



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH VÝROBY SPODNÍHO DÍLU NABÍJECÍ STANICE

DESIGN FOR PRODUCTION OF LOWER PART OF CHARGING STATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Petr Skalník

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Bc. Petr Skalník
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
Akademický rok:	2018/19

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

Návrh výroby spodního dílu nabíjecí stanice

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh technologie výroby dílce, který tvoří dno stejnosměrné nabíjecí stanice, jenž slouží k rychlému a efektivnímu nabíjení elektrických vozidel. Součástka je prostorového tvaru s otvory a bude vyráběna technologií stříhání a ohýbání. Na tuto problematiku bude také zaměřena literární studie.

Cíle diplomové práce:

- zhodnotit technologičnost dílu,
- provést rozbor možných technologií výroby se zhodnocením jejich vhodnosti a nevhodnosti,
- vypracovat aktuální literární studii se zaměřením na zvolenou technologii,
- zpracovat návrh výroby doložený nezbytnými technologickými a kontrolními výpočty,
- navrhnout a popsat tvářecí nástroj,
- zhotovit výkres nástroje, kusovník a výkresy vybraných pozic,
- provést technicko–ekonomické hodnocení.

Seznam doporučené literatury:

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.

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

FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.

HOSFORD, William F. a Robert M. CADDEL. Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 3th ed. New York: Cambridge University Press, 2007. 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.

NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. 1. vyd. Praha: SNTL, Redakce báňské a strojírenské literatury, 1980. 216 s.

HELLWIG, Waldemar a Erwin SEMLINGER. Spanlose Fertigung: Stanzen. 5th ed. Braunschweig Wiesbaden: Friedr Vieweg Verlagsgesellschaft mbH, 1994. 289 p. ISBN 3-528-44042-2.

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

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

SKALNÍK Petr: Návrh výroby spodního dílu nabíjecí stanice

Diplomová práce se zabývá návrhem technologie výroby spodního dílu nabíjecí stanice, která je vyráběna společností DEL a.s. Součást bude zhotovena z austenitické oceli 17 349 o tloušťce 2 mm v roční sérii 100 ks. Z rozboru výrobních možností byla zvolena kombinace technologií vysekávání, ohraňování a svařování metodami MAG i TIG. Pro připevnění svorníků bylo vybráno přivaření výbojem kondenzátoru. Na základě technických výpočtů a se zohledněním strojního vybavení společnosti bylo zvoleno, že výroba proběhne na vysekávacím lise Pullmax 720, hydraulickém CNC ohraňovacím lise OptiFlex 130 t 3,1 a také pomocí svařovacích zdrojů TransPuls Synergic 3200, TransTig 1750 Puls a Nomark 65+. Technicko-ekonomické zhodnocení stanovilo výpočet nákladů na materiál polotovaru, svařovací drát, ochranné plyny a svorníky. Cena jednoho kusu je 3 117,70 Kč.

Klíčová slova: Plošné tváření, vysekávání, ohraňování, svařování, ocel 17 349

ABSTRACT

SKALNÍK Petr: Design for production of lower part of charging station

This master's thesis deals with a proposal of production technology of bottom part of charging station which is manufactured by DEL a.s. The component will be made of austenitic steel 17 349 which is 2 mm thick and its production series is 100 pieces a year. Punching and bending by MAG and TIG methods were chosen as the most suitable methods from the considered manufacturing technologies. Stud bolts will be welded by capacitor discharge. Based on the analysis of the technological calculations and the available machines in the manufacturing company was chosen that production is going to run through a punching press Pullmax 720, hydraulic CNC bending press OptiFlex 130 t 3,1 and welding sources TransPuls Synergic 3200, TransTig 1750 Puls and Nomark 65+. Technical and economical evaluation established cost calculation of semi-finished product material, welding wire, gaseous shield and stud bolts. The price of one piece is 3 117,70 Czech crowns.

Keywords: Surface forming, punching, bending, welding, steel 17 349

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SKALNÍK, Petr. *Návrh výroby spodního dílu nabíjecí stanice*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116703>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Kamil Podaný.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V dne 23.5.2019

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Kamilu Podanému, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce. Dále bych rád poděkoval své rodině a blízkým za plnou podporu v průběhu celého studia. V neposlední řadě si velice cením spolupráce se společností DEL a.s., především ochoty pracovníků v úsecích konstrukce mechaniky a technologie výroby.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

	Str.
ÚVOD	9
1 ROZBOR SOUČÁSTI	10
1.1 Variantní řešení	12
2 TECHNOLOGIE VÝROBY	16
2.1 Vysekávání	16
2.1.1 Síla a práce	18
2.1.2 Nástroje	19
2.1.3 Stroje	20
2.2 Ohraňování	20
2.2.1 Technologické parametry ohraňování	23
2.2.2 Síla a práce	25
2.2.3 Nástroje	26
2.2.4 Stroje	27
2.3 Svařování	28
2.3.1 MAG	29
2.3.2 TIG	30
2.3.3 Přivařování výbojem kondenzátoru	30
2.4 Technologičnost konstrukce	31
3 NÁVRH VÝROBY	33
3.1 Stanovení rozvinuté délky a nástřihového plánu	34
3.2 Volba vysekávacích nástrojů a zařízení	38
3.3 Postup ohraňování	41
3.4 Ohraňovací síla a práce	48
3.5 Svaření dílců	51
3.6 Přivaření svorníků	53
4 TECHNICKO – EKONOMICKÉ HODNOCENÍ	55
5 ZÁVĚRY	58

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratek

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam příloh

Seznam výkresů

ÚVOD [1], [2], [3], [4]

Mezi nejvýznamnější odvětví průmyslu patří strojírenství, které má v České republice dlouholetou tradici. V dnešní době jsou závody rovnoměrně rozmístěny po celém území státu. Majoritním zástupcem je automobilový průmysl, který patří již několik let mezi významné obory českého hospodářství a vzhledem k růstovým trendům se předpokládá, že se tomuto odvětví bude dařit i v budoucnu.

Jeden ze způsobů výroby ve strojírenství je technologie tváření. Jedná se o proces, při kterém dochází ke změně tvaru dílce nebo polotovaru vlivem působení vnějších sil. U této metody nedochází ke tvorbě třísek. Podstatou tváření je vytvoření plastické deformace, která u tvářeného materiálu nastane při překročení meze kluzu. Technologie je výhodná vzhledem ke svojí produktivitě a využití materiálu. Tváření lze rozdělit na plošné a objemové.

