



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

MOŽNOSTI VÝROBY NA VYSEKÁVACÍCH STROJÍCH

PRODUCTION POSSIBILITIES OF PUNCHING MACHINES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Radim Dolejš

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Řiháček, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Radim Dolejš**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Jan Řiháček, Ph.D.**
Akademický rok: 2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Možnosti výroby na vysekávacích strojích

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o literární rešerši, zaměřenou na současný stav poznání v oblasti vysekávacích strojů, tj. popsání způsobů a možností výroby dílců na vysekávacích strojích.

Cíle bakalářské práce:

- provedení průzkumu v oblasti výroby dílců na vysekávacích strojích,
- popis základního principu výroby,
- popis používaných nástrojů,
- analýza využitelnosti vysekávacích strojů ve strojírenské praxi.

Seznam doporučené literatury:

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007, 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.

SCHULER GMBH. Metal forming handbook. New York: Springer-Verlag, 1998, 563 s. ISBN 35-40-1185-1.

TSCHATSCH, Heinz. Metal forming practise: processes - machines - tools. New York: Springer-Verlag, 2006. ISBN 978-3-540-33216-9.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

DOLEJŠ Radim: Možnosti výroby na vysekávacích strojích

Práce představuje základní principy vysekávání, které vychází z teorie postupového stříhání. V práci byly popsány nástroje využívané v kazetových a revolverových systémech. Práce dále popisuje tvářecí nástroje. Byly popsány části vysekávacího stroje a uveden příklad hybridního laserovo-vysekávacího stroje.

Klíčová slova: Vysekávání, postupové stříhání, tváření, dělicí nástroj, tvářecí nástroj, vysekávací stroj

ABSTRACT

DOLEJŠ Radim: Production possibilities of punching machines.

This thesis introduces the elementary principles of punching, stemming from the gradual shearing theory. Furthermore, it includes description of instruments used in cassette and revolver systems. Forming tools are then also defined. The thesis details the parameters of individual parts of the punching machine, and an example of a hybrid laser-punching machine is then presented.

Keywords: Punching, gradual shearing, forming, dividing tool, forming tool, punching machine

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DOLEJŠ, Radim. *Možnosti výroby na vysekávacích strojích*. Brno, 2020. 35s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření. Vedoucí práce Ing. Jan Řiháček, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 26.6.2020

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Janu Řiháčkovi, Ph.D. za trpělivost, cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval rodině, přítelkyni a kamarádům za podporu po dobu studia.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

Str.

ÚVOD	9
1 TECHNOLOGIE VYSEKÁVÁNÍ	10
1.1 Napjatost	11
1.2 Střížná plocha a vůle	11
1.3 Střížná síla a práce	13
1.4 Nástřihový plán	14
2 NÁSTROJE	16
2.1 Razník	17
2.2 Matrice	18
2.3 Stěrač	19
2.3 Nástrojová kazeta	20
2.4 Revolverový zásobník	21
2.5 Multitool nástroje	22
2.6 Tvářecí nástroje	23
3 VYSEKÁVACÍ STROJE	26
3.1 Rám stroje	26
3.3 Vysekávací hlavy	27
3.2 Další části stroje	28
3.4 Laserové/vysekávací stroje	29
4 ZÁVĚRY	30

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratek

ÚVOD [1], [23], [24]

Strojírenství je technický obor, který se zabývá výrobou zařízení, strojních součástí, návrhy, údržbou a výrobou strojů. Je postaveno na základech fyziky a materiálových věd.

V dnešní době je trendem snižovat výrobní náklady a zvyšovat efektivitu provozu. To se daří neustálou inovací a automatizací pracovních postupů. Ve strojním průmyslu jsou součásti vytvářeny tvářením, soustružením nebo svařováním.

Tváření se využívá hlavně ve větší, sériové výrobě. Je vysoce produktivní. Technologie tváření se dělí na objemové a plošné.

Vysekávání je metodou plošného tváření za studena a nesplňuje obecnou definici tváření, protože cíleně porušuje tvářený materiál. Na rozdíl od stříhání je vyseknutý materiál brán jako odpad. Na vysekávacích strojích je možnost vytvářet nejrůznější tvary z materiálů jako je plech, plast, guma nebo také papír.



Obr. 1 Vysekávací stroj TruMatic 7000 [24]

1 TECHNOLOGIE VYSEKÁVÁNÍ [1], [2], [7], [8], [17]

Vysekávání patří mezi metody plošného tváření za studena a je obdobou stříhání. Stejně jako u metody stříhání, zde dochází k cílenému porušení materiálu. Mezi charakteristické rysy patří zejména polotovar, kterým je plechová tabule, svitek nebo pás. Dalším charakteristickým rysem je vznik dvouosého napětí. Principem je vzájemné působení nástroje střižníku (razníku) a střižnice (matrice). Vysekávání patří mezi nejrozšířenější a nejpoužívanější metody plošného tváření, díky vysoké produktivitě za dobrou cenu.

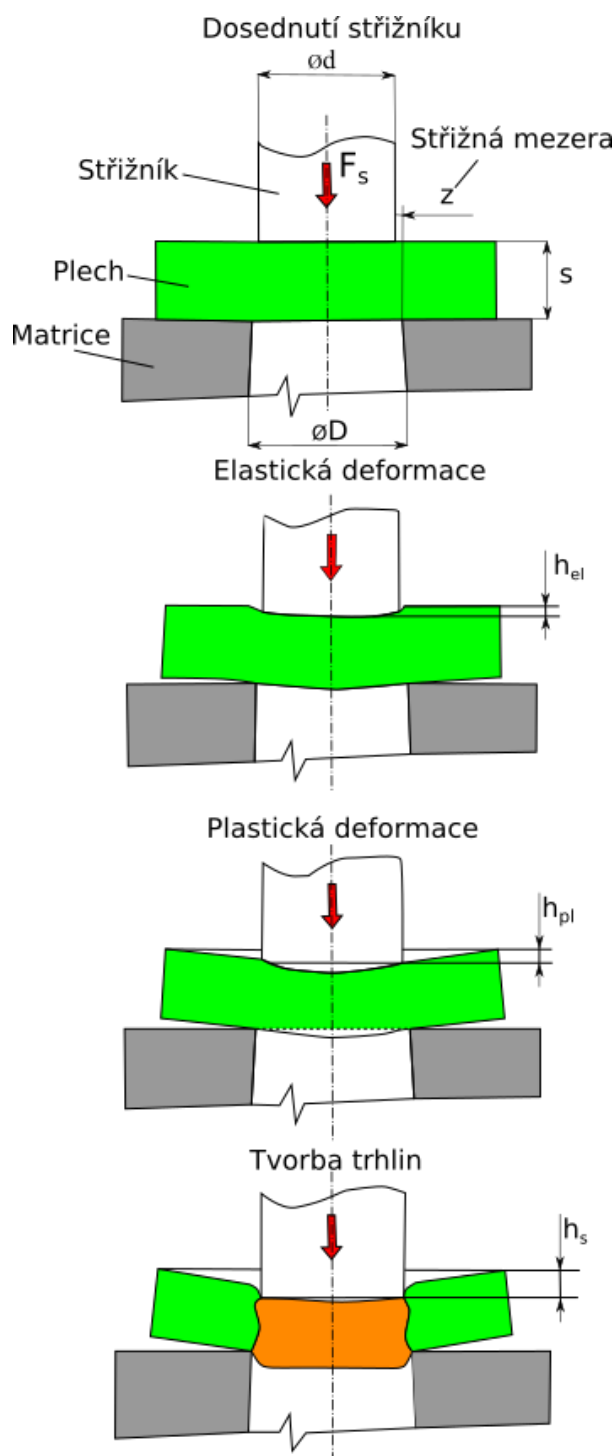
Vysekávací stroje lze také použít pro tvářecí nebo dokončovací operace.

Proces vysekávání má stejný průběh jako stříhání, proto používáme stejnou terminologii. Porušení materiálu neodpovídá definici tváření, ale probíhá na tvářecích strojích, proto spadá pod technologie tváření. Proces stříhu má 3 fáze a začíná dosednutím razníku na materiál, který chceme stříhat (v našem případě plech).

První fáze se nachází v oblasti elastické deformace. Napětí v plechu je zde menší než mez kluzu. Razník je vtačován do materiálu do hloubky „ h_{el} “. Elastická deformace je závislá na materiálové charakteristice. Uvádí se, že mez je překročena ve vzdálenosti 5-8 % tloušťky „ s “ polotovaru.

Druhá fáze se nachází v oblasti plastické deformace. Razník je vtačován do materiálu do hloubky „ h_{pl} “. Plastická deformace je závislá na materiálové charakteristice. Uvádí se, že mez je překročena ve vzdálenosti 10-25 % tloušťky „ s “ polotovaru.

Třetí fáze je razník v hloubce „ h_s “. Materiál je namáhán nad mezí pevnosti ve stříhu a dochází ke vzniku mikroskopických trhlin, které rostou a přechází v makroskopické trhliny. Makroskopické trhliny se prodlužují, dokud nedojde k oddělení materiálu. Nejrychleji se oddělují tvrdé a křehké materiály, v hloubce vniknutí razníku do materiálu (okolo 10 % tloušťky). V těchto materiálech dochází k nejrychlejšímu růstu trhlin. Naopak u houževnatých nebo měkkých materiálu se trhliny šíří mnohem pomaleji a razník musí vniknout do větší hloubky (kolo 60 % tloušťky).

