dále se hledí na napět'ovou vyváženost výstřížků, kvůli dalším operacím. A v neposlední řadě na snadnou mechanizovatelnost procesu.

Jak už bylo řečeno, nejvýznamnějším hlediskem pro volbu nástřihového plánu je ekonomičnost výroby a tudíž využití materiálu. Toto hledisko je příčinou vzniku různých druhů nástřihových plánů, jako jsou například jedno nebo dvouřadé, střídavé apod. U víceřadých nástřihových plánů se dosahuje většího využití materiálu, ovšem cena takových nástrojů na pořízení a údržbu roste. Je také zapotřebí mnohem větší lis.

V určitých případech, kdy je zapotřebí co nejvíce šetřit materiál, ale nezáleží na bočních rozměrech a kvalitě povrchu lze využívat neopracované boky pásu plechu a stříhá se bez bočních můstek. Podobně lze v určitých případech zanedbat i příčný můstek, stříh se potom podobá stříhu na nůžkách.

Při návrhu nástřihového plánu je dále dobré dbát na úsporu pracnosti celého procesu. Například při stříhání tzv. do řetízku se výstřížek udržuje v nástroji co nejdéle a oddělí se až v poslední nebo předposlední operaci.

Nástřihový plán musí brát v potaz další operace následující po stříhání. Například při tažení je nežádoucí zpevnění v oblasti kolem střížné křivky, proto se například polotovary předstříhují s přídavkem a odstříhne se až po tažení.

Hlavním faktorem určující ekonomičnost výroby stříháním dílců z pásu je procento využití materiálu. Z tohoto hlediska je vhodné volit technologicky a konstrukčně výhodný tvar přístřihů, aby docházelo k maximálnímu využití pásu plechu. Vliv materiálu na cenu přístřihů činí přibližně 60-70 %, tudíž je kladen důraz na hospodárnost.

Hospodárnost stříhání je dána součinitelem využití materiálu udávaném v procentech.

$$\eta = \frac{S_s}{S_p} \cdot 100 \quad (3.18)$$

kde:

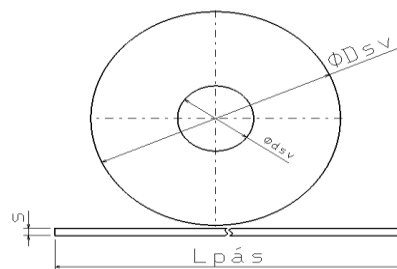
- η součinitel využití materiálu [%]
- S_s plocha součásti [m²]
- S_p plocha polotovaru [m²]

V prvním kroku je potřeba vypočítat rozměry svitku. Pro stříhání daného dílce bylo zvoleno odvíjecí zařízení, jehož parametry jsou uvedeny v tabulce 4. Kompletní parametry zařízení jsou uvedeny v příloze 1. Z těchto hodnot lze určit rozměry svitku.

Tab. 4 Parametry odvíječky

Maximální hmotnost svitku	[t]	25
Maximální průměr svitku	[mm]	2000
Vnitřní průměr svitku	[mm]	508-610

Pro určení rozměrů svitku je uvažován vnitřní průměr svitku 610 mm a jeho maximální hmotnost, a to 25 tun. Následujícími výpočty budou určeny rozměry a hmotnost svitku. Šířka pásu plechu je uvažována pro variantu A nástřihového plánu uvedenou v textu dále. Tato šířka je volena z důvodu, že je největší ze všech tří ověřovaných variant a svitek v tomto případě bude mít největší hmotnost. Šířka pásu v této variantě je rovna $b_A=1205$ mm. Tloušťka plechu je ve všech variantách stejná, a to $s=1,5$ mm. Rozměry svitku jsou naznačeny na obr. 37.



Obr. 37 Rozměry svitku plechu

$$S_{sv} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{sv}^2 - d_{sv}^2) = \frac{\pi}{4} \cdot (2000^2 - 610^2) = 2\,847\,901,5 \text{ mm}^2 \quad (3.18)$$

kde:

S_{sv}	boční plocha svitku [mm ²]
D_{sv}	vnější průměr svitku [mm]
d_{sv}	vnitřní průměr svitku [mm]

Dalším výpočtem bude ověřena hmotnost svitku při jeho maximálních rozměrech.

$$V_{sv} = S_{sv} \cdot b_A = 2847901,5 \cdot 1205 = 3431721307,5 \text{ mm}^3 \cong 3,432 \text{ m}^3 \quad (3.19)$$

$$m_{sv} = \rho_{ocel} \cdot V_{sv} = 7860 \cdot 3,432 = 26\,975,5 \text{ kg} \quad (3.20)$$

kde:

V_{sv}	objem svitku [mm ³]
b_A	šířka pásu pro variantu A [mm]
m_{sv}	hmotnost svitku [kg]
ρ_{ocel}	hustota oceli [kg/m ³]

Výpočtem bylo ověřeno, že hmotnost svitku, při maximálním průměru je příliš vysoká a tudíž nevyhovující. Přetížení odvíjecího zařízení by mohlo způsobit poškození stroje. V následujícím výpočtu bude vypočtena velikost svitku při maximální přípustné hmotnosti.

$$V_{svopt} = \frac{m_{svopt}}{\rho_{ocel}} = \frac{25000}{7860} = 3,1806615776 \text{ m}^3 = 3\,180\,661\,577,6 \text{ mm}^3 \quad (3.21)$$

$$S_{svopt} = \frac{V_{svopt}}{b_A} = \frac{3180661577,6}{12050} = 2\,639\,553,2 \text{ mm}^2 \quad (3.22)$$

$$D_{svopt} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{svopt}}{\pi}} + d_{sv} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2639553,2}{\pi}} + 610^2 = 1932,5 \text{ mm} \quad (3.23)$$

kde:

V_{svopt}	optimalizovaný objem svitku [mm ³]
m_{svopt}	maximální hmotnost svitku [kg]
S_{svopt}	optimalizovaná plocha svitku [mm ²]
D_{svopt}	optimalizovaný vnější průměr svitku [mm]

Po optimalizaci maximální hmotnosti svitku a jeho vnějšího průměru už lze svitek použít do zvoleného strojního zařízení, aniž by došlo k jeho poškození. Svitky použité pro nástřihové plány B a C budou počítány o stejném vnějším průměru D_{svopt} , jako pro variantu A a budou splňovat hmotnostní limit, protože jejich šířka je užší než šířka této varianty. V následujícím výpočtu bude užitím výsledků z předchozího výpočtu určena délka pásu navinutého na svitku. Předpokladem je dokonalé navinutí pásu bez mezer mezi jednotlivými vrstvami plechu. Ve výpočtu je uvažován fakt, že boční plocha pásu $S_{pás}$ je rovna boční ploše svitku S_{svopt} .

$$S_{pás} = s \cdot L_{pás} \Rightarrow L_{pás} = \frac{S_{pás}}{s} = L_{pás} = \frac{S_{svopt}}{s} \quad (3.24)$$

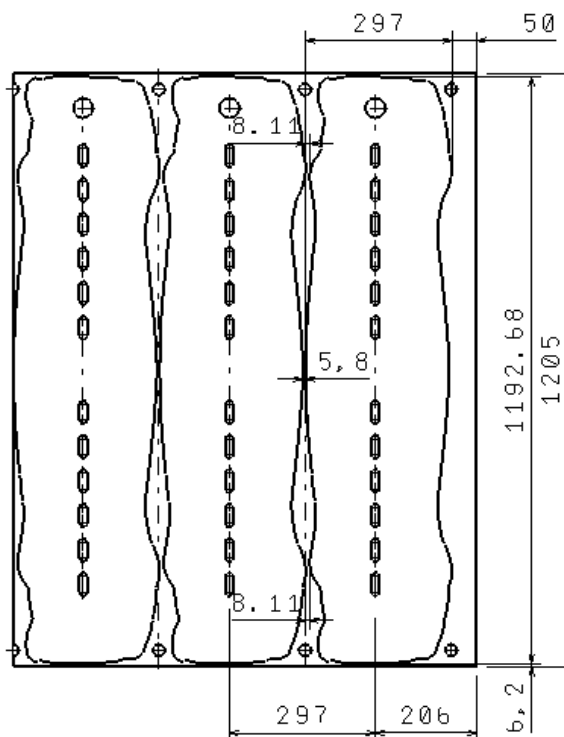
$$L_{pás} = \frac{S_{svopt}}{s} = \frac{2639553,2}{1,5} = 1\,759\,702,1 \text{ mm} \approx 1\,759,7 \text{ m} \quad (3.25)$$

kde:

$S_{pás}$	boční plocha pásu [mm ²]
$L_{pás}$	délka pásu [mm]
s	tloušťka plechu [mm]

Výpočtem bylo zjištěno, že celková délka navinutého pásu plechu na svitku bude 1 759 702,1 mm. Délku pásu bude volena $L_{pásk}=1\ 700$ metrů. Tato volba byla provedena z důvodu, aby nebyl buben odvíječky zatížen maximálním přípustným zatížením. Z této délky bude v následujících odstavcích určeno procentuální využití pásu plechu pro jednotlivé varianty nástřihových plánů.

Varianta A - uspořádání výstřižků na nástřihovém plánu je patrné z Obr. 38. Dílce jsou na pásu plechu rozmístěny svisle, jeden za druhým. Šířka pásu plechu je 1205 mm. Vzdálenost výstřižku od kraje pásu je 6,2 mm. Šířka můstku mezi jednotlivými výstřižky je rovna 5,8 mm. Tyto vzdálenosti byly určeny na základě zkušeností konstruktérů nástrojárny Žďas. Vzdálenost středů prvních středících otvorů je 50 mm. Tyto vzdálenosti jsou voleny z důvodu bezproblémového zavedení pásu plechu do nástroje a provedení vystřihnutí otvorů bez deformací a nežádoucích pohybů plechů v nástroji.



Obr. 38 Nástřihový plán - varianta A

Následujícím výpočtem bude určen počet výstřižků z jednoho svitku.

Dále bude provedeno ověření procentuelního využití svitku.

$$nks_A = \frac{L_{pásk}}{krok_A} = \frac{1700000}{297} = 5\ 723,9\ ks \cong 5723\ ks \quad (3.26)$$

kde:

- nks_A počet ks z 1 svitku, varianta A [ks]
- $L_{pásk}$ skutečná délka pásu [mm]
- $krok_A$ krok ve variantě A [mm]

Výpočtem bylo zjištěno, že v této variantě nástřihového plánu bude z 1 svitku vyrobeno 5723 ks přístřihů. Zaokrouhlení bylo provedeno směrem dolů, v opačném případě by poslední vystřižený kus byl neúplný. Dalším výpočtem bude spočtena celková plocha pásu navinutého na svitku a čistá plocha všech vystřižených dílců.

$$S_{pA} = b_A \cdot L_{pásk} = 1205 \cdot 1700000 = 2\ 048\ 500\ 000\ mm^2 \quad (3.27)$$

kde:

- S_{pA} plocha pásu pro variantu A [mm^2]

$$S_{sA} = nks_A \cdot S_{dílec} = 5723 \cdot 305\ 418,8 = 1\ 747\ 911\ 792,4\ mm^2 \quad (3.28)$$

kde:

- S_{sA} plocha všech dílců na svitku pro variantu A [mm^2]
- $S_{dílec}$ čistá plocha 1 dílce [mm^2]

Plocha 1 dílce byla určena pomocí nástrojů pro měření v softwaru CATIA. Nyní lze s využitím předchozích výpočtů určit procentuelní využití svitku.

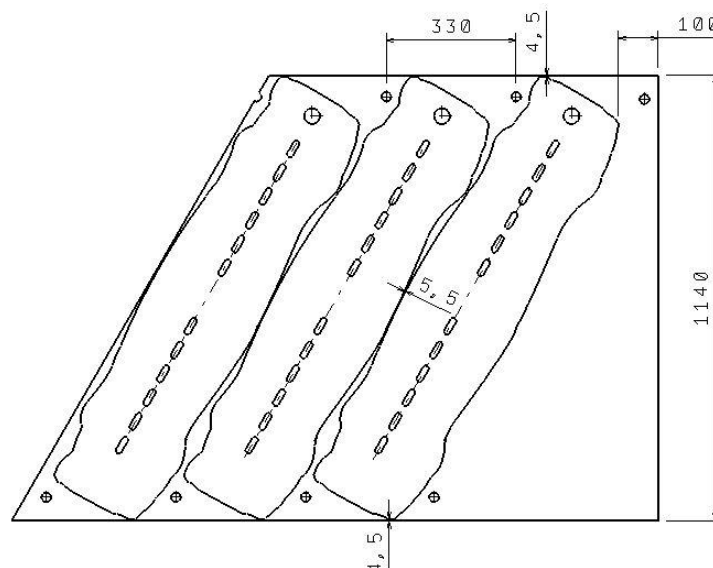
$$\eta_A = \frac{S_{sA}}{S_{pA}} \cdot 100 = \frac{1747911792,4}{2048500000} \cdot 100 = 85,3\ \% \quad (3.29)$$

kde:

η_A procento využití materiálu pro variantu A [%]

Využití materiálu při použití této varianty je 85,3 %. Procento využití materiálu je velice uspokojivé a uspořádání výstřížků na pásu plechu je výhodné pro konstrukci nástroje. Nástroj tímto způsobem bude prostorově úsporný, z čehož plyne, že budou i menší náklady na materiál pro výrobu nástroje.

Varianta B - Ve variantě B, která je znázorněna na obr. 39, jsou výstřížky natočeny o 30° ze svislé polohy. Výhodou je, že se zmenšila potřebná šířka pásu plechu. Další výhodou tohoto uspořádání je, že výstřížky do sebe lépe zapadají výčnělky a vzniká méně odpadu mezi jednotlivými výstřížky. Změnou oproti variantě A je, že technologické středící otvory nemohou být umístěny v jedné přímce



Obr. 39 Nástřihový plán - varianta B

rovnoběžně s kratším okrajem plechu. V případě, že by ležely na rovnoběžce s krátkou stranou pásu plechu, by zasahovaly do výstřížku, což je nežádoucí. Prvním výpočtem bude určen počet výstřížků z jednoho svitku plechu. Z důvodu přehlednosti výpočtů a názornosti využití materiálu bude ve všech variantách nástřihových plánů počítáno s navinutou délkou plechu na svitku $L_{pásk} = 1700$ m. Dalším důvodem je maximální průměr svitku, který se vejde do odvíjecího zařízení. Při této délce navinutého pásu sice není dosaženo maximálního průměru svitku, který může být použit, je zde však dostatečná rezerva pro případ, že by nepřesností navíjecího zařízení ve válcovně byl průměr svitku větší.

$$nks_B = \frac{L_{pásk}}{krok_B} = \frac{1700000}{330} = 5151,5 ks \cong 5150 ks \quad (3.30)$$

kde:

nks_B počet ks z 1 svitku, varianta B [ks]

$krok_B$ krok ve variantě B [mm]

Nyní bude určena plocha plechu navinutého na svitku pro tuto variantu nástřihového plánu.

$$S_{pB} = b_B \cdot L_{pásk} = 1140 \cdot 1700000 = 1\,938\,000\,000 \text{ mm}^2 \quad (3.31)$$

kde:

S_{pB} plocha pásu pro variantu B [mm^2]

b_B šířka pásu pro variantu B [mm]

Šířka pásu byla určena z obr. 39. Dalším výpočtem bude určena čistá plocha všech výstřížků vyrobených z 1 svitku pro variantu B.

$$S_{sB} = nks_B \cdot S_{dílec} = 5150 \cdot 305\,418,8 = 1\,572\,906\,820 \text{ mm}^2 \quad (3.32)$$

kde:

S_{sB} plocha všech dílců na svitku pro variantu B [mm^2]

Nyní lze přistoupit k výpočtu procentuálního využití plechu pro tuto variantu nástřihového plánu.

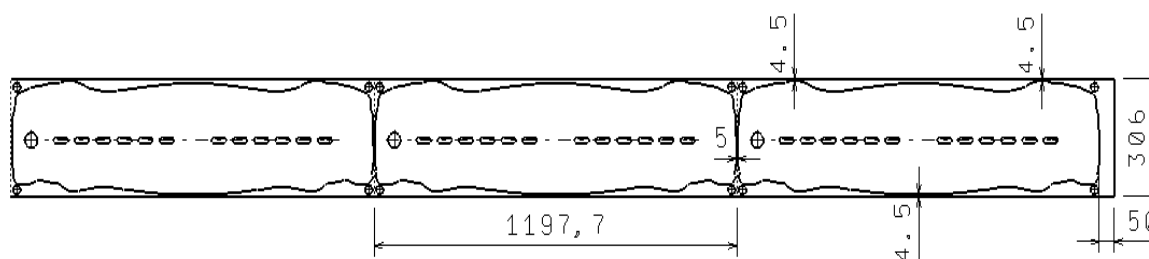
$$\eta_B = \frac{S_{SB}}{S_{PB}} \cdot 100 = \frac{1572906820}{1938000000} \cdot 100 = 81,1 \% \quad (3.33)$$

kde:

η_B procento využití materiálu pro variantu B [%]

Hlavní nevýhodou tohoto uspořádání je, že v prostoru technologických děr vzniká větší nevyužitá oblast plechu. Toto je příčinou menšího procenta využití a tudíž menší ekonomičnosti výroby. Využití materiálu v této variantě je 81,1 % a počet kusů vystřižených z 1 svitku je 5 150. Z uvedeného vyplývá, že předchozí varianta bude výhodnější, protože je vyšší využití pásu a navíc se ze svitku udělá více kusů a uspoří se čas pro výměnu svitků a zavádění pásu plechu do lisu.