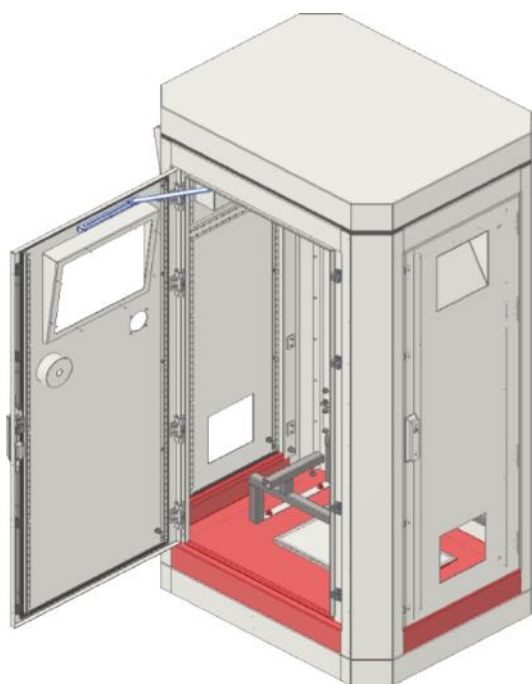
U plošného tváření převládají deformace ve dvou směrech. Ve většině případů se výroba touto metodou provádí za studena. Jako polotovar se nejčastěji používá plech. Patří sem ohýbání, stříhání, tažení a lisování. Příklady součástí vytvořených plošným tvářením lze vidět na obr. 1.



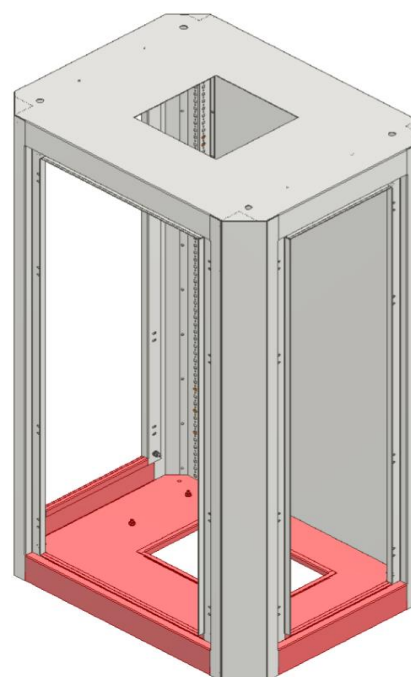
Obr. 1 Příklady součástí vytvořených plošným tvářením [5], [6], [7]

1 ROZBOR SOUČÁSTI [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14]

Řešená součástka (obr. 4) je spodní díl stejnosměrné nabíjecí stanice (obr. 2), která umožňuje rychlé a efektivní nabíjení elektro osobních i nákladních vozidel. Stanice se skládá z plechové skříně o rozměrech 700 x 900 x 1800 mm a zařízení umožňující přenos elektrické energie. Celá sestava dále obsahuje platební terminál společně s tiskárnou účtenek. Pro jednoduchý a bezstarostný provoz lze využít mobilní aplikaci EVMapa. Nabíjecí stanice je zkonstruována tak, aby odolala vlivům venkovního prostředí o relativní vlhkosti 5 až 95 %. Provozní teploty se pohybují od $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Hladina provozního hluku je v rozmezí 45 až 50 dB. Celková hmotnost stejnosměrné nabíjecí stanice činí 310 kg. Dle požadavků zákazníka lze zařízení také doplnit o konfiguraci výstupních portů, LCD display, Wi-Fi, sledování volné kapacity přípojky nebo změnu barevného provedení.



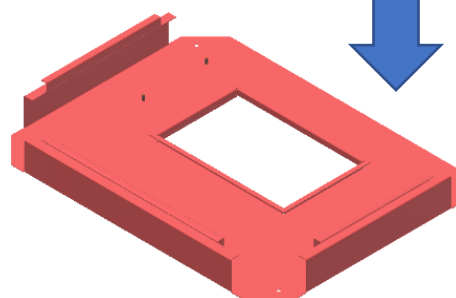
Obr. 2 Model nabíjecí stanice [8]



Obr. 3 Nosná konstrukce stanice [8]

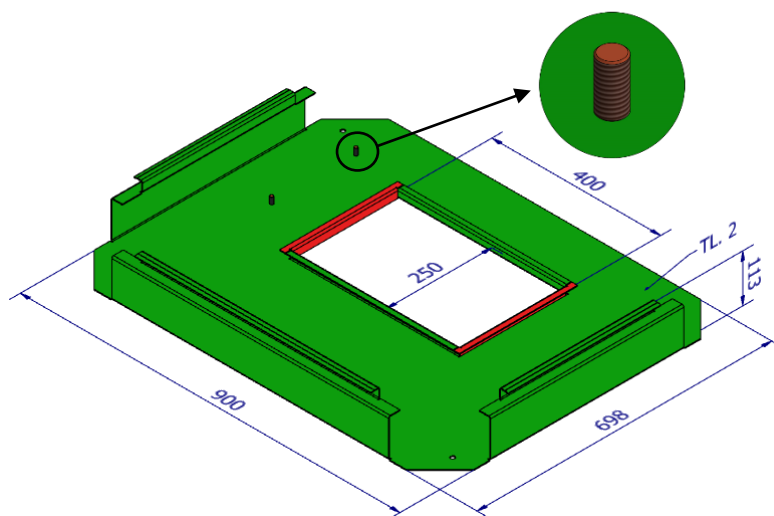
Vyráběná součást je svařena ke dvěma rohům a zádvnímu krytu. Společně s horním dílem tvoří kostru skříně, která je znázorněna na obr. 3. Tento svařenec je hlavní nosnou složkou konstrukce celé nabíjecí stanice. Nad otvorem dílce je usazen plech, prostřednictvím něhož jsou přiváděny kabely do 50 kW zdroje. Jednotlivé díly a svařence stanice jsou před montáží lakovány dle požadavků zákazníka.

Spodní díl (obr. 4) je sestaven ze tří ohnutých plechů o tloušťce 2 mm a čtyř korozivzdorných svorníků. Na obr. 5 je vidět umístění jednotlivých prvků. Maximální rozměry celého dílce jsou 900 x 698 x 113 mm. Plechové části se skládají z řady ohybů s vnitřními úhly 90 a 170 °. Pro zajištění polohy kabelového plechu je ve středu dílce otvor s osazením o rozměrech 400 x 250 mm a výšce ode dna 20 mm. Zevnitř jsou navařeny čtyři svorníky o velikosti M8, které pomocí matic a podložek upevňují držák zdroje. Otvory v rozích o průměru 9 mm spojují dílec s podstavcem šroubem a maticí.



Obr. 4 Spodní díl

Mezní úchytky rozměrů a geometrické tolerance vyráběné součásti jsou dle ČSN ISO 2768 - mK.



