

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

FAKULTA STROJNÍ



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

**Landa
Lukáš**

2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení:	Landa	Jméno: Lukáš	Osobní číslo: 476108
Fakulta/ústav:	Fakulta strojní		
Zadávací katedra/ústav:	ústav strojírenské technologie		
Studijní program:	Výroba a ekonomika ve strojírenství		
Studijní obor:	Technologie, materiály a ekonomika strojírenství		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Návrh střížného přípravku

Název bakalářské práce anglicky:

Design of a cutting device

Pokyny pro vypracování:

- 1) Úvod
- 2) Problematika operace stříhání
- 3) Návrh střížného přípravku
- 4) Návrh metodiky zkoušení
- 5) Závěr

Seznam doporučené literatury:

Sheet Metal Forming Processes and Die Design, Vukota Bojanovic
ASM Handbook Volume 14B: Metalworking: Sheet Forming
Die doporučení vedoucího BP

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:


Ing. František Tatiček, Ph.D., ústav strojírenské technologie FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Ing. Lukáš Chrást'anský, ústav strojírenské technologie FS

Datum zadání bakalářské práce: **29.04.2020** Termín odevzdání bakalářské práce: **31.07.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: **31.12.2020**


Ing. František Tatiček, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

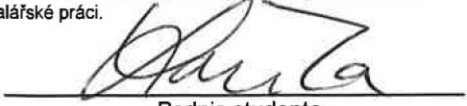

doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

24.6.2020
Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Abstrakt:

Bakalářská práce se zabývá primárně technologií plošného tváření, konkrétně stříháním. Pro uvedení do problematiky je v prvních několika stranách rozebrána také teorie týkající se technologie tváření obecně, včetně objemového tváření. Postupně se v teoretické části práce rozeberou jednotlivé základní aspekty spojené s technologií stříhání a následně bude proveden návrh testovacího přípravku a nastínění metodiky testování na tomto přípravku.

Cílem práce je navrhnout přípravek, na kterém se následně budou provádět testy, které by měly vést k ověření optimálních podmínek při těchto procesech. Konkrétní příklady využití navrhovaného přípravku mohou být například zjišťování vlivů střížné vůle na kvalitě střížné hrany, měření střížných sil v závislosti na velikosti střížné vůle, vlivu střížného úhlu na střížnou sílu nebo testování různých materiálů použitých pro konstrukci střížníku a střížnice.

Dále zde bude možnost ověřovat teoretické znalosti plynoucí z níže popsané teorie. Všechny poznatky z výše zmíněných testů, by měly sloužit jako výchozí informace k případné inovaci či optimalizaci střížných procesů.

Klíčová slova:

Technologie tváření, technologie stříhání, plošné tváření, optimalizace střížných procesů, zkušební přípravek, aspekty spojené s technologií stříhání

Abstract:

This bachelor thesis deals primarily with the technology of flat metal forming, specifically cutting. The first few pages describe the theory of forming technology in general, including volume forming. The theoretical part of the thesis then analyzes various basic aspects associated with the technology of cutting which is followed by a model of a test apparatus and an outline of the testing methodology on this apparatus.

The aim of the thesis is to design a product for conducting tests that will lead to the verification of optimal conditions in the processes mentioned above. Specific examples of the use of this apparatus are the cutting effects of shear clearance on the quality of the shear edge, measuring shear forces depending on the magnitude of shear clearance, the effect of shear angle on shear force and testing different materials for the construction of the cutter.

Furthermore, it will be possible to verify the theoretical knowledge arising from the theory described below. All knowledge from the tests mentioned above should serve as a starting point for possible innovation or optimization of cutting processes.

Keywords:

Forming technology, blanking technology, surface forming, optimization of blanking processes, test fixture, aspects related to blanking technology

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma **Návrh střížného přípravku** vypracoval samostatně a veškeré literární prameny a zdroje informací, které jsem použil, cituji a uvádím v seznamu použité literatury a zdrojů informací.

Dále prohlašuji, že nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne

.....

Jméno, Příjmení

Poděkování

Tímto děkuji panu Ing. Františku Tatíčkoví, Ph.D. za cenné rady a připomínky při tvorbě této bakalářské práce.

Obsah

1	ÚVOD	7
2	TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ	8
2.1	ROZDĚLENÍ DLE TVÁŘECÍCH TEPLOT	8
2.2	ROZDĚLENÍ Z HLEDISKA DEFORMACE	10
2.3	ROZDĚLENÍ Z HLEDISKA TVÁŘECÍCH STROJŮ	10
2.4	DĚLENÍ TVÁŘECÍCH STROJŮ	11
2.4.1	<i>Podle druhu mechanismu</i>	11
2.4.2	<i>Podle druhu technologického určení</i>	11
2.4.3	<i>Pole pracovního rozsahu</i>	11
2.5	PRINCIP TVÁŘENÍ	11
2.6	TVÁŘITELNOST	12
	<i>Metalurgické faktory</i>	12
	<i>Mechanické faktory</i>	13
	<i>Technologické faktory</i>	13
	<i>Hodnocení tvářitelnosti</i>	13
3	TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ	14
3.1	STŘIŽNÁ VŮLE	16
3.2	ROZMĚRY NÁSTROJŮ V ZÁVISLOSTI NA VŮLI	18
3.3	VÝPOČET STŘIŽNÉ SÍLY A PRÁCE	18
3.4	PŘESNOST A JAKOST POVRCHU VÝSTŘIŽKŮ A VYSTŘIHOVANÝCH OTVORŮ	24
3.5	TECHNOLOGIČNOST STŘÍHÁNÍ	24
4	NÁVRH TESTOVACÍHO PŘÍPRAVKU	25
4.1	POŽADAVKY	25
4.2	KONSTRUKČNÍ NÁVRH PŘÍPRAVKU	25
4.2.1	<i>Horní upínací část</i>	26
4.2.2	<i>Spodní upínací deska</i>	28
4.2.3	<i>Horní základová deska</i>	29
4.2.4	<i>Spodní základová deska</i>	29
4.3	VOLBA A REŠERŠE POUŽITÝCH NORMÁLÍ	30
4.3.1	<i>Volba vedení</i>	30
4.3.2	<i>Uchycení vedení k základové desce</i>	31
4.4	UPÍNÁNÍ DO LISU	33
5	NÁVRH METODIKY ZKOUŠENÍ	34
5.1	UPÍNÁNÍ PŘÍPRAVKU DO TVÁŘECÍHO STROJE	34
5.2	UPÍNÁNÍ FUNKČNÍCH ČÁSTÍ	34
5.3	ZKOUŠENÉ A ZKUŠEBNÍ MATERIÁLY	35
5.4	MĚŘENÍ SIL	36
5.5	VYHODNOCOVÁNÍ DAT	37
6	ZÁVĚR	38
7	REFERENCE	39

1 Úvod

Stříhání je jednou z nejrozšířenějších technologií ve strojírenském průmyslu. Je zařazeno do většiny technologických postupů výroby strojních součástí nejen z plechu, ale například tuto technologii můžeme najít i při dělení polotovarů nebo jako část technologického postupu při výrobě výkovků.

Aktuálně se značná část všech stříhaných součástí v České republice vyrábí pro automobil, kde tvoří základ výroby veškerých karoserií od výroby nástřihů až po ostřihování hotových výlisků. Podklady k návrhu této technologii často bývají staršího data a v poslední době se této problematice nedostává dostatečné pozornosti, ale s ohledem na vývoj v ostatních odvětví týkajících se technologie stříhání, jako například nové materiály (jak výlisků, tak nástrojů) se jeví tato problematika jako zajímavá.

Na základě poznatků z praxe vznikl požadavek na konstrukční návrh zkušební přípravku, který by sloužil právě pro testování a případnou inovaci v tomto odvětví průmyslu. Cílem této práce je návrh zkušební přípravku, pomocí kterého by bylo možné testování jednotlivých aspektů spojených s technologií stříhání a na základě nově zjištěných výsledků změnit nastavení, nebo podmínky procesu vedoucí například k zvýšení životnosti střížných nástrojů, návrhu nových materiálů, snižování výrobních nákladů nebo zvýšení kvality střížných hran. V současné době je situace taková, že je kladen velký důraz na ekonomický a ekologický dopad při výrobě. Oba tyto aspekty se v dané míře dají za pomoci výsledků testů na navrženém přípravku optimalizovat.

Pro obecné uvedení do problematiky je následujících několik stran věnováno obecnému shrnutí technologie tváření, pod které technologie stříhání spadá. Následně se v rámci práce budu zabývat primárně technologií stříhání a aspekty ovlivňující tento proces. Získané poznatky implementuji do návrhu zkušební přípravku

2 Technologie tváření

2.1 Rozdělení dle tvářecích teplot

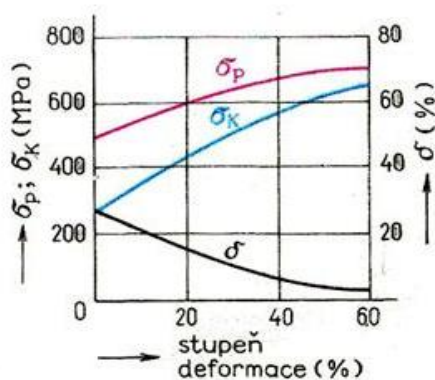
Při změně teploty nastávají změny v deformačním odporu materiálu, který působí proti tváření. Zvyšováním teploty se zlepšují plastické vlastnosti kovů. [1]

Rozdělení tváření dle teplot je závislé na teplotě rekrystalizace tvářeného materiálu. Jako konkrétní hodnota, rozdělující tváření za tepla a tváření za studena, se udává přibližně 40% teploty tání. Nad touto teplotou (přibližně teplotou rekrystalizace) dochází k regeneraci deformovaných zrn a jedná se o tváření za tepla, případně za poloohřevu. Pod ní naopak k tváření za studena. [1]

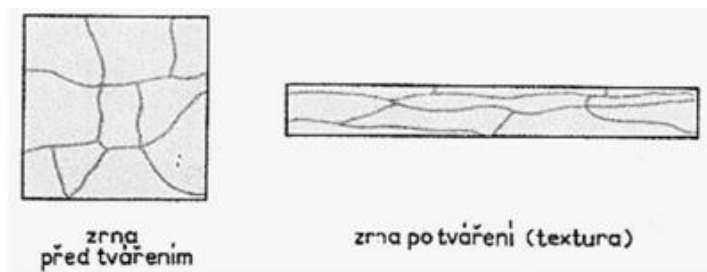
Tváření za studena

Jak již bylo zmíněno, jedná se o tváření pod rekrystalizační teplotou ($< 0,3 T_i$). Dochází ke zpevňování materiálu a k nárstu odporu proti dalšímu tváření až do úplného vyčerpání plastičnosti materiálu. Vyčerpání plastičnosti je možné řešit zahřátím kovu, které obnoví deformační schopnosti materiálu. [1] [2] [3]

Zrna se deformují ve směru tváření. Vytváří se textura viz [Obr. 2], dochází ke zvýšení pevnosti, tvrdosti a meze kluzu. Klesá vrubová houževnatost, tažnost a odolnost proti korozi. Při tváření za studena dosahujeme vysokých přesností a kvalitního povrchu bez okují. U tváření za studena jsou nutné vyšší tvářecí síly než u tváření za tepla nebo za poloohřevu. [1] [2]



[Obr. 1] Změna mechanických vlastností v závislosti na stupni deformace [1]



[Obr. 2] Změna tvaru zrna v důsledku tváření [2]

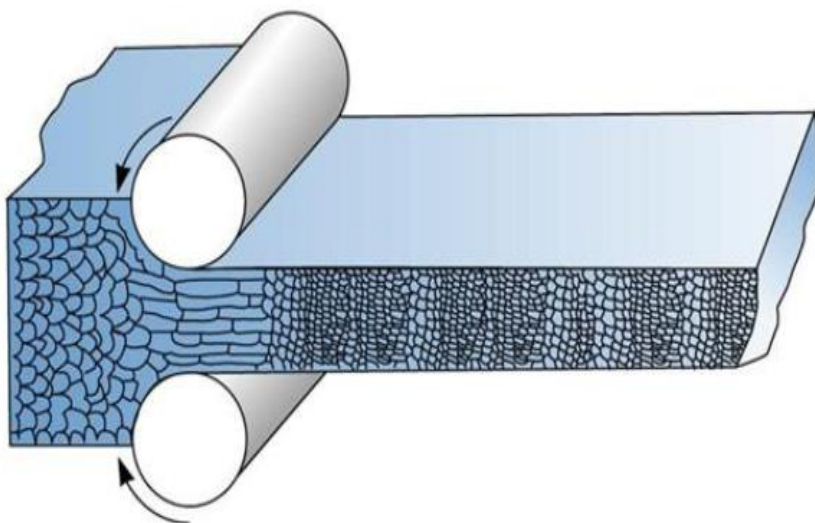
Tváření za poloohřevu

Jedná se o kompromis mezi tvářením za studena a tvářením za tepla. Oproti tvářením za studena dochází ke zlepšení přetvárných vlastností a oproti tvářením za tepla se zlepšují mechanické a fyzikální vlastnosti. Dochází ke zlepšení přesnosti a jakosti povrchu. Horní teplota, pro tvářením za poloohřevu je omezena oxidací povrchu. [1] [3]

Tváření za tepla

Tváření za tepla probíhá nad rekrytalizační teplotou ($>0,7 T_r$) daného materiálu. Rychlost rekrytalizace je tak vysoká, že nedochází ke zpevňování materiálu. Zpevnění mizí již v průběhu tvářením nebo bezprostředně po něm viz [Obr. 3].