Varianta C - znázorňuje uspořádání výstřižků podélně dle obr. 40. Výstřižky jsou zde podélně natočeny ve směru posuvu pásu do nástroje. Výstřižky jsou naskládány za sebe na pásu šířky 306 mm. Krok je v tomto případě 1197,7 mm. Výhodou, že lze vyrábět z poměrně úzkého pásu plechu, z čehož plyne, že i svitky budou poměrně lehké. Nevýhodou je velký krok a hlavně vznikající síť odpadního plechu. Mohlo by v tomto případě docházet k zasekávání nebo drhnutí odpadních kusů plechů v nástroji.



Obr. 40 Nástřihový plán - varianta C

Prvním výpočtem bude určen počet výstřižků ze svitku. Délka navinutého pásu je jak už bylo řečeno 1700 m.

$$nks_C = \frac{L_{pásk}}{krok_C} = \frac{1700000}{1197,7} = 1419,4 ks \cong 1419 ks \quad (3.34)$$

kde:

nks_C počet ks z 1 svitku, varianta C [ks]

$krok_C$ krok ve variantě C [mm]

Nyní bude určena plocha plechu navinutého na svitku pro tuto variantu nástřihového plánu.

$$S_{pC} = b_C \cdot L_{pásk} = 306 \cdot 1700000 = 520\,200\,000 \text{ mm}^2 \quad (3.35)$$

kde:

S_{pC} plocha pásu pro variantu C [mm²]

b_C šířka pásu pro variantu C [mm]

Šířka pásu byla určena z obr. 40. Dalším výpočtem bude určena čistá plocha všech výstřižků vyrobených z 1 svitku pro variantu C.

$$S_{sC} = nks_C \cdot S_{dílec} = 1419 \cdot 305\,418,8 = 433\,389\,277,2 \text{ mm}^2 \quad (3.36)$$

kde:

S_{sC} plocha všech dílců na svitku pro variantu C [mm²]

Dále bude proveden výpočet pro využití svitku v procentech pro tuto variantu nástřihového plánu.

$$\eta_C = \frac{S_{sC}}{S_{pC}} \cdot 100 = \frac{433\,389\,277,2}{520\,200\,000} \cdot 100 = 83,3 \% \quad (3.37)$$

kde:

η_C procento využití materiálu pro variantu C [%]

Využití pásu plechu je i v tomto případě velice uspokojivé, ovšem stále je menší než ve variantě A. Ve velkosériové výrobě je kladen důraz na co nejlepší využití materiálu a tím i ekonomičnost celé výroby.

Další nevýhodu tohoto uspořádání nástroje je fakt, že se jedná o postupový nástroj, kde se v prvním kroku prostřihují technologické otvory, v dalším kroku se provádí označení výstřížků, dále se prostřihují otvory uprostřed výstřížku a nakonec se z plechu vystříhne celá kontura dílce, tudíž by byl nástroj příliš dlouhý. Tento fakt způsobuje i vyšší výrobní náklady na výrobu nástroje. V neposlední řadě by musel být dostatečně dlouhý pracovní prostor lisu, kde bude nástroj pracovat, aby byl dostatečně upnut.

Pro konstrukci nástroje byla vybrána varianta A. Důvodem je největší procentuelní využití pásu plechu a tudíž nejvyšší ekonomičnost ze tří navržených variant. Dalším hlediskem pro volbu právě tohoto nástřihového plánu je výhodnost uspořádání výstřížků v této variantě a přiměřený krok. Vznikající síť odpadního plechu není příliš rozměrná a tudíž rozstřížení a manipulace se zbytkovým materiálem v nástroji i mimo něj je poměrně snazší než u poslední varianty.

3.4 Výpočet střížné vůle

Střížná mezera a střížná vůle jsou stěžejními parametry při procesu stříhání, jak už bylo zmíněno v teoretické části. Ovlivňují kvalitu střížné plochy a působící ohybové momenty na výstřížek. Vzhledem k tomu, že tloušťka stříhaného plechu je 1,5 mm a střížnice je vyrobena s fazetkou, tak bude střížná mezera počítána podle vzorce (2.13).

$$\frac{v}{2} = 0,0021 \cdot s \cdot \sqrt{\tau_s} = 0,0021 \cdot s \cdot \sqrt{0,77 \cdot R_m} = 0,0021 \cdot 1,2 \cdot \sqrt{0,77 \cdot 700} = 0,0585 \text{ mm}$$
$$v = 2 \cdot \frac{v}{2} = 2 \cdot 0,0585 = 0,117 \text{ mm}$$

kde:

v střížná vůle [mm]

$v/2$ střížná mezera [mm]

Střížná mezera mezi střížníkem a střížnicí byla výpočtem určena jako 0,0585 mm a střížná vůle, což je dvojnásobek střížné mezery, je rovna 0,117 mm. Tyto hodnoty budou využity při návrhu a konstrukci nástroje v následující části.

3.5 Volba strojního zařízení

Součástí zadání diplomové práce je volba lisovacího zařízení, které by bylo vhodné pro použití navrženého nástroje. Vzhledem k faktu, že při zadávání požadavku na výrobu nástroje již zákazník disponuje určitým lisovacím zařízením (lis, podávací zařízení, rovnačka, odvíjecí zařízení) je tento nástroj konstruován s ohledem na vlastnosti a rozměry příslušného lisu. Nástroj musí být uzpůsoben tak, aby v případě poruchy primárního lisu nebo jakéhokoliv výpadku na lince mohl být namontován na náhradní lis a nezastavila se výroba. Každá odstávka výroby způsobuje nemalé finanční ztráty, což je v jakémkoliv podniku nežádoucí.

Pro stříhání se nejčastěji využívají lisy klikové popřípadě výstředníkové. Výstředníkové lisy mohou pracovat přerušovaně i nepřerušovaně. Vertikální pohyb beranu lisu je vyvozován klikovým hřídelem. Kliková hřídel je poháněná přes soustavu převodů elektromotorem. Ojnice převádí rotační pohyb klikové hřídele na přímočarý pohyb beranu. Tyto lisy se vyznačují nastavitelnou výškou a velikostí zdvihu beranu. Zdvih se nastavuje otáčením výstředníkového pouzdra na hřídeli s výstředníkovým čepem. Výstředníkové lisy se používají na všechny druhy střížných operací a nebo

například na mělké tahy apod. Lisy bývají obvykle vybaveny pojistkou proti přetížení beranu nadměrnou silou.

Pro stříhací operace lze též využívat lisy klikové. Lze je s výhodami využívat například pro ostříhování výkovek a výlisků nebo vystříhování polotovarů a hotových dílců. Existují dva základní typy klikových lisů a to LK, jenž je vybaven klikovým hřídelem a ojnicí. Druhým typem je LU, kde klikový mechanismus vytváří čep vsazený do dvou ozubených kol. Lisy se mohou lišit počtem a uložením klikových hřídelí a způsobem jejich spojení s beranem.

V daném případě firma, pro níž je nástroj určen disponuje výstředníkovým lisem AIDA 1000. Část jeho specifikace je uvedena v Tab. 5 a schéma uspořádání včetně dalších parametrů je uvedeno v příloze 1. Maximální síla vyvíjená lisem působí v poloze $0,5^\circ$ před dolní úvratí beranu.



Obr. 41 Ukázka lisu AIDA [39]

Beran lisu je též možno přestavovat o hodnotu 300 mm. Vzhledem k tomu, že se jedná o excentrický lis se přestavením beranu změní i jeho zdvih. V příloze je též schematický náčrt stolu lisu, rozměrů upínacích T-drážek a uspořádání celé linky včetně rovnačky, odvíječky a podávacího zařízení. Dále je součástí přílohy charakteristika odvíjecího zařízení, což je důležité, aby mohly být nadimenzovány svitky plechů. Tento výpočet byl proveden v kapitole 3.3.

Tab. 5 Základní parametry lisu AIDA 1000

Maximální síla	[kN]	10 000
Počet zdvihů za minutu	[min ⁻¹]	15-62
Zdvih (viz příloha 1)	[mm]	250
Možnost nastavení zdvihu (viz příloha 1)	[mm]	300
Maximální výška sevřeného nástroje	[mm]	1200
Minimální výška sevřeného nástroje	[mm]	910
Maximální hmotnost horní části nástroje	[t]	25
Maximální zatížení stolu lisu	[t]	50
Rozměr stolu + beranu lisu	[mm]	4500 - 2300

Síla potřebná pro vystřížení výstřižku z pásu plechu a pro překonání odporů nástroje je přibližně $F_{lis} = 4\,304$ kN. Zvolený lis je schopen vyvinout sílu až 10 000 kN z čehož plyne, že zařízení je vhodné v kombinaci s navrhovaným nástrojem pro stříhání plechových dílců. Nástroj bude pro tento lis zkonstruován, tak že by měl do lisu sednout přesně a bez potíží. Upínání nástroje ke stolu a beranu lisu je řešeno pomocí šroubů, které jsou ukotveny v "kamenech" v T-drážkách lisu. Podobně bude nástroj upnut i lisu náhradním.

Náhradní lis se volí z důvodu případného výpadku nebo poruchy lisu hlavního, aby nedošlo k přerušení výroby. Zastupující lis může mít i větší lisovací sílu než hlavní lis, celkově může být předimenzován pro daný nástroj. Hlavním důvodem je, aby kvůli nedostatku výstřížků nedošlo k výpadku výrobní linky, což způsobuje velké ekonomické ztráty. Jako náhradní lis, kterým zákazník disponuje byl vybrán lis FAGOR TLE4-2900.



Základní parametry lisu jsou uvedeny v Tab. 6, v příloze 2 jsou uvedeny nákresy stolu, upínacích drážek a uspořádání celé linky.

Obr. 42 Ukázka lisu Fagor [38]

Tab. 6 Základní parametry lisu FAGOR TLE4-2900

Maximální lisovací síla	[kN]	29 000
Maximální výška sevřeného nástroje	[mm]	1400
Minimální výška sevřeného nástroje	[mm]	1100
Počet zdvihů za minutu	[min ⁻¹]	10-25
Zdvih	[mm]	900
Nastavení zdvihu	[mm]	300
Rozměry stolu a beranu (š x d)	[mm]	2440 x 6100
Maximální hmotnost horní částí nástroje	[t]	30
Maximální zatížení stolu	[t]	60

Součástí celého lisovacího souboru jsou ještě zařízení sloužící pro odvíjení pásu plechu ze svítku. Dalším zařízením nutným v lisovací sestavě je rovnačka plechu, aby výstřížky nebyly deformovány. V neposlední řadě důležitým strojem použitým v lince je podávací zařízení, které posouvá plech směrem do nástroje o přesně stanovený krok. Schematický nákres takové linky je znázorněn v přílohách 1 a 2 pro lisy AIDA 1000 a FAGOR 2900, kde jsou tato zařízení znázorněna společně s lisy, pro které byl nástroj konstruován.

4 KONSTRUKCE NÁSTROJE [24]

Téma diplomové práce bylo vypsáno firmou Žďas a. s. především z důvodu, aby se autor naučil samostatně pracovat v programu CATIA V5. Smyslem práce bylo pochopit princip konstrukce nástroje v tomto CAD softwaru a naučit se takový nástroj samostatně navrhnout. V této kapitole bude podrobněji popsán program CATIA V5 a postup konstrukce příslušného střížného nástroje.

4.1 CAD technologie a CATIA V5

Program CATIA V5 je CAD/CAM software od společnosti Dassault Systèmes. Zkratka CATIA znamená Computer-Aided Three-Dimensional Interactive Application, což ve volném překladu znamená Počítačem podporovaná 3-rozměrná interaktivní aplikace. CAD a CAM jsou velmi úzce propojeny. Při navrhování CAD modelu musí konstruktér přemýšlet o vhodnosti a korektnosti vytvářené geometrie pro CAM a zároveň technolog by měl znát struktury a principy vytváření CAD modelu, kvůli optimálnímu generování drah pro obrábění.

CAD (Computer Aided Design) zahrnuje výpočetní techniku a programové vybavení do procesu konstrukce a návrhu výrobku či dílce. Slouží k navrhování 2D a 3D konstrukcí, výkresů a prvků. Systém umožňuje jednoduše měnit a upravovat vzniklé výkresy či modely. V současné době využívá tzv. hybridního modelování, které spojuje výhody Booleanovských operací a povrchové plošné modelování. 2D systémy nahrazují rýsovací desku elektronickým "archem" papíru, což usnadňuje možnosti úprav, změn a archivace dat. 3D slouží pro návrhy součástí, které lze vizuálně zobrazit a dále podle nich lze tvořit data pro NC stroje. 3D model je základem návrhu, analýzy a výroby součásti. trendem je eliminace výkresové dokumentace a výroba přímo za pomoci NC dat pro řízení stroje. Některé složité tvarové součásti ani nelze klasickým způsobem vyrobit.

Výhodou CAD softwaru je, že se nejdříve tvoří 3D model součásti, popřípadě celá montážní sestava. V softwaru lze jednoduše ověřit smontovatelnost a případné kolize. Další výhodou je, že na jednom projektu může pracovat celý tým lidí. Z vytvořených modelů a sestav lze generovat výkresovou dokumentaci, lze je použít pro simulace metodou konečných prvků a vytvářet NC data pro výrobu navržených součástí.

Vytvořený návrh umožňuje kontrolu tvaru a designu a taktéž barevného provedení součástí. S pomocí technologií rapid prototyping lze z modelů vytvořit skutečný model na kterém lze zkusit smontovatelnost a funkci součásti.

Prostorový model vzniká přidáváním nebo odebráním prvků objemu. Všechny prováděné úpravy se zobrazují ve stromu modelu. Při modelování vždy existuje více možných cest, které vedou k požadovanému výsledku. Variabilita nemá na další používání modelu vliv a je jen na rozhodnutí konstruktéra, kterou cestou se rozhodne vydat. Existují dva základní způsoby tvorby modelů, a to objemové a povrchové modelování. Při obou přístupech se vychází ze základního prvku-skicy či náčrtu nebo skeče.

Objemové modelování slouží k tvorbě plných pevných těles, tzv. solidů. Nejdříve se vytvoří skica a z ní poté jednou ze základních operací (vysunutí, rotace, tažení...) vznikne solid.

Povrchové modelování se používá k tvorbě složitých dílů. Plochy se modelují podobným způsobem jak v předchozím případě jenom s tím rozdílem, že nemají objem. Pokud je pomocí ploch vytvořeno uzavřené těleso, pak z něj lze vytvořit solid.

CATIA je produktem, který podporuje návrh, výpočty, výrobu a správu dokumentů nového výrobku. Program je využíván nejvíc v leteckém, automobilním a spotřebním průmyslu. Jedná se o modulární software, kde si zákazník může vybrat z množství

dodávaných modulů v závislosti na specializaci. Jednotlivé moduly jsou charakterizovány pracovními prostředími - workbench. Jednotlivá pracovní prostředí jsou rozdělena do skupin aplikací jako např. návrh součástí, povrchové modelování, analýza produktů, NC obrábění, analýza ergonomie apod. CATIA je navržena tak, aby mohlo probíhat více vývojových prací najednou, či překrývání etap vývoje produktu.

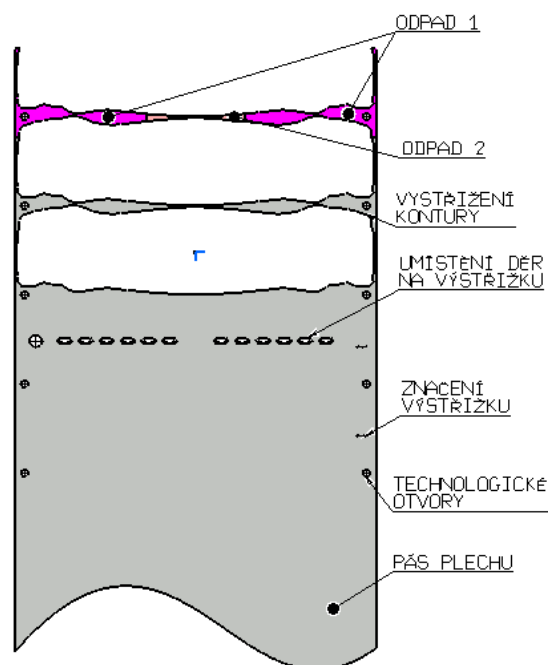
- Mechanická konstrukce je sestava funkcí a modulů pro tvorbu parametrických modelů, které jsou plně upravitelné. Výkresová dokumentace může vznikat projekcí modelů nebo přímým kreslením.
- Inženýrské analýzy slouží pro kontrolu namáhání součástí a sestav pomocí metody konečných prvků. Tento modul slouží především pro předběžné posouzení navržených struktur.
- Aplikace pro vnitřní zařízení a systémy slouží k navrhování a modifikaci elektrických a kapalinových systémů a uspořádání toků v rámci průmyslového výrobku.
- Syntéza produktu slouží k analýze a posuzování funkčnosti komplexních soustav během celého životního cyklu. Zahrnuje to montáž, simulace funkcí, demontáž.
- Návrh průmyslového závodu je určen pro modelování dispozice výrobních celků a sítí .
- Podpora výrobních technologií slouží k tvorbě dat pro počítačem řízené výrobní technologie a CAM aplikace.