Obr. 5 Základní rozměry dílu

upevňovací díly, tlakové nádoby a svařované konstrukce v agresivních prostředích jako jsou např. přímořské oblasti, chemický nebo potravinářský průmysl. Ekvivalentní označení dle normy ČSN 10088-1 je uvedeno v tab. 1. Mechanické vlastnosti a chemické složení oceli jsou podrobně popsány v tab. 2 a 3.

Tab. 1 Ekvivalenty pro označení oceli 17 349 [14]

Ekvivalenty pro označení oceli				
Norma	ČSN	Wr. Nr.	AISI	DIN
Označení	17 349	1.4404	316L	X2CrNiMo 17-12-2

Tab. 2 Mechanické vlastnosti oceli 17 349 v žíhaném stavu [12]

Mechanické vlastnosti v žíhaném stavu			
R _m	R _e	A _{min}	Tvrдость
[MPa]	[MPa]	[%]	[HV]
490 - 690	190 - 300	45	150 - 200

Tab. 3 Chemické složení oceli 17 349 [12]

Prvek	C	Cr	Ni	Mo	S	P
Chem. složení v hm. %	< 0,03	16,5 – 18,5	10 – 13	2 – 2,5	< 0,03	< 0,045

Dílec společně s celou nabíjecí stanicí se budou vyrábět v roční sérii 100 kusů společností DEL a.s., která byla založena ke konci roku 1995. Firma se zabývá automatizací, robotizací, mechanickými řešeními na klíč, elektrotechnikou, výrobou rozvaděčů a elektrických pultů, dělením materiálu, montáží a servisem elektrických zařízení. Celková výrobní plocha činí přibližně 4 000 m². Dle požadavků zákazníka se zkonstruují a následně vyrobí různá elektrická zařízení, jako jsou rozvaděče, ovládací pulty, rozvodnice, datové skříně a nabíjecí stanice. Firma zajišťuje dodávky pro strojírenský, automobilový a energetický průmysl. Na obr. 6 je znázorněno logo společnosti.



Obr. 6 Logo firmy [8]

1.1 Variantní řešení [4], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26]

Pro zhotovení zadané součásti je možné využít více metod výroby. Důležité faktory pro volbu vhodné technologie jsou tvar součásti, přesnost rozměrů, jakost povrchu, mechanické vlastnosti a roční produkce, která činí 100 kusů za rok. Vzhledem ke složitosti součásti je potřeba využít kombinaci čtyř následujících etap:

a) Příprava polotovaru – z tabule plechu o tloušťce 2 mm lze vytvořit rozvinutý tvar součásti následujícími metodami:

- Řezání laserem (obr. 7) – je proces, při kterém dochází k přeměně světelné energie na energii tepelnou. Fokusaný laserový svazek fotonů dopadá na materiál a v místě kontaktu ho ohřívá na teplotu varu. Velká koncentrace energie umožňuje řezat všechny technické materiály bez ohledu na jejich chemické, fyzikální a tepelné vlastnosti. Tato technologie patří mezi moderní způsoby dělení plechu s vysokou

přesností řezaných dílů malých a středních tlouštěk. Pro korozivzdornou ocel 17 349 se využije tzv. tavné řezání, kdy laserový svazek taví materiál a pomocí proudu neaktivního plynu je tavenina vyfouknuta z řezné spáry. Metoda je vhodná pro výrobu obrysových tvarů, tenkých pásků, drobných otvorů a prvků s ostrými úhly. Mezi výhody patří pravoúhlá řezná hrana, velmi malá řezná spára (0,2 – 0,4 mm), minimální tepelně ovlivněná oblast a vysoká řezná rychlost. Nevýhodou jsou vysoké pořizovací a provozní náklady laserového stroje.



Obr. 7 Řezání laserem [27]

- Vysekávání (obr. 8) – je technologie, kdy je plech vtlačován razníkem do matrice a dochází tak k pružně plastické deformaci s následným dolomením. Přesnost zhotovených dílců se pohybuje okolo $\pm 0,1$ mm, z čehož vyplývá, že je technologie dostatečně přesná pro dodržení mezních úchylek rozměrů dle ČSN ISO 2768- mK. Výhodou je dobrá kvalita střížné plochy a rychlá výroba. Ocel 17 439 vykazuje poměrně vyšší mez pevnosti, což má negativní vliv na opotřebení nástroje. Metoda je vhodná pro výrobu plochých součástí. Tloušťka plechu 2 mm je optimální, s narůstajícím rozměrem se zvyšuje hlučnost stroje. Lze zhotovit obrysy i otvory, a to i nepravidelných tvarů.



Obr. 8 Vysekávání [19]

b) Ohnutí – z rozvinutého polotovaru se vytvoří prostorové výlisky. Pro zhotovování těchto tvarů připadá v úvahu jedna z těchto metod:

- V ohýbačce (obr. 9) – používá se pro výrobu tvarových dílců z plechu, při které dochází ve tvářeném materiálu k plastické deformaci působením ohybového momentu. Plech požadované tloušťky se vloží do nástroje. Dále se materiál v místě ohybu přitlačí hranou horní lišty z kalené oceli. Po sevření se prostřednictvím otočení ohybové desky vytváří požadovaný profil. Ohýbačky jsou výhodné pro svoji jednoduchost, nižší pořizovací náklady a minimální údržbu. Ruční zařízení lze využít pouze pro plechy menších tloušťek, a maximální úhel ohybu se pohybuje okolo 135 °. Osazení otvoru součástí nelze na ohýbačce zhotovit. V případě zvolení tohoto zařízení je nutné upravit původní tvary jednotlivých plechů. Z důvodu nízké produktivity se ohýbačky využívají zejména v kusové výrobě.



Obr. 9 Ohýbaní plechu pomocí ohýbačky [28]

- Ohraňování – je technologie výroby, která vychází ze stejných základních principů jako při ohýbání v ohýbačce. Nástroj je jednoduchý a víceúčelový. Princip ohraňování (obr. 10) spočívá v pohybu razníku, který sjíždí do matrice, a tím dochází k ohýbání plechu. Dílec je vytvořen zpravidla ve sledu několika operací až do vytvoření finální podoby. Metoda umožňuje změnu tvaru bez podstatné změny tloušťky. Výhodou metody je i vytvoření ohybu uvnitř součástí, kdy je požadovaná vzdálenost ohýbané hrany totožná s délkou nástroje (např. osazení otvoru). Pro nejmodernější ohraňování se využívají masivní CNC stroje, což má příznivý vliv na přesnost, efektivnost, zkrácení výrobních časů, rozsah použití a snížení nákladů na obsluhu. Nevýhodou je vyšší pořizovací cena zařízení.