Čím vyšší je teplota, tím snazší je tvářením, ale ohřevem na vyšší teplotu hrubnou krystaly oceli. Počet ohřátí by měl být, pokud možno co nejmenší, protože každým ohřevem materiál ztrácí opalem až asi 3 % objemu materiálu. Okysličený povrch materiálu se při tvářením odlupuje v šupinách, které se nazývají okuje. Hrubnutí zrn a oxidace povrchu mohou způsobovat hlavně z hlediska kvality v dalších technologických postupech problémy. Pro tvářením za tepla jsou tvářecí síly oproti tvářením za studena menší až desetkrát. Proces tvářením za tepla je poměrně nákladný a zdoluhavý (oproti tvářením za studena), dochází však k odstranění trhlin, bublin atd. [1] [2] [3]



[Obr. 3] Rekrytalizace při tvářením za tepla [4]

2.2 Rozdělení z hlediska deformace

Tváření se z hlediska deformace dělí dle toho, zda body tvářeného tělesa leží v jednotlivých rovinách, zůstanou v těchto rovinách, nebo se dostanou do roviny jiné. Dle tohoto principu rozděluje na [5]:

Tváření objemové

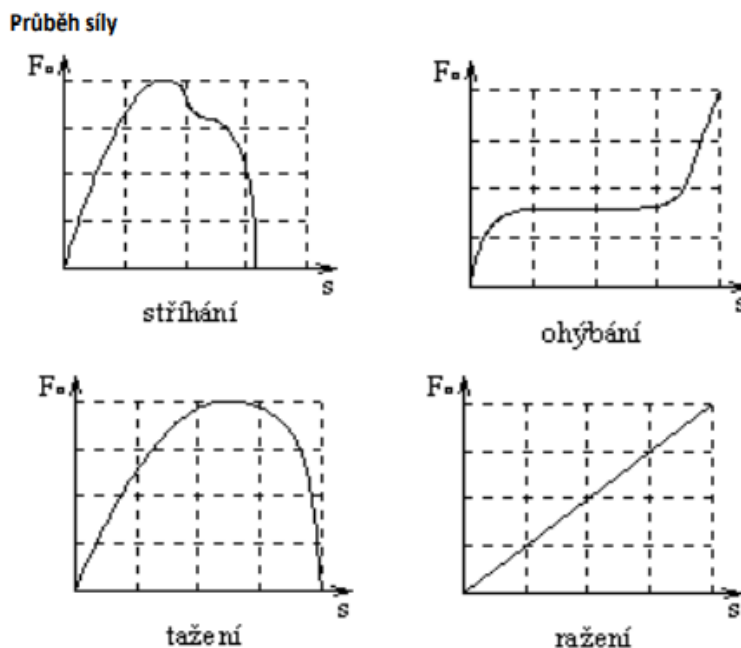
Jedná se o tváření, při kterém nastává deformace ve všech třech směrech vzhledem k souřadnému systému. Při tomto druhu tváření se značně mění průřez tvářeného polotovaru, a tím pádem se tedy i zvyšuje poměr průřezu k objemu. Typicky používanými polotovary mohou být například tyče nebo ingoty. Do objemového tváření patří například válcování, tažení, protlačování nebo kování. [1]

Tváření plošné

Při plošném tváření jsou deformace primárně ve dvou směrech, v jednom směru je změna rozměru zanedbatelná. Průřez polotovaru se tedy nemění. Typickým polotovarem pro plošné tváření je např. plech nebo součásti z plechu. Do plošného tváření patří například tažení, ohýbání, stříhání. [1]

2.3 Rozdělení z hlediska tvářecích strojů

Tvářecí stroje do procesu vnášejí sílu, podle které dělíme tvářecí pochody na stříhání, ohýbání, tažení a ražení, kování nebo válcování. Na [Obr. 4] můžeme vidět, závislost síly na dráze nástroje při těchto jednotlivých operacích. [5]



[Obr. 4] Průběh síly a dráhy nástroje v závislosti na technologii [5]

2.4 Dělení tvářecích strojů

Základní dělení tvářecích strojů může být na stroje s přímočarým pohybem, nástroje nebo stroje s rotačním a obecným pohybem nástroje. Dále pak stroje silové, zdvihové nebo energetické. Za silové jsou považovány lisy, za energetické buchary. Tvářecí stroje zdvihové mohou být lisy i buchary. Další dělení pak může být následující [5]:

2.4.1 Podle druhu mechanismu

- mechanické lisy
- hydraulické lisy
- pneumatické lisy

2.4.2 Podle druhu technologického určení

- pro plošné tváření
- pro objemové tváření
- Pro stříhání a dělení

2.4.3 Pole pracovního rozsahu

- jednoúčelové
- univerzální
- speciální

2.5 Princip tváření

Tváření je výrobní proces, jímž se záměrně mění jak vlastnosti, tak tvar výchozího polotovaru, a to bez odběru třísek. Je založeno na vlastnosti kovů snášet velké plastické deformace bez porušení soudržnosti, tedy na jejich tvářitelnosti. [1]

Plastická deformace je v podstatě pohyb jednotlivých atomů tvářeného kovu vůči sobě a mechanismus vzniku plastické deformace je možné vysvětlit na základě pohybu a vzniku mřížkových poruch. Stavba krystalové mřížky není v reálných kovech dokonalá. Podle velikosti a tvaru krystalografické neuspořádanosti atomů rozeznáváme následující mřížkové poruchy. [1]

- bodové (vakance, interstice, substituce),
- čárové (hranové, šroubové a kombinované),
- plošné (vrstevné vady, hranice zrn, subzrn, dvojčatní),
- prostorové (hranice krystalů, vměstky, amorfní částice, apod.).

Z hlediska teorie plastických přetvoření mají největší vliv a význam čárové poruchy (dislokace). Jsou to poruchy, které se projevují vysunutím atomů z pravidelných poloh krystalové mřížky, a které se mohou pohybovat, mohou vznikat a zanikat. Dislokace jsou buď hranové nebo šroubové, resp. kombinované. Hustota dislokací ovlivňuje pevnost kovu. Tvářením se počet dislokací zvyšuje a tím se zvyšuje i odpor vůči deformaci, čímž dochází ke zpevnování tvářeného materiálu.

[1]

Pohyby dislokací:

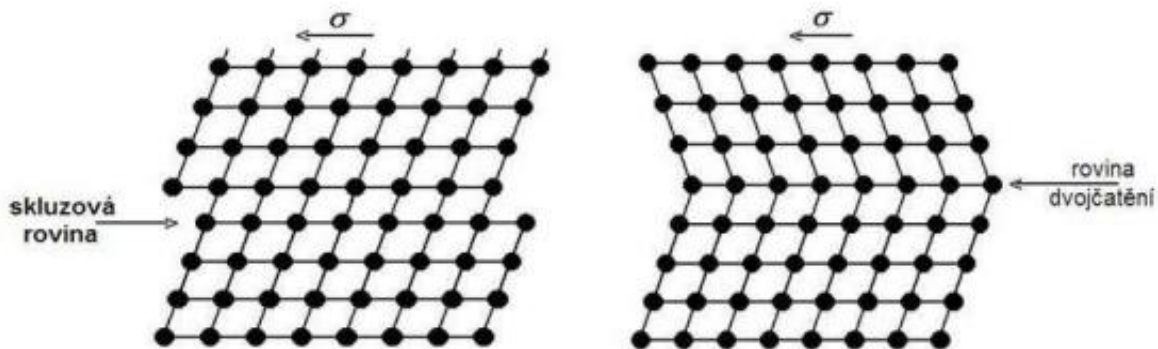
Plastická deformace se tedy odehrává pomocí pohybů dislokací, proto není nutné překonávat vazebné síly mezi atomy na celé skluzové rovině, ale vždy pouze v jedné řadě. Rozeznáváme dva základní mechanismy pohybu dislokací. [6] [7]

Dvojčatění

Dislokace se pohybují vždy o část mřížkového parametru a vytvoří zrcadlově symetrickou oblast vzhledem k neposunuté části viz [Obr. 5] vzniklá rovina symetrie se nazývá rovina dvojčatění. Ke dvojčatění dochází převážně za vyšších rychlostí.

Skluz

Jedná se o pohyb dislokací, kde se dislokační čára posune vždy o jeden mřížkový parametr viz [Obr. 5]. Narazí-li na překážku, materiál zpevní a ukotvená dislokace brání dalším dislokacím v pohybu.



[Obr. 5] dislokace skluzu a dvojčatěním [20]

2.6 Tvářitelnost

Tvářitelnost kovů a slitin je schopnost materiálu trvale a bez porušení měnit tvar za daných technologických podmínek. Závisí na metalurgických a mechanických vlastnostech, ale také zejména na teplotním rozsahu, ve kterém tváření probíhá. Dále závisí na reakci povrchu s okolním prostředím. Vzniklé produkty mohou významně ovlivnit tření, a tedy i tvářitelnost. [8]

Metalurgické faktory

Jedním z metalurgických faktorů je krystalická struktura. Zde je tvářitelnost podmíněna počtem kluzových rovin a směrů, kde nejlepší tvářitelnost vzniká u kovů s krychlovou, plošně středěnou mřížkou. Nejnižší tvářitelnost je u materiálu s šesterečnou těsně uspořádanou mřížkou. Vliv krystalické struktury je možné snížit legováním. Tyto materiály je pak možné tvářet za vyšších teplot, než čistý kov. Dále je nutné uvést, že s klesající velikostí zrna se tažnost, a tedy i tvářitelnost zlepšuje. Jemnozrnné materiály mají vždy lepší tvářitelnost než hrubozrnné. V neposlední řadě je tvářitelnost ovlivněna počtem přítomných fází. Jednofázové slitiny se snadněji tváří než vícefázové slitiny. [8]

Mechanické faktory

Mezi mechanické faktory patří rychlost a velikost deformace. Vyšší rychlost deformace u vícefázových a hrubozrnných kovů a slitin vždy snižuje jejich tvářitelnost. Další hlavním faktorem je stav napjatosti, který zásadním způsobem ovlivňuje tvářitelnost materiálů. S rostoucím podílem tahových složek napětí se zvyšuje náchylnost materiálu ke křehkému, převážně interkrystalickému lomu. Tento vliv je podstatně výraznější než v případě jeho vlivu na velikost přetvárného odporu. [8]

Technologické faktory

Mezi technologické faktory, které ovlivňují tvářitelnost patří v první řadě rozmezí tvářecích teplot. Dolní hranice této teploty je omezena teplotou rekrystalizace. Při poklesu pod dolní hranici hrozí nebezpečí vzniku trhlin. Při překročení horní hranice dochází k nežádoucímu hrubnutí zrna, k nadměrné oxidaci a k možnosti vzniku dalších fází. Dalším faktorem ovlivňující tvářitelnost je tvářecí zařízení. Konkrétně se jedná o tuhost stroje, doba silového styku, rychlost beranu atd. V neposlední řadě tvářitelnost ovlivňuje také způsob ohřevu, typ pece, druh atmosféry nebo rychlost ohřevu. [8]

Hodnocení tvářitelnosti

Mezi základní mechanické zkoušky při dané teplotě patří zkouška tahem, tlakem, krutem, rázová zkouška nebo zkouška ohybem. Mezi technologické zkoušky patří zkouška lámavosti za studena, petchování, navíjení, kroucení, ohýbání, děrování nebo zkouška hloubením apod.

Základem je zkouška tahem, která se provádí podle podmínek popsaných v normě ČSN EN ISO 6892-1. Základními parametry zjišťovanými zkouškou tahem jsou mez pevnosti a mez kluzu. U meze kluzu platí, že čím nižší jsou tyto hodnoty, tím je tvářitelnost lepší, jelikož dříve dojde k plastické deformaci poté, co začne na materiál působit napětí. Dalším důležitým parametrem je tažnost, kde se se zvyšující tažností materiálu zlepšuje jeho tvářitelnost. Dále se vyhodnocuje například kontrakce, poměr meze kluzu k mezi pevností, součinitel plastické anizotropie a exponent deformačního zpevnění. Tyto parametry jsou také definované normami.

Technologickou tvářitelnost posuzujeme podle velikosti přetvárné síly, max. stupně přetvoření, trvanlivosti, výrobních nákladů, nebo i plastického chování materiálu. Tyto vlastnosti se zjišťují různými technologickými zkouškami, jako je zkouška lámavosti, ohýbatelnosti nebo zkouška hlubokotažnosti dle Erichsena, atd. [8]

3 Technologie stříhání

S ohledem na zaměření práce se budu věnovat pouze vybraným technologiím tváření, se zaměřením především na technologii stříhání.

Technologie stříhání je nejrozšířenější operací tváření. Používá se nejen při tvorbě nástřihů z plechů, ale i při stříhání profilů a přípravě polotovarů. Dále se používá při vystřihování hotových součástí pro konečné využití nebo jako pomocná operace pro další technologie. Pod pojmem stříhání rozumíme oddělování částí materiálu smykovým působením dvojice nástrojů (nožů, nebo střižníku a střižnice) podél křivky stříhu. [9]

Technologii stříhání je možné dělit podle několika dalších hledisek. Stříhání se může dělit na technologii objemového stříhání, kam spadá například stříhání trubek a tyčí a technologii plošného stříhání, pod kterou spadá stříhání především plechů. Dle teploty dělíme technologii primárně na stříhání za tepla a za studena. Dle konstrukce střižníku na stříhání s rovnoběžnými, jednostranně skloněnými, oboustranně skloněnými nebo kotoučovými noži.