4.2 Postup návrhu střížného nástroje prostřednictvím programu CATIA

Cílem této diplomové práce je vytvořit návrh nástroje pro výrobu tvarových přístřihů ze svitku plechu. Výkres sestavy nástroje a výkresy střížníků dle zadání vedoucího práce jsou přiloženy k práci jako výkresová dokumentace. Ve výpočtové části této práce bylo ověřeno, že použité pracovní komponenty jsou vyhovující, tudíž jejich využití v návrhu nejsou kladeny žádné překážky.

Návrh nástroje začíná tím, že zákazník dodá požadavek na tvar a vlastnosti výstřížku. Dále je potřebná informace, jakým lisem zákazník disponuje, z důvodu dodržení stavební výšky nástroje v otevřeném a uzavřeném stavu. Neméně důležitou informací pro konstruktéra nástroje je materiál, ze kterého bude přístřih vyráběn.

Nyní bude popsán průběh a metodika návrhu nástroje v programu CATIA. V první fázi návrhu nástroje je důležité vytvořit takzvaný layout nástroje. Jedná se o modifikaci nástřihového plánu. V layoutu je rozvrženo rozložení výstřížků na pásu plechu, umístění technologických otvorů pro zahledání a vystředění v nástroji. Dále se zde rozvrhuje umístění nožů dělicích zbytky pásu na menší železný odpad. V první fázi

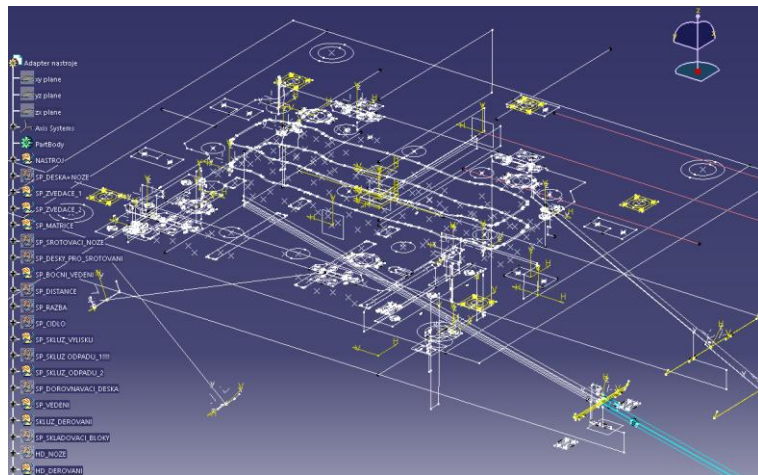


Obr. 43 Layout

musí být zákazníkem dodána kontura výstřižku. Podle rozměrů kontury je navrhována šířka pásu plechu, ze které bude výstřižek vyráběn. Šířka plechových svitků je dle požadavků dodávána v libovolných šířkách dle potřeby lisovny. V případě tohoto nástroje je potřebná šířka svitku 1205 mm. Další krokem je navržení nástřihového plánu, rozmístěním kontur výstřižku na pás plechu. Další fází je rozvržení technologických otvorů pro středění pásu plechu. Otvory se na pás rozmístí ve vzdálenosti kroku, který je v tomto případě 297 mm. Layout též obsahuje umístění razníků pro značení výstřižků a umístění střižníků pro díry uprostřed výstřižku. Na obr. 43 je celý layout znázorněný a popsáný, jedná se o ukázkou z programu CATIA. V obrázku lze vidět tzv. strom součástí, který obsahuje všechny prvky layoutu. Je vhodné zodpovědně a přehledně popisovat veškeré prvky pro případ, že nastane změna a bude nutná editace. Z layoutu je patrné pořadí jednotlivých operací při stříhu v postupovém nástroji.

Důležitým faktem je, že se nástroj navrhuje v uzavřené poloze. Pokud je zapotřebí z nějakého důvodu mít nástroj vymodelovaný v otevřené poloze, učiní se tak až v sestavě, kde lze posunout jednotlivé komponenty pomocí transformací.

Dalším krokem při navrhování nástroje je vytvoření tzv. adaptéru nástroje. Adaptér vychází z layoutu, který byl popsán výše. Do adaptéru se naimportují data z layoutu, jako jsou poloha stříhu hlavní kontury, poloha střižníků pro díry, poloha střižníků pro technologické otvory, poloha ražení označení výstřižků, poloha nožů pro přestřihnutí odpadních částí pásu plechu a v neposlední řadě také

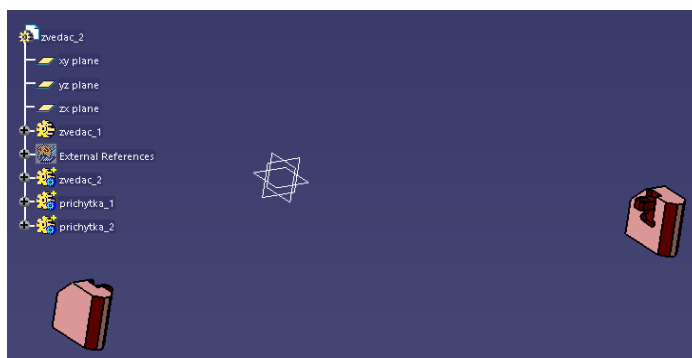


Obr. 44 Ukázka adaptéru nástroje s geometrickými sety ve stromu součástí

šířka a tloušťka pásu. Po naimportování výchozích dat se pokračuje v tvorbě adaptéru nástroje. S výhodou se využívá možností softwaru CATIA V5, kde se pro každou sadu prvků, což mohou být například střižníky, kotevní desky, přidržovač atd., vytváří geometrický set v tzv. stromu součástí. Toto umožňuje přehlednou orientaci ve struktuře návrhu nástroje a jednoduchou úpravu dílů při změnách. V rámci adaptéru se navrhne rozmístění všech komponent nástroje. Součástí adaptéru je též půdorys nástroje, návrh umístění a uspořádání vodících sloupků nástroje, umístění plynových pružin rozevírajících nástroj, umístění zvedáčů plechu, kotevních desek, střižníků apod. Dále součástí adaptéru je též velikost a rozmístění skluzů pro výpad výstřižků a odpadů z nástroje. Toto rozvržení je znázorněno na obr. 44, toto schéma může působit nepřehledně, avšak zde se využívá toho, že v softwaru lze skrýt jednotlivé geometrické sety a při práci s adaptérem si tak lze práci zpřehlednit a usnadnit.

Při návrhu nástroje jako je tento se jednotlivé komponenty modelují v globálních souřadnicích vždy přesně na místě, kde by měly být uloženy v nástroji. Přesně tomuto účelu slouží adaptér nástroje, který určuje umístění komponent. Tento systém modelování se volí z toho důvodu, že po naskládání jednotlivých komponent do sestavy, jsou tyto díly přímo na svých místech a nemusí se složitě vazbami spojovat vzájemně k sobě. V případě, že na nástroji dojde k nějakým změnám, je pak jednodušší komponenty posunout nebo přemodelovat, aniž by došlo k porušení vazeb sestavy. Jednotlivé komponenty se v

adaptéru kreslí v řezu dvěma rovinami popřípadě půdorysem a řezem. Ne u všech součástí je možné nakreslit přesný řez, tudíž se řez zjednodušuje a na jeho místo se vkládá například normalizovaná součást z katalogu výrobce. Pokud je součást normalizovaná a výrobce umožňuje stažení modelu z jeho stránek, pak právě půdorys a řez součástí umožní umístit takovou součást přesně na místo v globálním souřadném systému. V případě, že je součást modelována, pak řez dvěma rovinami nebo půdorys a řez umožňují snadnější vytváření. V tomto případě se využívá funkce Solid Combine. Touto funkcí může vzniknout celá hotová součást nebo se může dále upravovat.



Obr. 45 Ukázka rozmístění zvedáčů v absolutních souřadnicích

Pokud je v sestavě nástroje zapotřebí více stejných součástí, pak se volí postup takový, že v jednom PartBody se součást vymodeluje a poté se zkopíruje do tolika PartBody, kolik je zapotřebí součástí daného typu. Kopírování takových součástí se musí provádět s provázáním na původní součást, kdy v případě změn na původním modelu se mění všechny kopie zároveň s ním. Dále už se jen pomocí transformací přesunou kopie na místa, kde mají být v nástroji uložena. Na obr. 45 je vyobrazeno umístění zvedáčů plechu. Jeden zvedáč s příchytkou byl vymodelován a druhý zvedáč s příchytkou je kopie propojená s původním dílcem. Uprostřed obrázku je znázorněn počátek globálního souřadného systému, aby bylo vidět, že součásti jsou modelovány na svém místě v globálním systému souřadnic.

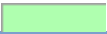
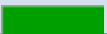

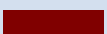

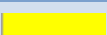

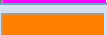

Dalším krokem v postupu tvorby nástroje je vymodelování všech jednotlivých komponent kromě horního a spodního odlitku. K pohodlnému a rychlému vytváření jednotlivých součástí slouží již zmíněný adaptér nástroje. V tomto kroku se též vkládají normalizované součásti, jako některé střížníky a střížnice, vodičí pouzdra, plynové pružiny, elastomerové pružiny atd. Z důvodu složitosti nástroje sestávajícího z velkého množství komponent a objemnosti sestavy se nemodeluje spojovací materiál jako šrouby, podložky a matice. Tyto dílce jsou pouze uvedeny v kusovníku. Všechny závitové otvory jsou vytvářeny podle interní firemní normy, ukázka z normy je uvedena v tabulce 7.

Tab. 7 Ukázka normy pro závitové díry

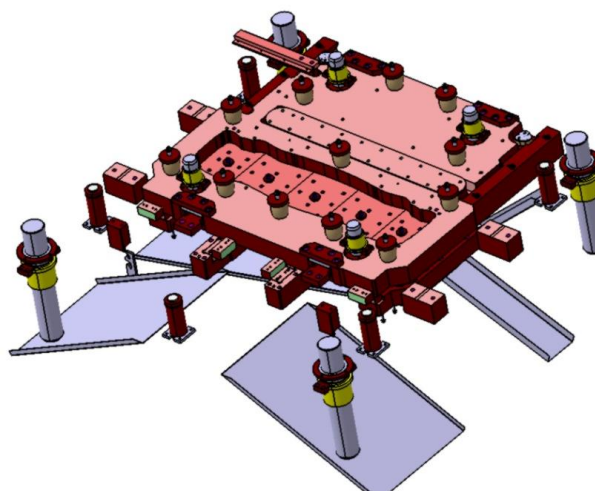
M	D	d	h_{min}	a	b	d_1
4	8	4,3	4	10	14	3,3
5	10	5,3	5	13	17	4,2
6	11	6,4	6	15	21	5
8	15	9	8	20	28	6,8
10	18	11	10	25	34	8,5
12	20	13	12	30	41	10,2
16	26	17	16	40	51	14
20	34	21	20	45	57	17,2
24	40	25	24	50	65	21
30	48	31	30	55	72	26,5

Vždy po vymodelování součásti se musí obarvit všechny její plochy. Obarvení ploch má velký význam při týmové práci na nástroji nebo pro pozdější práci s modely. Plochy se barví v závislosti na jejich funkci a účelu. Každá plocha má svoji barvu, díky tomu později nemůže dojít k záměně nebo problémům s nejasností v tolerancích a uloženích jednotlivých komponent. Dílce, jejichž barva není v souladu s následující tabulkou jsou buď normalizované nebo nakupované, popřípadě nakoupené a upravené. Tyto změny budou uvedeny v kusovníku. Barevné schéma je přehledně uspořádáno v tabulce 8 včetně čísla příslušné barvy, kvůli nastavení v softwaru.

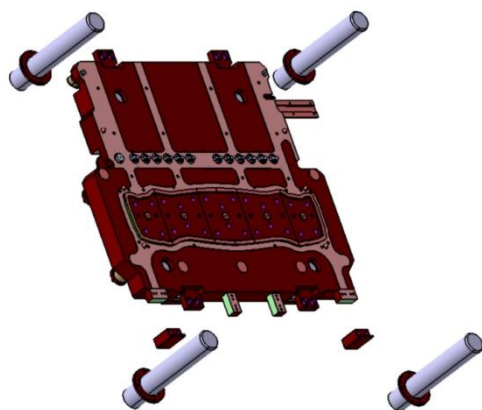
Tab. 8 Barevné schéma ploch

Barva	Č. barvy CATIA V5			Účel plochy	Drsnost Ra [μm]
	R	G	B		
	175	255	175	Činná tvarová část nástroje (stř. plocha)	0,4 - 6,3
	0	159	0	Neopracované plochy odlitků	-
	255	175	175	Jemné obrábění frézováním	3,2
	95	0	0	Hrubé obrábění	12,5 - 25
	0	0	255	Vystružené díry H7/g6	0,8
	255	255	0	Závity	-
	255	0	255	Stupňovité vrtání (otvory pro šrouby)	6,3
	255	190	70	Odlitek bez přídatku, kontrolní frézování	12,5 - 25
	0	175	175	Vrtané otvory	12,5

Po vytvoření všech dílčích komponent nástroje usazených v globálních souřadnicích modelovacího programu lze přejít do fáze sestavování. V této fázi se vytvoří ve speciálním modulu pro tvorbu sestav záložka se sestavou nástroje. V rámci této záložky je vhodné vytvořit ještě podsestavy horního a spodního dílu nástroje kvůli přehlednosti. Do sestavy se naimportuje layout jako zvláštní



Obr. 46 Sestava všech technologických prvků nástroje



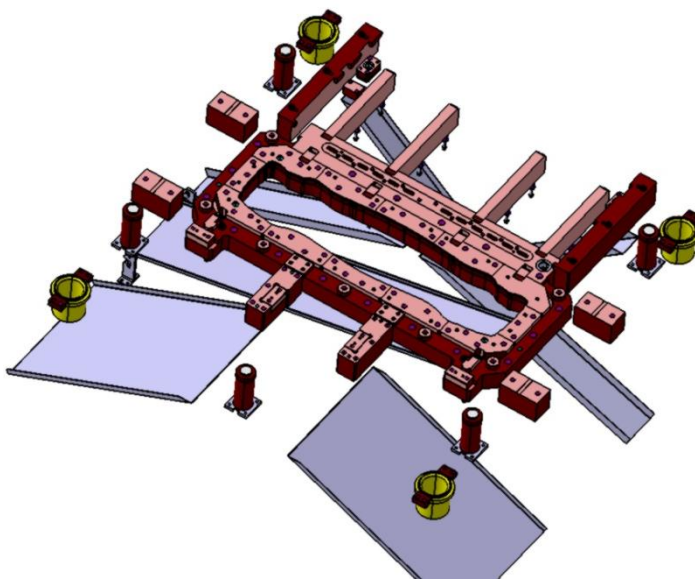
Obr. 47 Soubor technologických prvků horní poloviny nástroje

podsestava. Poté se nahrají jednotlivé komponenty vymodelované v předchozích krocích do příslušných podsestav. Tímto vznikne soubor funkčních a technologických prvků nástroje. V obr. 46 je tato sestava všech prvků nástroje zobrazena. Na obr. 47 a obr. 48 je vyobrazen soubor prvků horní i spodní poloviny nástroje zvlášť pro lepší přehlednost.

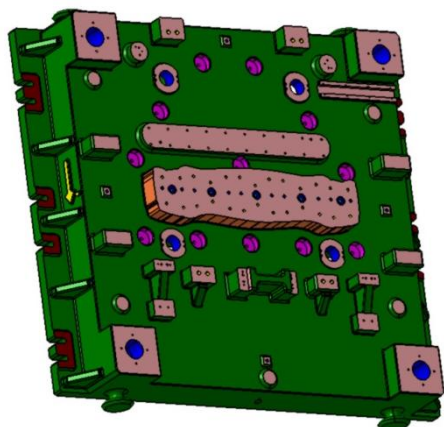
Nástroj je vytvářen v uzavřeném stavu. Pro větší přehlednost je pohled na spodní a horní polovinu zvlášť. V této fázi chybí pouze doplnit a vytvořit horní i spodní odlitky nástroje a nahrát stůl a beran lisů, na kterých nástroj bude pracovat.

Dále je zapotřebí zkonstruovat prvky, do nichž budou namontovány komponenty nástroje. V posledním kroku se vytvoří odlehčovací kapsy. Žebra mezi kapsami musí být umístěna pod místy stříhu, aby byla zajištěna dostatečná tuhost nástroje.

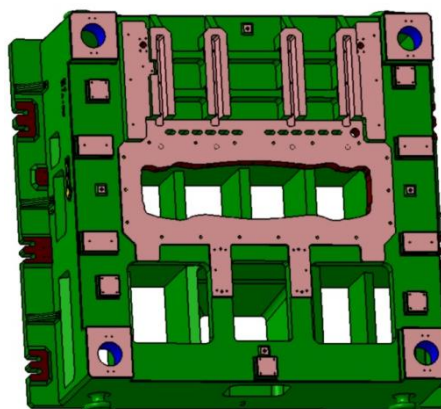
Zároveň musí být ve spodním odlitku v žebrech kapsy, aby se tam mohl umístit skluz odpadů a výstřížků. Vzhledem k tomu, že se odlitky vyrábějí odléváním do pískové formy se spalitelným modelem z polystyrenu, není nutno vytvářet technologické úkopy typické pro odlitky. Na obr. 49 jsou vyobrazeny samotné odlitky v pohledech shora i zespad na odlehčovací kapsy.