Obr. 10 Ohraňování [29]

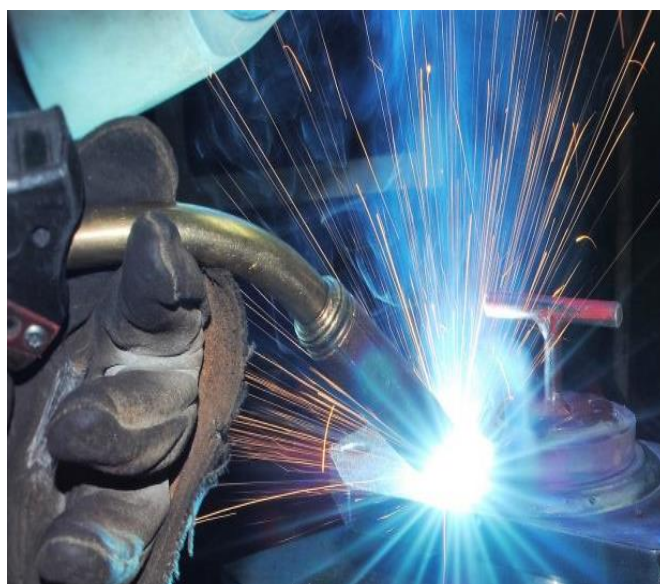
c) Svaření profilů – z několika kusů plechu se vytvoří hlavní část spodního dílu. K tomu lze využít následující technologie výroby:

- TIG (obr. 11) – je metoda využívaná pro spojování tenkých plechů. Zdrojem tepla je elektrický proud, který hoří mezi wolframovou netavicí se elektrodou a základním materiálem v inertním plynu, který chrání svar před oxidací. Přídavný materiál má podobné chemické složení jako základní materiál a je přiváděn ze strany ve formě tyčinky nebo svinutého drátu. Výhodou metody je možnost svařování bez přídavného materiálu. Běžně se svařují plechy od tloušťky 0,3 mm. Koncentrovaný tepelný svazek umožňuje rychlé natavení. Vzniklý svar je velmi kvalitní a bez pórů. Ruční svařování tyčinkovým přídavným materiálem je ovšem méně produktivní. Používá se pro svařování nelegované, nízkolegované i vysokolegované oceli.



Obr. 11 Svařování TIG [30]

- MAG (obr. 12) – je způsob svařování, kdy elektrický oblouk hoří v aktivním plynu mezi základním materiálem a odtavující se drátovou elektrodou. Během procesu je drát z cívky kontinuálně odvíjen pomocí podávacích válečků přes kabel do hořáku. Svarová lázeň je chráněna před oxidací ochranným plynem, který je přiváděn z tlakových lahví. Jako přídavný materiál se u svařování oceli 17 349 používá chrom-níkl-molybdenový drát. Metoda je vhodná pro koutové svary, a to ve všech svařovacích polohách. Výsledný svar má dobrý vzhled a nejsou zde vysoké nároky na odstranění strusky. Metoda má velkou produktivitu, a to díky vyšší svařovací rychlosti a kontinuálnímu přísunu tavicí se elektrody. Zařízení je nákladnější a náročnější na obsluhu. Lze využít u nízkolegovaných a vysokolegovaných ocelí.



Obr. 12 Svařování MAG [31]

d) Přivaření – zajistí pevné spojení čtyř svorníků s plechovým svařencem. Existují dvě základní metody, pomocí nichž lze svaru dosáhnout:

- Obloukové – je tzv. technologie zdvihového zážehu. Metodu lze rozdělit na svařování krátkým časem, s ochranným kroužkem nebo s ochrannou atmosférou. Svorník se přiblíží k materiálu prostřednictvím ručního nástroje (pistole pro přivařování svorníků). Následně se dotkne základního materiálu, což zapálí oblouk, viz obr. 13. Poté dojde k oddálení a natavení ploch obou částí. Po určitém časovém intervalu se oba díly stlačí, tím se vypne svařovací proud a vznikne velmi kvalitní svarový spoj. Běžně se spojují svorníky o průměrech 3 – 25 mm.



Obr. 13 Obloukové přivařování svorníků [32]

- Výbojem kondenzátoru – je též známé jako metoda hrotového zážehu. Technologie obsahuje stejné základní principy jako u jiných druhů obloukového svařování. Svorník obsahuje speciální hrot, který při kontaktu se základním materiálem iniciuje elektrický oblouk z baterie svařovacího kondenzátoru. Konec svorníku se společně se svařovaným dílcem rychle taví. Následuje vzájemné stlačení, po kterém dochází k tuhnutí svarového kovu. Celý svařovací proces trvá v řádech milisekund, proto lze svařovat i tenké plechy bez viditelných deformací. Pro přivařování svorníků výbojem kondenzátoru se používá speciální ruční pistole, viz obr. 14. Mezi klady technologie patří vysoká produktivita, jednoduchost, kvalita a hospodárnost. Metoda je vhodná pro přivařování svorníků, které mají jiné chemické složení než základní materiál.



Obr. 14 Přivařování svorníků výbojem kondenzátoru [33]

Z představených metod jsou zvoleny takové technologie, které jsou ekonomicky nejvýhodnější za dodržení konstrukčních a technologických požadavků. Důležitým aspektem je i výsledný vzhled součásti a strojový park podniku. Z plechu o tloušťce 2 mm se vytvoří rozvinuté tvary vysekáváním. Následně se dílce ohnou v řadě operací pomocí ohraňování, které je výhodné pro svoji přesnost a rychlost. Poté se takto připravené součásti svaří. Pro tupé svary se využije metoda v ochranné atmosféře TIG, poněvadž technologie umožňuje svařování bez přídavného materiálu. Koutové svary se svaří metodou v ochranné atmosféře MAG. V poslední operaci se svorníky navaří výbojem kondenzátoru, který je produktivnější oproti obloukovému přivařování svorníků. Na tyto technologie výroby bude zaměřena jak teoretická, tak i praktická část práce.