Přehled názvosloví a základních střižných operací je uveden např. v normě ČSN 22 6001, která klasifikuje střižné operace na prosté stříhání, děrování, vystřihování, prosekávání, ostřihování, přistřihování, protrhování nebo například přesné stříhání. [10]

Princip stříhání spočívá v oddělování částic materiálu smykovým působením dvojice nástrojů podél křivky stříhu [9]. Průběh stříhání materiálu začíná dosednutím nástroje na stříhaný materiál a končí oddělením materiálu. K oddělení materiálu však dojde ještě před tím, než projde střižník celou tloušťkou stříhaného materiálu, z toho důvodu nejsou okraje střižných ploch zcela rovné. Průběh mezi těmito stavy je možné rozdělit do tří fází. [10] [11]

1. fáze – pružná deformace

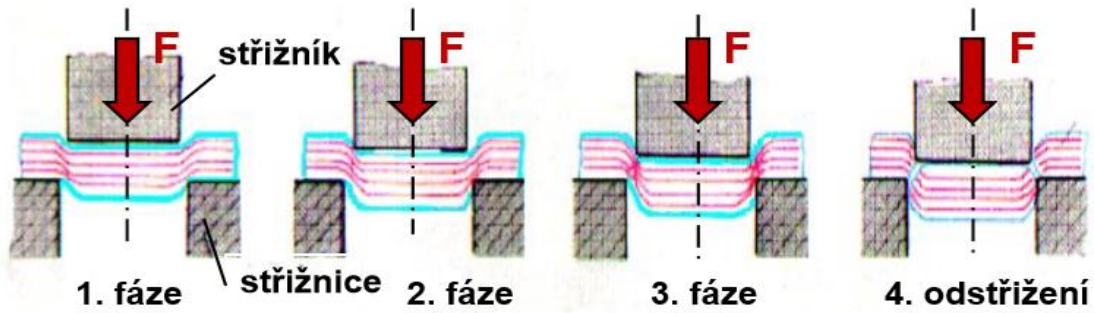
V první fázi viz [Obr.6] dochází k pružné deformaci, kdy se stříhaný materiál stlačuje a ohýbá a napětí v kovu nepřesahuje mez úměrnosti. Hloubka vniku střižníku je závislá na mechanických vlastnostech materiálu a pohybuje se v rozmezí 5-8 % jeho tloušťky. Stříhaný materiál je namáhán silou, která působí v ploše mezi obvodem střižníkem a střižnicí. V důsledku toho dochází v rovinách, které jsou kolmé ke střižným plochám, ke vzniku silových dvojic, které působí na stříhaný materiál ohybovou deformaci. [10] [9]

2. fáze – trvalá deformace

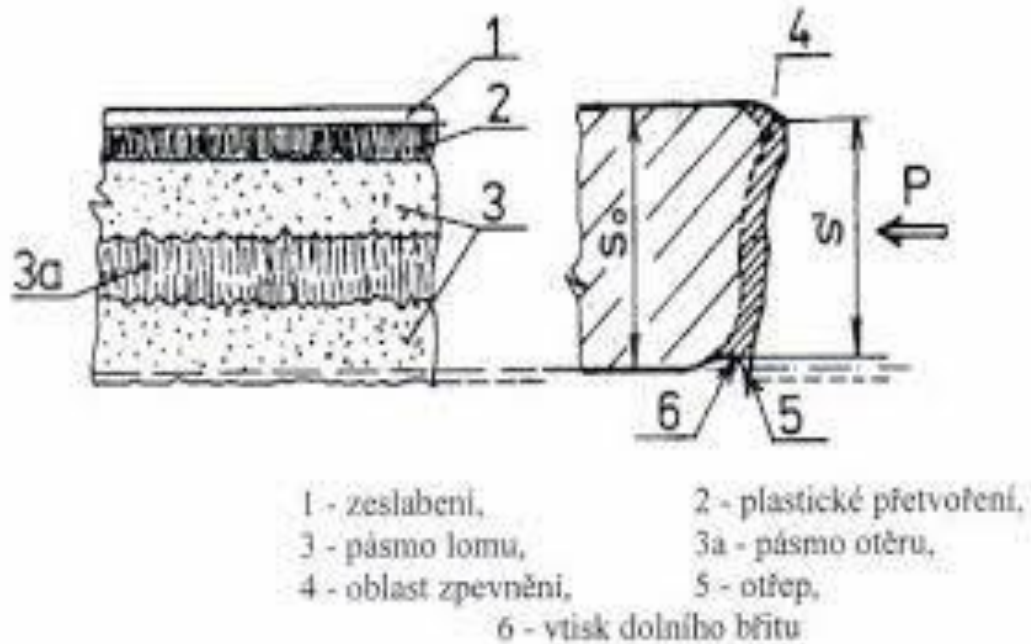
V první fázi viz [Obr.6] napětí narůstá přes mez kluzu stříhaného materiálu a dochází k jeho trvalým deformacím. V této fázi bývá hloubka vniku do materiálu 10-25 % z jeho celkové tloušťky a je stejně jako v první fázi závislá na mechanických vlastnostech tohoto stříhaného materiálu. Zpravidla mají pevnější materiály nižší procento vniku než materiály houževnatější. [10] [9]

3. fáze – nastřížení materiálu

Ve třetí fázi stříhu je stříhaný materiál namáhán nad mezí pevnosti ve stříhu ($\tau_s = 0,8 \sigma_t$). Na hranách střížníku a střížnice začínají vznikat nejdříve mikroskopické a následně makroskopické trhliny, jejichž tvorba je podporována napjatostí ve stříhaných vláknech materiálu. Tyto vzniklé trhliny se následně rychle zvětšují až do doby, kdy dojde k oddělení (usmýknutí) stříhaného materiálu. Rychlost vzniku a postupu zmíněných trhlin je závislá stejně jako ve všech předchozích fázích zejména na mechanických vlastnostech materiálu, dále ale také z velké části na velikosti střížné vůle. U tvrdších, křehčích materiálů je proces oddělení materiálu téměř okamžitý. U měkčích, houževnatějších materiálů probíhá vznik a šíření trhlin, a tedy i k celkovému oddělení materiálu pomaleji. [10] [9]



[Obr. 6] Fáze stříhání [12]

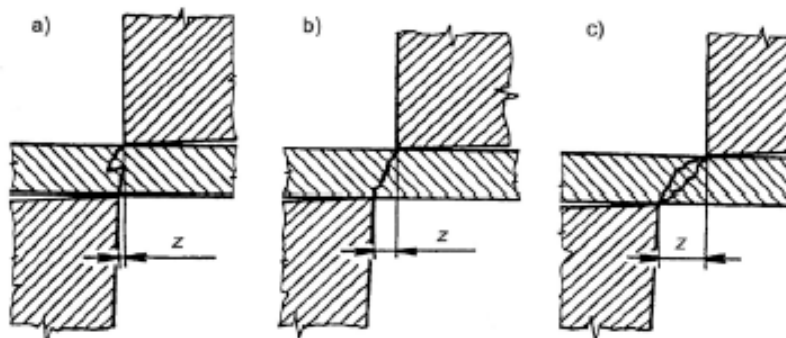


[Obr. 7] Vzhled střížné hrany [13]

3.1 Střížná vůle

Střížná vůle je rozdíl rozměrů pracovní části střížníku a střížnice. Jednostranný rozdíl ($v/2$) vytváří střížnou mezeru. Na správné velikosti střížné mezery závisí kvalita a jakost stříhu, životnost nástroje, velikost střížné síly, spotřeba energie apod. Střížná mezeru musí být naprosto stejná a rovnoměrná na všech místech střížné křivky stříhu. Při nestejném rozložení střížné vůle (proměnné střížné mezery) po délce střížné hrany stříhaného materiálu vznikají povrchové vady, ostřiny a střížná plocha je nekvalitní. [10]

Na [Obr. 8] je znázorněno, jak správné nastavení vůle zaručuje setkání trhlín, a tím je zaručeno správné usmýknutí stříhaného materiálu. Příliš velká střížná vůle způsobuje ohyb stříhané součásti a na střížné hraně se tvoří sekundární prasklina znázorněna na [Obr. 8c], příliš malá vůle [Obr. 8a] způsobuje vznik přestřížených nebo ohlazených prstenců. V obou případech dochází k velkému nárůstu střížné síly. Velikost střížných mezer popisuje norma ČSN 22 6015. [10]



Obr. 3.1 Vliv střížné mezery z na kvalitu střížné plochy (a – malá střížná mezeru, b – optimální střížná mezeru, c – velká střížná mezeru)

[Obr. 8]: Vliv střížné vůle [13]

Velikost střížné vůle závisí na mechanických vlastnostech a tloušťce stříhaného materiálu. Optimální střížná mezeru je taková, při které je dosažena kvalitní střížná plocha, za použití co nejmenší střížné síly. Velikost střížné mezery (vůle) se pohybuje v rozmezí 3-20 % tloušťky plechu. Při jednostranném stříhání v nástrojích bez přidržovače stříhaného materiálu se doporučuje velikost střížné mezery v rozmezí 1-3 %. Z ekonomického hlediska je vhodné vůli s ohledem na budoucí potřeby volit co nejmenší. [9]

Střížnou vůli pro konkrétní materiál o konkrétní tloušťce je možné zvolit podle hodnot, které se udávají buď v grafické formě viz [Obr. 9], ve formě tabulky viz [Tab. 1] nebo je možné zjistit optimální střížnou mezeru formou výpočtu. Formu výpočtu popisuje norma ČSN 22 6015, která stanovuje velikost střížné mezery pro materiály o tloušťce do 3 mm a nad 3 mm. [9]

pro materiál tloušťky $s \leq 3 \text{ mm}$

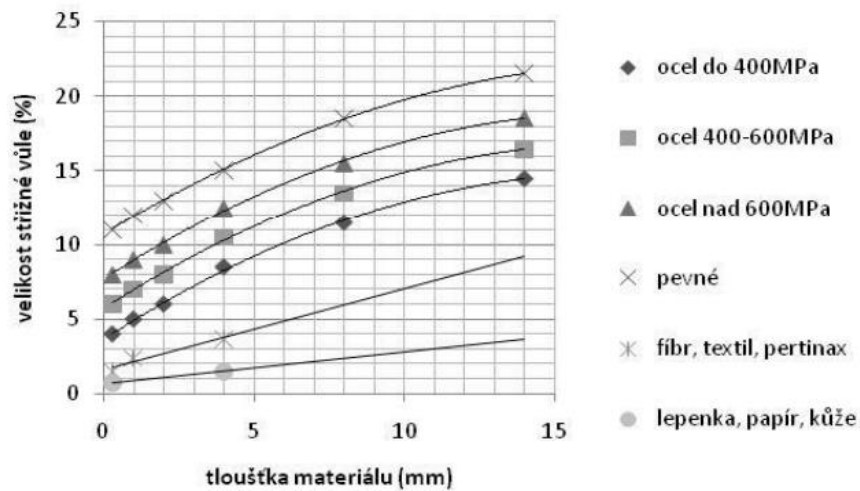
$$\frac{v}{2} = 0,32 * c * s * \sqrt{\tau_m} \text{ [mm]} \quad (2.1)$$

a pro materiály tloušťky $s > 3 \text{ mm}$

$$\frac{v}{2} = 0,32 * (1,5 * c * s - 0,015) * \sqrt{\tau_m} \text{ [mm]} \quad (2.2)$$

kde

- koeficient závislý na druhu stříhání $c = 0,005 \div 0,035$
 $c = 0,005$ pro dosažení kvalitního povrchu
 $c = 0,035$ pro dosažení minimální střížné síly
- τ_m pevnost ve stříhu stříhaného materiálu [MPa]
- S – tloušťka plechu



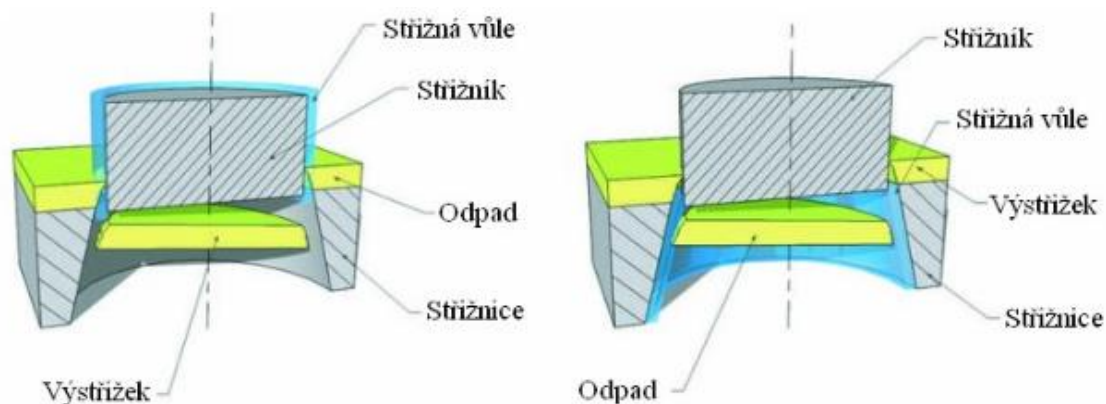
[Obr. 9] Velikost střížné vůle v závislosti na tloušťce materiálu a mechanických vlastnostech [14]

Stříhaný materiál	Střížná vůle (%)s	
	do 2,5 mm	2,5-6 mm
ocel měkká	5	7-8
ocel středně tvrdá	6	6-8
ocel tvrdá	7-9	7-10
hliník	4-7	5-9
dural	7-8	7-10
měď měkká	4-5	5-6
měď polotvrdá a tvrdá	6-7	6-7
mosaz měkká	4-5	4-6
mosaz polotvrdá a tvrdá	5-6	5-7
papír, lepenka	2-3	3
fibr, textil	2-4	-

[Tab. 1]: Závislost tloušťky a tvrdosti materiálu na zvolené vůli [14]

3.2 Rozměry nástrojů v závislosti na vůli

Velikost střížné mezery se určuje na úkor střížníku nebo střížnice v závislosti na požadovaném rozměru finálního výstrižku. V případě děrování přesného otvoru se volí střížná mezera zvětšením rozměru střížnice. V případě stříhání vnějšího obvodu, se střížná mezera volí na úkor střížníku viz [Obr. 9]. [10]



[Obr.10] Schéma střížné vůle [10]

3.3 Výpočet střížné síly a práce

Střížná síla je vyvozena prostřednictvím výrobního zařízení. Nejčastěji je to prostřednictvím lisu, který vyvozuje sílu a silové reakce jsou vyvolávány odporem střížného materiálu. Veškeré silové poměry, a tedy i nároky na lis se odvíjí primárně od stříhaného materiálu, respektive jeho střížného odporu.