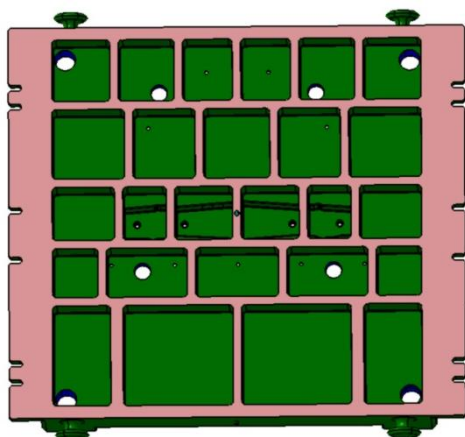
Obr. 48 Soubor prvků spodní poloviny nástroje



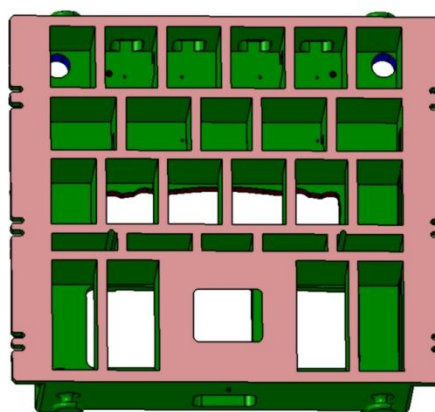
a) spodní - zepředu



b) vrchní - zepředu



c) vrchní - zezadu



d) spodní - zezadu

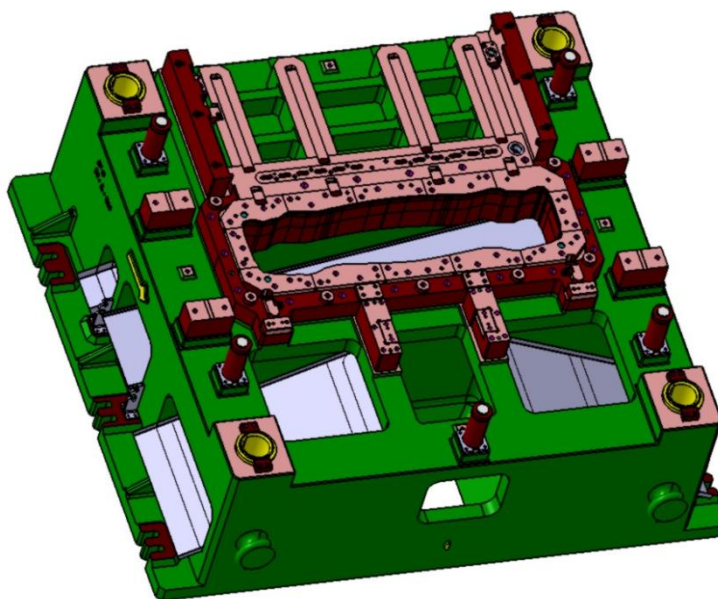
Obr. 49 Pohledy na horní a spodní odlitky

Dalším postupem je sestavení celého nástroje včetně odlitků a všech komponentů. Z důvodu lepší přehlednosti bude na následujících obrázcích nástroj zobrazen rozdělený na horní a spodní polovinu. Kompletní sestavení nástroje bude vyobrazeno v následující kapitole, kde bude popsána přesná funkce a postup stříhu na nástroji.

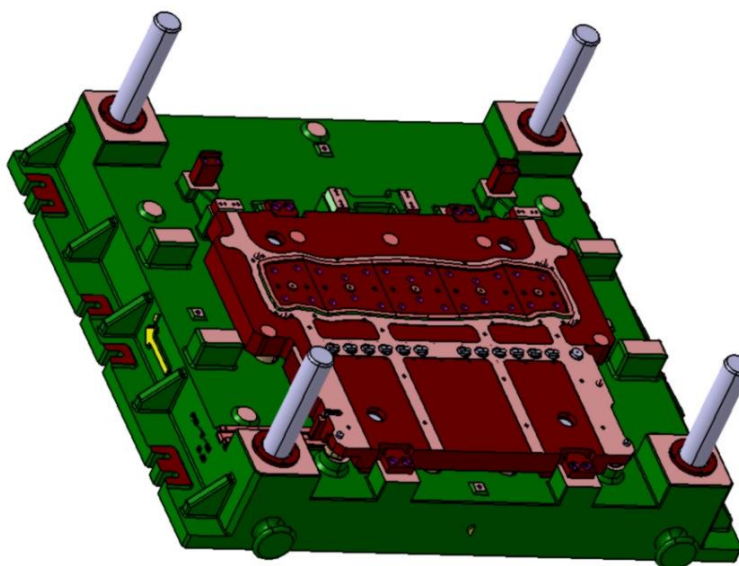
Spodní díl je složen ze spodního odlitku, což je v podstatě základní stavební prvek nástroje. Uvnitř něj se nacházejí skluzy pro výpad hlavního výstřížku a odpadních částí plechového pásu. Dalším prvkem je sestava 5 plynových pružin, které slouží k rozevření nástroje během manipulace a skladování, kdy by mohlo dojít k poškození břitů vlivem rázů a vibrací. Rozevření nástroje není úplné jako v lisu, ale pouze tak, aby střížníky vyjely ze střížnic a schovaly se v přídržovači.

Součástí sestavy jsou též vodící pouzdra pro sloupky vodící celý nástroj. Dále jsou na odlitku namontovány dorazové bloky bránící přílišnému sevření a poškození nástroje. Hlavním prvkem střížného nástroje jsou střížnice, ať už hlavní pro vystřížení dílce nebo technologické, které slouží pro vystřížení středících otvorů a rozstříhání zbytkové sítě plechu. Předposledním důležitým prvkem jsou zvedače pásu plechu. Kvůli vznikající ostřině na spodní straně pásu plechu by docházelo k zasekávání a obtížnému posunu pásu, proto je důležité aby zvedače pásu plechu při každém posunu zvedly a tyto problémy eliminovaly. Posledním prvkem sloužícím k odstranění zbytků pásu jsou šrotovací nože.

Primárním prvkem sestavy horního nástroje je opět odlitek. Ten slouží jako montážní jednotka pro instalaci všech prvků horní poloviny nástroje. Součástí sestavy jsou vodící sloupky slícované s pouzdry v dolní části nástroje. Dalším důležitým dílcem je přídržovač, který slouží pro zajištění plechu proti pohybu během stříhu a zároveň jako stírací deska. Součástí přídržovače jsou vodící díry pro střížníky. Přídržovací síla je zvětšena silou elastomerových pružin, které přimačkávají přídržovač na stříhaný plech. Přídržovač má vlastní vodící



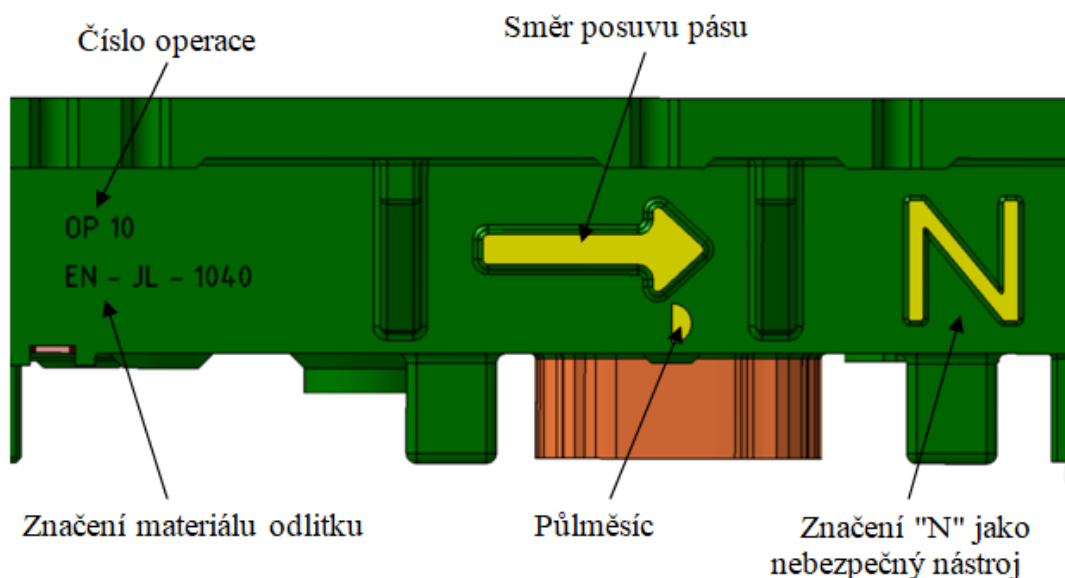
Obr. 50 Sestava spodního dílu nástroje



Obr. 51 Sestava horního dílu nástroje

sloupky, z důvodu přesného vedení a uložení střížníků. V přidržovači jsou namontovány odlepovače plechu, neboť plech je při vstupu do nástroje naolejovaný, tudíž se přilepuje na přidržovač. Další nedílnou součástí horní sestavy jsou střížníky. Obvodové střížníky jsou přímo namontovány na nálitku v horním odlitku. Ostatní střížníky jsou uloženy v kotevních deskách a přes kalenou podložku našroubovány k nálitkům na horním odlitku.

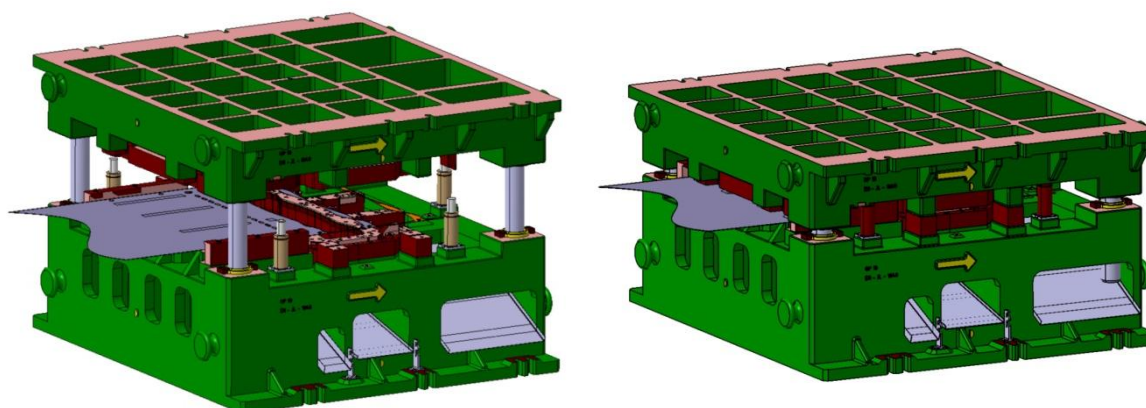
Na stranách každého z odlitků je zhotoveno označení nástroje. Toto značení je zobrazeno na obr. 52. Na obou odlitcích jsou nálitky ve tvaru půlměsíců. Tyto výstupky slouží jako orientační prvky pro rýsovače a zároveň jimi prochází osy nástroje, ke kterým se kótují rozměry. Dále je na odlitcích vylit nápis, sdělující z jakého materiálu jsou odlitky vyrobeny. Následujícím prvkem vylitým na boku odlitku je šipka ukazující směr posuvu plechového pásu. Dále je nástroj označen písmenem "N" jako nebezpečný, neboť na něm nejsou žádné bezpečnostní kryty a ochranné prvky.



Obr. 52 Značení nástroje

4.3 Popis funkce nástroje

V této kapitole bude popsána přesná funkce nástroje a jeho částí. Na obr. 53 je nástroj zobrazen ve dvou polohách, a to v uzavřené poloze (vpravo) a v otevřené poloze (vlevo). Pro lepší názornost je v nástroji zaveden pás plechu.



Obr. 53 Kompletní nástroj v rozevřeném a uzavřeném stavu

Zavádění pásu plechu do nástroje provádí pověřený a proškolený pracovník takovým způsobem, že pomocí dálkového ovladače reguluje podávací zařízení a ručně navede pás do nástroje. Zvolí se dostatečné přesazení, aby mohly být pohodlně vystřiženy technologické otvory. Posunutí o krok pro další operaci už je realizováno v automatickém režimu a pracovník pouze dohlíží, zda se pás nějakým způsobem nedeformuje a zda postupuje bez problémů. Ve většině případů se prvních cca 5-10 kusů vyhazuje, protože pás na svitku může být vlivem dopravy a manipulace poškozen, což je pro pozdější tažné operace nežádoucí.

Postup lisování je takový, že v prvním kroku po zavedení pásu se vystříhnou dva otvory o průměru 24,1 mm. Odpadní materiál propadne dolů na skluzu a opustí nástroj. Dále se pás posune o krok 297 mm a proběhne další zdvih. V tomto zdvihu se na plechový pás, v místě, kde bude přístřih vyrazí číslo výstřížku popřípadě šarže. Dále se opět pás posune o krok 297 mm a v dalším zdvihu se vystříhnou otvory uprostřed výstřížku, a to 12 oválných a 1 otvor o průměru 40 mm. Odpad opět propadne skrz střížnici na skluzu a opustí nástroj. Po dalším posunutí o krok proběhne vystřihnutí celkové kontury dílce. Dílec propadne skrz střížnici na skluz výstřížku a odtud se odsune na dopravníkový pás. Začne vznikat síťová struktura zbytků plechu. V dalším kroku se tato síť rozstříhne na tři menší kusy, které vypadnou z nástroje ven a mohou se zrecyklovat.

Princip fungování nástroje je takový, že v otevřeném stavu je plech nadzvednutý zvedači, vystředěný vodícími lištami. Při posuvu beranu lisu směrem k dolní úvrati se posouvá celá horní polovina nástroje. Střížníky jsou v tuto chvíli schované v přidržovači. Postupně jak přidržovač začne dosedat na pás plechu, tak začne společně s pásem zatlačovat i zvedače plechu do dolní polohy. V poloze, kdy je plech maximálně stlačen, dochází k přitlačení přidržovače na plech pomocí elastomerových pružin, aby bylo dosaženo potřebné přidržovací síly. V další fázi, kdy se beran lisu stále pohybuje směrem do dolní úvrati dochází neustále k přitlačování přidržovače na plech a střížníky začnou na pás dosedat. Poté dojde k prostřihnutí děr do pásu plechu a vyrazení šarže na výstřížek. Střížníky projdou ještě skrz plech, aby vytlačily výstřížek ven z pásu a odlepovače uprostřed střížníků výstřížky odlepí.

Poté se začne beran postupně vracet do horní úvrati. Nejdříve zajedou střížníky skrz plech zpět do přidržovače, poté se začne zvedat i přidržovač a odlepovače od něj odlepí pás plechu. Zároveň se začnou vysunovat zvedače plechu, které jsou na pružinách a jsou stlačovány přidržovačem. V pozici, kdy je plech nadzvednut a přidržovač už je kousek nad ním, může dojít k posunu plechu o krok 297 mm. Posun plechu je zajištěn podávacím zařízením. Poté co beran lisu dojde do horní úvrati se celý cyklus opakuje.

5. TECHNICKO-EKONOMICKÉ HODNOCENÍ [42, 43]

Jedním z výstupů této diplomové práce je ekonomické zhodnocení navrženého nástroje. Bude proveden předběžný odhad ceny nástroje a další náklady spojené s výrobou plechových přístříhů na lisu. Z uvedených údajů bude určena cena 1 kusu výstřížku. Dále bude určen bod zvratu, což je počet kusů, kdy začne být výroba rentabilní.

Předpokládaná roční série je 250 000 ks přístříhů. Životnost nástroje je požadována na 1 000 000 kusů. Funkční části nástroje musejí být přizpůsobeny požadované životnosti. Například přídavek na broušení střížnic a střížníků, vodící pouzdra atp. musejí být dimenzovány na požadovanou životnost. Z uvedeného vyplývá, že životnost nástroje by měla být 4 roky od uvedení do provozu.

Materiálové zhodnocení výroby

Dle výpočtů v kapitole 3.3 je délka pásu navinutá na svitku $L_{pásk} = 1\,700\,000$ mm. Tato délka byla určena s ohledem na provozní parametry odvíječky. Pro zvolený nástřihový plán je možno z 1 svitku vyrobit 5723 ks přístříhů. Procento využití materiálu je při těchto podmínkách rovno 85,3%.

Následujícím výpočtem bude určen počet svitků pro roční produkci a pro celkovou produkci.

$$P_{SS} = \frac{n_s}{p_{ks}} = \frac{250000}{5723} = 43,7 \text{ ks svitků} \approx 44 \text{ svitků} \quad (5.1)$$

kde:

P_{SS}	počet svitků na 250 000 ks sérii [ks]
n_s	počet kusů přístříhů v roční sérii [ks]
p_{ks}	počet kusů vyrobených z 1 svitku [ks]

Počet svitků potřebným k výrobě jedné 250 000 kusové série byl zaokrouhlen směrem nahoru. Je to z důvodu případné zmetkovitosti a také proto, že prvních několik kusů při najíždění nového svitku se vyhazuje, protože mohou být povrchově poškozeny předchozí manipulací se svitkem.

$$P_{SC} = 4 \cdot P_{SS} = 4 \cdot 44 = 176 \text{ svitků} \quad (5.2)$$

kde:

P_{SC}	počet svitků na celou životnost nástroje [ks]
----------	---

Za celou plánovanou životnost nástroje bude zpracováno 176 svitků plechu.