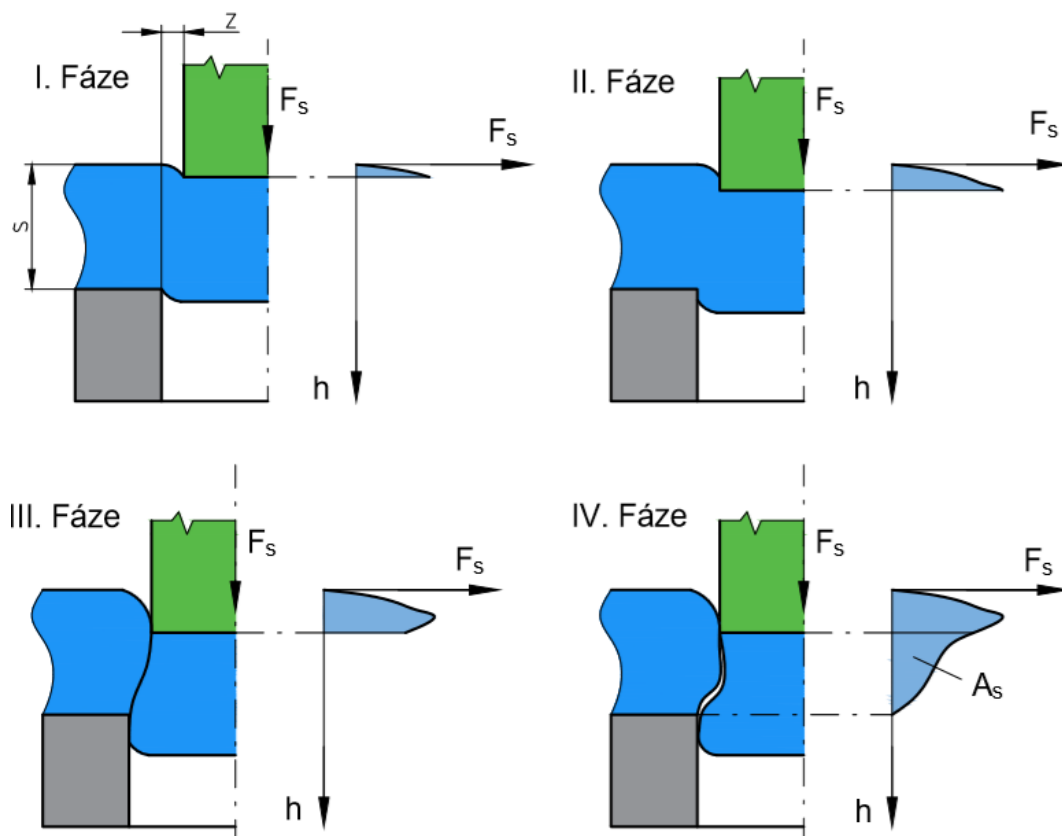
2 TECHNOLOGIE VÝROBY [2], [8], [25]

Při výrobě plechových skříní z korozivzdorných ocelí se využívá několik technologií výroby. Mezi moderní metody dělení plechového materiálu patří technologie vysekávání. Po této operaci je nutné odstranit ze součásti ostré hrany z důvodu bezpečnosti během manipulace. Zhotovené výstřižky se poté ohnou pomocí ohraňování, čímž se dosáhne přesných rozměrů dílců. Na požadované kusy se přivaří svorníky výbojem kondenzátoru. V konečné fázi se jednotlivé kusy ustaví do přesné polohy např. pomocí upínek a svěrek, a svaří metodami MAG a TIG. Před smontováním se provede práškové lakování dle požadavků zákazníka. Dříve než se realizuje montáž elektrického zařízení, proběhne důkladná kontrola všech součástí skříně. Po elektrické instalaci a odzkoušení funkčnosti jde výrobek do expedice.

2.1 Vysekávání [34], [35], [36], [37], [38], [39]

Jedná se o technologii dělení plechu, která je založena na relativním pohybu dvou břitů podél křivky stříhu. Vlivem smykového napětí dochází k oddělování materiálu. Razník vtlačuje polotovaru do matrice, tím dochází k pružně plastické deformaci s následným dolomením.

Proces probíhá ve čtyřech základních fázích, viz obr. 15. V první oblasti začíná razník pružně vnikat do tvářeného materiálu. Dle mechanických vlastností děleného polotovaru se hloubka tohoto vniku rovná 5 až 8 % jeho tloušťky. Při překročení meze kluzu nastává druhá fáze, kdy dochází k plastické deformaci. Hloubka vniknutí bývá 10 až 25 % tloušťky stříhaného plechu. Ve třetí fázi se tvářený materiál odděluje odtrhnutím, což je způsobeno rychlým šířením trhlin s následným lomem. V poslední fázi je oddělený výstřižek pomocí razníku vytlačován z polotovaru.

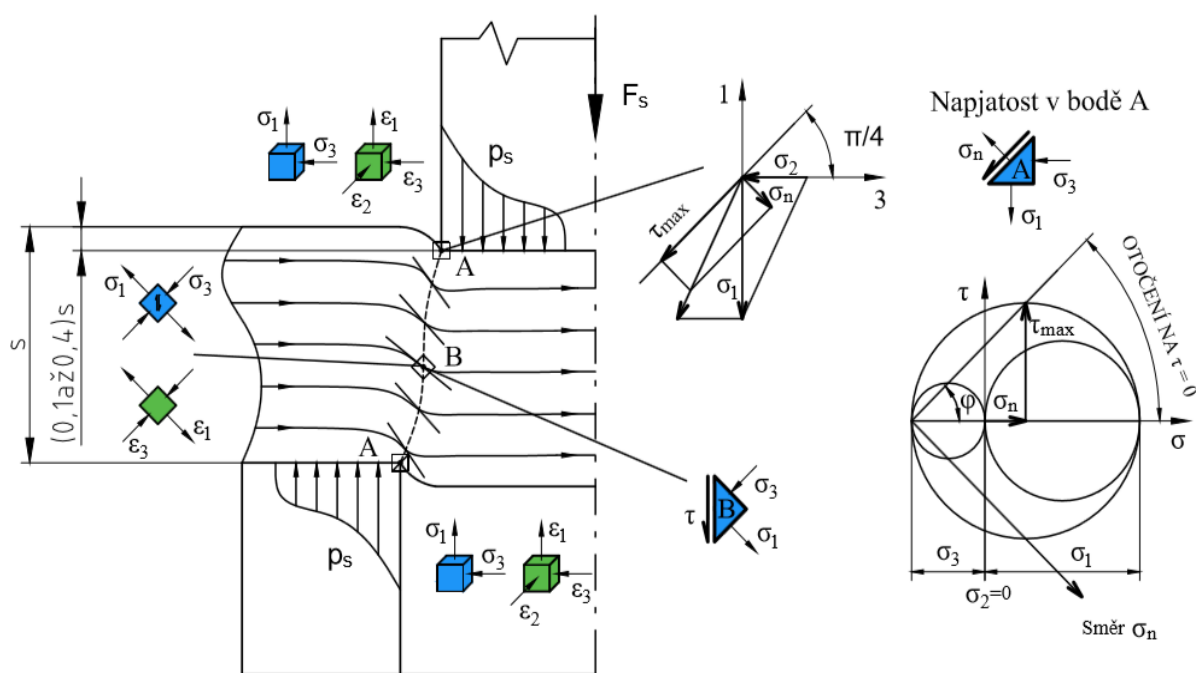


Obr. 15 Základní fáze stříhání [36]