Aby bylo možné vytvořit ideální návrh technologického postupu je důležitá znalost střížných sil, které vznikají působením střížníku a střížnice. Střížná síla ovlivňuje návrh nástrojů a volbu výrobního zařízení. V každém okamžiku střížného procesu je střížná síla dána součinitelem střížného odporu. V reálných podmínkách dochází ke kombinovanému namáhání. Z tohoto důvodu se síla uvažuje o 20–50 % větší než síla při čistém smyku. [9]

Při stříhání měkkých, houževnatých materiálů dochází v průběhu stříhu ke zpevnování stříhaného materiálu a z toho důvodu roste střížný odpor a střížná síla. Tento růst nastává při překročení meze kluzu a pokračuje až do dosažení meze pevnosti stříhaného materiálu. Křehké materiály se oproti houževnatým zpravidla poruší již při nepatrném vniknutí střížníku do materiálu. [10]

Síly působící na stříhadla

Jak již bylo zmíněno, nástroj je složený ze střížníku a střížnice. Vzájemným pohybem těchto dvou částí dochází k postupnému vnikání do stříhaného materiálu. V průběhu deformace začíná stříhaný materiál klást odpor, který je z teorie napjatosti definován pro každý materiál. Dle volby hypotézy (Tresca resp. HMM), je možné vypočítat mez pevnosti materiálu ve smyku dle vzorce [14]:

$$\tau = \frac{R_m}{0,5} \quad (2.1)$$

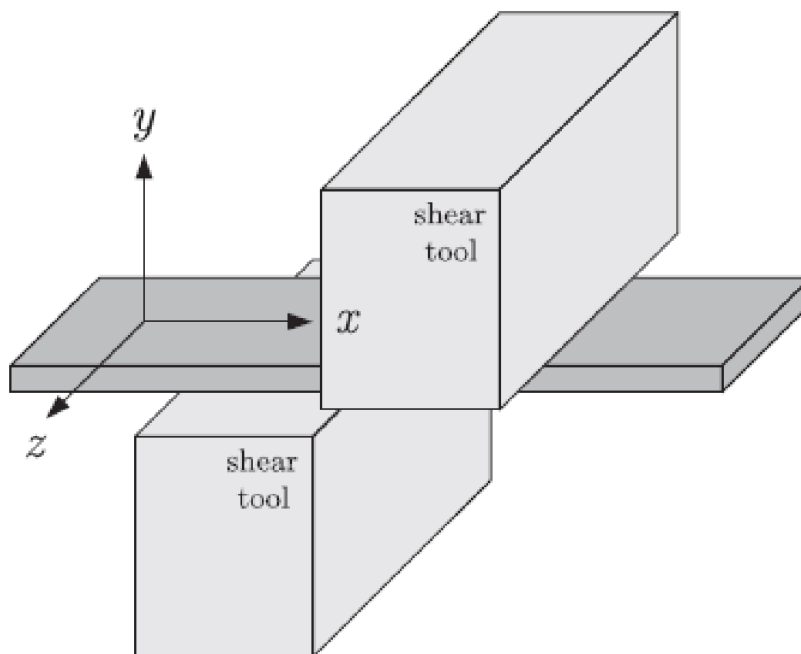
Resp.

$$\tau = \frac{R_m}{(3)^{\frac{1}{2}}} \cong \frac{R_m}{0,58} \quad (2.2)$$

Zde se však jedná o hodnotu platící pouze za předpokladu, že je součást zatěžována pouze čistým smykem. V reálných podmínkách dochází vstupem různých faktorů ke kombinovanému namáhání. Jedním z výraznějších faktorů může být střížná vůle, která vždy část smykového namáhání transformuje na namáhání ohybové. Další faktory ovlivňující toto namáhání jsou například „nenulový“ rádius na střížné hraně střížníku a střížnice nebo třecí síly vznikající mezi stříhadly a stříhaným materiálem. Z těchto důvodů je odpor, který materiál při stříhání klade jiný, než je mez pevnosti materiálu ve smyku.

Orientační vztahy

Pro výpočet střížné síly s teoretickou přesností existují jednoduché vztahy, které bývají odvozeny na základě teoretických a empiricky odvozených znalostí. Tyto vztahy pro výpočty střížné síly se běžně vyskytují v literatuře zabývající se střížným procesem. Tyto vztahy jsou však orientační a často se od sebe mohou zejména v rámci použitých koeficientů značně lišit. Často ani nezahrnují důležité vlivy, jako například síla vyvozena přidržovačem, kterou je nutné při stříhání překonat.



[Obr. 11] Souřadný systém střížného nástroje [15]

Přímý lineární stříh

Dle [11] se střížná síla v ose y stanoví z následujícího vztahu.

Střížná síla:

$$F_s = (1,1 \div 1,3) * O * s * \tau_s \quad (2.3)$$

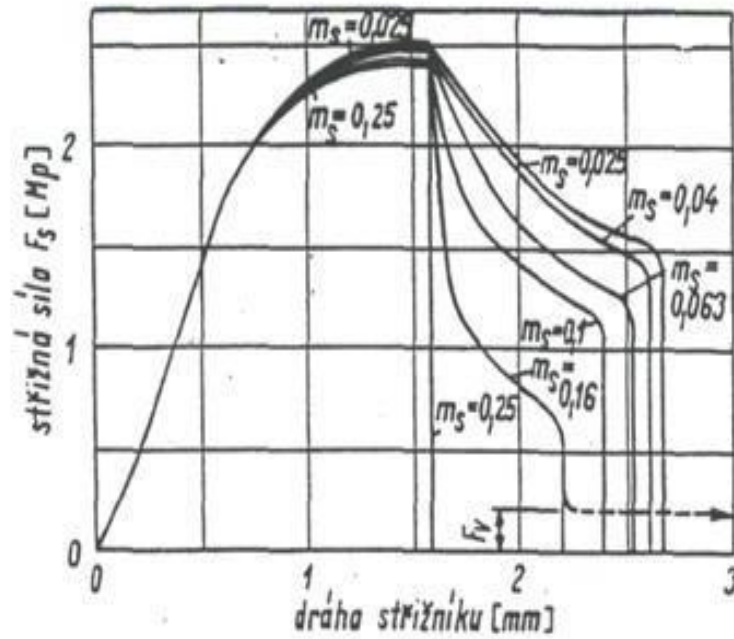
Kde s ... tloušťka plechu [mm]

b ... střížný obvod [mm]

τ ... napětí ve smyku, stříhová pevnost - $\tau_s = 0,8 * R_m$ [MPa]

S ... plocha průřezu ve střížné rovině - $S = O * s$ [mm²]

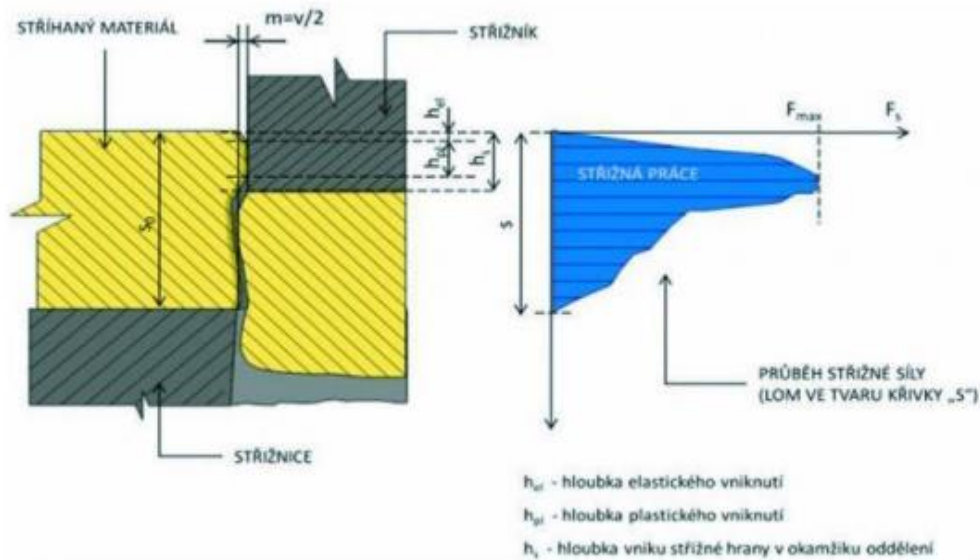
Smyková pevnost je hodnota závislá na poměrném vtažení nože do stříhaného materiálu, z toho důvodu nebude vzorec platit v plném rozsahu střížného procesu. Střížná síla se bude měnit od nuly až po určité maximum a zpět k nule viz [Obr. 12]



[Obr. 12]: průběh síly při stříhání s rovnoběžnými noži a ukázka vlivu střížné vůle na průběh střížné síly a práce [11]

Zvýšení střížné síly, které je zapříčiněno kombinovaným namáháním, je v tomto vzorci uvedeno koeficientem $1,1 \div 1,3$, tedy skutečná síla je zvýšená o 10-30 %.

Práce, která vzniká při procesu je vyjádřena jako plocha pod křivkou viz [Obr.13]. Stejně jako střížná síla je práce závislá na tloušťce materiálu a velikosti střížné vůle. [11]



[Obr. 13]: závislost průběhu střížné síly na poloze střížníku [10]

Práce:

$$A = F_s * k * z \quad (2.4)$$

Kde k ... koeficient zaplnění plochy pod křivkou
Z ... zdvih [mm]
 F_s ... střižná síla [N]

Střih se skloněnými noži

Pro výpočet střižné síly a práce pro střih se skloněnými noži platí analogický vzorec, který je vztažen na okamžitou plochu střihu. [11]

Střižná síla:

$$F_s = (1,1 \div 1,3) * s * b * \tau_s = (1,1 \div 1,3) * s^2 * \frac{\tau_s}{\operatorname{tg} \varphi} \quad (2.5)$$

Kde s ... tloušťka plechu [mm]
b ... délka střihu – $b = a / \operatorname{tg} j$
 φ ... úhel skonu ostří
 τ_s ... napětí ve smyku, $\tau_s = 0,8 R_m$ [MPa]

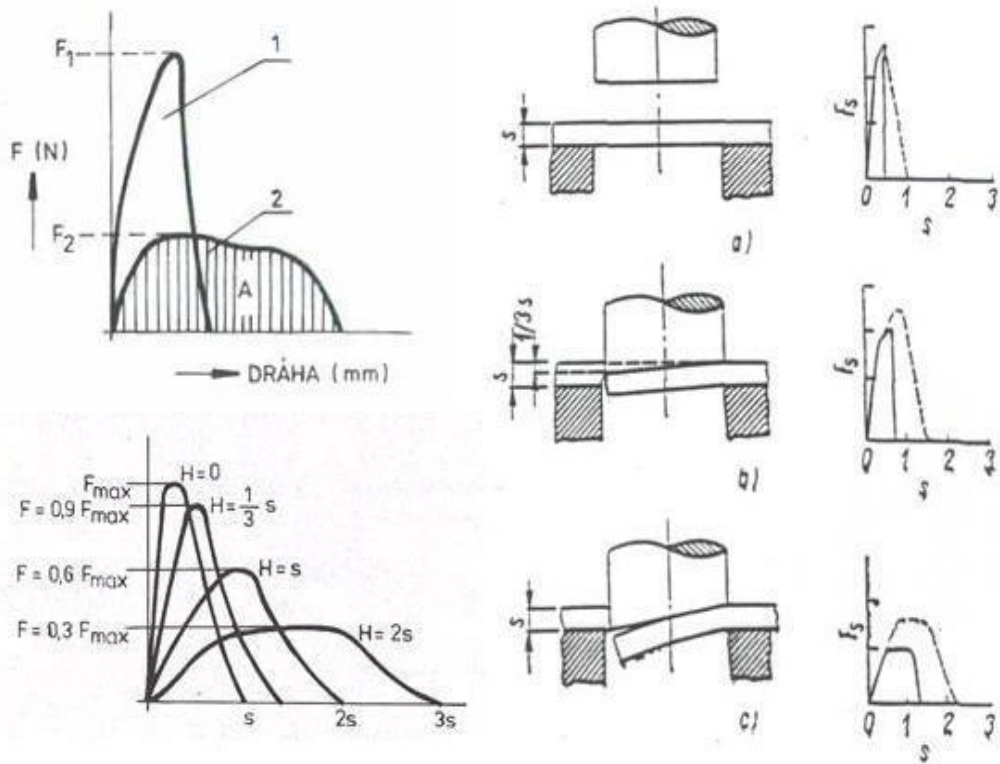
Střižná práce:

$$A = F_s * k * z = F_s * k * b * \operatorname{tg} \varphi \quad (2.6)$$

Kde k ... koeficient zaplnění plochy pod křivkou
Z ... zdvih [mm]
 F_s ... střižná síla

Vypočtená síla, která vznikne po záběru nože v celé tloušťce stříhaného materiálu zůstává konstantní. Síla začíná postupně klesat na nulu, až když nůž odchází ze záběru.