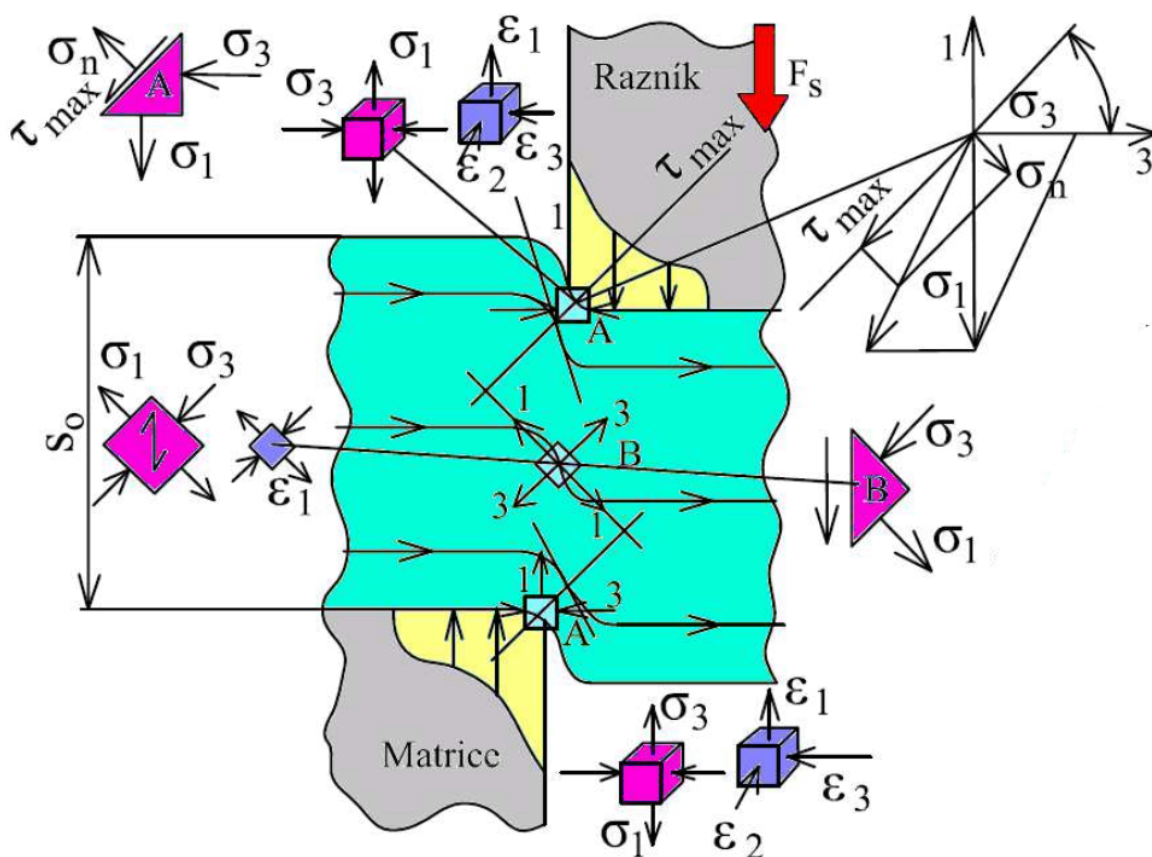


Obr. 2 Fáze střižného procesu

1.1 Napjatost [1], [2], [7], [8], [10], [17]

Během procesu stříhání vzniká dvouosá napjatost. Největší napětí vzniká v bodě „A“ (obr. 3), kde dochází ke kontaktu materiálu a hrany razníku. Toto napětí „ σ_1 “ je hlavní tlakové, rovno mezi pevností materiálu. Hlavní tlakové napětí „ σ_3 “. Velikost hlavního tlakového napětí byla experimentálně určena jako polovina tahového napětí, tedy $\sigma_3 = -\sigma_1/2$. Vniká zde i přídavné tlakové napětí „ σ_n “, které pomáhá rozšiřovat vznikající trhliny. Materiál, který má větší tloušťku, má $\sigma_2 = 0$. Dochází u něj k rovinnému stavu napjatosti při volném oddělování materiálu.

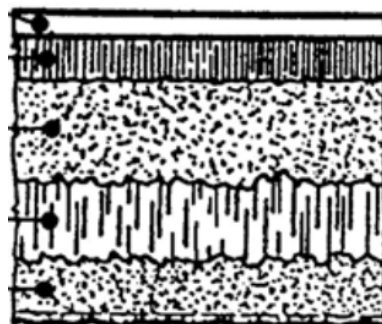
V bodě „B“, který se nachází uprostřed tvářené plochy, dochází k prostému smyku. Napětí $\sigma_2 = 0$ a poměr hlavních napětí $\sigma_1 = -\sigma_3$.



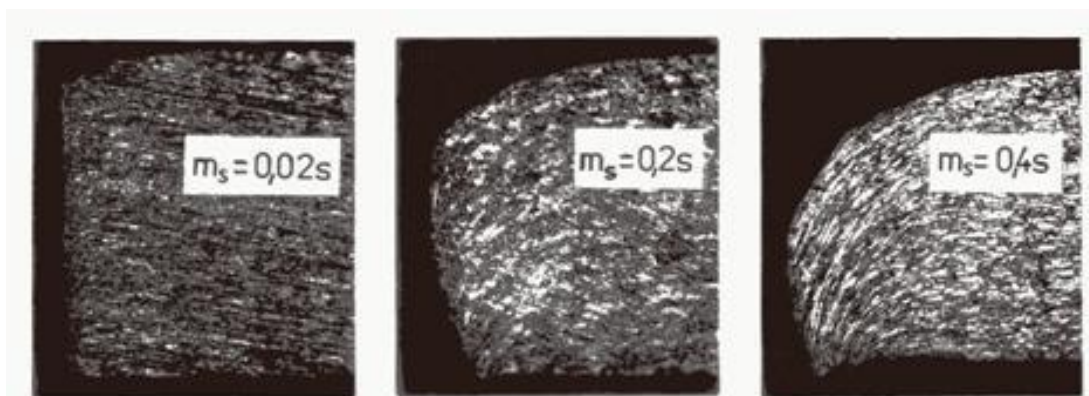
Obr. 3 Napětí ve stříhaném materiálu [10]

1.2 Střížná plocha a vůle [1], [2], [7], [8], [17]

Plocha, která vznikne při oddělení materiálu stříhem. Přesnost tvaru a kvalita je ovlivněna především vlastnostmi materiálu, u tvrdých materiálů je z pravidla horší. Další faktory jsou velikost střížné vůle mezi razníkem a matricí, geometrie břitu nástroje, rychlost střížného procesu, tvar součásti, technický stav opotřebení (nástroje / stroje) a stav napjatosti.



Obr. 4 Střížná plocha [8]



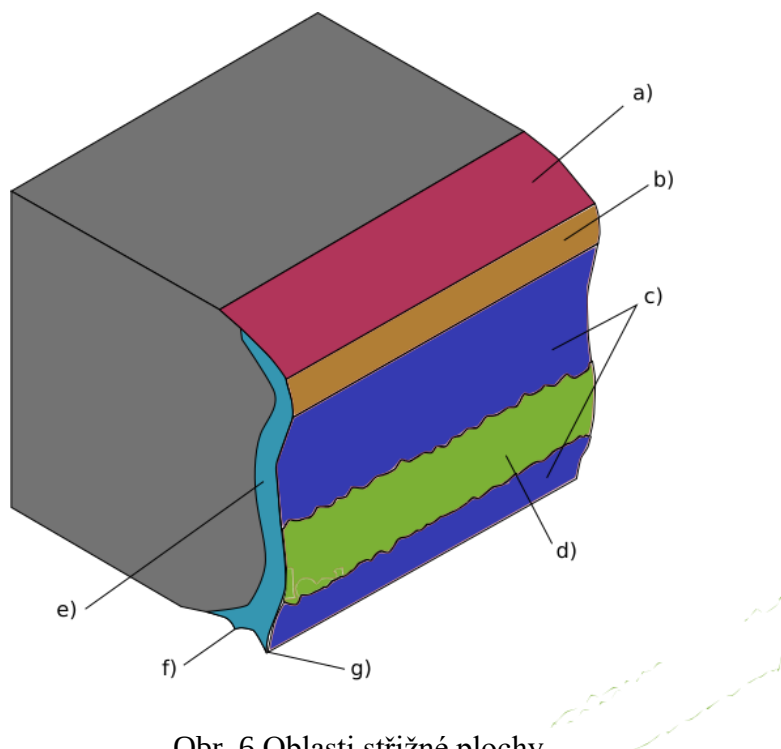
Obr. 5 Kvalita střižné plochy pro různou velikost střižné mezery [1]

Dříve než razník projde skrz celou šířku materiálu, dochází k oddělení. Při průniku razníku materiálem dochází ke vzniku oblastí (obr. 6) na povrchu materiálu.