Dalším výpočtem bude určena celková hmotnost nakupovaného plechu ve formě svitků.

$$m_{SC} = P_{SC} \cdot L_{pásk} \cdot b_A \cdot s \cdot \rho_{ocel} = 176 \cdot 1700 \cdot 1,205 \cdot 0,0015 \cdot 7860 = 4\,250\,719,4 \text{ kg} \quad (5.3)$$

kde:

m_{SC}	celková hmotnost svitků [kg]
----------	------------------------------

Za celkovou životnost nástroje a požadovaný počet vyrobených dílců bude spotřebováno 4 250 719,4 kg oceli Usibor 1500 (22MnB5). Dalším výpočtem bude určena čistá hmotnost jednoho a všech vyrobených dílců.

$$m_{díl} = S_{díl} \cdot s \cdot \rho_{ocel} = 305418,8 \cdot 1,5 \cdot 10^{-9} \cdot 7860 = 3,6008877 \text{ kg} \quad (5.4)$$

kde:

$m_{díl}$	hmotnost 1 dílce [kg]
$S_{díl}$	plocha dílce [mm ²]

Plocha dílce byla určena odměřením v programu CATIA. Dalším výpočtem bude určena celková hmotnost všech vyrobených dílců.

$$m_{souč} = 1000000 \cdot m_{díl} = 1000000 \cdot 3,6008877 = 3\,600\,887,7 \text{ kg} \quad (5.5)$$

kde:

$m_{souč}$ celková hmotnost všech dílců [kg]

Teď když byla určena hmotnost dílců i celková hmotnost spotřebovaného plechu je možno přejít k cenové kalkulaci materiálu. Vzhledem k tomu, že si lisovna nepřeje zveřejnění nákupních cen materiálu, byla cena přibližně určena jako 45 Kč/kg. V následujícím výpočtu bude určena celková cena za nakoupené svitky plechu.

$$c_{matcelk} = m_{sc} \cdot 45 = 4250719,4 \cdot 45 = 191\,282\,373 \text{ Kč} \quad (5.6)$$

kde:

$c_{matcelk}$ celková cena materiálu [Kč]

Dalším výpočtem bude vypočtena cena za odpad. Odprodejem odpadních částí pásu do zpětného výkupu se ponížší náklady na materiál.

$$m_{kovosrot} = m_{sc} - m_{souč} = 4250719,4 - 3600887,7 = 649\,831,7 \text{ kg} \quad (5.7)$$

kde:

$m_{kovosrot}$ celková hmotnost odpadního materiálu [kg]

Výkupní cena železného odpadu byla určena dle zdroje [37]. Cena dle uvedeného zdroje za plechový železný odpad činí 2,70 Kč/kg.

$$c_{srot} = m_{kovosrot} \cdot 2,70 = 649831,7 \cdot 2,7 = 1\,754\,545,6 \text{ Kč} \quad (5.8)$$

kde:

c_{srot} celková cena recyklovaného materiálu [Kč]

V této fázi lze určit celkové náklady na materiál ponížené o částku vrácenou za recyklaci kovového odpadu.

$$c_m = c_{matcelk} - c_{srot} = 191282373 - 1754545,6 = 189\,527\,827,4 \text{ Kč} \quad (5.9)$$

kde:

c_m celková cena materiálu [Kč]

Následně ještě bude určena cena materiálu na 1 hotový přístřih.

$$c_{1m} = \frac{c_m}{1000000} = \frac{189\,527\,827,4}{1\,000\,000} = 189,5 \text{ Kč} \quad (5.9)$$

kde:

c_{1m} celková cena materiálu na 1 přístřih [Kč]

Celková cena za materiál na 1 plechový přístřih dle zadání činí 189,5 Kč. V dalších fázích výpočtů budou ještě určeny ceny za provoz lisu, odpisy nástroje, mzdy apod.

Promítnutí ceny nástroje do ceny přístřihu

Do nákladů na výrobu jednoho dílce je nutno mimo jiné rozpočítat i pořizovací cenu nástroje. Cena nástroje byla odhadnuta na základně výrobní ceny podobného nástroje, který už byl vyroben. Vzhledem k tomu, že si firma nepřeje zveřejňovat přesně údaje, ceny jsou zkráceny. Jednotlivé cenové položky a součet všech nákladů na výrobu nástroje jsou uvedeny v následující Tab. 9.

Tab. 9 Náklady na výrobu nástroje

Položka	Cena [Kč]
Náklady na materiál	720 000
Režijní a mzdové náklady	840 000
Konstrukční náklady	250 000
Náklady na broušení a opravy	200 000
Celkové náklady	2 010 000

Následujícím výpočtem bude určena složka ceny hotového výstřížku tvořená odpisem nástroje.

$$c_{1n} = \frac{c_{nástroj}}{1000000} = \frac{2\,010\,000}{1\,000\,000} = 2,01 \text{ Kč} \quad (5.10)$$

kde:

c_{1n} cena odpisu nástroje rozpočítaná na 1 přístřih [Kč]

Náklady na lis a operátora výroby

Do celkové ceny 1 přístřihu je nutné započítat náklady na provoz lisu včetně linky obsahující odvíječky, rovnačku a podávací zařízení. Dále je nutné započítat náklady na pracovníka obsluhujícího celou linku. Vzhledem k tomu, že zákazník již lisem disponoval, nebude počítán odpis lisu ale pouze hodinová sazba provozu lisu. Tato sazba již zahrnuje režijní náklady spojené s údržbou lisu a dále provozní náklady v podobě ceny za energie apod. Hodinová sazba provozu lisu 2 500 Kč. Náklady na pracovníka budou vypočteny dále.

Nejprve je zapotřebí určit dobu, po kterou bude lis vyrábět dané přístřihy. Náklady jsou počítány pro lis AIDA 1000. Předpokladem je, že lis bude pracovat rychlostí 40 zdvihů za minutu. Prvním výpočtem bude určen počet přístřihů za 1 hodinu práce lisu.

$$zdv_h = 60 \cdot zdv_m = 60 \cdot 40 = 2400 \text{ ks} \quad (5.11)$$

kde:

zdv_h počet přístřihů za 1 hodinu [ks]

zdv_m počet zdvihů lisu za minutu

Výpočtem bylo zjištěno, že během jedné hodiny provozu lisu bude vyrobeno 2400 kusů přístřihů. Dále bude vypočtena celková doba práce lisu pro výrobu všech přístřihů, tj. 1 000 000 kusů. Doba práce na lisu bude navýšena o 12 % z důvodu možných prostojů, údržby, seřizování, zavadění pásu při výměně svitku apod.

$$t_{as} = \frac{1000000}{zdv_h} \cdot 1,12 = \frac{1000000}{2400} \cdot 1,12 = 466,7 \text{ h} \quad (5.12)$$

kde:

t_{as} celkový strojní čas [ks]

Dalším výpočtem budou určeny celkové náklady na provoz lisu a rozpočítány na jeden výstřížek.

$$c_{1lis} = \frac{t_{as} \cdot 2500}{1000\,000} = \frac{466,7 \cdot 2500}{1\,000\,000} = 1,2 \text{ Kč} \quad (5.13)$$

kde:

c_{1lis} náklady na lis rozpočítané na 1 přístřih [Kč]

Následujícím výpočtem budou určeny náklady na pracovníka obsluhujícího lis. Ve výpočtu je uvažováno, že obsluhu lisu zvládne pouze jeden pracovník a jeho hodinová mzda bude počítána jako 100 Kč/hod.

$$c_{1prac} = t_{as} \cdot 100 = 466,7 \cdot 100 = 46\,670 \text{ Kč} \quad (5.14)$$

kde:

c_{1prac} přímé náklady na mzdu pracovníka [Kč]

Režijní náklady

V této části výpočtů budou určeny režijní náklady spojené s výrobou přístřihů. Nejprve budou určeny výrobní režie. Výrobní režie bude počítána jako $VR=450\%$ přímých mzdových nákladů.

$$N_{vrvar} = c_{1prac} \cdot VR = 46670 \cdot 4,5 = 210\,015 \text{ Kč} \quad (5.15)$$

kde:

VR výrobní režie podniku [%]
 N_{vrvar} variabilní náklady na výrobní režii [Kč]

Výpočtem byly určeny variabilní výrobní režie firmy. Fixní část výrobních režijních nákladů je uvažována jako $N_{vrfix} = 750\,000$ Kč. Celkové výrobní režijní náklady jsou pak rovny:

$$N_{vr} = N_{vrvar} + N_{vrfix} = 210\,015 + 750\,000 = 960\,015 \text{ Kč} \quad (5.16)$$

kde:

N_{vr} celkové náklady na výrobní režii [Kč]

Dále budou určeny správní režie. Tuto složku tvoří administrativní náklady atp. Správní režie je uvažována jako $SR=125\%$ přímé mzdy.

$$N_{sr} = c_{1prac} \cdot SR = 46670 \cdot 1,25 = 58\,337,5 \text{ Kč} \quad (5.17)$$

kde:

SR správní režie podniku [%]
 N_{sr} náklady na správní režii [Kč]

Následujícím výpočtem bude určena odbytová režie. Tato je tvořena expedičními a skladovacími náklady. Odbytová režie je uvažována jako $OR=90\%$ přímých mzdových nákladů.

$$N_{or} = c_{1prac} \cdot OR = 46670 \cdot 0,9 = 42\,003 \text{ Kč} \quad (5.17)$$

kde:

OR odbytová režie podniku [%]
 N_{or} náklady na odbytovou režii [Kč]

Celkové režijní náklady budou určeny jak součet odbytové režie, správní režie a výrobní režie.

$$N_{rc} = N_{vr} + N_{sr} + N_{or} = 960\,015 + 58\,337,5 + 42\,003 = 1\,060\,355,5 \text{ Kč} \quad (5.18)$$

kde:

N_{rc} celkové režijní náklady [Kč]

Zhodnocení celkových nákladů

Aby mohla být stanovena cena finálního přístřihu, je nutné nejprve sumarizovat všechny náklady. Ze všeho nejdřív bude proveden součet všech fixních nákladů na celou výrobní sérii.

$$N_{fix} = c_{nástroj} + N_{vrfix} = 2\,010\,000 + 750\,000 = \quad (5.19)$$

$$N_{fix} = 2\,960\,000 \text{ Kč}$$

kde:

N_{fix} celkové fixní náklady [Kč]

Následuje výpočet celkových variabilních nákladů pro kompletní výrobní sérii všech požadovaných přístřihů.

$$N_{var} = c_m + c_{1prac} + c_{1lis} \cdot 10^6 + N_{vrvar} + N_{sr} + N_{or} = \quad (5.20)$$

$$N_{var} = 189\,527\,827,4 + 46\,670 + 1,2 \cdot 10^6 + 210\,045 + 58\,337,5 + 42\,003$$

$$N_{var} = 191\,084\,882,9 \text{ Kč}$$

kde:

N_{var} celkové variabilní náklady [Kč]

Nyní, když jsou známy hodnoty celkových fixních i variabilních nákladů na výrobu celé série požadovaných přístřihů, lze přistoupit k výpočtu nákladů na 1 kus tvarového přístřihu.

$$N_{1ks} = \frac{N_{fix} + N_{var}}{1000000} = \frac{2\,960\,000 + 191\,084\,882,9}{1000000} = 194,04 \text{ Kč} \quad (5.21)$$

kde:

N_{1ks} celkové náklady na 1 ks [Kč]

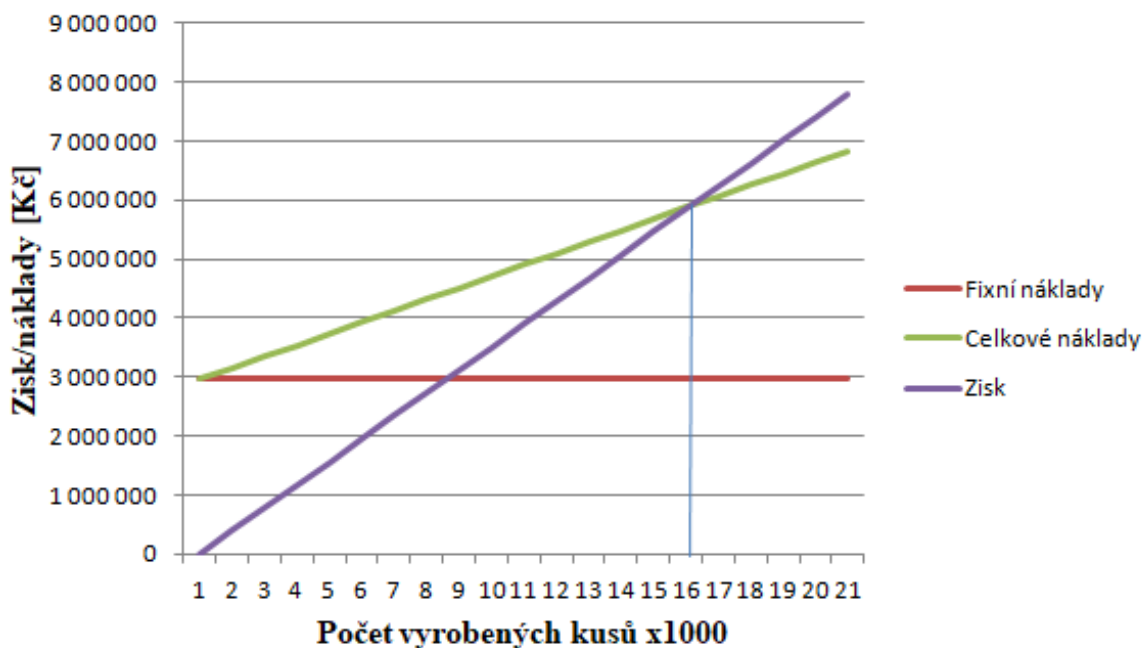
Celkové náklady na vyrobení 1 ks tvarového přístřihu jsou 194,04 Kč. Nyní je nutno připočítat marži na daný výrobek, aby firma vydělala dostatečný finanční obnos. Marže bude zvolena jako 100 % výrobních nákladů na 1 přístřih.

$$P_{výr} = N_{1ks} \cdot 2 = 194,04 \cdot 2 = 388,08 \approx 390 \text{ Kč} \quad (5.22)$$

kde:

$P_{výr}$ prodejní cena výrobku [Kč]

Prodejní cena 1 výstřizku bude 390 Kč. Na následujícím obr. 54 je zobrazen graf, který ukazuje bod zvratu. Jedná se o vizualizaci toho, kolik musí být vyrobeno kusů, aby byla výroba zisková.



Obr. 54 Graf bodu zvratu

Z grafu je patrné, že bod zvratu nastane přibližně při vyrobení 15 500 ks přístřihů. Do té doby by byla výroba ztrátová a nevyplatila by se. Po vyrobení a prodání uvedeného počtu kusů už bude výroba zisková a ekonomicky se vyplatí.

6 ZÁVĚRY

Diplomová práce je zaměřena na konstrukční návrh postupového střížného nástroje pro výrobu tvarových přístřihů prostřednictvím programu CATIA V5. Tvarový přístřih slouží jako polotovár pro výrobu pevnostního nárazníkového dílu osobního automobilu. Součást je vyráběna z plechu Usibor 1500 o tloušťce 1,5 mm, což je pevnostní ocel 22MnB5 využívaná převážně v automobilovém průmyslu pro prvky pasivní bezpečnosti a pevnostní díly. Celková výrobní série má velikost 1 milion přístřihů, přičemž každý rok je zapotřebí vyrobit 250 000 těchto přístřihů.

Zadáním pro konstrukci nástroje byla finální kontura přístřihu. Tato kontura je výsledkem simulací a testů, kdy je snaha docílit toho, aby byla eliminována ostříhovací operace po tažné operaci. Nástroj byl navržen tak, aby výroba proběhla v pěti krocích v postupovém nástroji. Prvním krokem je prostřížení středících otvorů, dalším krokem je označení stříhaného dílce, v následujícím kroku jsou prostříženy otvory uprostřed dílce, následuje vystřížení dílce z pásu plechu a v posledním kroku dojde k rozstříhání zbytkové sítě plechu na menší kusy.

Technologickými výpočty byla ověřena použitelnost navržených střížníků. Dále byla vypočtena optimální střížná vůle. V neposlední řadě byla určena střížná síla a střížná práce a také celková síla, která byla potřebná k volbě stroje. Jako hlavní lis byl zvolen výstředníkový lis AIDA 1000 a náhradní lis pro případ výpadku hlavního lisu byl zvolen taktéž výstředníkový lis FAGOR 2900.

V rámci ekonomického zhodnocení návrhu bylo vypočteno využití pásu plechu ze svitku, což činí 85,3 %. Dále byly určeny náklady na výrobu nástroje, které jsou 2 010 000,- Kč. Náklady na výrobu 1 kusu přístřihu činí 194,04,- Kč. Diagramem bodu zvratu byl graficky určen minimální počet vyrobených přístřihů, což je přibližně 15 500 ks přístřihů, aby byla výroba ekonomicky výhodná.