Potřebná práce je stejně jako u střihu s rovnoběžnými noži určena z plochy pod křivkou. Z [Obr. 14] je jasně patrné, že stříhání se šikmými noži je z hlediska síly výrazně výhodnější, jelikož je pro stejnou tloušťku materiálu podstatně nižší. Tento pokles potřebné střižné síly je však na úkor zvětšení délky dráhy nástroje. Oproti stříhání s rovnými noži je však střih plynulejší s výrazně nižšími rázy. [11]



Obr. [14]: Porovnání průběhu střižné síly a velikosti práce při stříhání rovnými, šikmými noži a vlivu úhlu zešikmení. [11]

3.4 Přesnost a jakost povrchu výstřižků a vystřihovaných otvorů

Přesnosti součástí vyrobených technologií stříháním je závislá na několika faktorech. Mezi faktory, které mají vliv na přesnost můžeme uvést například vlastnosti stříhaného materiálu, takt stroje, způsob zajištění materiálu při stříhání, použití přídržovačů nebo v neposlední řadě přesnost a stav střížné hrany střížníku a střížnice. [10] [13]

Uváděné výrobní tolerance IT vystřihovaného výrobku a výrobní tolerance IT střížníku a střížnice můžeme vyčíst z [Tab. 2].

Základní výrobní tolerance IT stříhaného výrobku	8 ÷ 9	10	11	12	13	14	15
Základní výrobní tolerance IT střížníku a střížnice	5 ÷ 6	6 ÷ 7	7 ÷ 8	8 ÷ 9	10	11	12

[Tab. 2] Tolerance IT [9]

Stříhání dává nerovný a mírně zkosený, drsný povrch stříhu. Největší vliv na jakost povrchu stříhu má konstrukce a stav použitých stříhadel, velikost střížné mezery, stříhaný materiál a rychlost stříhání.

U běžných nástrojů a tlouštěk plechů do 1 mm je možné u střížné plochy dosáhnout standardně $R_a = (3,2 \div 6,3) \mu\text{m}$, u plechů tlustších než 1 mm je to pak $R_a = (6,3 \div 12,5) \mu\text{m}$, přičemž u tvrdých materiálů bývá drsnost střížné plochy vyšší než u materiálů měkkých a houževnatých. Jakost povrchu střížné plochy se také zvyšuje zvýšením rychlosti stříhání.

Drsnost povrchu pracovních částí stříhadel se doporučuje pro stříhání plechů do tloušťky 1 mm $R_a = (0,4 \div 0,8) \mu\text{m}$, pro stříhání plechů tlustších než 1 mm $R_a = (1,6 \div 3,2) \mu\text{m}$. [10] [9]

3.5 Technologičnost stříhání

Základem maximální hospodárnosti při výrobě dílů stříháním je správná volba technologičnosti konstrukce výstřižku. Výstřižek musí být účelný, výrobně jednoduchý a s minimálním množstvím nevyužitého materiálu. Dále je nutné brát na zřetel faktory vstupující do procesu. Zejména tedy usmýknutí střížné plochy, jakost povrchu, tloušťku a mechanické vlastnosti stříhaného materiálu včetně tolerancí, mechanicko-fyzikální vlastnosti funkčních ploch nástroje nebo výrobní možnosti použitých strojů. [10]

S ohledem na vstupující náklady do technologického postupu je nutné se prioritně zabývat spotřebou materiálu. Materiál tvoří ve většině případů 80-90 % z celkových nákladů, a proto je nutné věnovat se optimalizacím nástřihového plánu. Cílem optimalizace nástřihového plánu je uspořádání, popř. změna konstrukce výstřižku vedoucí k minimalizaci odpadu. [10]

4 Návrh testovacího přípravku

Cílem práce je navrhnout testovací přípravek, který bude sloužit k testování jednotlivých aspektů spojených s technologií stříhání. Ověřování vlivu těchto aspektů by mělo následně vést k získání nových poznatků, případně úpravě doposud používaných parametrů souvisejících s operací stříhání.

Jednotlivé aspekty jsou částečně popsány v teoretické části práce. Jedná se například o testování velikosti střížné síly v závislosti na střížné vůli, opotřebení nástroje (z toho vyplývající cykly přebušování a celková životnost nožů), rychlosti stříhu, a tedy i množství zpevnění vznikající v materiálu a mnoho dalších vlivů a závislostí, které vůči sobě mají.

Testovací přípravek se předpokládá uzpůsobit zejména pro testování nástrojů určených k příčnému dělení plechů. Tato operace je základem veškerých technologických postupů v automobilovém průmyslu při výrobě karoserií.

4.1 Požadavky

Od přípravku se očekává určitá flexibilita, která bude umožňovat změnu podmínek při stříhání a sledovat chování jednotlivých aspektů v průběhu stříhu. Na přípravku je nutné, aby bylo možné flexibilně měnit střížnou vůli. Dále se od přípravku požaduje tuhé a spolehlivé upínání nástroje. Při stříhu nesmí docházet k posuvu střížných segmentů nebo pohybu jiných komponent, které by mohly ovlivnit výsledky testování.

Je nutné, aby byl pro manipulaci s nástroji dostatečný pracovní prostor, aby bylo možné bez komplikací nastavovat a kontrolovat všechny důležité aspekty. Od zkušebního stroje se očekává přesnost vedení a schopnost kontrolovat sílu v závislosti na dráze.

4.2 Konstrukční návrh přípravku

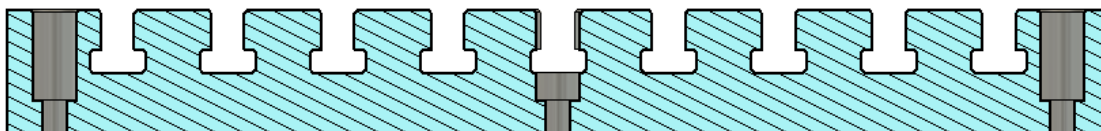
Základní koncepce přípravku vychází z desek, ke kterým se budou připevňovat jednotlivé segmenty pro upínání funkčních částí nástroje. Pomocí těchto desek se bude přípravek upínat ke zkušebnímu stroji.

Při návrhu střížného přípravku vzniká požadavek na co nejpřesnější a mechanicky nejvhodnější řešení všech komponent, aby při testování nástroje nevznikaly následkem vnějších vlivů nepřesnosti a výsledky přímo korelovaly pouze s testovaným nástrojem, a ne s přípravkem.

Pro konkrétní návrh byl zvolen referenční stroj o rozměrech stolu 600 x 400 mm. S ohledem na tuto velikost stolu se budou odvíjet vnější rozměry zkušebního přípravku. Konkrétní stříhaný materiál, použitý při dimenzování je volen do max. tloušťky 5 mm a max. meze pevnosti 600 MPa.

4.2.1 Horní upínací část

Pro upínání horní části nástroje (střížníku) k přípravku, bylo zvoleno řešení pomocí standardních T drážek, viz [Obr. 16], vyrobených dle ČSN 02 1030. [16] Upínací část je připevněna k základové desce osmi šrouby s válcovou hlavou M8 a čtyřmi kolíky Ø20mm o délce 90 mm. Zapuštění hlav šroubů bylo voleno tak, aby dva šrouby umístěny v drážkách, měly hlavu pod úroveň dna drážek viz [Obr 15]. Aplikace kolíků byla zvolena z důvodu přesného centrování a ustavení upínací desky k základové desce. U povrchu upínací desky je nutné při výrobě zaručit rovinnost a drsnost plochy, aby nedocházelo k ovlivňování testů z důvodu nepřesností na přípravku.



[Obr. 15] Řez upínací částí

Volba kolíku byla provedena na základě výpočtu maximální možné síly, která může vzniknout v ose x dle [Obr. 11]. Tento vztah je převzat z [17]. Pro výpočet je dle v praxi běžně používaných plechů uvažována maximální tloušťka materiálu 5 mm a mez pevnosti 600 MPa. Maximální délka střížné hrany je zvolena dle velikosti upínací plochy 350 mm.

Pro dimenzování kolíku je následně uveden výpočet maximální síly. Zde byly voleny vždy nejvyšší koeficienty a nejhorší možné případy. Dále je ve výpočtu uveden koeficient bezpečnosti, který je navrhnout z důvodu možnosti provedení testů na velmi tvrdých materiálech, které se běžně nestříhají. Uvažované kolíky jsou vyrobeny z materiálu 11 600. Spodní hranice dovoleného napětí v tahu je pro tuto ocel 150MPa.

Z následujícího vztahu zjistíme dovolenou mez pevnosti ve smyku. Zvolené šrouby jsou pouze jistící, a proto není nutné je dimenzovat. Síla v ose z je při stříhání rovnými noži zanedbatelná. Při stříhání šikmými noži s malým úhlem naklopení (do 2°), představuje tato síla max 3,5% síly v ose y [17]. Je tedy řádově nižší než síly jak v ose y, tak v ose x a nebude proto uvažována.

$$\tau_{ds} = 0,6 * \sigma_{dt} \quad (3.1)$$

$$\tau_{ds} = 0,6 * 150 = 90 \text{ MPa} \quad (3.2)$$

Pro lineární nástroj bez přidržovače:

Síla v ose y:

$$F_{sy} = (1,1 \div 1,3) * 0 * s * \tau_s \quad (3.3)$$

$$F_{sy} = 1,3 * 35 * 5 * 600 * 0,8 \quad (3.4)$$

$$F_{sy} = 109\,200 \text{ N} \quad (3.5)$$

Síla v ose x:

$$F_{sx} = (0,18 - 0,36) * F_{sy} \quad (3.6)$$

$$F_{sx} = 0,36 * 159\,250 \text{ kN} \quad (3.7)$$

$$F_{sx} = 39\,312 \text{ N} \quad (3.8)$$

V rámci rozložení šroubů byly zvoleny 4 kolíky.

Výpočet průměru kolíků

Z namáhání smykem:

$$\tau_s = \frac{F}{S} \leq \tau_{Ds} \quad (3.9)$$

Pro 4 kolíky:

$$\tau_s = \frac{F}{4 * S} \leq \tau_{Ds} \quad (3.10)$$

$$\tau_s = \frac{4F}{4 * \pi d^2} \leq \tau_{Ds} \quad (3.11)$$

$$d = \sqrt{\frac{4F}{4 * \pi * \frac{\tau_{Ds}}{k}}} = d = \sqrt{\frac{4 * 45\,864}{4 * \pi * \frac{90}{2}}} = 16,67 \text{ mm} \Rightarrow \varnothing 20 \text{ mm} \quad (3.12)$$

Volba drážek byla provedena na základě stejné síly, jako u volby kolíků. U výpočtu se uvažovalo, že je spoj mezi upínací deskou a základní deskou absolutně tuhý a veškeré boční síly jsou přenášeny mezi zkušebním nástrojem a přípravkem. Dle stejných výpočtů byly zvoleny drážky pro šrouby M10. Z této volby vyplývá, že každý nástrojový element, který bude mít délku stříhu 350 mm, bude muset být upnut alespoň osmi šrouby.

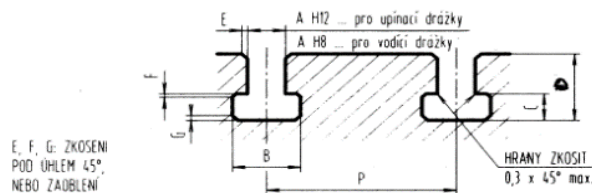
Materiálová jakost upínací desky

Z materiálového hlediska nejsou na upínací desku kladeny vysoké nároky. Jediným požadavkem je zachovat určitou tvrdost. Pro upínací desku byla zvolena konstrukční zušlechťená ocel 12 050. Jedná se o ocel, která po zušlechťení dosahuje tvrdosti $45 \div 48$ HRC při zachování pevnosti (až 790 MPa) a dobré houževnatosti. [18]

4.2.2 Spodní upínací deska

Spodní upínací část přípravku tvarově i rozměrově odpovídá desce horní. Jelikož jsou tyto dvě části identické, není nutné je od sebe rozlišovat. Jedná se taktéž o desku 350x400 mm s T drážkami pro šroub M10. Po obvodu jsou vyrobeny díry pro šrouby M8 a 4 díry pro kolík o $\varnothing 20$ mm. Zapuštění hlav šroubu je provedené stejně jako na horní upínací desce.