- a) oblast zeslabení tloušťky materiálu – nástroj vniká do materiálu a pružně ho deformuje,
- b) oblast plastické deformace – nástroj vniká do materiálu a plasticky ho deformuje, tato oblast je nejhladší a nejpřesnější,
- c) oblast lomu – nachází se v místě, kde se razník dostal do prohloubení horní části a kde vystupuje z dolní části; zabírá největší plochu (přibližně 80 %), tudíž se na ní určuje výsledná kvalita střižné plochy,

- d) oblast otěru – mezi oblastmi lomu se nachází oblast otěru; vzniká třením protlačeného materiálu skrz matici,

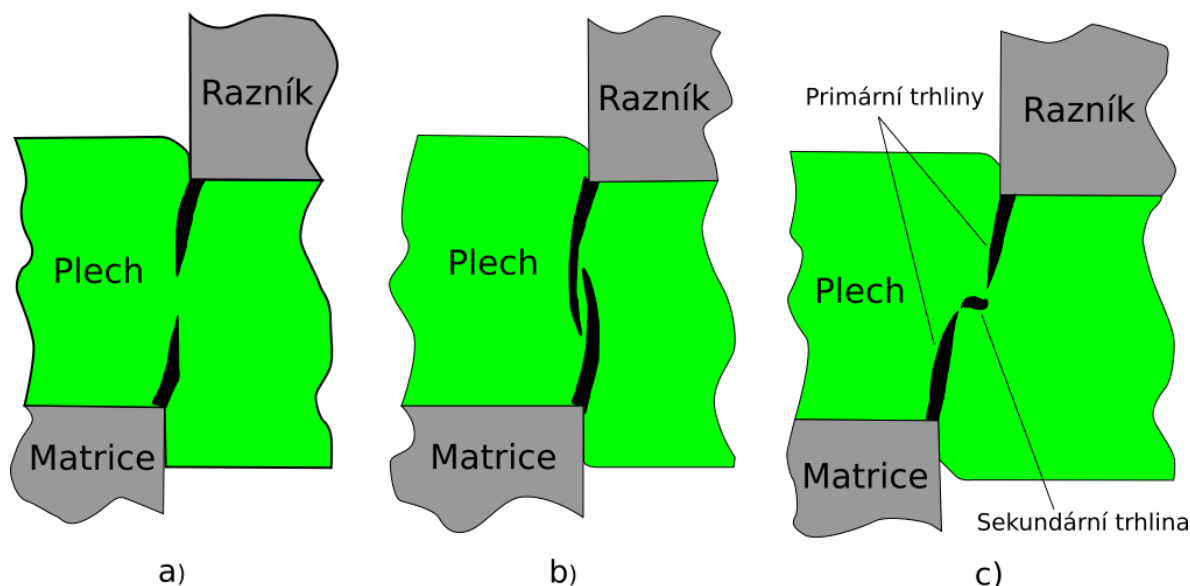
- e) oblast zpevnění materiálu – deformace materiálu za studena je doprovázena zpevněním materiálu; nachází se v blízkosti střižné plochy a zabírá přibližně 20-30 % tloušťky tvářeného plechu; odstranění tohoto zpevnění se provádí pomocí obrábění nebo žíhání; zpevněný materiál není vhodný pro následný ohyb, z důvodu vzniku napětí, které by vedlo ke vzniku trhlin,



Obr. 6 Oblasti střižné plochy

- f) oblast otláčení – nachází se ve spodní části materiálu, kde dochází ke kontaktu materiálu s maticí,
- g) oblast ořepu – nachází se na spodní straně střižné plochy; čím vyšší je tvárnost materiálu, tím větší je ořep; to platí i pro otupení nástroje

Střížná vůle je jeden z faktorů ovlivňující kvalitu plochy. Střížná vůle „v“ je rozdíl pracovních rozměrů mezi razníkem a matricí. Je rovna dvojnásobku hodnoty střížné mezery „z“. Má vliv i na živostnost nástroje, snaha volit co nejmenší a zároveň povolenou hodnotu střížné vůle. Moc velké zmenšení vůle způsobuje zvětšení síly a práce (přibližně o 40 %) nutné k oddělení, z důvodu neoptimálního spojování nově vznikajících trhlin (obr. 7b) a vytvoření S-křivky (typický tvar plochy při optimálním stříhu). Při stříhání s optimální vůlí se trhliny (obr. 7a) dochází k optimálnímu tvoření a následně spojování trhlin. Výsledkem je vysoká kvalita střížné plochy a použití co nejmenší střížné síly a práce. S přespříliš velkou hodnotou vůle (obr. 7c), se trhliny nestřetnou správně. Důsledkem je vnik sekundárních trhlin. Plocha oddělována s takovouto vůlí nebude mít požadovanou kvalitu.



Obr. 7 Šíření trhlin při různé vůli

Optimální střížnou vůli určujeme výpočtem. Pro materiál s tloušťkou do 3 mm se používá vzorec (1.1), pro materiál s tloušťkou větší jak 3 mm se používá vzorec (1.2)

$$v = 2 \cdot z = 2 \cdot 0,32 \cdot c_s \cdot s \cdot \sqrt{\tau_s} \text{ [mm]} \quad (1.1)$$

kde: z – střížná mezera [mm]

v – střížná vůle [mm]

c_s – součinitel střížné vůle (z intervalu 0,005 až 0,035) [-]

s – tloušťka plechu [mm]

τ_s – pevnost materiálu ve stříhu $0,8 \cdot R_m$ [MPa]

R_m – mez pevnosti v tahu [MPa]

$$v = 2 \cdot 0,32 \cdot (1,5 \cdot c_s \cdot s - 0,0015) \cdot \sqrt{\tau_s} \text{ [mm]} \quad (1.2)$$

1.3 Střížná síla a práce [1], [2], [7], [8], [17]

Střížná síla je jedním z nejdůležitějších faktorů při stříhání. Její velikost ovlivňuje volbu nástroje pro danou operaci. Síla potřebná k oddělení materiálu nesmí přesáhnout dovolenou sílu u používaného stroje. Její velikost je ovlivněna velikostí vůle, mechanickými vlastnostmi,

geometrií a tloušťkou stříhaného materiálu. Průběh síly má dvě fáze. V první fázi musí překonat pružnou deformaci materiálu. Po překonání meze pružnosti dochází k plastické deformaci a deformačnímu zpevňování materiálu. V druhé fázi střížná síla klesá, střížná plocha se zmenšuje a materiál se plasticky deformuje. Síla klesá až do stavu, kdy dojde k oddělení materiálu. K určení střížné síly využíváme vztah (1.3):

$$F_s = n \cdot l_s \cdot s \cdot \tau_s \text{ [N]} \quad (1.3)$$

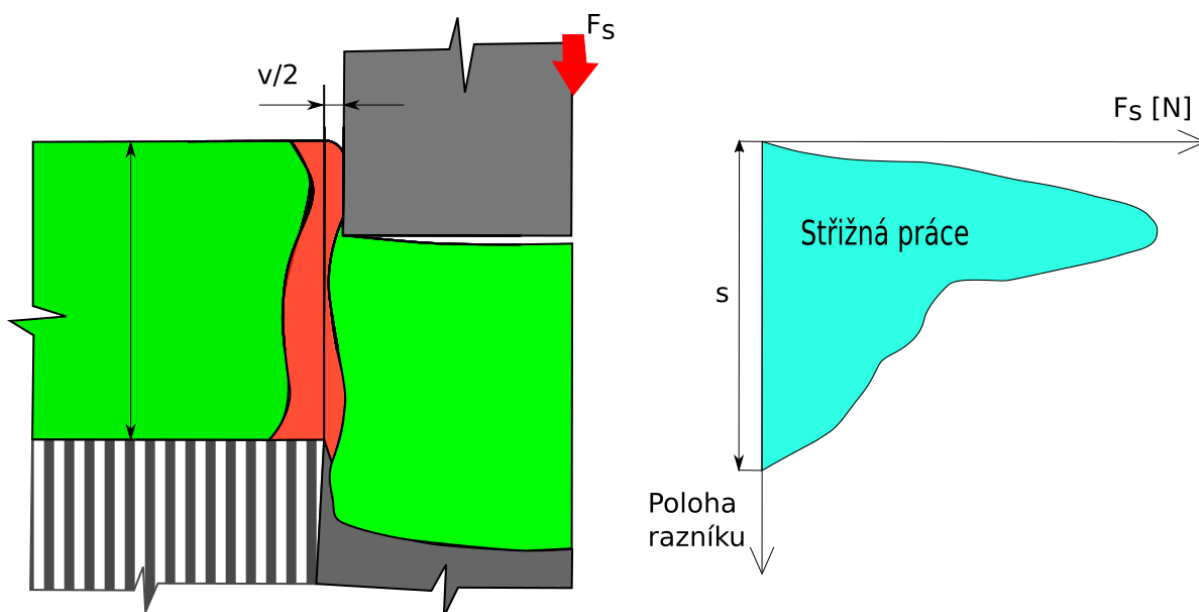
kde: n – součinitel opotřebení a seřízení nástroje (1,25 až 1,5 [N])

l_s – délka křivky stříhu [mm]

Střížná práce, která je potřeba na oddělení materiálu, je určena pomocí průběhu střížné síly a polohy razníku. Průběh je křivka a práce je určena jako integrál této křivky (velikost plochy pod křivkou). Určit skutečnou matematickou hodnotu práce není možné, a proto nahrazujeme křivku eliptickou závislostí, kde rozměry poloos jsou: maximální velikost střížné síly a hloubka zatlačení razníku do materiálu.

$$A_s = \frac{\varphi \cdot F_s \cdot s}{1000} \text{ [J]} \quad (1.4)$$

kde: φ – součinitel zaplnění diagramu (0,4 až 0,7 [-])