Přístřihy vyrobené nástrojem navrženým v rámci této diplomové práce budou dále zpracovávány v tažných operacích a tepelně zpracovány v poslední operaci. Řešení těchto zmíněných následných operací však nebylo cílem této práce.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. PROCHÁZKA, Jiří, Miroslav ZAPOTIL, Milan NĚMEC a Jiljí NOVOTNÝ. *Technologie slévání, tváření a svařování*. Třetí vydání. České vysoké učení technické v Praze pro studenty fakulty strojní: OSTRAVSKÉ TISKÁRNÝ, s. p., provoz 21, Ostrava 1, Novinářská 7, R 2387, 1990. ISBN 80-01-00345-0.
2. *MM Spektrum* [online]. Praha: MM průmyslové spektrum, 2008 [cit. 2019-01-16]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-2.html>
3. *Schinkmann, s r.o.* [online]. Mladá Boleslav: Schinkmann, 2018 [cit. 2019-01-16]. Dostupné z: <https://www.schinkmann.cz/plazma>
4. *Awac, spol. s r. o.* [online]. Brno: Awac, 2017 [cit. 2019-01-16]. Dostupné z: <https://www.awac.cz/rezani-vodnim-paprskem/>
5. *Bystronic Czech Republic s r. o.* [online]. Brno: Bystronic, 2018 [cit. 2019-01-17]. Dostupné z: https://www.bystronic.cz/cs/produkty/systemy_rezani_laserem/
6. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
7. *MojeDilna.cz* [online]. Brno: MojeDilna.cz, 2018 [cit. 2019-01-18]. Dostupné z: <https://www.mojedilna.cz/kotoucove-nuzky-na-plech>
8. KOTOUČ, Jiří. *Tvářecí nástroje*. Praha: České vysoké učení technické, 1993. ISBN 80-010-1003- 1.
9. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 4., V Akademickém nakladatelství CERM 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 978-80-214-3425-7.
10. Výroba v hlavním závodě Škody v Mladé Boleslavi (na snímku montáž současné octavie). In: *Novinky.cz* [online]. Mladá Boleslav: Novinky.cz, 2014 [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/ekonomika/344457-rusko-hrozi-sankcemi-i-pro-automobilovy-prumysl.html>
11. Alumex s.r.o. In: *Alumex.cz* [online]. Praha: Alumex.cz, 0018n. 1. [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: <http://alumex.cz/strechy-z-pozinku>
12. Autogenní řezání plamenem. In: *Westfalen Gas s.r.o* [online]. 2016 [cit. 2019-02-19]. Dostupné z: <http://www.westfalen.cz/technicke-plyny/svarovani-a-rezani/rezani-a-deleni/autogenni-rezani-plamenem.html>
13. ŘASA, Jaroslav, Přemysl POKORNÝ a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie 3*. 2. vyd. Praha: Scientia, 2005. ISBN 80-718-3336-3.
14. *Honkys a.s.* [online]. 2018 [cit. 2019-02-19]. Dostupné z: <https://www.honkys.eu/plazmove-rezani>
15. *MM Spektrum* [online]. MM průmyslové spektrum, 2014 [cit. 2019-02-19]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/novinka/rezani-vodnim-paprskem-hyprecision-waterjet-s-technologie-advanced-intensifier-technology.html>

16. *IVT centrum s.r.o.: Řezání laserem* [online]. [cit. 2019-02-19]. Dostupné z: <http://www.ivt.cz/our-services/design-and-build/>
17. *ArcelorMittal* [online]. [cit. 2019-02-19]. Dostupné z: <https://automotive.arcelormittal.com/europe/products/EN>
18. *Žďas a.s.* [online]. 2018 [cit. 2019-02-26]. Dostupné z: <https://www.zdas.com/cs/spolecnost/o-nas/>
19. *Technická univerzita Liberec, Fakulta strojní* [online]. Liberec: TU Liberec [cit. 2019-02-26]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm
20. *AA Market* [online]. 2019 [cit. 2019-02-26]. Dostupné z: <https://www.aamarket.cz/pakove-nuzky-na-plech-150-0301-p2743>
21. *Uni-max* [online]. 2019 [cit. 2019-02-26]. Dostupné z: https://uni-max.cz/produkty/kovoobrabeni/nuzky-na-plech/tabulove-nuzky/tabulove-nuzky-masiv1000?wdph=on&gclid=Cj0KCQiA5NPjBRDDARIsAM9X1GJ68FhBWLyKgXctNMPnGbqUGdWhCURDkyXTy3lYgSxSs1EyiWt2YekaAr8JEALw_wcB
22. *Uni-max* [online]. 2019 [cit. 2019-02-26]. Dostupné z: <https://www.uni-max.cz/produkty/kovoobrabeni/nuzky-na-plech/specialni-nuzky/kotoucove-nuzky-na-plech-cc-1-5?nLastVisited=3>
23. TSCHÄTSCHE, Heinz. *Metal forming practise: processes - machines - tools*. New York: Springer-Verlag, c2006. ISBN 35-403-3216-2.
24. FABIAN, Michal a Emil SPIŠÁK. *Navrhování a výroba s pomocí CA.. technologií*. Brno: Edice vědecké a odborné literatury, 2009. ISBN 978-80-85825-65-7.
25. *Normálie FIBRO*. 01/2017. Germany: FIBRO, 2017.
26. *ArcelorMittal-cars* [online]. 2018 [cit. 2019-03-04]. Dostupné z: <https://germany.arcelormittal.com/Innovation/Steel-solutions/Cars/>
27. *Meusburger* [online]. Meusburger Georg, 2019 [cit. 2019-03-04]. Dostupné z: <https://www.meusburger.com/CS/CZ/produkty/vyroba-nastroju-a-forem/kvalita/jakosti-oceli/13343-high-speed-steel-hss>
28. POLÁK, Karol. *Strihanie*. Bratislava: Slovenské vydavateľstvo ÚV KSS, 1967. ISBN 63-059-67.
29. *Haco* [online]. 2019 [cit. 2019-03-12]. Dostupné z: <https://www.plechotvarecistroje.cz/tabulove-nuzky/>
30. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stríhání a další způsoby dělení materiálů*. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, n. p., 1980. ISBN 04-234-80.
31. *Šmeral* [online]. 2017 [cit. 2019-03-19]. Dostupné z: http://www.smeral.cz/ostrihovaci_lisy.html
32. *Steels for hot stamping - Data sheet*. In: *ArcelorMittal North America* [online]. Chicago: ArcelorMittalUS, 2014 [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: https://automotive.arcelormittal.com/repository2/About/Automotive/201404_datasheet-hotstamping.pdf
33. *Dekmetal* [online]. DEKMETAL, 2019 [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: <https://dekmetal.cz/zakazkova-vyroba/strihani-tabuli-a-deleni-svitku>

34. Střížný nástroj. In: *Kolektor Tesla Jihlava s.r.o.* [online]. Jihlava, 2019 [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: <http://www.teslaji.cz/23-strihani-kovu.html>
35. Nástroj v lisu. In: *Fortell* [online]. 2019 [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: <http://www.fortell.cz/lisovani-kovu>
36. *MM Spektrum* [online]. ČVUT Praha, Fakulta strojní, 2017 [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/svaritelnost-oceli-pro-automobilove-karoserie.html>
37. *Buwol Metal s.r.o.* [online]. 2015 [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <http://www.buwolmetal.brb.cz/www/materials/>
38. Lis Fagor. In: *FAGOR ARRASATE* [online]. 2019 [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <http://www.fagorarrasate.com/family/4/stamping-system-and-presses.aspx>
39. *Lis AIDA* [online]. Japonsko: Aida engineering, 2019 [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: http://www.aida.co.jp/en/news/detail/140106_001505.html
40. SUCHY, Ivana. Handbook of die design. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, c2006. ISBN 00-714-6271-6.
41. Tváření kovů. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1992. ISBN 80-03-00651-1.
42. Moravčík, Juraj. Výroba držáku nábytkového kolečka. Brno, 2018. 59s, 4 výkresy, 3 přílohy, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce. Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
43. MÍKA, Tomáš. Výroba víka kotlového grilu. Brno, 2017. 57s, 4 výkresy, 7 příloh, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
b_A	šířka pásu pro variantu A	[mm]
b_B	šířka pásu pro variantu B	[mm]
b_C	šířka pásu pro variantu C	[mm]
c_{1lis}	náklady na lis rozpočítané na 1 přístřih	[Kč]
c_{1m}	celková cena materiálu na 1 přístřih	[Kč]
c_{1n}	cena odpisu nástroje rozpočítaná na 1 přístřih	[Kč]
c_{1prac}	přímé náklady na mzdu 1 pracovníka	[Kč]
c_m	celková cena materiálu bez odpadu	[Kč]
$c_{matcelk}$	celková cena materiálu	[Kč]
c_{srot}	celková cena recyklovaného materiálu	[Kč]
$d_{24,1}$	průměr střižníku	[mm]
d_{40}	průměr střižníku	[mm]
d_{sv}	vnitřní průměr svitku	[mm]
g	tíhové zrychlení	[m/s ²]
h_{el}	hloubka elastického vniknutí	[mm]
h_{pl}	hloubka plastického vniknutí	[mm]
i_4	poloměr setrvačnosti	[mm]
k_{plyn}	koeficient bezpečnosti rozevření nástroje plynovými pružinami	[-]
l_{ov}	délka rovné části oválného střižníku	[mm]
$m_{díl}$	hmotnost 1 dílce	[kg]
m_{hdn}	hmotnost horního dílu nástroje	[kg]
$m_{kovosrot}$	celková hmotnost odpadního materiálu	[kg]
$m_{přidr}$	hmotnost přidržovače	[kg]
m_{sc}	celková hmotnost svitků	[kg]
$m_{souč}$	celková hmotnost všech dílců	[kg]
m_{sv}	hmotnost svitku	[kg]
m_{svopt}	maximální hmotnost svitku	[kg]
n	koeficient otupení	[-]
n_s	počet přístřihů v roční sérii	[ks]
p_{ks}	počet kusů vyrobených z 1 svitku	[ks]
r_{ov}	poloměr zaoblení střižníku	[mm]
s	tloušťka děleného plechu	[mm]
s_0	původní tloušťka stříhaného materiálu	[mm]
t_{as}	celkový strojní čas	[h]
$v/2$	střižná mezera	[mm]
v	střižná vůle	[mm]
zdv_h	počet přístřihů za hodinu	[ks]
zdv_m	počet zdvihů za minutu	[-]
A	střižná práce	[J]
$D_{24,1}$	průměr horní části střižníku	[mm]
D_{sv}	vnější průměr svitku	[mm]
D_{svopt}	optimalizovaný vnější průměr svitku	[mm]
F_{elast}	celková síla vyvolaná elastomerovými pružinami	[N]
F_{krit4}	kritická síla na vzpěr střižníku $d=24,1$ mm	[N]
F_{lis}	síla vyvíjená lisem	[N]
$F_{pech24,1}$	síla pro napěchování střižníku	[N]

F_{plyn}	síla od každé z 5 plynových pružin na rozevření nástroje	[N]
$F_{\text{přidrzmáx}}$	maximální síla na přidržovači	[N]
$F_{\text{přidrhzpr}}$	potřebná síla vyvozená 1 pružinou	[N]
$F_{\text{přidrzt}}$	potřebná síla na přidržovači	[N]
F_{skut1}	skutečná síla na vystřížení obvodu dílce	[N]
$F_{\text{stř}}$	střížná síla	[N]
$F_{\text{stř1}}$	střížná síla pro obvod dílce, nože s rovným čelem	[N]
$F_{\text{stř2}}$	střížná síla na 1 oválný střížník	[N]
$F_{\text{stř3}}$	střížná síla pro střížník o průměru 40 mm	[N]
$F_{\text{stř4}}$	střížná síla pro střížník o průměru 24,1 mm	[N]
F_{vin}	síla od 1 vinuté pružiny	[N]
F_{zved}	síla zvedáčů pásu plechu	[N]
J_s	osový kvadratický moment	[mm ⁴]
L	délka střížné křivky	[mm]
L_1	celkový obvod dílce	[mm]
L_2	obvod oválného střížníku	[mm]
L_3	obvod střížníku o průměru 40 mm	[mm]
L_4	obvod střížníku o průměru 24,1 mm	[mm]
L_{kr4}	kritická vzpěrná délka	[mm]
$L_{\text{pás}}$	délka pásu	[mm]
L_{srot1}	délka stříhané odpadové části pásu podél směru posuvu pásu	[mm]
L_{srot2}	délka stříhané odpadové části pásu napříč směru posuvu pásu	[mm]
$N_{1\text{ks}}$	celkové náklady na 1 ks	[Kč]
N_{fix}	celkové fixní náklady	[Kč]
N_{or}	náklady na odbytovou režii podniku	[Kč]
N_{sr}	náklady na správní režii podniku	[Kč]
N_{rc}	celkové režijní náklady	[Kč]
N_{var}	celkové variabilní náklady	[Kč]
N_{vr}	celkové náklady na variabilní režii	[Kč]
N_{vrvar}	variabilní náklady na výrobní režii	[Kč]
OR	odbytová režie podniku	[%]
P_{sc}	počet svítků na celou životnost nástroje	[ks]
P_{ss}	počet svítků na 250 000 ks série	[ks]
$P_{\text{výr}}$	prodejní cena výrobku	[Kč]
R_m	mez pevnosti	[MPa]
$S_{\text{dílec}}$	čistá plocha dílce	[mm ²]
S_{kot4}	opěrná plocha střížníku	[mm ²]
S_p	plocha polotovaru	[mm ²]
S_{pA}	plocha pásu varianta A	[mm ²]
$S_{\text{pás}}$	boční plocha pásu	[mm ²]
S_{pB}	plocha pásu varianta B	[mm ²]
S_{pC}	plocha pásu varianta C	[mm ²]
S_s	plocha součásti	[mm ²]
S_{sA}	plocha všech dílců pro variantu A	[mm ²]
S_{sB}	plocha všech dílců pro variantu B	[mm ²]
S_{sC}	plocha všech dílců pro variantu C	[mm ²]
S_{sv}	boční plocha svítku	[mm ²]
S_{svopt}	optimalizovaná boční plocha svítku	[mm ²]
SR	správní režie podniku	[%]
V_{sv}	objem svítku	[mm ³]

V_{svopt}	optimalizovaný objem svitku	$[\text{mm}^3]$
VR	výrobní režie podniku	$[\%]$
ϵ_2	složka přetvoření	$[-]$
ϵ_{ef}	efektivní přetvoření	$[-]$
λ	součinitel plnosti	$[-]$
η	součinitel využití materiálu	$[\%]$
η_A	procento využití materiálu pro variantu A	$[\%]$
η_B	procento využití materiálu pro variantu B	$[\%]$
η_C	procento využití materiálu pro variantu C	$[\%]$
ν_σ	Lodeho parametr	$[-]$
ρ_{ocel}	hustota oceli	$[\text{kg}/\text{m}^3]$
σ_1	hlavní složka napětí	$[\text{MPa}]$
σ_2	hlavní složka napětí	$[\text{MPa}]$
σ_3	hlavní složka napětí	$[\text{MPa}]$
σ_{ef}	efektivní napětí	$[\text{MPa}]$
σ_k	mez kluzu materiálu	$[\text{MPa}]$
σ_p	přirozený přetvárný odpor materiálu	$[\text{MPa}]$
$\sigma_{stř4}$	napětí působící na litinový nálipek	$[\text{MPa}]$
τ_{13}	maximální smykové napětí	$[\text{MPa}]$
τ_{max}	maximální smykové napětí	$[\text{MPa}]$
τ_s	napětí ve stříhu	$[\text{MPa}]$

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Užití plechů v automobilovém průmyslu [10],[11]	11
Obr. 2 Společnost Žďas a.s. [18].....	12
Obr. 3 Umístění součásti na karoserii automobilu [36]	13
Obr. 4 Základní tvar a rozměry plechového přístříhu	13
Obr. 5 Příklad užití oceli Usibor® na pevnostních dílech automobilu [17]	14
Obr. 6 Struktura plechu v dodaném stavu s povlakem Zn [17]	14
Obr. 7 Martenzitická struktura po tepelném zpracování [17]	14
Obr. 8 Řezání kyslíkovým plamenem [12]	15
Obr. 9 Řezání elektronovým paprskem [13]	16
Obr. 10 Řezání plazmovým paprskem [14]	16
Obr. 11 Řezání vodním paprskem [15]	17
Obr. 12 Řezání laserem [16]	17
Obr. 13 Stříhání ze svitku plechu [33]	18
Obr. 14 Průběh stříhu s normální vůlí [6]	19
Obr. 15 Charakteristický průběh střížné síly [6].....	20
Obr. 16 Diagram ke stanovení součinitele plnosti [6].....	21
Obr. 17 Schéma deformace a napjatosti při uzavřeném stříhání [6]	22
Obr. 18 Vzhled plochy stříhu při správné vůli [6]	23
Obr. 19 Schéma stříhu při malé nebo velké střížné vůli [6].....	23
Obr. 20 Tvar a struktura střížné plochy v závislosti na střížné vůli [19]	24
Obr. 21 Stříh se zápornou vůlí [1].....	24
Obr. 22 Příklad postupového střížného nástroje [34].....	25
Obr. 23 Umístění nástroje v lisu [35].....	26
Obr. 24 Rozmístění střížníků na dílci	27
Obr. 26 Střížník pro obvodový tvar dílce.....	27
Obr. 25 Schematický nákres zkosení střížníku	27
Obr. 27 Oválný střížník.....	28
Obr. 28 Střížník o průměru 40 mm	29
Obr. 29 Střížník ϕ 24,1 s kotevní deskou a podložkou.....	29
Obr. 30 Šrotovací nože a odpadní část pásu plechu.....	30
Obr. 31 Přidržovač s elastomerovými pružinami.....	31
Obr. 32 Řez střížníkem a střížnicí pro středící otvory	33
Obr. 33 Střížník s kotevní deskou a podložkou	33
Obr. 34 Řez střížníkem průměru 24,1 mm.....	34
Obr. 35 Řez střížníkem ϕ 40 m.....	35
Obr. 36 Řez uložení oválných střížníků.....	35
Obr. 37 Rozměry svitku plechu	36
Obr. 38 Nástřihový plán - varianta A.....	38
Obr. 39 Nástřihový plán - varianta B	39
Obr. 40 Nástřihový plán - varianta C	40
Obr. 41 Ukázka lisu AIDA [39].....	42
Obr. 42 Ukázka lisu Fagor [38].....	43
Obr. 43 Layout	45
Obr. 44 Ukázka adaptéru nástroje s geometrickými sety ve stromu součásti.....	46
Obr. 45 Ukázka rozmístění zvedačů v absolutních souřadnicích.....	47
Obr. 46 Sestava všech technologických prvků nástroje.....	48
Obr. 47 Soubor technologických prvků horní poloviny nástroje	48
Obr. 49 Pohledy na horní a spodní odlitky	49