OBROBENÉ UPÍNACÍ DRÁŽKY T



Rozměry obroběných upínacích drážek T

Rozměry drážky										Rozteč drážek P			Šroub		
A	B		C		D		E	F	G	Rozteč drážek P	d	s ₂	k ₂		
	min.	max.	min.	max.	min.	max.	max.	max.	max.						
5	10	11	3,5	4,5	8	10	1	0,6	1	20-25-32	M4	9	3		
6	11	12,5	5	6	11	13	1	0,6	1	25-32-40	M5	10	4		
8	14,5	16	7	8	15	18	1	0,6	1	32-40-50	M6	13	6		
10	16	18	7	8	17	21	1	0,6	1	40-50-63	M8	15	6		
12	19	21	8	9	20	25	1	0,6	1	(40)-50-63-80	M10	18	7		
14	23	25	9	11	23	28	1,6	0,6	1,6	(50)-63-80-100	M12	22	8		
18	30	32	12	14	30	36	1,6	1	1,6	(63)-80-100-125	M16	28	10		
22	37	40	16	18	38	45	1,6	1	2,5	(80)-100-125-160	M20	34	14		
28	46	50	20	22	48	56	1,6	1	2,5	100-125-160-200	M24	43	18		
36	56	60	25	28	61	71	2,5	1	2,5	125-160-200-250	M30	53	23		
42	68	72	32	35	74	85	2,5	1,6	4	160-200-250-320	M36	64	28		
48	80	85	36	40	84	95	2,5	2	6	200-250-320-400	M42	75	32		
54	90	95	40	44	94	106	2,5	2	6	250-320-400-500	M48	85	36		

POZNÁMKY

- 1 V odůvodněných případech je možno použít jiné rozteče P, než udává tabulka, z řady R10 (R20);
2 Mezní úchytky roztečí drážek jsou uvedeny v následující tabulce:

Rozteč P	Úchytky
20 a 25	± 0,2
32 až 100	± 0,3
125 až 250	± 0,5
320 až 500	± 0,8

[Obr. 16] T drážky [16]

4.2.3 Horní základová deska

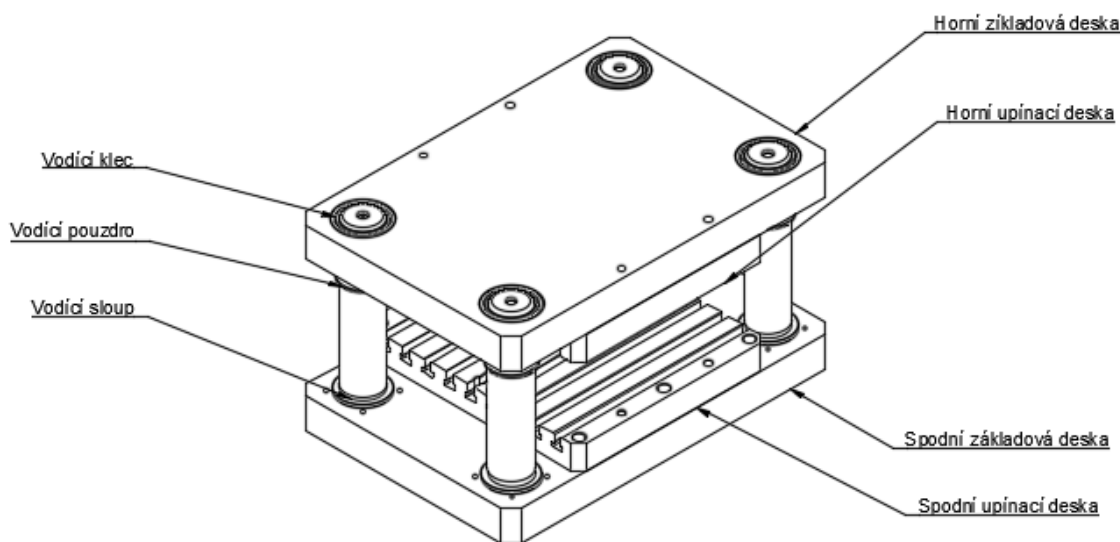
Základovou desku je nutno zejména z důvodu tuhosti navrhnout masivní. Při stříhu se počítá s excentrickým zatěžováním, vnikajícím při stříhu s jednostranně sešikmenými noži.

Díry pro kolíky musí být z důvodu snadné rozebíratelnosti a případné výměny upínací části průchozí.

U horní základové desky jsou vyhotoveny otvory pro vodící pouzdra o průměru 85 mm. Kolem každé z nich se nacházejí díry se závity M8 pro excentrické držáky pouzdra. Dále se na základové desce nachází 8 děr se závitem M8 pro přichycení upínací desky a dvě závitové díry pro přichycení T stopky.

4.2.4 Spodní základová deska

U spodní základové desky jsou vyrobeny díry pro vodící sloupky o průměru 63 mm, průchozí díry pro kolíky o průměru 20 mm, díry se závity M8 a díry pro excentrické držáky kolem vodících sloupů. U spodní základové desky je stejně jako u horní nutné dbát na tuhost a rovinnost. Vady v rovinnosti by se mohly odrazit na výsledcích testování.



[Obr. 17] Sestava střížného přípravku

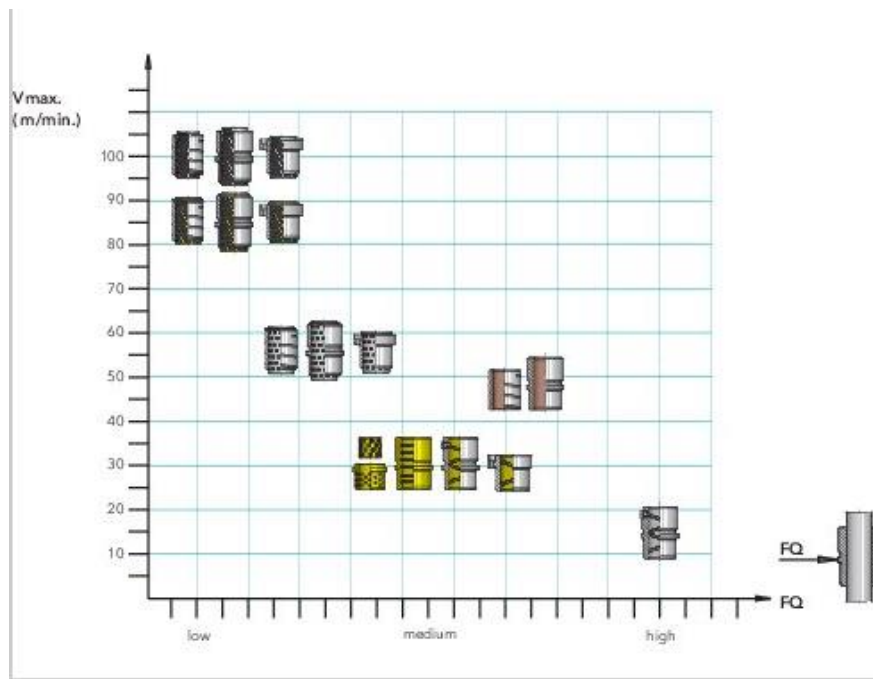
4.3 Volba a řešení použitých normálií

Jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách je u návrhu kladen velký důraz na minimalizaci ovlivnění testů z důvodu nedokonalosti (nedostatečné tuhosti či pevnosti) přípravku. Z tohoto důvodu je nutné opatřit střížný přípravek vodícími prvky. Tyto prvky zaručí přesné vedení zejména při větších rychlostech a při použití tvrdokovů. Jak víme z praxe, plechy běžně používané v automobilovém průmyslu mohou dosahovat v mezi pevnosti až 1200 MPa, z čehož vyplývají velké síly a při nepoužití vedení by mohlo docházet k vychylování střížné vŭle a zkreslování dalších parametrů u případného testování stříhání těchto materiálů.

4.3.1 Volba vedení

V zásadě se rozlišuje mezi kluzným a valivým vedením. Valivé vedení je přesné a pracuje téměř bez vŭle. Jakkoli ideální je valivé tření, má vždy nevýhodu v určitém vychýlení vedení. Tato nevýhoda se projevuje zejména u nástrojů s nepříznivou geometrií a rozložením sil. Tyto nedokonalosti jsou však možné eliminovat případným předimenzováním.

Kluzná vedení, bez ohledu na druh, se vyrábějí s určitou minimální tolerancí válcovitosti a kruhovitosti. Při správném párování je zaručena větší tuhost než u vedení valivého. U kluzného vedení však vždy může nastat možnost odtržení vrstvy maziva a s tím spojený přechod od kapalného k polosuchému a suchému tření. Této nedokonalosti není možné předejít ani například použitím tlakového mazání. [19]



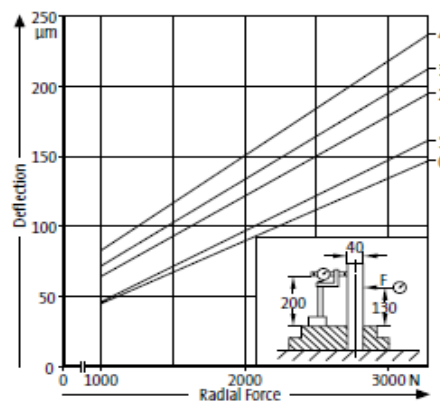
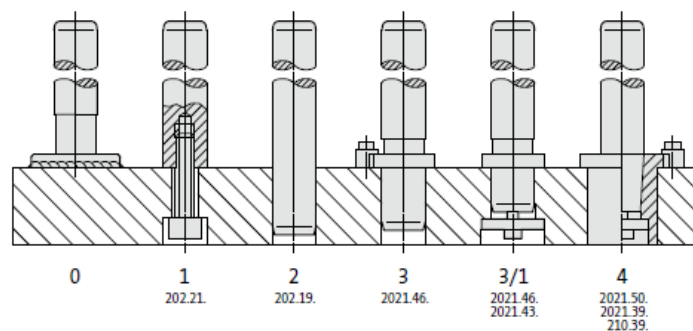
[Obr. 18] Závislost rychlosti a boční síly na volbě vedení [22]

Pro navrhovaný střížný přípravek bylo zvoleno vedení kuličkové. Dle informací od dodavatele je přesnější a odpadá zde problém s nedokonalým mazáním. Z [obr. 18] je možné vidět, že kuličkové vedení je vhodné pro větší rychlosti a menší síly. U přípravku se předpokládá, že bude vlivem excentrického zatěžování zejména při testování stříhu s jednostranně sešikmeným nožem docházet k nepříznivým bočním silám, u kterých by se mohlo zdát kluzné vedení výhodnější. Vliv těchto sil bude však řešen zvolením většího průměru vedení a jak bylo psáno v úvodu, eliminace tohoto problému vznikne předdimenzováním vodícího systému.

Konkrétní vedení zvolené u navrhovaného přípravku je od firmy Meuseburger. Vodící sloup byl zvolen E 5000_63x280, vodící klec E 5200_63x95 a pouzdro E 5100_63x55_20. Vodící sloup i pouzdro jsou osazeny přírubou, sloužící k zajištění prvků k základovým deskám. Tato sestava vodících prvků by měla zajistit dostatečně přesné vedení i v případě působení značných bočních sil.

4.3.2 Uchytení vedení k základové desce

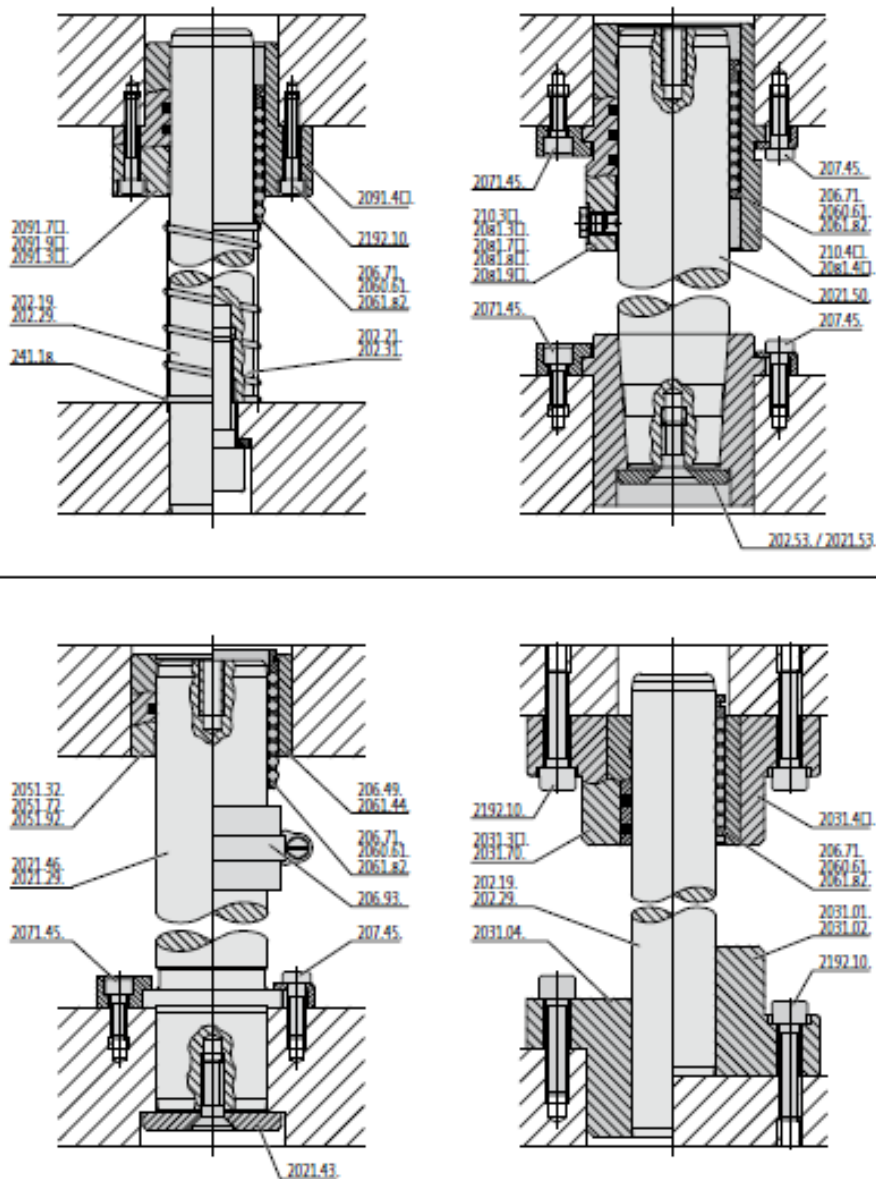
Výrobce uvádí několik možných způsobů uchytení vodících prvků k základové desce. V [Obr. 19] je uvedeno 6 způsobů. Pro navrhovaný přípravek byla zvolena možnost 3. Upevnění pomocí obruby a excentrických držáků. Tato možnost je v případě demontáže a výměny vedení snadná, což by mělo zvýšit flexibilitu nástroje. Díky tomu by bylo, popřípadě možné testovat i rozdíly mezi kluzným a valivým vedením při stejném průměru vodícího sloupu. Zároveň tato možnost zaručuje dostatečnou tuhost a přijatelnou výchylku.