Obrys střížné čáry je obvykle uzavřen, což způsobuje navýšení potřebné tvářecí síly vlivem tření v pružně svírané ploše při vytlačování výstřížku. Na obr. 16 je znázorněno schéma napjatosti a přetvoření vzniklé při vysekávání. Těsně u střížné hrany (bod A) je hlavní tahové σ_1 největší. Z praktických zkoušek bylo zjištěno, že velikosti hlavního tlakového napětí σ_3 je přibližně rovno polovině σ_1 , potom platí:

$$\sigma_3 = -\frac{\sigma_1}{2} \quad (2.1)$$

kde: σ_3 – hlavní tlakové napětí [MPa]
 σ_1 – hlavní tahové napětí [MPa]



Obr. 16 Schéma napjatosti a deformace při vysekávání [37]

V prvním přiblížení je maximální smykové napětí rovno:

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{3}{2} \cdot \sigma_3 \quad (2.2)$$

kde: τ_{max} – maximální smykové napětí [MPa]

Velikost kladné normální složky napětí je potom dána vztahem:

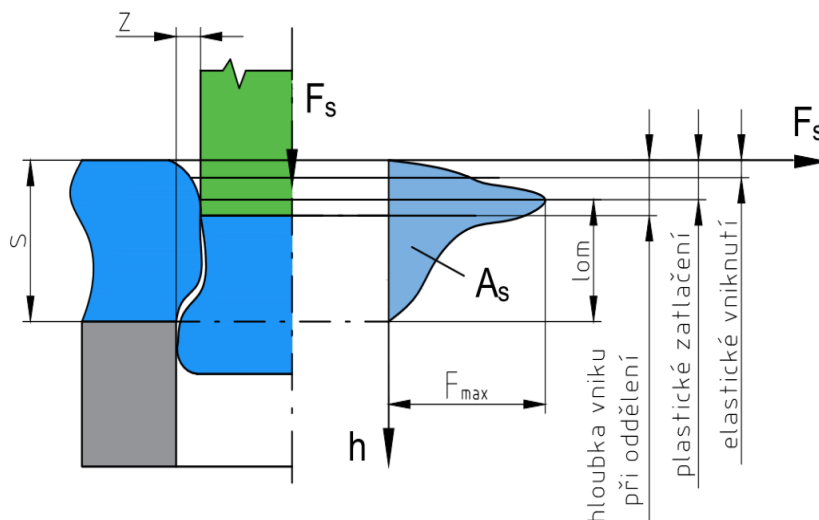
$$\sigma_n = \frac{1}{2} \cdot (\sigma_1 + \sigma_3) \quad (2.3)$$

kde: σ_n – normální složka napětí [MPa]

V bodě A je z vektorového součtu hlavních složek napětí a z Mohrových kružnic vidět, že na rovinu kolmou na maximální smykové napětí působí kladná normální složka σ_n , která se při nástřihu podílí na rozevírání trhlin, a tím napomáhá k jejich šíření. Směrem ke středu stříhaného materiálu se mění křivost vrstevnic plechu a dochází k natočení roviny τ_{max} , což vytváří střížnou plochu ve tvaru písmene S, viz obr. 16. Poměr hlavních napětí σ_1 a σ_3 se směrem do středu mění. V bodě B jsou splněny podmínky prostého smyku. Potom platí, že $\sigma_1 = |-\sigma_3|$ a $\sigma_n = 0$.

2.1.1 Síla a práce [37], [38], [39], [40], [41]

Velikost střížné síly je jedním ze základních faktorů při volbě vysekávacího stroje. Razník vtlačuje do matrice materiál, který klade odpovídající odpor. Mezi faktory ovlivňující velikost střížné síly patří druh a tloušťka materiálu, střížná mezera, délka křivky stříhu, rychlost procesu, mazání a stav nástroje.



Obr. 17 Průběh síly při vysekávání [37]

Průběh síly při vysekávání je zobrazen na obr. 17. Nejprve dochází k elastickému napěchování kovu pod razníkem. Následuje plastické přetvoření, které provází zpevnění materiálu, což způsobuje plynulý nárůst síly. V momentě vzniku nástřihu nastává mírný pokles až do okamžiku lomu, kdy dochází k oddělení tvářeného materiálu.

Síla se vypočítá ze znalosti střížného odporu, plochy a koeficientu otupení nástroje. Potom platí, že:

$$F_s = \tau_s \cdot S_s \cdot n = 0,8 \cdot R_m \cdot S_s \cdot n = 0,8 \cdot R_m \cdot s \cdot o \cdot n \quad [N] \quad (2.4)$$

kde: F_s – střížná síla [N]

τ_s – napětí ve stříhu [MPa]

R_m – mez pevnosti [MPa]

n – koeficient otupení nástroje, $n = 1,2$ až $1,5$ [–]

S_s – střížná plocha [mm²]

s – tloušťka stříhaného plechu [mm]

o – obvod střížné hrany [mm]

Střížná práce se vypočítá ze vztahu:

$$A_s = F_s \cdot s \cdot k \quad [J] \quad (2.5)$$

kde: A_s – střížná práce [J]

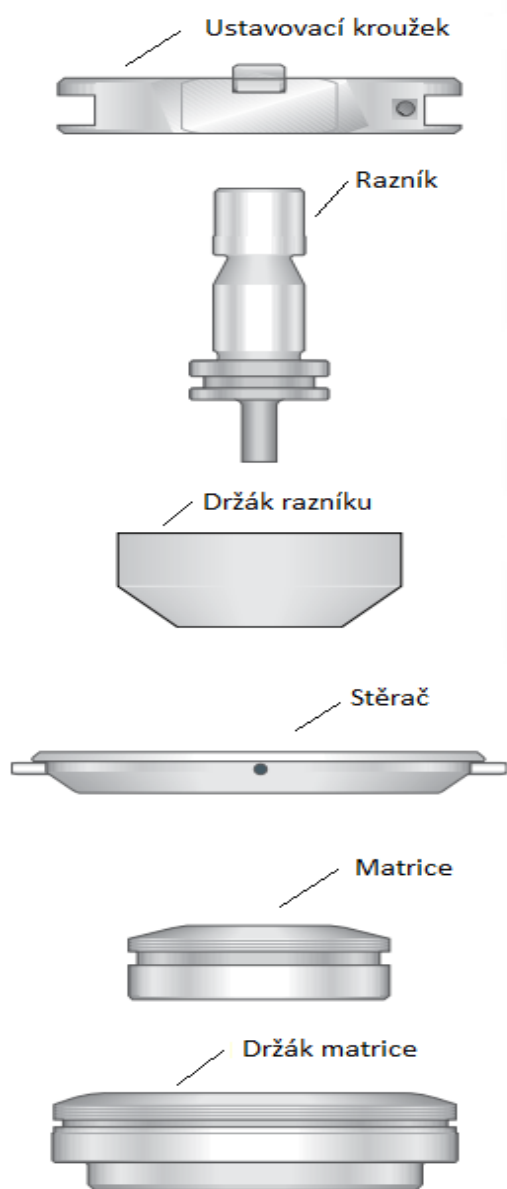
k – koeficient uvedený v tab. 4 [–]