Obr. 48 Soubor prvků spodní poloviny nástroje	49
Obr. 50 Sestava spodního dílu nástroje	50
Obr. 51 Sestava horního dílu nástroje	50
Obr. 52 Značení nástroje	51
Obr. 53 Kompletní nástroj v rozevřeném a uzavřeném stavu	51
Obr. 54 Graf bodu zvratu	57

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Chemické složení oceli Usibor 1500 (22MnB5)[17].....	15
Tab. 2 Mechanické vlastnosti materiálu Usibor® 1500 (22MnB5)[17], [32]	15
Tab. 3 Střížná vůle [23].....	25
Tab. 4 Parametry odvíječky	36
Tab. 5 Základní parametry lisu AIDA 1000	42
Tab. 6 Základní parametry lisu FAGOR TLE4-2900	43
Tab. 7 Ukázka normy pro závitové díry.....	47
Tab. 8 Barevné schéma ploch	48
Tab. 9 Náklady na výrobu nástroje	55

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Dokumentace k lisu AIDA 1000
Příloha 2 Prospekty k lisu FAGOR TLE4-2900

SEZNAM VÝKRESŮ

Sestava nástroje	DP-01-0-170359	2 listy
Střížník - sestava	DP-02-3-170359	1 list
Střížník 1/5 a 5/5	DP-03-3-170359	1 list
Střížník 2/5 a 4/5	DP-04-3-170359	1 list
Střížník 3/5	DP-05-3-170359	1 list
Kusovník	DP-06-4-170359	4 listy

Nennpresskraft ab 12,7 mm vor UT [total force at 0.5" before BDC (bottom dead center)]	10.000 kN
Arbeitsvermögen bei 5 Hub/min [rated energy at 5 spm]	
Arbeitshubzahl [number of strokes in automatic mode]	15 - 62 SPM
Einrichthubzahl [number of strokes in "manual" mode]	
Stößelhub [slide stroke]	250 mm
Max. Werkzeugeinbauhöhe [Max. shut height of die]	1200 mm
<i>Hub Unten, Verstellung oben / (Federentlastung berücksichtigen)</i> [stroke down, adjustment up / (attention to spring relief)]	
Min. Werkzeugeinbauhöhe (Werkzeug geschlossen) [min. shut height of die] (die closed)]	910 mm
Stößelverstellung [slide adjustment]	300 mm
Standard-Werkzeugeinbauhöhe (Werkzeug geschlossen) [standard shut height of die (die closed)]	
Progressiv-Werkzeuge. [Progressive dies]	1180 mm
Platinenschnitte [Blanking dies]	980 mm
Tisch- und Stößelplattenabmessung, Länge x Breite [bolster and slide plate, length x width]	4500 x 2300 mm
Schiebetischhöhe (über den Hallenboden) [bolster plate height (above plant floor)]	650 mm
Ständerweite (zwischen den Oel auffangschalen) [front clearance (between oil drip pans)]	4770 mm
Seitendurchgang [side clearance]	2250 mm
Max. Werkzeugoberteilgewicht [maximum weight of upper die]	25 to
Max. Ladegewicht Schiebetisch [press bolster limit load]	50 to
<u>Schnellspannung Stößelplatte:</u> [quick slide clamps:]Automatic Pascal	7 x automatisch verfahrbares Schnellspannsystem Pascal TRC 10 je Seite [7 x self-travelling clamping system Pascal TRC 10 per side]
Spannkraft je Element max. [single clamping force]	100 kN
Werkzeug Spannflanschdicke [upper die plate height]	70 -0.2 mm
Manuelle Positionierung (Standardwerkzeugzentrierung, feste Position) [manual positioning, standard die centring, fixed position]	8 vorgeschriebene Löcher im Tisch [8 limited holes in bolster plate]

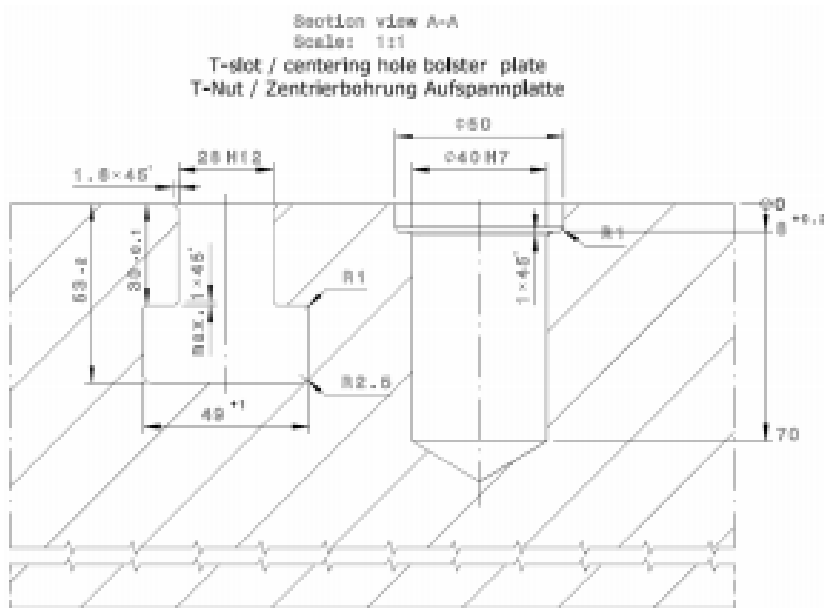
Band- und Richtanlage:

[coil feeder and straightener:]

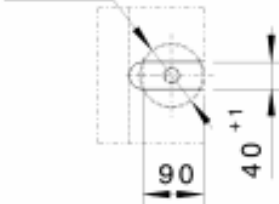
Standardeinlaufhöhe (über Pressentisch) [preferred feed height (above bolster plate) TBD]	700 mm
Einlaufhöhen-Verstellbereich (über Pressentisch) [pass line height adjustable (above bolster plate)]	+/- 150 mm
Materialdicke min. – max. [material thickness min. – max.]	0,8 - 7,0 mm
Restbandverarbeitung max. Hub in DLR [coil-end processing max. stroke in flow direction]	1000 mm
Coilbreite min. – max. [coil width min. – max.]	300 - 1800 mm
Anzahl Richtwalzen [Number of leveling rolls]	2 Kassetten a 17 Stück
Durchmesser [Diameter of leveling rolls]	50 + 80 mm
Max. Coilgewicht [max. coil weight]	25 to
Coil-Aussendurchmesser [coil outer diameter]	max. 2000 mm
Coil-Innendurchmesser [coil inner diameter]	508 und 610 mm
Vorschubgeschwindigkeit [feeding speed]	120 m/min
Vorschubgenauigkeit [feed length accuracy]	0,1 mm

Richtquerschnitte und Vorschubleistung siehe Diagramm

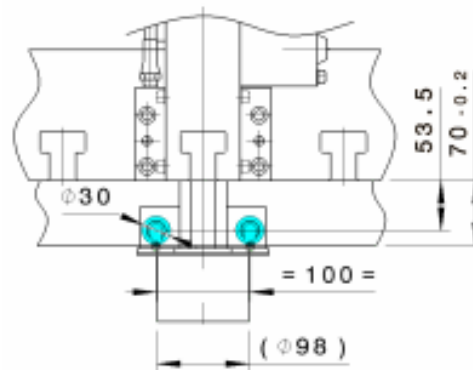
[straightening cross-sections and feeding performance see diagram below]

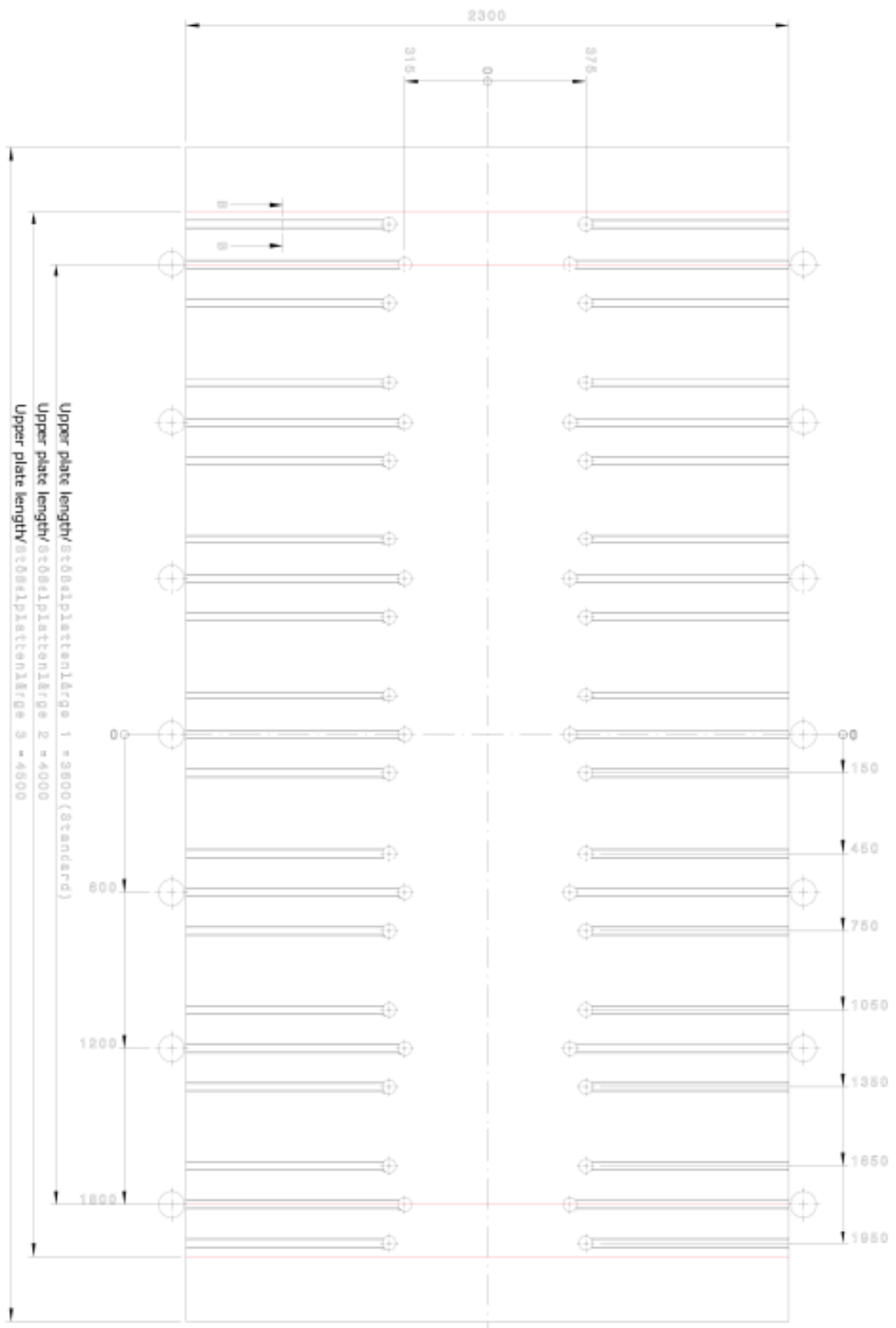


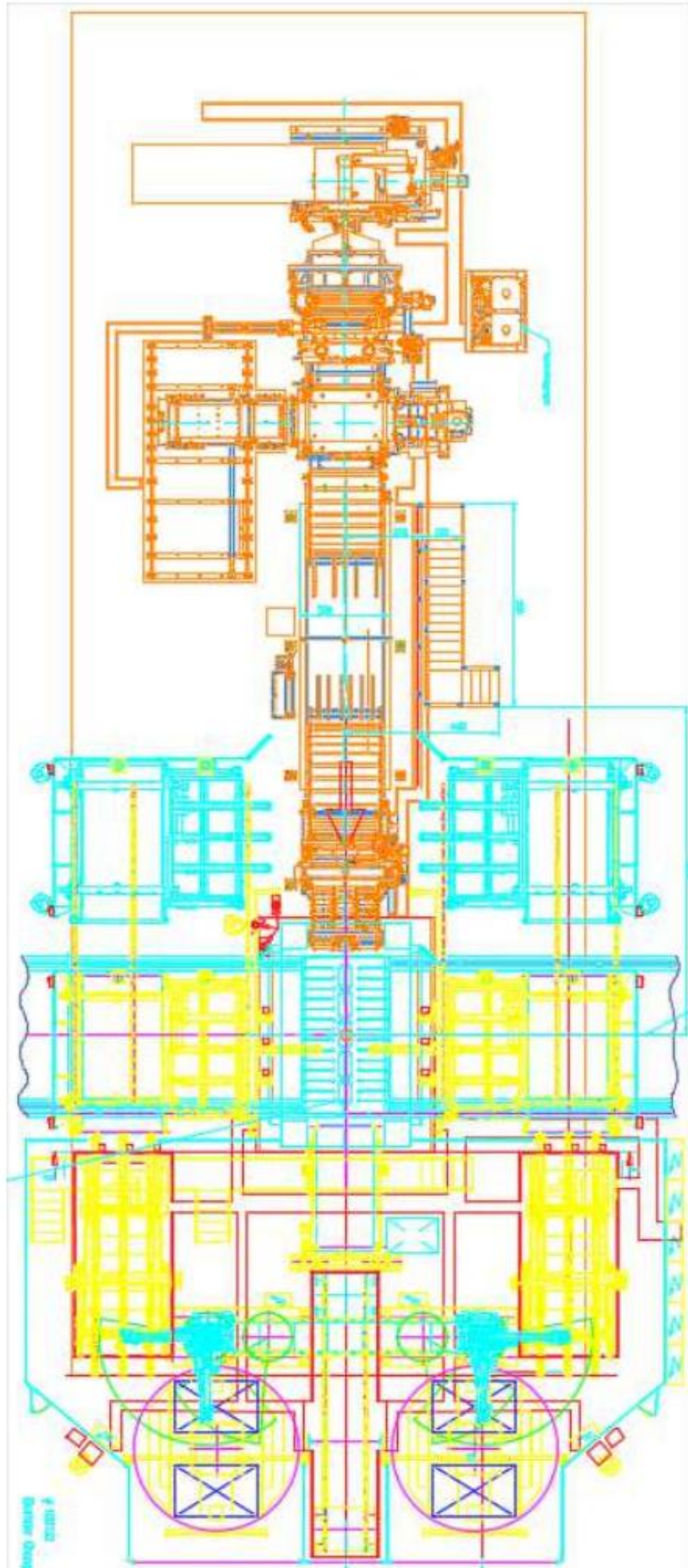
Ansicht Spannnut
 im Werkzeugoberteil
 (Ø98)



Flächen für Initiatoren
 sind zu berücksichtigen!