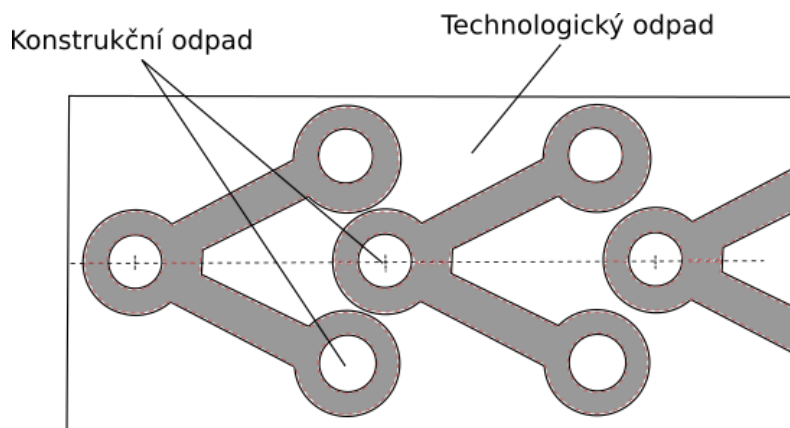
Obr. 8 Střížná síla a práce

1.4 Nástřihový plán [1], [2], [7], [8]

Při stříhání je velmi důležité rozmístění výstřížků na plechu, popřípadě pásu tak, aby by odpad co nejmenší (hlavně u velkosériové výroby). Samotné rozmístění výstřížků na plechu je označováno jako nástřihový plán. Rozmístění provádí pracovník v programu podporovaném vysekávacím stojem. Tyto programy zprostředkovává dodavatel vysekávacího stroje. Program po zadání všech potřebných proměnných vykreslí a určí využití plechu. Odpad se dělí na technologický a konstrukční (obr. 9). Technologický odpad je ten, který po dokončení procesu

zůstává v celku a tvoří větší část odpadu než odpad konstrukční. Konstrukční odpad zůstává po děrovacích nebo dokončovacích operacích na výsledném výstřižku.

Materiál tvoří zhruba 60 až 75 % celkových nákladů, tak je nutná co nejlepší volba nástřihového plánu. K určení hospodárnosti nástřihového plánu se používá součinitel využití materiálu (1.5). Výsledné porovnání součinitelů jednotlivých plánů nám pomůže vybrat ten nejoptimálnější.



Obr.9 Technologický a konstrukční odpad

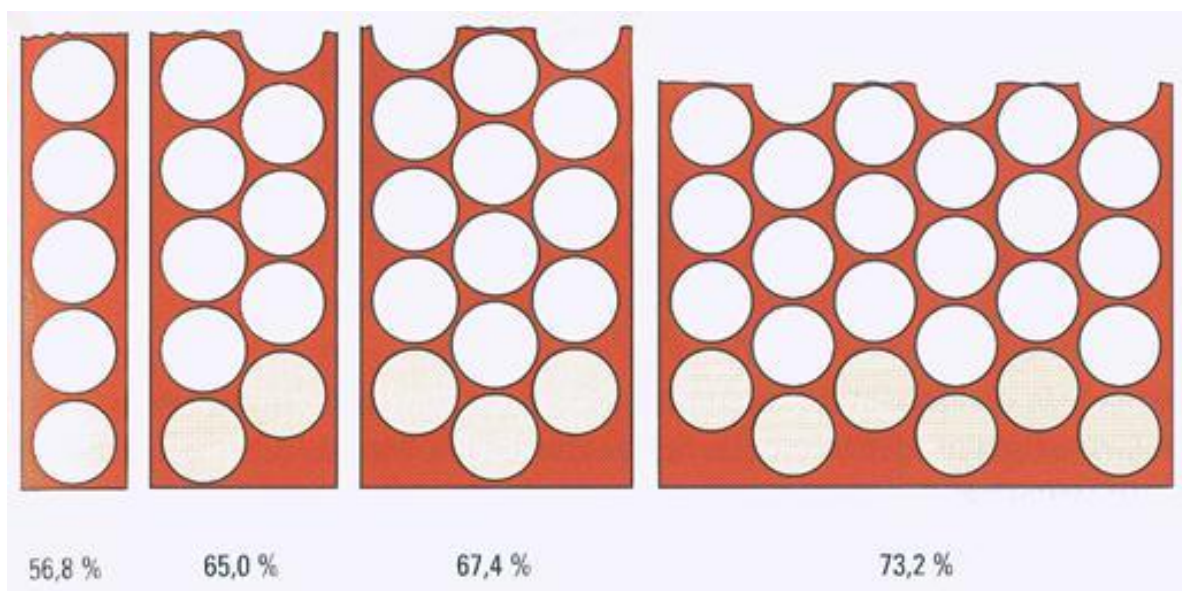
$$k_{\text{mat}} = \frac{S_{\text{sou}} \cdot n_{\text{sou}}}{L_t \cdot M_t} \cdot 100 [\%] \quad (1.5)$$

kde: S_{sou} – plocha součásti bez otvorů [mm^2]

n_{sou} – počet vyrobených dílů z jedné tabule plechu [-]

L_t – délka plechové tabule [mm]

M_t – šířka plechové tabule [mm]



Obr. 10 Rozmístění výrobků a vliv na hospodárnost [1]

2 NÁSTROJE [3], [4], [5], [6], [11], [13], [17]

V současné době, se pomocí počítačově řízených vysekávacích center, vyrábí nejrůznější plechové výrobky. Využívají se k tomu standartní nebo speciální nástroje. Z hlediska ekonomické úspory je snaha využít co nejméně nástrojů, tím dosáhnout co největší efektivity za co nejkratší čas.

Existují dva typy konstrukcí nástrojů. Lineární (neboli kazetové) a revolverové zásobníky. Kazetové zásobníky, kde jsou nástroje upnuty na nástrojové liště v kazetách, jsou využívány německou firmou Trumpf. Firma Trumpf je hlavním zástupcem kazetových zásobníků. Revolverové zásobníky jsou využívány například firmou AMADA nebo Prima Power.

Nástroje se dělí na děrovací a tvářecí. Děrovací nástroje slouží k vysekávání vnější nebo vnitřních tvarů součástí. Tvářecí nástroje se využívají k tvorbě větracích otvorů, krčků, závitů atd. Mezi tvářecí nástroje patří i odvalovací a popisovací nástroje.



Obr. 11 Příklad využití děrovacích nástrojů [20]



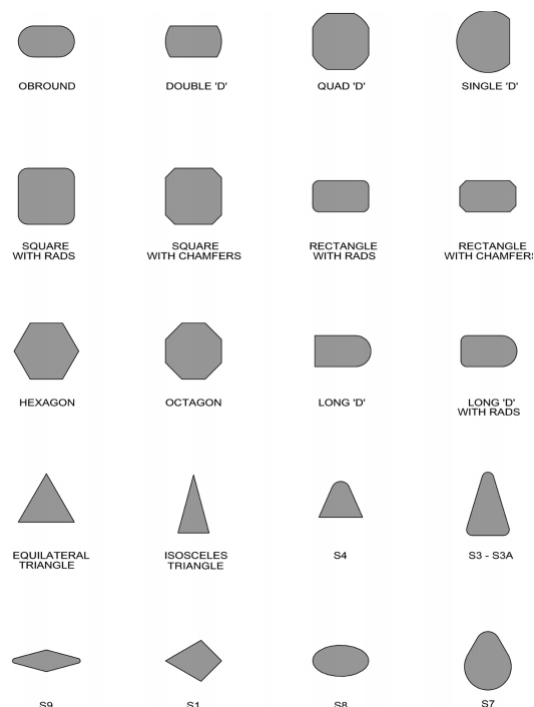
Obr. 12 LoadMaster automatický podavač plechů [25]

2.1 Razník [1], [3], [4], [5], [6],

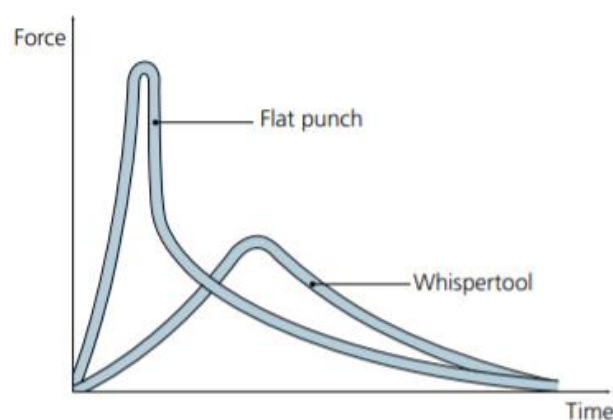
Razník je horní pohyblivá část nástroje obvykle vyráběna z rychlořezné oceli v mnoha tvarech (obr. 13). Standartně to jsou tvary kruhové, obdélníkové, čtvercové a další. Pro výrobu speciálních tvarů se dají na zakázku vyrobit i nestandardní tvary. Tyto speciální tvary sice zvýší nákupní cenu, ale urychlí střížný čas a zlepší kvalitu střížné plochy.

Na povrch razníku je možné nanést povlak typu TiCN (titanový povlak). Ten snižuje tvorbu mikrosvarů, které při zpracovávání hliníkových materiálů nebo nerezů, zvyšují opotřebení nástroje. Broušením razníku se tento povlak z hrany odbrousí, ale ve výsledku to nemá vliv na funkčnost. Broušení je nedílnou součástí udržování nástroje. Hrana musí být ostrá, aby byla dodržena kvalita stříhané plochy. Při broušení nástroje je nutné dostatečné chlazení, abychom zabránili tepelnému zpracování povrchu nástroje, a tím jeho znehodnocení.