[Obr.19] Uchycení vedení k základové desce a závislost odchyłky na radiální síle [21]

Uchycení pouzdra bylo zvoleno pomocí přírub a excentrických šroubů stejně jako uchycení vodících sloupů. Sjednocení způsobů zaručuje jednoduchost při případné demontáži nebo náhradě. Další způsoby uchycení a kombinací jsou uvedeny v [obr. 20]

**APPLICATION EXAMPLES
GUIDE ELEMENTS AND ACCESSORIES**



[Obr.20] Způsoby uchycení [21]

4.4 Upínání do lisu

Volba upínací části je závislá na zvoleném referenčním stroji. Možné způsoby upínání mohou být například T stopka, čep nebo v případě, že má stroj vlastní stůl s T drážkami je možné nástroj upnout pomocí šroubů. Pro referenční zkušební stroj bylo pro zkušební přípravek zvoleno upínání pomocí T stopky, která bude odmontovatelná a k přípravku přidělaná pomocí šroubů.

Šrouby pro uchycení T stopky budeme dimenzovat dle hmotnosti pohyblivé části přípravku včetně horní části testovaného nástroje. Tato hmotnost bude namáhat šrouby při pohybu přípravku do horní úvrati. Při pohybu do dolní úvrati budou na nástroj tlačit horní čelisti zkušebního stroje a šrouby nebudou při tomto pohybu namáhány.

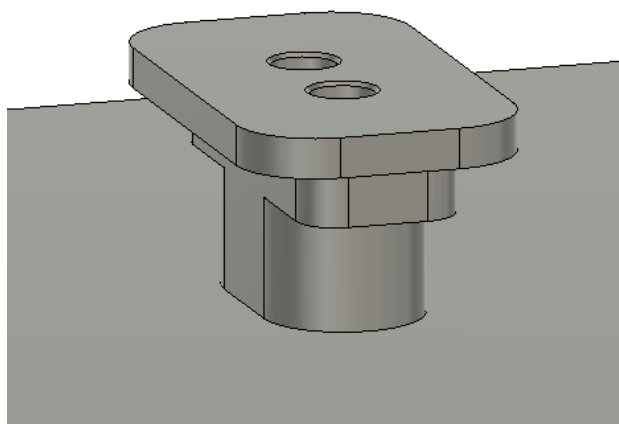
Dle CAD je odečtená hmotnost pohyblivých částí přípravku a horní části nástroje, které bude stroj po ustřihnutí materiálu zvedat přibližně 150 kg. Z toho vyplývá, že na šrouby bude působit síla 1472 N. Šrouby budou namáhány čistým tahem a dle využití prostoru na T stopce budou dva. Pevnost v tahu je pro šrouby 8.8 $R_m = 800$ MPa. Bezpečnost volím $k=3$.

$$\sigma_t = \frac{F}{S} \leq \sigma_{Ds} \quad (3.13)$$

$$\frac{F}{\sigma_{Ds}} \leq 2 * \frac{\pi * d^2}{4} \quad (3.14)$$

$$d = \sqrt{\frac{4F}{2 * \pi * \frac{R_m}{k}}} = \sqrt{\frac{4 * 1472}{2 * \pi * \frac{800}{3}}} = 1,87 \text{ mm} \quad (3.15)$$

⇒ Kvůli poměrovému rozložení komponent volím šrouby M10.



[Obr. 21] uchycení pomocí T stopky

5 Návrh metodiky zkoušení

5.1 Upínání přípravku do tvářecího stroje

Upínání přípravku do tvářecího stroje může být provedeno několika způsoby. Pro vybraný stroj bude v tomto konkrétním případě zvoleno upínání pomocí T stopky. Tato stopka je vyrobena tak, aby přesně pasovala do čelistí referenčního stroje. Stopka musí být vyrobena s určitou vůlí, aby bylo možné zkušební přípravek jednoduše zasunout do stroje. Spodní část přípravku je ke stroji upnuta pomocí šroubů.

Použitý stroj jsem volil dle několika aspektů. Jedním z nejdůležitějších je možnost sledování síly v závislosti na dráze beranu. Druhý je především jeho přesnost. Jelikož se jedná o zkušební nástroj, má oproti běžným lisům přesnější vedení. Další výhodou zvoleného stroje je jeho servomotorový pohon, který umožňuje přesné a libovolné polohování beranu. Stroj je také opatřen senzory, které zabraňují případné kolizi, a tedy i zničení přípravků, nástrojů i samotného výrobního zařízení.

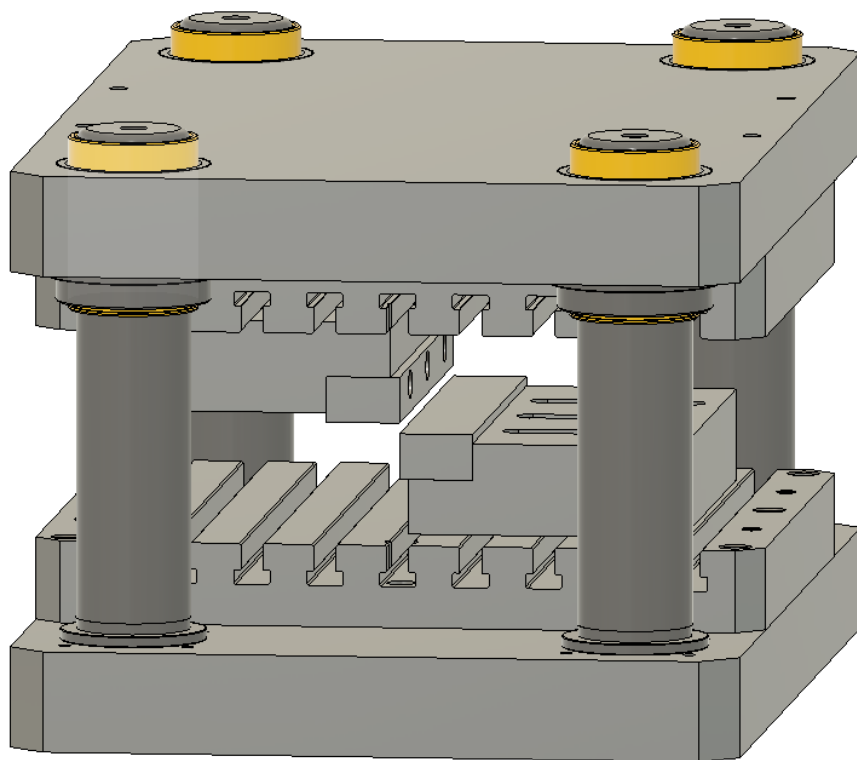
5.2 Upínání funkčních částí

Upínání funkčních částí, konkrétně střížníku a střížnice bude probíhat pomocí šroubů M10 s T hlavou na upínací desku. Tyto dvě komponenty, se budou v dolní úvratí přípravku ustavovat a pomocí spárové měrky se mezi nimi bude vymezovat požadovaná vůle. Nastavení vůle závisí pouze na spárových měrkách, které jsou v řadách od tloušťky 0,05mm. Standardně může být krok mezi jednotlivými měrkami 0,01 mm, což nabízí dostatečnou flexibilitu při tvorbě střížné mezery, která se standardně v tomto rozsahu nastavuje.

Dostatečně tuhé upnutí střížných nástrojů se bude při vlastním stříhu kontrolovat pomocí úchylkoměru, který bude na přípravek přidělán pomocí magnetického stojánku, který bude osazen rameny, které zaručí přesné polohování úchylkoměru. Při stříhání lineárními noži, se bude kontrolovat pouze posuv způsobený střížnou vůlí, resp. posuv, který zapříčiní klopný moment na střížné hraně. U stříhu s šikmými noži se bude upnutí střížných komponent kontrolovat i v ose působení sil, vzniklých nelineárními noži. Dle [Obr. 11] tedy ve směru osy x a osy z. V ideálním případě je vhodné použít digitální úchylkoměr a naměřená data připojit k datům ze zkušebního stroje.

Úchylkoměry se standardně vyrábějí s přesností 0,01 mm, tedy s přesností, která odpovídá nejmenšímu možnému nastavitelnému kroku střížné vůle. Z toho vyplývá, že úchylkoměrem je možné dostatečně přesně pozorovat případný posuv a zaručit, že se v průběhu testu zachovala homogenní střížná vůle.

Na [Obr. 22] je naznačeno, jak by upnutý střížník a střížnice s již vymezenou vůlí měly vypadat.



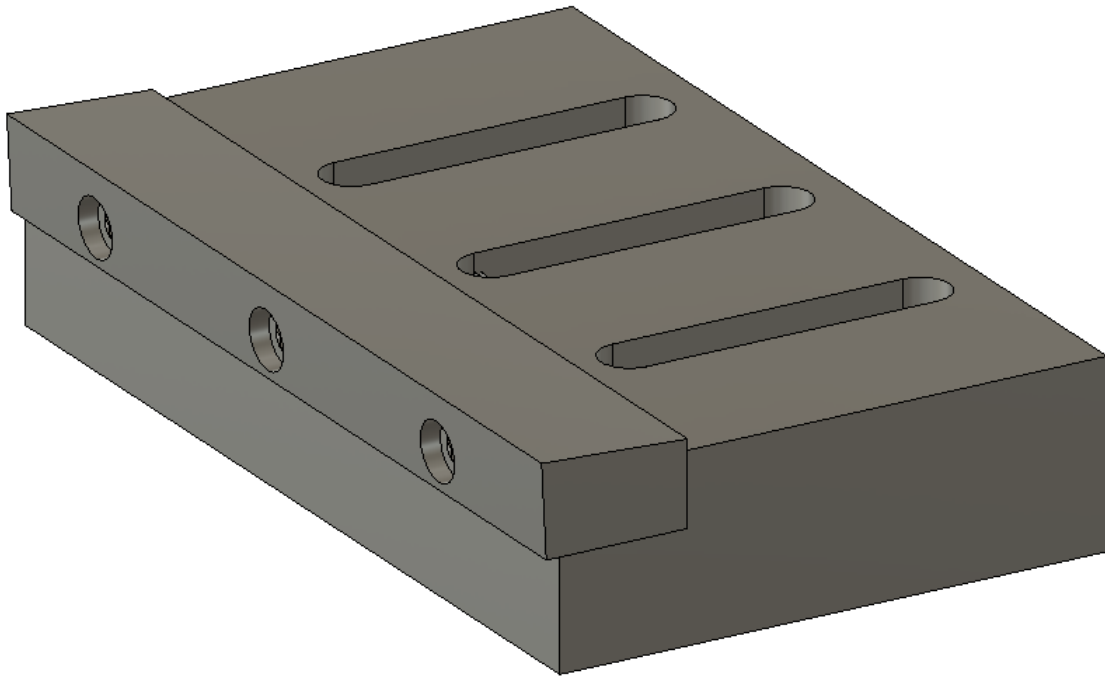
[Obr. 22] Sestava s nástroji

5.3 Zkoušené a zkušební materiály

Zkušební přípravek je určen především pro zkoušení lineárních střížných nástrojů pro automobilový průmysl. Z toho vyplývá, že většina zkoušených materiálů se bude pohybovat do tloušťky 5 mm a meze pevnosti 600 MPa. Pro tyto parametry bylo provedeno dimenzování tohoto střížného přípravku.

Jedním z důležitých aspektů, které je vhodné v závislosti na opotřebení střížné hrany testovat, je vhodný výběr materiálu pro ostří. Materiál ostří má veliký vliv na životnost nástroje a na kvalitu střížné plochy.

Na [obr. 24] je ukázka testovacího střížného nástroje s vyměnitelným břitem. Tato možnost podstatně zjednoduší testování životnosti střížné hrany v závislosti na zvoleném materiálu. Břit je k „tělu“ nástroje připevněn pomocí tří šroubů M10. Jelikož je břit o zbytek nástroje opřen v obou osách namáhání, je tedy zajištěn tvarovým spojem a šrouby nejsou namáhány, jsou pouze jistící, a proto neproběhlo jejich dimenzování.