Bedienersaite
[operator side]

Nennpresskraft ab 12,7 mm vor UT	29000 KN
Arbeitsvermögen bei 10 Hub/min	750 KJ
Arbeitshubzahl	10 - 25 Hub/min
Einrichthubzahl	8 - 10 Hub/min
Stößelhub	900 mm
Maximale Werkzeugeinbauhöhe	1400 mm
<i>Hub unten, Verstellung oben</i> <i>(Federentlastung berücksichtigen)</i>	
Minimale Werkzeugeinbauhöhe	1100 mm
Stößelverstellbarkeit	300 mm
Standard-Werkzeugeinbauhöhe (ohne Federentlastung)	1180 mm
Tischplattenabmessung, Länge x Breite	6100 x 2440 mm
Stößelplattenabmessung, Länge x Breite	6100 x 2440 mm
Ständerweite (zwischen den Oelauffangschalen)	6470 mm
Seitendurchgang	3370 mm
Werkzeugoberteilgewicht max.	30 t
Werkzeuggewicht max.	60 t

Schnellspannung Stößelplatte:

PASCAL TRC 10, stationär	10 Stck. auf jeder Seite
Spanner paarweise angesteuert	
Spannbereich (Kopfplatte)	1320 - 2440 mm
Werkzeug-Spannflanschdicke	70 -0,2 mm
Spannkraft je Element max.	80 KN

Bandanlage:

Standardeinlaufhöhe über Pressentisch	750 mm
Einlaufhöhen-Verstellbereich	650 - 850 mm
Blechdicke (je nach Festigkeit)	0,5 - 6,0 mm
Coilbreite	300 - 1800 mm

Bandquerschnitt

Blechdicke (mm)	Coilbreite (mm) Re 600 N/mm ²	Coilbreite (mm) Re 800N/mm ²	Coilbreite (mm) Re 100N/mm ²	Coilbreite (mm) Re 1200N/mm ²
2,0 mm	1800	1800	1800	1800
3,0 mm	1800	1800	1800	1800
4,0 mm	1800	1560	1250	1040
4,5 mm	1410			
5,0 mm	1140			
5,5 mm	950			
6,0 mm	710			

Coilgewicht max.	25 t
Coil-Aussendurchmesser max.	2000 mm
Coil-Innendurchmesser	508 / 610 mm
Vorschublänge einstellbar	0.1 - 9999 mm

Hauptdaten der Platinenzuführungseinrichtung:

Platinenlänge (quer zur DLR)	700 - 1850 mm
Platinenbreite (in DLR)	250 - 1000 mm
Platinendicke	0,5 - 4,5 mm
Platinengewicht max.	30 kg
Stapelgewicht max.	5000 kg
Stapelhöhe max.	500 mm
Längs- und Querabweichungen	+/- 3 mm
Material	magnetischer Stahl, fettfrei
Zuführungsgeschwindigkeit max.	20 Platinen /min
Doppelplatinenzuführung	in Reihe und parallel

Transfersystem:

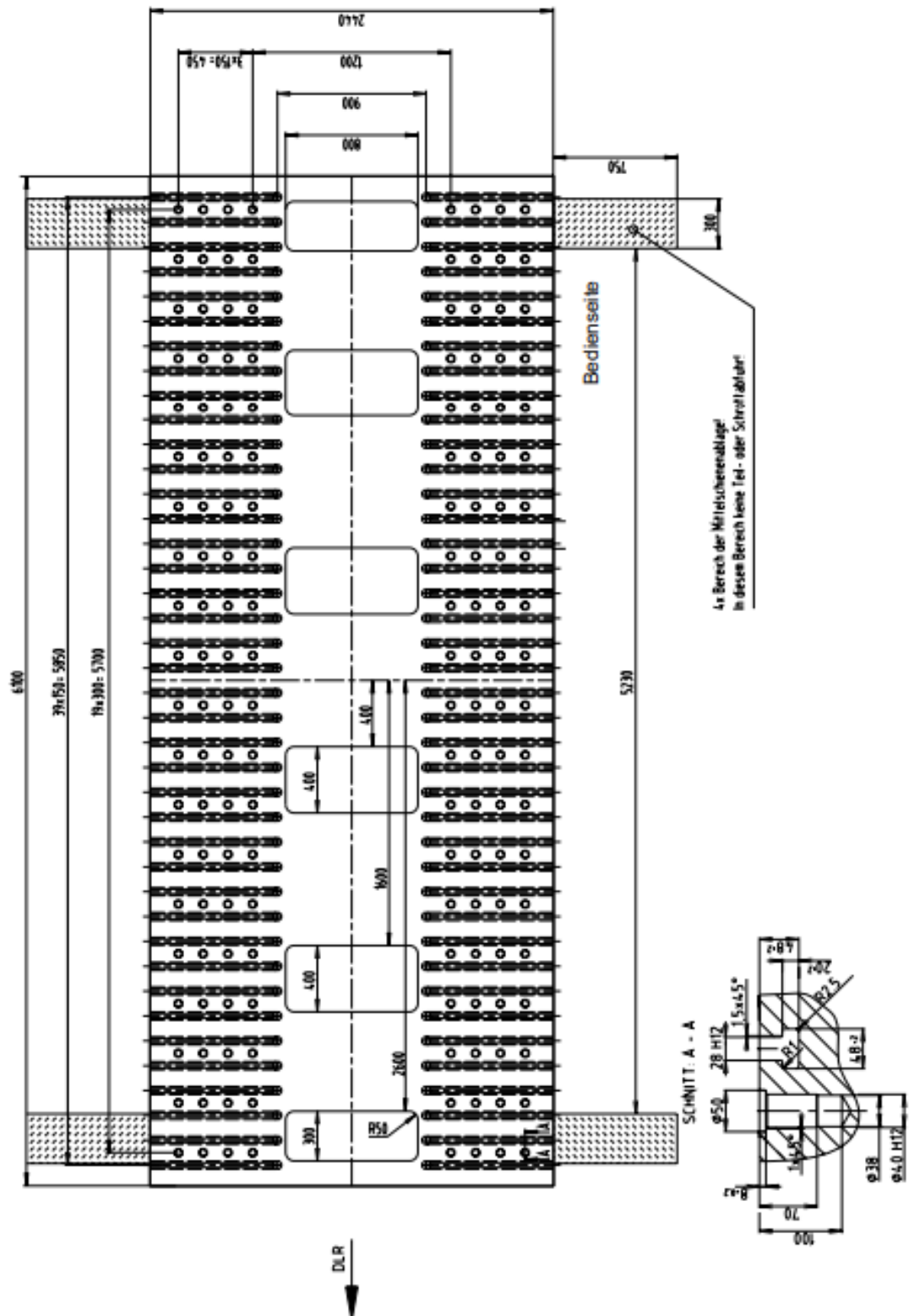
Elektronischer 3-Achsen-Transfer (Typ: CNC 6)

Transferhöhe über Pressentisch	695 mm
Greifer-Vorschub stufenlos verstellbar	0 - 1200 mm
Greiferschienen-Innenweite, min. geschlossen	900 mm
Greiferschienen-Innenweite, max. geöffnet	2920 mm
Hebehub	0 - (250+20) mm
Traggewicht max.	220 kg
Schienenprofil (Aluminium)	150 x 195 mm
Standard-Schließweg je Schiene	180 mm
Standard-Hebehub	80 mm

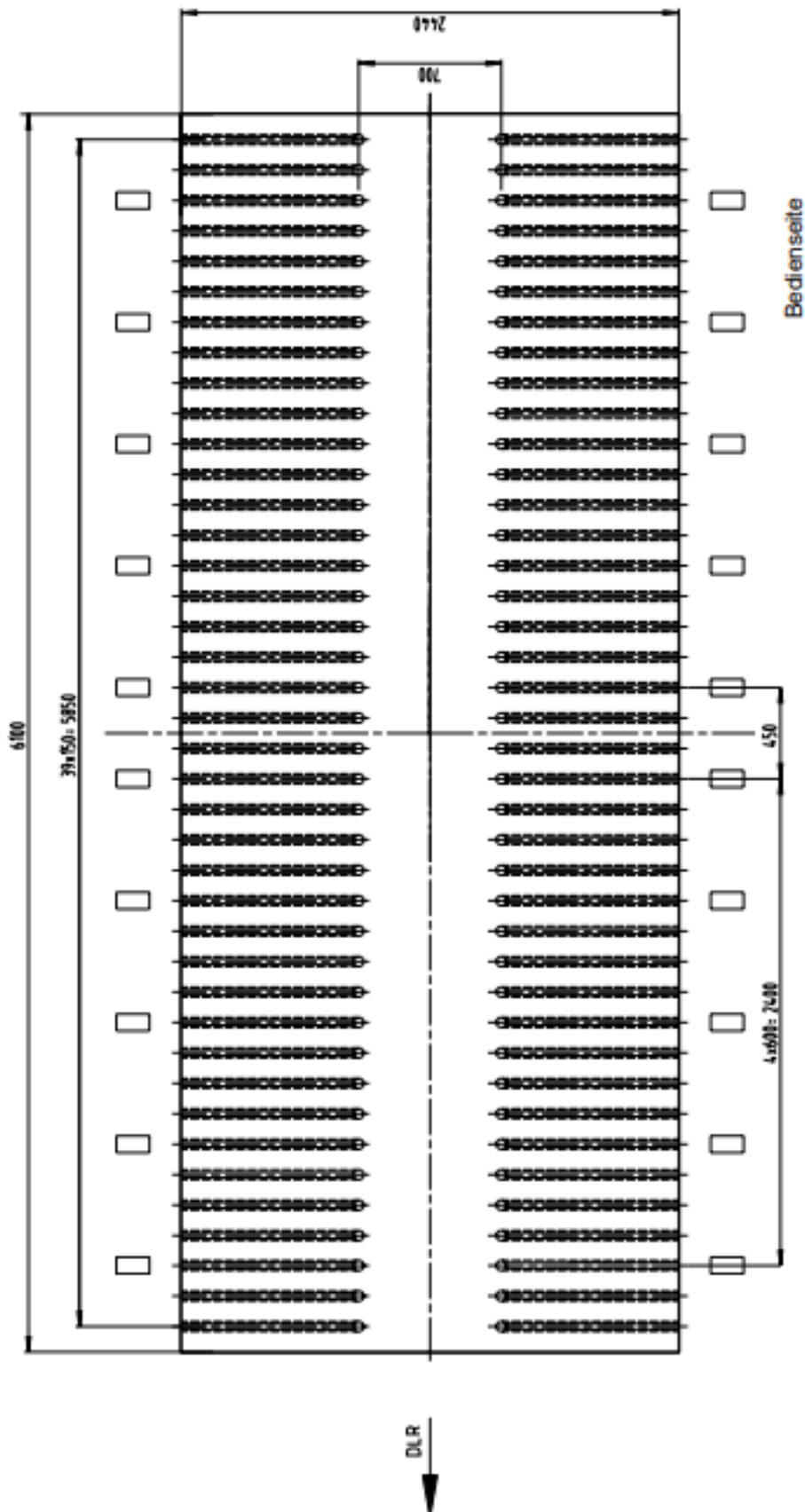
Die Standard-Verfahrwege sind einzuhalten!

Andere Verfahrwege nur nach Absprache mit der Presserei!

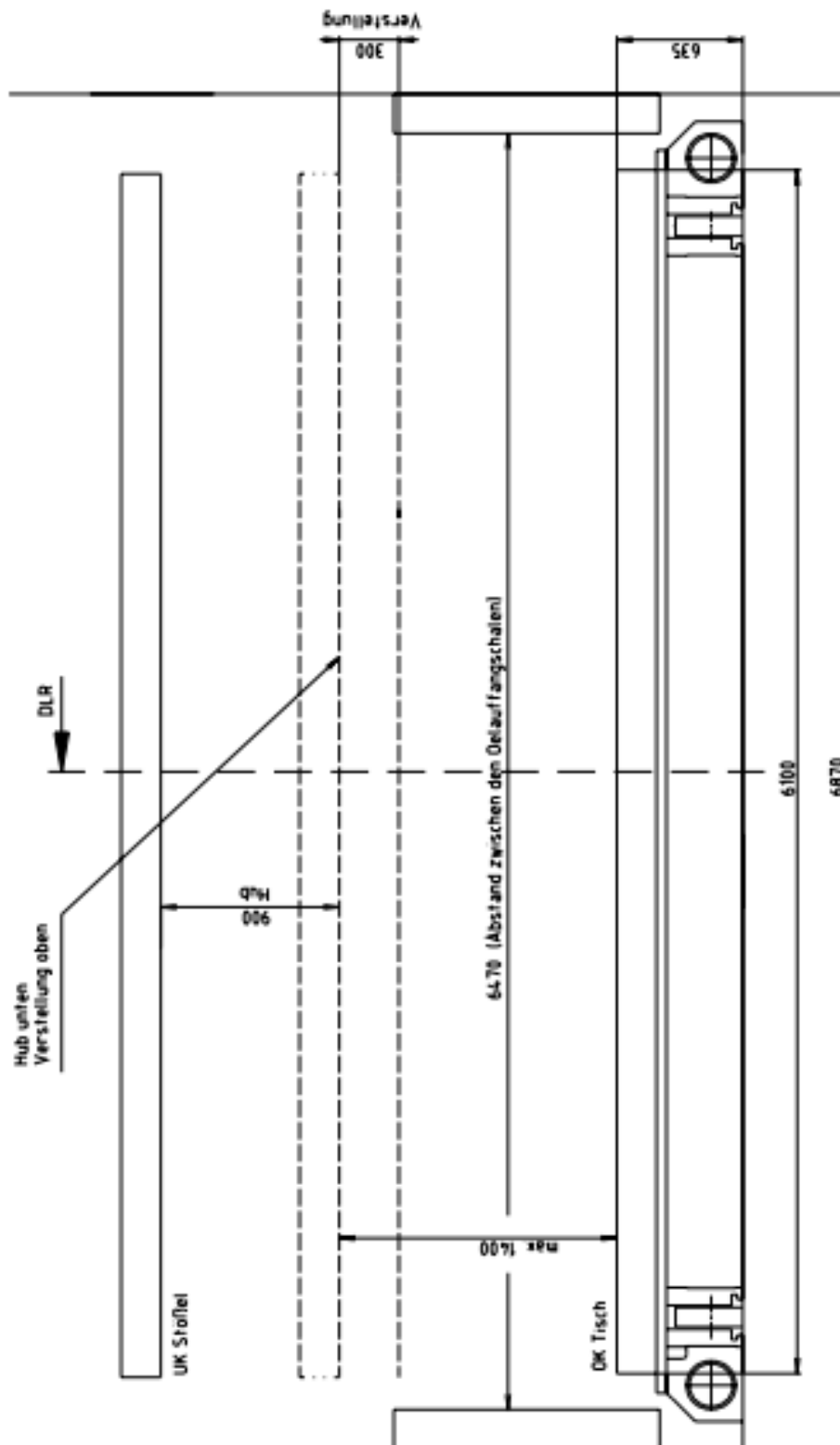
2. Tischplatte

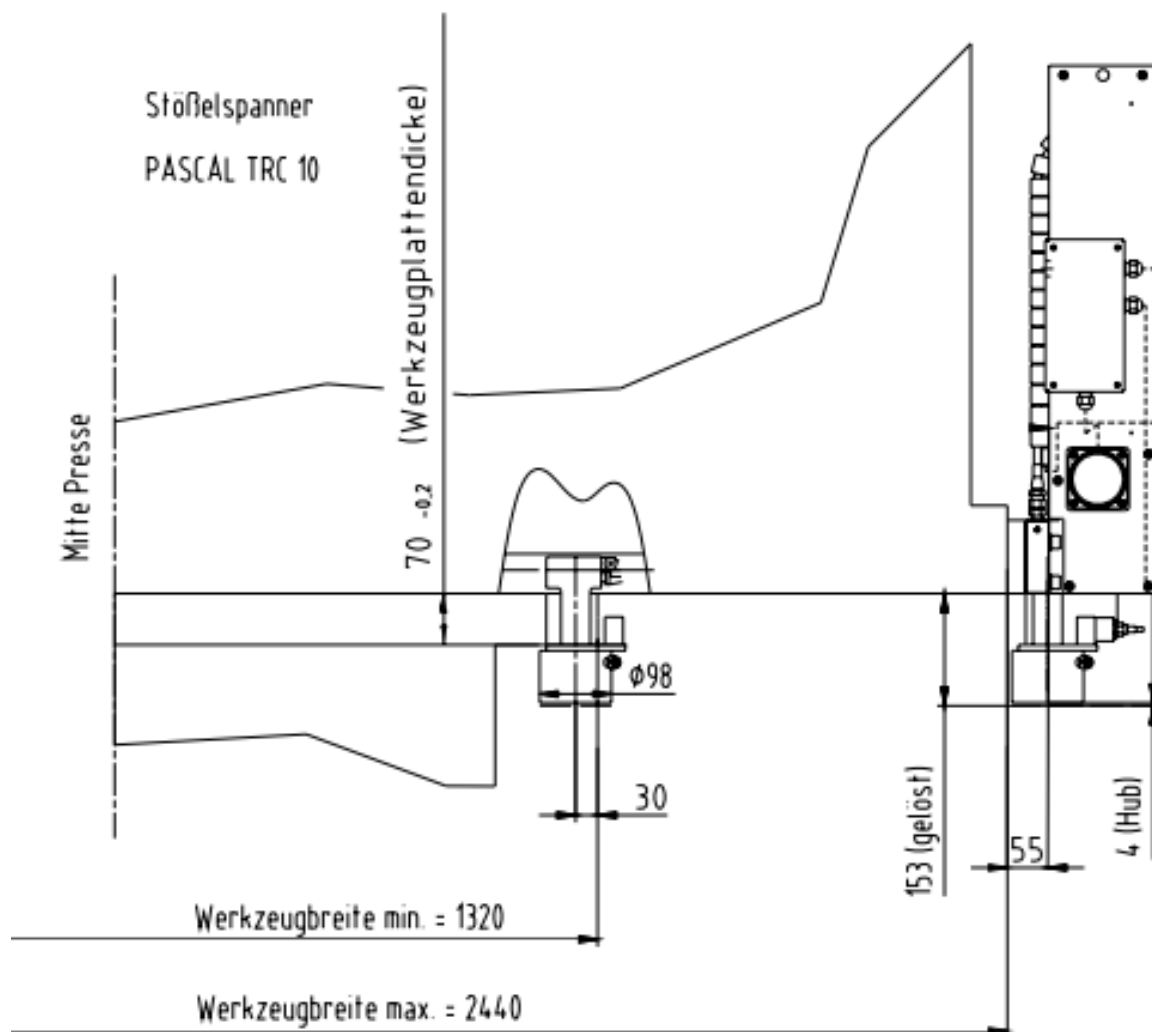


3. Stößelplatte



10x Schnellspanner / Seite
 Schnellspanner paarweise angesteuert
 Die Nuten der Schnellspannung können nicht für die manuelle Spannung genutzt werden!





Ausführung der Schnellspannnuten

Die Ausführung der Nuten ist mit denen der Handspannung identisch (siehe Ausführungsvorschrift für Stanz- und Umformwerkzeuge).

Die Schnellspanner verfahren automatisch, dabei wird die Endstellung der Spanner über Initiator-Anschläge (140 mm breit) abgefragt. In diesem Verfahrbereich dürfen keine Anbauteile angebracht werden.