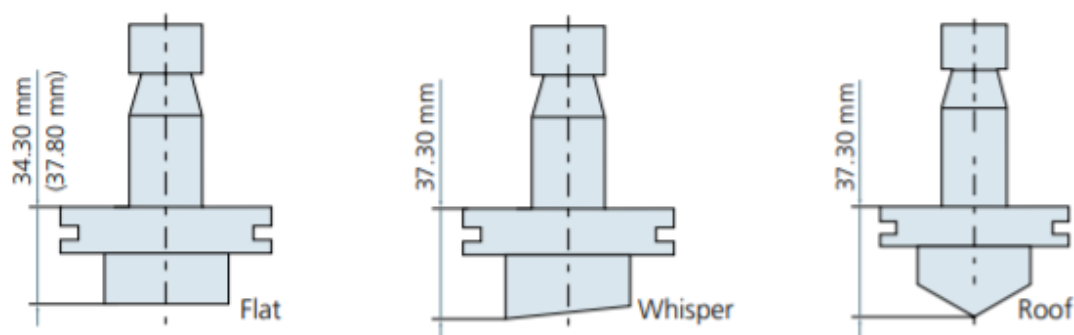
Razníky můžeme rozlišovat podle geometrie jejich čelní plochy. Nástroj „Whispertool“ (obr. 15 uprostřed) má šikmý razník. Využívá se ke snížení střížné síly střížné síly v závislosti na tloušťce plechu (obr. 14). Dalším je razník typu „Roof“ (obr. 15 vpravo). V porovnání s typem „Flat“ (obr. 15 vlevo) se střížná síla zmenší přibližně o 20 %. Hlučnost u „Whispertool“ a „Roof“ je také menší, z důvodu postupného pronikání razníku do materiálu.



Obr. 13 Příklady tvarů nástrojů [5]



Obr. 14 Průběh střížné síly pro různá čela nástrojů [6]



Obr. 15 Geometrie čela razníku [6]



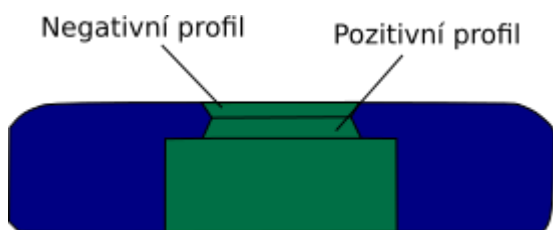
Obr. 16 matrice [6]

2.2 Matrice [1], [3], [4], [5], [6]

Každá nástrojová sestava využívaná na vysekávacích strojích obsahuje matrici (obr. 16), která se nachází ve spodní části nástroje. Tvar a velikost matrice je shodná s razníkem a zvětšena o střižnou vůli. Při pohybu razníku směrem k matrici dochází k působení protiběžných sil na materiál, důsledkem je oddělení a pád přes otvor v matrici do odpadového zásobníku. Matrice jsou vyráběny z rychlořezné oceli a stejně jako razníky podléhají opotřebení a je nutno je přebušovat. Přebušování probíhá v malých rozměrech, pak totiž hrozí prasknutí matrice. Na rozdíl od razníků nejsou povlakovány. Každá matrice se brousí zvlášť, z toho důvodu se používají podložky, aby matrice v zásobníku byly na stejné úrovni. Podložky (obr. 18) se vyrábějí v různých tloušťkách a jejich skládáním zajistíme potřebnou výšku.

Negativním jevem je zpětné vytažení odpadu skrz matrici, to může způsobit poškození nástroje nebo plechové tabule. Řešením toho problému je volba matrice s negativním/pozitivním profilem (obr. 17). Pokud chceme zabránit poškrábání plechu, musíme využít speciální matrici s kartáčky.

Matrice u uložena v kazetách není uložena napřímo. Mezikus mezi kazetou a matricí tvoří tzv. Matricový talíř, do kterého je matrice vložena.



Obr. 17 Profil u matrice



Obr. 18 Podložky [6]

2.3 Stěrač [1], [3], [4], [5], [6]

Velmi důležitou součástí sestavy je také stěrač (obr. 19), který je umístěn mezi razníkem a matricí. Funguje jako přidržovač, přidržuje materiál a tím zajišťuje lepší kvalitu stříhu. Další funkce je stírání plechu. Materiál zachycený na funkční ploše razníku může způsobit ohnutí plechu nebo vysekávaného dílu. Stěrač zabraňuje tomuto jevu.

Stěrače může rozdělit na pasivní a aktivní. Pokud stěrač plní jenom funkci přidržovače, nazýváme ho pasivním stěračem.

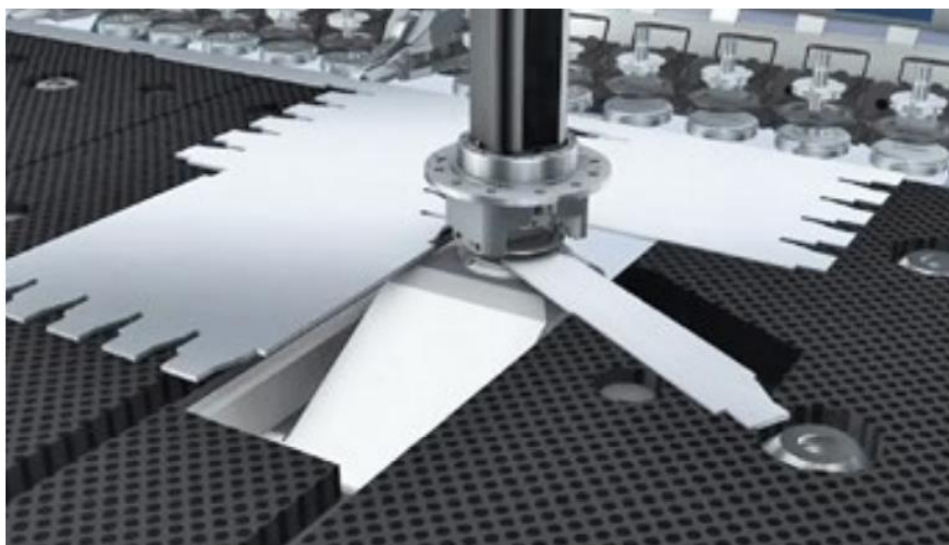
Pasivní stěrače jsou využívány u kazetových sestav, jako například u strojů firmy Trumpf. Vzdálenost stěrače od materiálu je po celou dobu střížného procesu stejná (uvádí se rozmezí od 0,6 do 1,6 mm).

Aktivní stěrače jsou využívány u revolverových sestav, jako například u strojů firmy Prima Power. Stěrač plní funkci přidržovače při pohybu razníku. Po celou dobu procesu stříhu je stěrač přitlačen na povrch plechového materiálu, tím dochází ke zlepšení kvality výsledného stříhu. Aktivní stěrač může plnit funkci dočasného přidržení materiálu. Využití u velkých plechů, kdy stěrač přitlačí plech, klapky, které plech drží povolí a přejedou na místo, kde se zase připnou (obr. 20).

Speciální typ stěrače se využívá (pružný stěrač), zajišťuje možnost zpracování materiálu bez poškrábání plechu. Je vyroben z elastického materiálu například polyuretan.



Obr. 19 Stěrač [6]



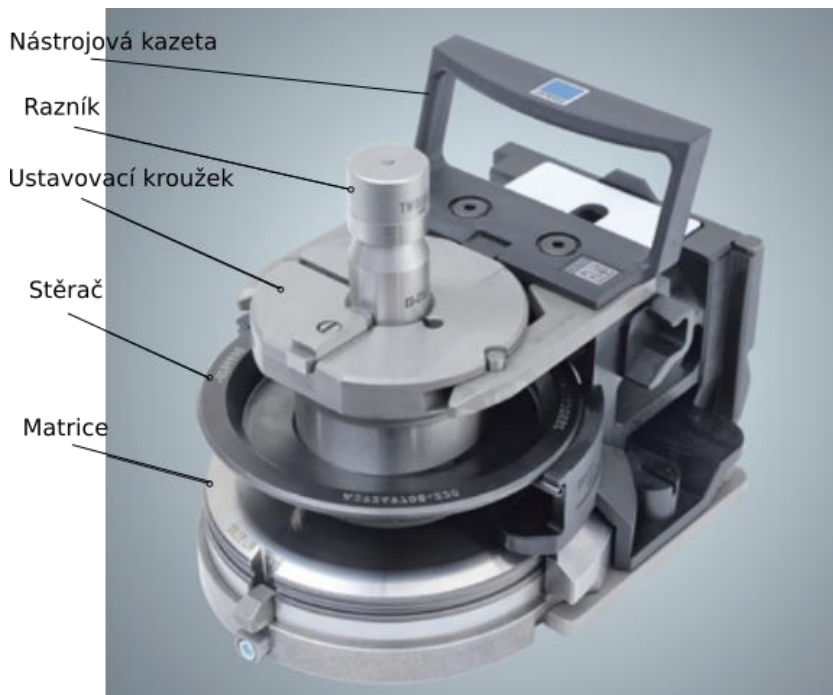
Clamping and rotating parts

Obr. 20 Dočasné upnutí pomocí stěrače [6]

2.3 Nástrojová kazeta [1], [3], [4], [5], [6], [11], [12]

Nástrojová kazeta (obr. 21) se skládá z razníku, matrice, stěrače, ustavovacího kroužku, matricového talíře a samotné kazety, ve které je vše uloženo. Kazeta je uplná na upínací liště. Na lištu se vleze určitý počet kazet, limitem je velikost stroje a jeho upínací lišty. Největším představitel je firma Trumpf.