Tab. 4 Hodnoty součinitele k [40]

Materiál	Tloušťka materiálu s [mm]	
	1 až 2	2 až 4
Ocel středně tvrdá $\tau_s = 350$ až 500 MPa	0,55 až 0,5	0,5 až 0,42
Ocel tvrdá $\tau_s = 500$ až 700 MPa	0,42 až 0,38	0,38 až 0,33

2.1.2 Nástroje [8], [19], [43], [44], [45]

Děrovací nástroje používané na počítačově řízených vysekávacích lisech umožňují vyrobit různé tvarové výrobky z plechu. Nejčastější operací na těchto strojích je dělení materiálu, ale lze vytvářet i ohyby, prolisy různých tvarů a otvory se závitem. Jednotlivé typy a tvary nástrojů jsou popsány v příloze 1 a 2. Při návrhu zpracovávaného dílce je nutné myslet na to, aby byl použit minimální počet nástrojů. Důvodem je zkrácení strojních časů.



Obr. 18 Schéma děrovacího nástroje [43]

Pro kvalitní děrování je důležitá správná volba střížné vůle. Její velikost má vliv na přesnost a kvalitu stříhaného materiálu, opotřebení nástroje, hlučnost stroje i lisovací a stírací síly. Při menší střížné vůli vzniká pevnější otřep, který je hůře odstranitelný. Pro každou tloušťku a druh materiálu by se měla použít vlastní sada děrovacích nástrojů, jelikož se výrobek nemusí dodatečně opracovávat. Doporučené hodnoty vychází z všeobecně uznávaných fyzikálních zákonitostí, které vznikají během vysekávacího procesu. U korozi-vzdorné oceli o tloušťce 2 mm se celková střížná vůle (dvě střížné mezery) pohybuje pro klasické děrování okolo 25 % z tloušťky tvářeného materiálu. V případě, kdy je odpadem výrobek, je obvykle celková střížná vůle 20 % z tloušťky polotovaru.

Na obr. 18 je znázorněn děrovací nástroj, který se skládá z několika částí. Sestavu lze rozdělit na dva celky. V beranu lisu je umístěna horní část nástroje. Naopak spodní protikus je pevně upevněn v pracovním stole.

Nástroj se může otáčet o 360°. Pro zajištění polohy razníku vůči matici se obvykle používá ustavovací kroužek, který má přes polovinu vyfrézovanou drážku, díky níž se prostřednictvím šroubu vytvoří sevření.

Razník umístěný v držáku vtlačuje materiál do matrice vlivem pohybu beranu. Nástroj se obvykle vyrábí z rychlořezné oceli. Upínání do beranu vysekávacího stroje je zajištěno prostřednictvím stopky. Geometrie čela razníku je buď plochá nebo šikmá, která snižuje střížnou sílu a hlučnost stroje. U nesymetrické šikmé geometrie čela vznikají boční síly, jež mohou způsobit vybočení nástroje.

Mezi razníkem a maticí je umístěn stěrač, který stahuje plech zachycený na obvodu razníku při zpětném pohybu do horní polohy. Vzdálenost od materiálu se pohybuje od 0,6 do 1,6 mm. Pro zvýšení kvality stříhu lze použít pohyblivý stěrač, jenž sjíždí dolů spolu s razníkem a přitlačí materiál na matici. Tento aktivní stěrač funguje jako přidržovač.

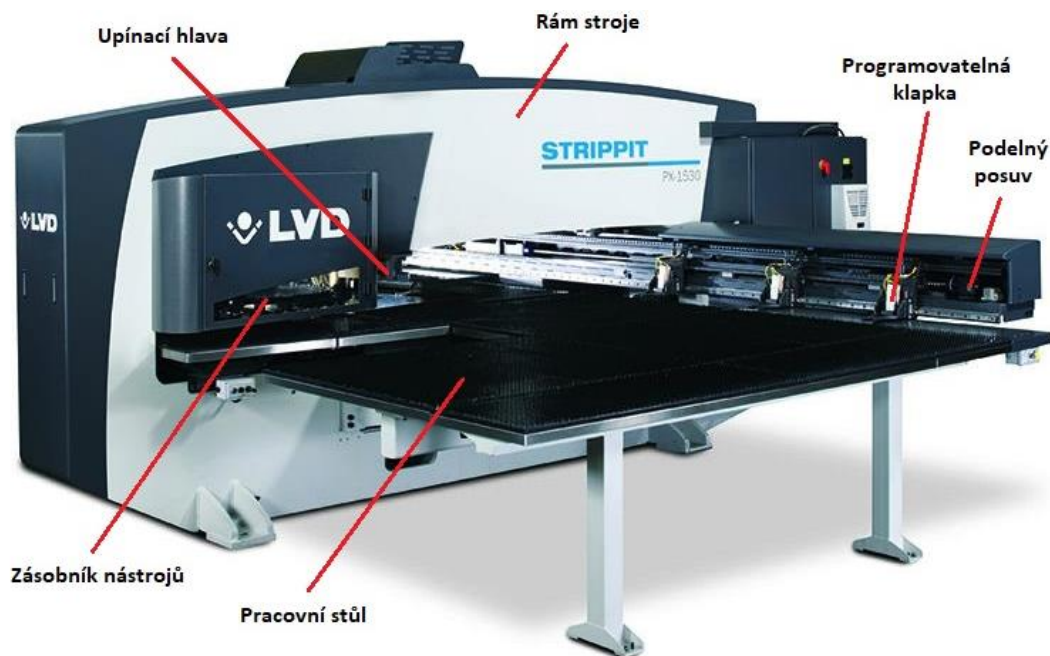
Ve spodní části je v držáku umístěna matrice, která má negativní tvar razníku. Relativním pohybem vznikají ve zpracovávaném materiálu protiběžné síly, což způsobuje dělení polotovaru. Odpad propadá otvorem pod maticí do skladovacího zásobníku. Při opotřebení je možné nástroj přebrousit.

Pro kvalitní děrování je důležitá správná volba střížné vůle. Její velikost má vliv na přesnost a kvalitu stříhaného materiálu, opotřebení nástroje, hlučnost stroje i lisovací a stírací síly. Při menší střížné vůli vzniká pevnější otřep, který je hůře odstranitelný. Pro každou tloušťku a druh materiálu by se měla použít vlastní sada děrovacích nástrojů, jelikož se výrobek nemusí dodatečně opracovávat. Doporučené hodnoty vychází z všeobecně uznávaných fyzikálních zákonitostí, které vznikají během vysekávacího procesu. U korozi-vzdorné oceli o tloušťce 2 mm se celková střížná vůle (dvě střížné mezery) pohybuje pro klasické děrování okolo 25 % z tloušťky tvářeného materiálu. V případě, kdy je odpadem výrobek, je obvykle celková střížná vůle 20 % z tloušťky polotovaru.