[Obr. 23] Střížný nástroj

5.4 Měření sil

Měření sil je možné provádět několika způsoby. Střížná síla, tedy síla dle [Obr. 13] v ose y , se měří ve zkušebním stroji, který je, jak již bylo zmíněno, schopen zaznamenávat sílu v průběhu stříhu.

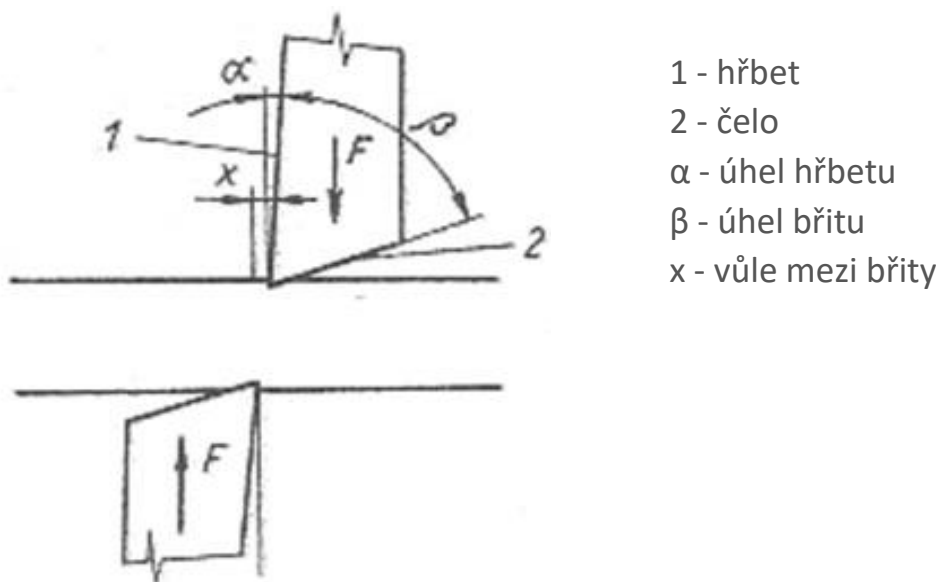
Síly v osách z a x je možné sledovat například tím, že místo obyčejných šroubů s T hlavou, kterými je nástroj k desce připnut, se použijí modifikované tenzometrické šrouby, které jsou schopny zaznamenat směr a velikost namáhání v jejich osách. Dalším způsobem mohou být například přípravky na způsob upínky, osazené tenzometry, které se použijí pro upnutí nástroje místo šroubů s hlavou T. Tyto měření bude možné provádět jak pro stříh s lineárními noži, tak pro stříh se šikmými noži.

5.5 Vyhodnocování dat

Vyhodnocování získaných informací bude probíhat několika způsoby v závislosti na tom, co je účelem zjištění. Základním parametrem, který se v během testování zaznamenává, je průběh síly. Díky vykresleným grafům, jsme schopni odečítat sílu v každé poloze stříhu. Na základě této síly, tedy můžeme vyhodnocovat ideální střížnou vůli. Ideální střížná vůle by měla být taková, při které je nejmenší střížná síla. Při provedení několika testů, při kterých se bude střížná mezera systematicky zmenšovat nebo zvětšovat, je tedy z grafů síly možné určit tu nejideálnější.

Další způsob vyhodnocování je prováděn opticky. Například na základě nastavené vůle, je možné pod mikroskopem kontrolovat kvalitu střížné hrany, a sledovat velikost otřepů nebo následně kontrolovat deformaci nástrojů. Výsledky z této kontroly je poté možné kombinovat s výsledky měření pomocí střížné síly.

Kvalitu střížné plochy je dále možné ovlivňovat použitím úhlů na střížném ostří, konkrétně dle [Obr. 27] úhlem hřbetu a úhlem břitu. Tyto úhly je možné na ostří libovolně modifikovat. Následně provádět testy a vyhodnocovat vzhled střížné hrany pod mikroskopem nebo vyhodnocovat naměřenou střížnou sílu, v závislosti na těchto modifikacích.



[Obr. 24] Úhly na střížném nástroji [11]

Další způsob využití přípravku může být pro cyklické zkoušky nástrojů. Zde se bude vyhodnocovat kvalita střížné plochy, opotřebení nástrojů a zároveň nárůst střížné síly, po provedení většího množství cyklů. Zde budou hrát hlavní roli zejména povrchové úpravy, tepelné zpracování a výběr vhodného materiálu pro střížné ostří.

6 Závěr

V rámci práce jsem se zabýval návrhem zkušební přípravku pro analýzu stříhání. Přípravek vychází z koncepce dvou desek, ke kterým se připevňují jednotlivé segmenty pro upínání střížných nástrojů. Tento přípravek je navržen tak, aby umožňoval testovat jednotlivé vlivy, spojené s technologií stříhání. Tyto testy jsou důležité především z hlediska ověřování parametrů, které známe z teorie, a k jejich upřesnění nebo případné modifikaci na základě reálných výsledků.

V teoretické části práce jsem se zabýval rozdělením a popisem technologie tváření a konkrétněji pak technologií stříhání. V části práce, která zahrnovala tváření obecně, jsem se věnoval zejména rozdělení této technologie dle různých hledisek a popisu základních principů spojených s touto technologií. V teoretické části, týkající se stříhání jsem se zabýval základními principy a aspekty, které jsou spjaty s technologií stříhání. Především střížnou vůlí, střížnou silou, jakostí stříhaného povrchu a na závěr také technologií výstřížků.

V praktické části jsem stanovil parametry, které budou pomocí přípravku sledované. Jedná se především o střížnou vůli, závislosti jednotlivých parametrů na její velikosti, velikost a průběh střížné síly, vliv stavu střížné hrany nástrojů nebo například vzhled střížné plochy stříhaného materiálu. Podle těchto požadavků jsem definoval požadavky na zkušební přípravek, které jsou, především možnost flexibilní nastavení střížné vůle, možnost výměny nástrojů a tuhé a přesné upnutí nástrojů.

Pro vybrané díly přípravku jsem provedl pevnostní ověření a návrh některých normalizovaných komponent. Dále jsem provedl návrh materiálové jakosti jednotlivých částí. Součástí práce je výkresová dokumentace, která se skládá z výkresové dokumentace jednotlivých dílů a celkové sestavy. Tato dokumentace je z důvodu ochrany citlivých údajů firmy zaheslovaná. Toto heslo je možné po dohodě získat od pana Ing. Františka Tatička, Ph.D.

V poslední části práce jsem popsal podmínky realizace zkoušek a následně jsem nastínil průběh vyhodnocování naměřených parametrů.

Jako doporučení do budoucna bych v závěru rád zmínil testování materiálů, jako například HC660XD, HCT980X, Docol 1500M nebo CR700Y980T. Meze pevnosti těchto materiálů se pohybují v rozmezí 900 ÷ 1700 MPa. Materiály s touto mezí pevnosti jsou dle literatury těžko stříhatelné, ale jejich aplikace se zejména v automobilovém průmyslu poměrně často vyskytuje. Zde se nabízí jako zajímavé zjistit, kam až je možné technologii posunout, a co vše je možné stříháním realizovat. Dále je možné se zabývat modifikací přípravku, aby byla možnost vůči sobě pohybovat s natočenými noži tak, aby se kompenzoval zkos střížné plochy.

7 Reference

- [1] K. S. T. T. U. V. LIBERCI, „ksp.tul,“ [Online]. Available: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm.
- [2] „SPS ZENGROVA,“ [Online]. Available: https://www.spszengrova.cz/texty/texty/STT/STT4_1-teorie_tvareni_SPU.pdf.
- [3] V. Musilová, „Technologie tváření kovů,“ [Online]. Available: <https://slideplayer.cz/slide/11984641/>.
- [4] C. Doc. Ing. Stanislav Věchet a P. Ing. Karel Němec, „Tepelné zpracování ocelí,“ [Online]. Available: <https://slideplayer.cz/slide/2810347/>.
- [5] I. F. T. Ph.D., „Moodle-vyuka.cvut,“ [Online]. Available: https://moodle-vyuka.cvut.cz/pluginfile.php/246605/mod_resource/content/1/Tv%C3%A1%C5%99ec%C3%AD%20stroje.pdf.
- [6] P. Ing. František Tatíček, „moodle-vyuka.cvut.cz,“ [Online]. Available: https://moodle-vyuka.cvut.cz/pluginfile.php/246573/mod_resource/content/1/rozd%C4%Blen%C3%AD%20tv%C3%A1%C5%99en%C3%AD%20a%20z%C3%A1kladn%C3%AD%20princip.pdf.
- [7] T. Doktor, „Poruchy krystalové struktury,“ 15 říjen 2013. [Online]. Available: http://www.mech.fd.cvut.cz/members/doktor/k618mtv/prednaskove-prezentace/k618mri1_lecture03.pdf.
- [8] P. Ing. František Tatíček, „ČVUT v praze, Fakulta strojní,“ [Online]. Available: https://moodle-vyuka.cvut.cz/pluginfile.php/246617/mod_resource/content/1/tv%C3%A1%C5%99itelnost.pdf.
- [9] C. prof. Ing. Radek ČADA, „Stříhání plechu,“ 2013. [Online]. Available: http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_005/Technologie%20tv%C3%A1%C5%99en%C3%AD%20a%20sl%C3%A9v%C3%A1n%C3%AD%20-%20v%20p%C5%99%C3%ADkladech/02%20Text%20pro%20e-learning/3.%20ST%C5%98%C3%8DH%C3%81N%C3%8D%20PLECHU.pdf.
- [10] I. F. T. Ph.D. a I. T. Pilvousek, „mmspektrum,“ [Online]. Available: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani.html>.
- [11] „ksp.tul - technologie plošného tváření - stříhání,“ [Online]. Available: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm#062..
- [12] I. D. Kavková, „Stříhání - SPŠ Na Třebešíně, Praha 10,“ Praha 10, 2016.

- [13] C. prof. Ing. Radek ČADA, „projekty fs vsb - plošné stříhání,“ 2013. [Online]. Available: http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_004/Technologie%20tv%C3%A1%C5%99en%C3%AD%20a%20sl%C3%A9v%C3%A1n%C3%AD%20-%20Teoretick%C3%BD%20z%C3%A1klad/02%20Text%20pro%20e-learning/publikovat/kapitoly/4.%20PLO%C5%A0N%C3%89%20ST%C5%98%C3%8DH%C3%81N%C3%8D.pdf.
- [14] „ústav strojírenské technologie čvut,“ [Online]. Available: <http://u12133.fs.cvut.cz/assets/subject/files/109/projekt.pdf>.
- [15] E. Gustafsson, „Experiments on Sheet Metal Shearing,“ LULBÁ UNIVERSITY OF TECHNOLOGI, 2013.
- [16] F. D. a. kolektiv, Strojnické tabulky pro konstrukci i dílnu, Montanex 1999, 2002.
- [17] P. BOLJANOVIC, SHEET METAL FORMING,“ New York, 2004., New York: 2004.
- [18] „retroarms,“ [Online]. Available: <https://www.retroarms.cz/ocel-12-050>.
- [19] „fibro,“ [Online]. Available: https://www.fibro.de/fileadmin/FIBRO/Blaetterkataloge/NormalienGesamtkatalog_Czech/HTML5/210/..
- [20] Z. Drozd, „Superlehké slitiny hořšíku,“ [Online]. Available: <https://slideplayer.cz/slide/3099081/>.
- [21] „Fibro,“ [Online]. Available: https://www.fibro.de/fileadmin/FIBRO/Blaetterkataloge/NormalienGesamtkatalog_Czech/HTML5/210/.
- [22] „meusbürger,“ [Online]. Available: <https://www.meusbürger.com/CS/CZ/zakaznici/lisovaci-technika/lisovaci-technika-oblast-pouziti/comparison-of-guiding-types-die-making..>
- [23] NAUGHTON, Jonathan W. a Mark SHEPLAK. Modern developments in shear-stress measurement. Progress in Aerospace Sciences [online]. 2002, 38(6-7), 515-570 [cit. 2020-08-03]. DOI: 10.1016/S0376-0421(02)00031-3. ISSN 03760421. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0376042102000313>
- [24] GUTKNECHT, Florian, Frank STEINBACH, Tobias HAMMER, Till CLAUSMEYER, Wolfram VOLK a A. Erman TEKKAYA. Analysis of shear cutting of dual phase steel by application of an advanced damage model. Procedia Structural Integrity [online]. 2016, 2, 1700-1707 [cit. 2020-08-03]. DOI: 10.1016/j.prostr.2016.06.215. ISSN 24523216. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2452321616302268>

- [25] GHIOTTI, Andrea, Stefania BRUSCHI a Paolo REGAZZO. Shear Surface Control in Blanking by Adaptronic Systems. *Procedia Engineering* [online]. 2014, 81, 2512-2517 [cit. 2020-08-03]. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.10.359. ISSN 18777058. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877705814016385>
- [26] GUSTAFSSON, E., M. OLDENBURG a A. JANSSON. Experimental study on the effects of clearance and clamping in steel sheet metal shearing. *Journal of Materials Processing Technology* [online]. 2016, 229, 172-180 [cit. 2020-08-03]. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2015.09.004. ISSN 09240136. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924013615301114>
- [27] ANCEY, Christophe. Plasticity and geophysical flows: A review. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics* [online]. 2007, 142(1-3), 4-35 [cit. 2020-08-03]. DOI: 10.1016/j.jnnfm.2006.05.005. ISSN 03770257. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S037702570600108X>