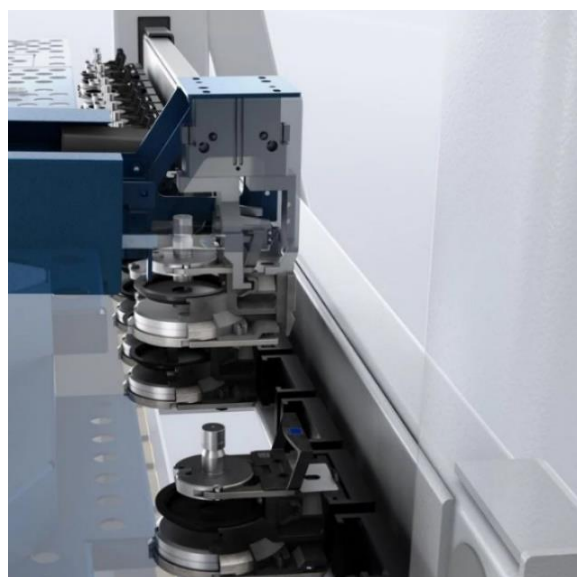
Výměna nástrojů probíhá následovně: celá upínací lišta se přesune pod vysekávací hlavu, následně dojde k vložení použitého nástroje do volné kazety, posun avložení nového nástroje na vysekávací hlavu.



Obr. 21 Nástrojová kazeta [5]



Obr. 22 Prázdná nástrojová kazeta [11]



Obr. 23 Nástrojová lišta Trumpf [12]

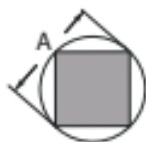
Další součástí kazetového zásobníku je ustavovací kroužek (obr. 24). Zabezpečuje a určuje nastavení a natočení razníku vůči matrici, aby při pohybu nedošlo k natočení. Drží pomocí šroubového spoje, který lze povolit a utáhnout na razníku různých průměrů. Na obvodu kroužku jsou vytvořeny dvě drážky, které slouží k upnutí do horní části nástrojové kazety.



Obr. 24 Ustavovací kroužek [5]

2.4 Revolverový zásobník [13], [14], [21]

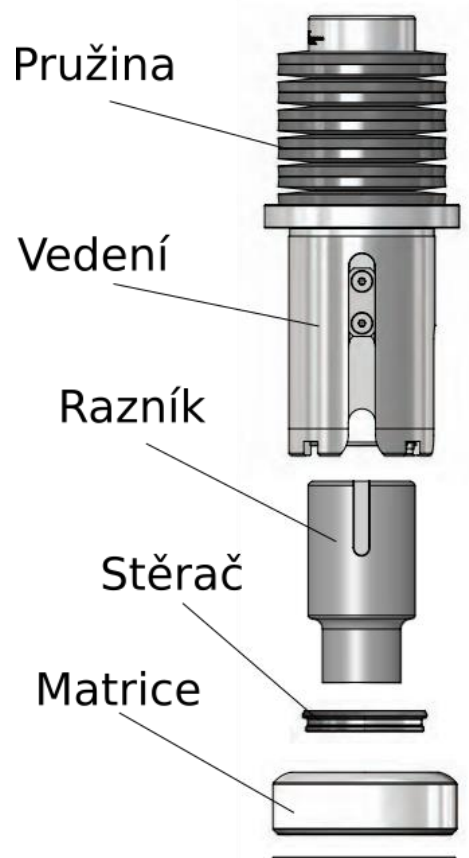
Nástroje určené pro vysekávání na strojích s revolverovým zásobníkem jsou: razník, matrice, stěrač, vedení, a pružina. Všechny části jsou složeny vně revolverového zásobníku. Nástroje se vyrábějí v pěti velikostech značeny písmeny A až E, kde velikosti jsou seřazeny od nejmenší (A) po největší (E). Rozměry se určují podle opsané kružnice razníku, kde A má velikost 12,7 mm, B má velikost 31,8 mm, C má velikost 50,8 mm, D má velikost 88,9 mm a E má velikost 114,3 mm. Skupiny A až E mají každá jinou velikost a tím také odlišnou konstrukci, proto je dobré mít v zásobníku pozice na každou z těchto velikostí.



Obr. 25 Rozměr opsané kružnice B [13]



Obr. 26 Rozložení nástroje revolverového zásobníku [13]



Obr. 27 Revolverový vysekávací nástroj [13]

Vedení je střední část nástroje. Ve vedení je uložen razník a stěrač. Hlavní funkce vedení udržení razníku v hlavní ose matrice. Kdyby došlo k vybočení zničil by se jak nástroj, tak matrice.

2.5 Multitool nástroje [3], [4], [5], [6], [13], [14]

Pokud je nutné zvýšit počet nástrojů v nástrojové kazetě nebo v revolverové zásobníku, tak řešením je použít tzv. multitool nástroj. Rozdíl mezi revolverovým a kazetovým je v konstrukci.

Kazetový multitool (obr. 28) je složen z: držáku razníků, razníku, stěrače, matrice, a držáku matric. Dělíme jej na základní 4 druhy (4-stanicové, 5-stanicové, 6-stanicové a 10-stanicové). 4 a 6-stanicové jsou už zastaralé, ale používají se u starších strojů. 5 a 10-stanicové jsou novější a používají se v současných strojích.

Revolverový multitool (obr. 29) se klasicky vyrábí ve čtyřech variantách. MTX varianty jsou rotační a MT jsou statické.



Obr. 28 Multitool pro kazetové zásobníky
[3]



Obr. 29 Multitool do revolverového
zásobníku [14]

2.6 Tvářecí nástroje [13], [18], [20]

Pro tváření na vysekávacích strojích se používají tvářecí nástroje. Ty materiál deformují s částečným nebo žádným porušením. Tvářením za studena vzniká deformační zpevnění materiálu. Tvářecí nástroje se vyrábí podle požadavků zákazníků. Návrh nástroje bere v potaz možnosti materiálu a strojů, co je budou vyrábět.

Mezi speciální tvářecí nástroje patří nástroje válečkové (odvalovací). Fungují na principu odvalování. Mezi nepoháněné tvarové válečky je dán plech, následně upnut a posouván tak, aby vznikl požadovaný tvar. Mezi odvalovací nástroje patří: Nařezávací nástroje, odsazovací nástroje, nástroje na prolis, řezací nástroje, popisovací nástroje, radlovací nástroje, „eko“ nástroje a lemovací nástroje.

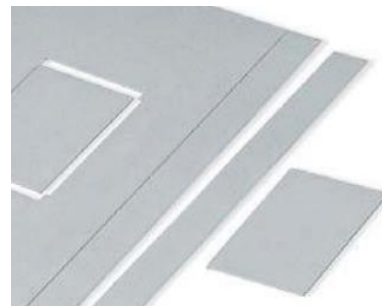


Obr. 30 Příklad běžně tvářeného plechu [20]

- Nařezávací nástroj – nástroj po průchodu materiálem zanechává viditelnou drážku. Nástroj může začít pracovat uprostřed plechu nebo na kraji. Po vyseknutí nezanechává skoro žádné stopy po niblování. Netvoří odpad a dosahuje vysoké rychlosti. S rotační hlavou možnost nařezávání téměř každého tvaru. Oblast použití je od 0,8-1,5 mm u nerez, 0,8-2 mm u plechu z ocele a 0,8-2,5 mm u hliníku.



Obr. 32 Nařezávací nástroj [18]



Obr. 31 Vzhled materiálu po aplikaci nařezávacího nástroje [18]

Odsazovací nástroj – může začít pracovat uprostřed plechu nebo na kraji. Po vyseknutí nezanechává skoro žádné stopy po niblování. S rotační hlavou možnost nařezávání téměř každého tvaru. Oblast použití je stejná jako u nařezávacího nástroje.



Obr. 33 Vzhled materiálu po aplikaci odsazovacího nástroje [18]



Obr. 34 Odsazovací nástroj [18]

- Nástroj na prolis – může začít pracovat uprostřed plechu nebo na kraji. Po vyseknutí nezanechává skoro žádné stopy po niblování. S rotační hlavou možnost prolisu téměř každého tvaru. Oblast použití je od 0,8-2,5 mm u všech materiálů.

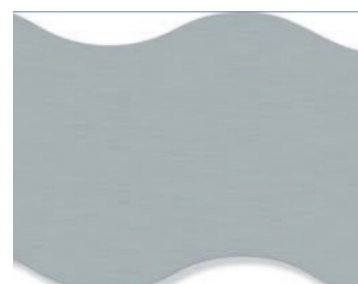


Obr. 35 Vzhled materiálu po aplikaci nástroje na prolis [18]



Obr. 36 Nástroj na prolis [18]

- Řezací nástroj – dosahuje vysoké rychlosti odvalování. Může začít pracovat uprostřed plechu nebo na kraji. Po vyseknutí nezanechává skoro žádné stopy po niblování. S rotační hlavou možnost prolisu téměř každého tvaru. Oblast použití je stejná jako u nářezávacího nástroje.

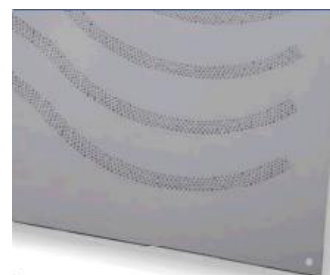


Obr. 37 Vzhled materiálu po aplikaci řezacího nástroje [18]



Obr. 38 Řezací nástroj [18]

- Radlovací nástroj – dosahuje vysoké rychlosti odvalování. Může začít pracovat uprostřed plechu nebo na kraji. Oblast použití je od 0,8-1,5 mm u nerezí, 0,8-2 mm u plechu z ocele a 0,8-2,5 mm u hliníku.

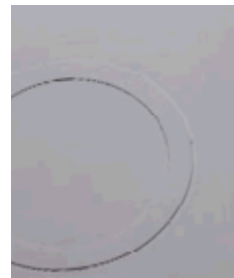


Obr. 39 Vzhled materiálu po aplikaci radlovacího nástroje [18]



Obr. 40 Radlovací nástroj [18]

- „EKO“ nástroj – jedním nástrojem lze vyrábět mnoho tvarů. Oblast použití je stejná jako u radlovacího nástroje. Při použití u jiných tloušťek materiálu je zapotřebí použít speciální rolny.



Obr. 41 Vzhled materiálu po aplikaci „EKO“ nástroje [18]



Obr. 42 „EKO“ nástroj [18]

Další příklady ploch vyrobenými tvářecími nástroji:

- ❖ Nástroj na zahloubení (countersink) -slouží k zapuštění hlavy šroubu do materiálu.



Obr. 43 Zahloubení [20]

- ❖ Nástroj na žaluzie (louver) -na jeden nebo více zdvihů.



Obr. 44 Žaluzie [20]



Obr. 45 Pant [13]

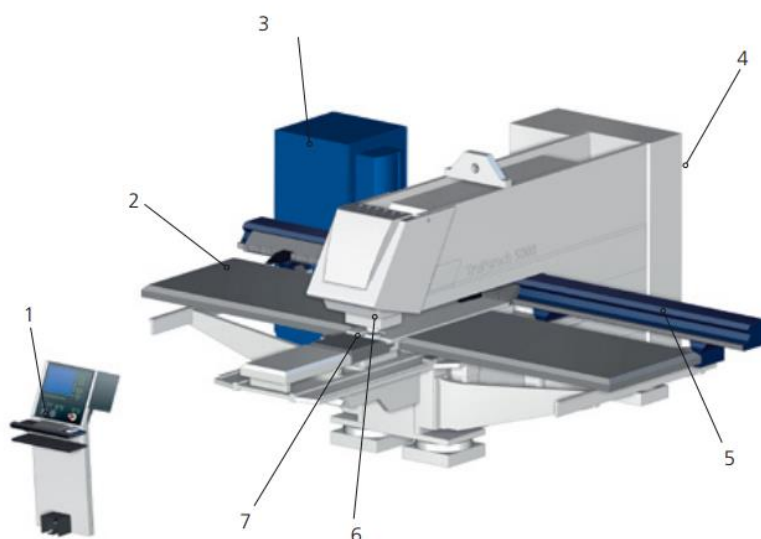
- ❖ Nástroj na výrobu pantů (hunge tool)

3 VYSEKÁVACÍ STROJE [5], [6], [13], [18], [19]

Při pohledu na vysekávací stroje od různých výrobců, jsou určité rozdíly. Tyto rozdíly jsou hlavně v konstrukci strojů, které mají různé rámy, vysekávací hlavy, nástrojové držáky a automatizační procesy.

3.1 Rám stroje [5], [6], [13]

Rám je základní jednotkou všech výrobních strojů. Musí splňovat určitá kritéria jako je stabilita a odolnost proti opakovanému zatěžování velkými zátěžnými silami. Dalším kritériem je vůči vibracím a kmitům, které vyvolává při procesu stříhu. Ke stroji musí být umožněn přístup obsluhy, a proto se setkáváme s dvěma nejčastějšími typy rámu a to rámem typu „C“ (tvar písmena C viz. obrázek) a rámem typu „O“ (tvar písmena „O“ viz. obrázek). Výhodou rámu „C“ je přístup ze tří stran, což značně ulehčuje manipulaci jak v zóně stříhu, tak při manipulaci s tabulemi plechu. Rámy typu „C“ jsou typické pro stroje firmy Trumpf. Rámy typu „O“ jsou typické pro firmu Prima Power, nevýhodou těchto rámu je opak výhod u rámu typu „C“. Výhodou rámu „O“ je celistvý tvar, a proto zde bude docházet k menším vibracím a kmitům.



Obr. 46 Vysekávací stroj [3]

1- kontrolní panel, 2- stůl, 3- rozvodná skříň 4- hydraulická jednotka, 5- lineární zásobník nástrojů, 6- vysekávací hlava, 7- klapka odstraňující výstřížky



Obr. 47 Vysekávací stroj firmy Trumpf s rámem typu „C“ [3]



Obr. 48 Vysekávací stroj firmy Prima Power s rámem typu „O“ [19]

3.3 Vysekávací hlavy [3], [13],[25]

Vysekávací hlava je pevně upnuta v horní část rámu stroje. V hlavě je upnutý nástroj a hlava s ním koná pohyb. Hlavní části vysekávací hlavy jsou beran a ovládací mechanismus. Vysekávací hlavy dělíme na, podle typu pohonu, hydraulické a elektrické.

Hydraulické vysekávací hlavy pohyb beranu řídí řídicí jednotka a pohon zprostředkovává dvouokruhový hydraulický systém. Pohyb beranu i stěrače je zprostředkován hydraulickými čerpadly čerpajícími hydraulický olej.

Elektrické vysekávací hlavy jsou modernějšími nástupci hlav hydraulických. Převyšují je úspore energie, jednoduchostí, absencí oleje a v tišším chodu. Pohonem je torzní motor s relativně nízkou spotřebou energie a vysokým výkonem (i při malých otáčkách).

Matrice se je upnuta do spodního nástrojového adaptéru. Ten je umístěn pod úrovní stolu. Razník a stěrač jsou upnuty do nástrojového adaptéru, který se nachází na spodní straně vysekávací hlavy.



Obr. 49 Typy vysekávacích hlavy [3]

3.2 Další části stroje [3], [13], [24]

- ❖ Programovatelné klapky –zajišťují pohyb plechového materiálu po stole a jeho pevné uchycení, aby s ním bylo přesně manipulováno. Podle velikosti plechu se volí počet upínajících klapek (až 4 klapky). Upnutí je buď automatické nebo lze provádět ručně. Aby bylo zabráněno kolizi, předdefinují se místa, kde budou klapky mít možnost se uchytit.



Obr. 50 Programovatelná klapka [24]

- ❖ Pracovní stůl – slouží jako podpora na které leží plech. Plech se po pracovním stole pohybuje, a tak je nutné, aby byl opatřen kartáčky nebo kuličkovými ložisky, aby se při pohybu nepodřel.
- ❖ Pohybový systém – pomocí upnutých programovatelných klapek, pohybuje s plechem po pracovním stole v osách X a Y.
- ❖ Klapkový systém odstranění výrobku – nachází se pod vysekávací hlavou. Součástí tohoto systému je třídící klapka, která třídí díly podle jejich rozměru. Díly jsou klapkou rozděleny na pásové dopravníky.

3.4 Laserové/vysekávací stroje [22], [24]

Kombinace laseru a vysekávacího stroje v jednom je velmi efektivní. Stroje díky této flexibilní kombinaci vyrábí součásti rychleji a za nižší nákupní cenu.

Kombinace laseru a vysekávání může eliminovat některé druhotné operace na jiných strojích. Pokud stroj má potřebné nástroje, nemusí se využívat jiná stanoviště.

Laser a vysekávací hlava jsou na jednom rámu, ale nelze je využívat oba současně. Princip je stále stejný. Programovatelné svorky drží plech

a pohybují s ním, zatímco laser nebo vysekávací hlava zpracovávají materiál. Vysekávací hlava je využívána při dělaní děr, tváření, protlačování a výrobu celého dílu. Laser je využit při geometricky složitých tvarech nebo když je potřeba mít co nevyšší kvalitu plochy. Laser se také využívá při tvorbě prototypů nebo jednorázových operacích. Odpadá tak nutnost nakupovat nástroje pro vysekávací hlavu. Laser tak nahradí chybějící nástroje.



Obr. 51 Laser/punch systém firmy Trumpf [24]

Tato technologie dokáže vyrábět složité díly s velkou přesností a kvalitou plochy.



Obr. 52 Příklady součástí vyráběné laser/vysekávací technologií [24]

4 ZÁVĚRY

Cílem bakalářské práce bylo provést průzkum v oblasti výroby dílců na vysekávacích strojích, popsat základní principy výroby a používané nástroje.

Vysekávání plechových součástí se provádím pomocí počítačově řízených vysekávacích strojů. Je vhodnou metodou pro střední až velké série, díky své nižší ceně.

Byly popsány základní principy vysekávání vycházejícího z postupového stříhání. Byly stanoveny napjatosti, tvary a vůle střížných ploch, střížná síla a práce a využitelnost materiálu z nástřihového plánu.

Dále byly popsány základní vysekávací nástroje a jejich sestavy (kazetové a revolverové). Byly uvedeny jejich výhody, nevýhody a příklady firem využívající tyto sestavy.

V práci byly popsány základní typy tvářecích nástrojů a jejich příklady.

Dále bylo popsáno schéma vysekávacích strojů. Jejich části, jako je rám a jeho typy, druhy vysekávacích hlav, programovatelné klapky, pracovní stůl, pohon a systém odstranění výrobku.

Na závěr byl představen „hybrid“ mezi technologiemi, a to laserovo-vysekávací stroj. U něj bylo řečeno, na jakém principu funguje a jaké jsou jeho priority.

Laserovo-vysekávací stroj byl zvolen z důvodu, že v dnešní době jsou vysekávací stroje nahrazovány právě laserovými. Laserové stroje jsou méně hlučné, jsou levnější a tváří materiál s velkou přesností. Naopak jejich nevýhody jsou větší spotřeba el. energie a nemožnost práce s některými materiály (narušení ochranných vrstev, tavení atd.)

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [9]

1. LENFELD, Petr. *Tváření kovu a zpracování plastů*. In: Technologie II [online]. Liberec [cit. 2020-02-28]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm
2. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 169 s.: obr., tabulky, grafy. ISBN 978-80-214-4747-9.
3. *Punching at a glance: TRUMPF Machine Tools* [online]. [cit. 2020-06-12]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/filestorage/TRUMPF_Master/Products/Services/01_brochures/TRUMPF-punching-at-a-glance-brochure-EN.pdf
4. *Vystřihování, děrování, vysekávání plechu* [online]. [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://www.vystrihovani-derovani-vysekavani.cz/>
5. *Wilson tool standard shapes: Canmet* [online]. 2016 [cit. 2020-06-19]. Dostupné z: <https://www.canmet.eu/perch/resources/euromac.pdf>
6. *Punching tools catalog: TRUMPF Machine Tools* [online]. 2016 [cit. 2020-06-19]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/filestorage/TRUMPF_Master/Products/Services/01_brochures/TRUMPF-punching-tools-catalog-EN.pdf
7. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s.: il. ISBN 80-214-2374-9.
8. HRUBÝ, Jiří, Stanislav RUSZ a Radek ČADA. *Strojírenské tváření*. Ostrava: VŠB, 1993, 152 s. ISBN 80-7078-201-3.
9. CITACE PRO. *Generátor citací* [online]. 2013 [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>
10. HÁJEK, Pavel. *Výroba krytu*. Brno: FSI VUT v Brně, 2014, 95 s., CD. Diplomová práce. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.
11. *Style Tool Cartridges: TRUMPF Machine Tools* [online]. 2018 [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: https://4aefm62s97fr5v4qj2tj67uq-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2015/12/LIT00673_Trumpf_Cartridges_PN_RevC_LR_2018.pdf
12. *SheetMaster: TRUMPF Machine Tools* [online]. 2018 [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/cs_CZ/produkty/stroje-systemy/automatizace/automatizace-derovacich-a-kombinovanych-stroju/sheetmaster/
13. *Thick Turret: Tooling solutions* [online]. 2019 [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <https://www.wilsons tool.com/getattachment/1ec00ebb-dde7-456f-89d2-3b244a51d9cb/Thick-Turret-Tooling-Solutions-Catalog>
14. *Punch Press: Tooling* [online]. 2014 [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: https://www.primaindustrie.com/uploads/editorialtext/docs/209GB_Oct2014_PunchPressTooling_2.pdf
15. *Wilson tooling system for EUROMAC machines* [online]. 2016 [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <https://www.canmet.eu/perch/resources/euromac.pdf>

16. SCHULER GMBH. *Metal forming handbook*. Berlin: Springer, 1998, xx, 563 s. : il., bar. fot. ISBN 3-540-61185-1.
17. FINDA, Luděk a Roman HALTUF. Akademie tváření: Stříhání. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2010, 17.05.2010, (6), 72 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani.html>
18. *Wilson wheel technologie* [online]. [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.canmet.eu/perch/resources/wilson-wheel-2-1.pdf>
19. *Punch Genius: Prima Power* [online]. [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.primapower.com/turret-punch-press-punch-genius/>
20. *Tvářecí nástroje* [online]. 2013 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.protech-spt.cz/produkty/nastroje/trumpf/bezne-tvareci-nastroje/>
21. *Technologie vysekávání, ražení: Revolverový vysekávací stroj Řada EM* [online]. 2016 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/9602844-Technologie-vysekavani-razeni-revolverovy-vysekavaci-stroj-rada-em.html>
22. *Is a laser/punch machine right for you?* [online]. In: KROLL, Mike. 2012, 16.7.2012 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.thefabricator.com/thefabricator/article/lasercutting/is-a-laserpunch-machine-right-for-your>
23. Vysekávání. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Vysek%C3%A1v%C3%A1n%C3%AD>
24. *Trumarc 7000* [online]. [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/cs_CZ/produkty/stroje-systemy/kombinovane-stroje/trumatic-7000/
25. *Everything under control: TRUMPF Machine Tools* [online]. [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/filestorage/TRUMPF_Master/Products/Machines_and_Systems/02_Brochures/TRUMPF-automation-catalogue-EN.pdf

.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A_s	Střížná práce	[J]
c_s	Součinitel střížné vůle	[-]
D	Průměr matrice	[mm]
d	Průměr razníku	[mm]
F_s	Střížná síla	[N]
h_{el}	Hloubka vniknutí razníku v oblasti elastické deformace	[mm]
h_{pl}	Hloubka vniknutí razníku v oblasti elastické deformace	[mm]
h_s	Hloubka stříhu	[mm]
k_{mat}	Součinitel využití materiálu	[%]
L_t	Délka tabule plechu	[mm]
l_s	Délka křivky stříhu	[mm]
M_t	Šířka tabule plechu	[mm]
n	Součinitel otupení nástroje	[-]
n_{sou}	Počet dílů vyrobených z jedné tabule plechu	[-]
R_m	Mez pevnosti v tahu	[MPa]
S_{sou}	Plocha součásti bez otvorů	[mm ²]
s	Šířka polotovaru	[mm]
v	Střížná vůle	[mm]
z	Střížná mezera	[mm]
φ	Součinitel zaplnění diagramu	[-]
σ_1	Hlavní tahové napětí	[MPa]
σ_3	Hlavní tlakové napětí	[MPa]
σ_n	Přídavné tahové napětí	[MPa]
τ_s	Pevnost materiálu ve stříhu	[MPa]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Vysekávací stroj TruMatic 7000 [24].....	9
Obr. 2 Fáze střížného procesu.....	10
Obr. 3 Napětí ve sříhaném materiálu [10]	11
Obr. 4 Střížná plocha [8].....	11
Obr. 5 Kvalita střížné plochy pro různou velikost střížné mezery [1].....	12
Obr. 6 Oblasti střížné plochy	12
Obr. 7 Šíření trhlin při různé vůli	13
Obr. 8 Střížná síla a práce.....	14
Obr. 9 Technologický a konstrukční odpad.....	15
Obr. 10 Rozmístění výrobků a vliv na hospodárnost [1].....	15
Obr. 11 Příklad využití děrovacích nástrojů [20]	16
Obr. 12 LoadMaster automatický podavač plechů [25]	16
Obr. 13 Příklady tvarů nástrojů [5]	17
Obr. 14 Průběh střížné síly pro různá čela nástrojů [6]	17
Obr. 15 Geometrie čela razníku [6]	17
Obr. 16 Matrice [6]	18
Obr. 17 Profil u matrice	18
Obr. 18 Podložky [6]	18
Obr. 19 Stěrač [6].....	19
Obr. 20 Dočasné upnutí pomocí stěrače [6]	19
Obr. 21 Nástrojová kazeta [5].....	20
Obr. 22 Prázdná nástrojová kazeta [11]	20
Obr. 23 Nástrojová lišta Trumpf [12]	20
Obr. 24 Ustavovací kroužek [5].....	21
Obr. 25 Rozměr opsané kružnice B [13]	21
Obr. 26 Rozložení nástroje revolverového zásobníku [13]	21
Obr. 27 Revolverový vysekávací nástroj [13]	21
Obr. 28 Multitool pro kazetové zásobníky [3].....	22
Obr. 29 Multitool do revolverového zásobníku [14]	22
Obr. 30 Příklad běžně tvářeného plechu [20]	23
Obr. 31 Vzhled materiálu po aplikaci nářezávacího nástroje [18]	23
Obr. 32 Nářezávací nástroj [18].....	23
Obr. 33 Vzhled materiálu po aplikaci odsazovacího nástroje [18].....	23
Obr. 34 Odsazovací nástroj [18]	23
Obr. 35 Vzhled materiálu po aplikaci nástroje na prolis [18].....	24
Obr. 36 Nástroj na prolis [18]	24
Obr. 37 Vzhled materiálu po aplikaci řezacího nástroje [18]	24
Obr. 38 Řezací nástroj [18].....	24
Obr. 39 Vzhled materiálu po aplikaci radlovacího nástroje [18].....	24
Obr. 40 Radlovací nástroj [18]	24
Obr. 41 Vzhled materiálu po aplikaci „EKO“ nástroje [18].....	25
Obr. 42 „EKO“ nástroj [18]	25
Obr. 43 Zhloubení [20]	25
Obr. 44 Žaluzie [20].....	25
Obr. 45 Pant [13]	25
Obr. 46 Vysekávací stroj [3].....	26

Obr. 47 Vysekávací stroj firmy Trumpf s rámem typu „C“ [3].....	26
Obr. 48 Vysekávací stroj firmy Prima Power s rámem typu „O“ [19]	26
Obr. 49 Typy vysekávacích hlavy [3].....	27
Obr. 50 Programovatelná klapka [24].....	28
Obr. 51 Laser/punch systém firmy Trumpf [24].....	29
Obr. 52 Příklady součásti vyráběné laser/vysekávací technologií [24]	29