2.1.3 Stroje [8], [19], [46], [47]

K vysekávání se používají počítačem řízené stroje, příklad včetně popisu je znázorněn na obr. 19. Jedná se o univerzální zařízení umožňující dělit nebo ohýbat materiál, vytvářet prolisy a otvory se závity.

Základním prvkem stroje je rám, jenž může být dvojího typu. Buď rámová konstrukce do tvaru písmene C, která umožňuje snadnou výměnu nástroje nebo do tvaru písmene O, kde je zaručena vyšší tuhost děrovacího stroje. Zásobník poskytuje rychlou a automatickou výměnu nástrojů během vysekávání. Razník se upne do upínací hlavy, která se může otáčet kolem 360° stejně jako matrice umístěná v pracovním stole. Doba výměny nástroje na automatických strojích je v řádech sekund. Tabule plechu se umístí na pracovní stůl, kde se ustaví pomocí dorazu a programovatelných klapek, které sevrou polotovár. Vysekávací hlava je pevně ustavena do rámu, proto se musí pohybovat tabule plechu upnutá do programovatelných klapek. Pohyb je v osách x a y zajištěn ozubeným systémem nebo kuličkovým šroubem s maticí s využitím vodících lišt. Mechanismy umožňují přesné polohování v řádech setin milimetru. Rychlost posuvu může být větší než 100 m.min⁻¹.



Obr. 19 Popis vysekávacího lisu [46]

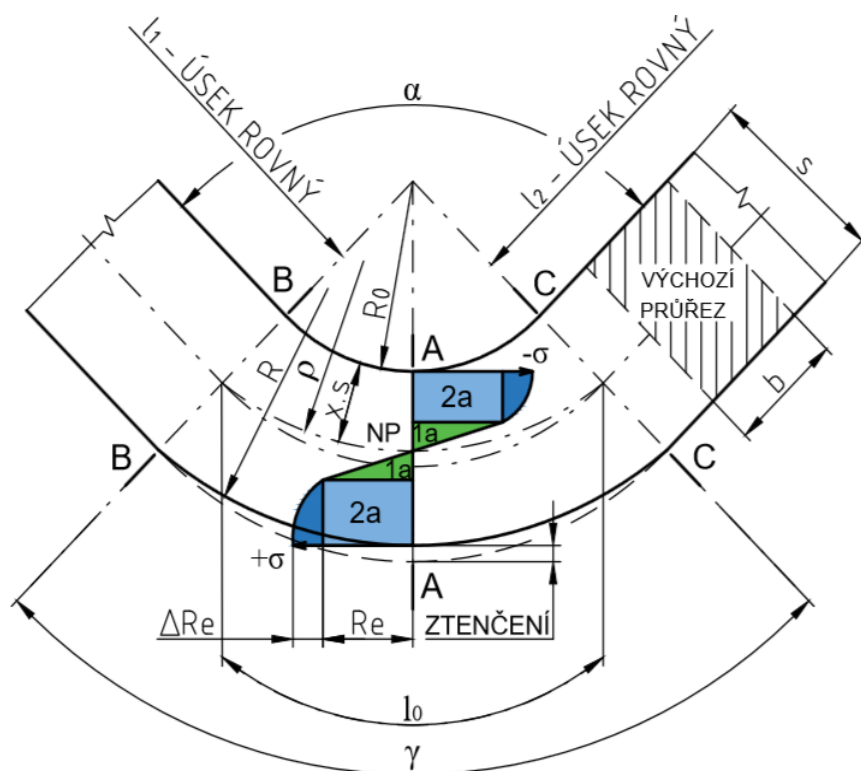
2.2 Ohraňování [1], [2], [4], [29], [36], [37], [38], [48]

Technologie ohraňování (obr. 20) je založena na principu vyvolání trvalé deformace v materiálu vlivem působení ohybového momentu od vnější síly. V polotovaru vzniká pružně – plastická deformace, na jejíž velikost má vliv poloměr ohybu, materiál a jeho tloušťka, velikost momentu a orientace plechu ve směru vláken. Po překročení meze kluzu se polotovar začne plasticky deformovat, což způsobuje zpevnění materiálu. Velikost napětí však nesmí překročit mez pevnosti, kdy nastává porušení soudržnosti. Během ohraňování nedochází k výrazné změně průřezu.



Obr. 20 Technologie ohraňování [29]

Ohýbání vyvolává v materiálu napětí, které je na vnitřní straně tlakové a na vnější tahové. V přechodové oblasti je napětí nulové a nazývá se neutrální plocha. V oblasti tlaku se materiál pěchuje, což způsobuje posunutí neutrální plochy k vnitřní straně ohybu. Průběh napětí je znázorněn na obr. 21.



1a, 1b – oblast pružné deformace

2a, 2b – oblast plastické deformace se zpevněním ΔRe

R_0 – poloměr ohybu

l_0 – délka ohnutého úseku v neutrální ploše

x – součinitel polohy neutrální plochy

α – úhel ohybu

γ – úhel ohnutého úseku ($\gamma = 180 - \alpha$)

ρ – poloměr neutrální plochy

Obr. 21 Schéma ohýbání [37]

Ke správnému určení rozměru výchozího polotovaru je nutná znalost polohy neutrální plochy ohýbaného průřezu. Výlisek se rozdělí na rovné části (zde se délka neutrální vrstvy nemění, a proto je totožná s rozměrem daného úseku) a oblouky. U ohybů, kde $R_0/s < 12$ se předpokládá posunutí neutrální plochy směrem ke stlačovaným vláknům. Potom platí, že:

$$\rho_i = R_{oi} + x_i \cdot s \text{ [mm]} \quad (2.6)$$

kde: ρ_i – poloměr neutrální plochy [mm]

R_{oi} – vnitřní poloměr ohybu [mm]

x_i – součinitel polohy neutrální plochy, určí se podle tab. 5 na základě R_0/s [-]

Tab. 5 Závislost součinitele x na R_0/s pro ocel s R_m nad 400 MPa [4]

R_0/s	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,5	2	3	4	5
x	0,37	0,38	0,40	0,41	0,42	0,44	0,45	0,46	0,47	0,50

Hodnota poloměru neutrální plochy se společně s úhlem ohybu dosadí do následujícího vzorce pro výpočet délky neutrální plochy:

$$l_{oi} = \frac{2 \cdot \pi}{360} \cdot \alpha_i \cdot \rho_i = \frac{\pi}{180} \cdot \alpha_i \cdot \rho_i \text{ [mm]} \quad (2.7)$$

kde: l_{oi} – délka neutrální plochy [mm]

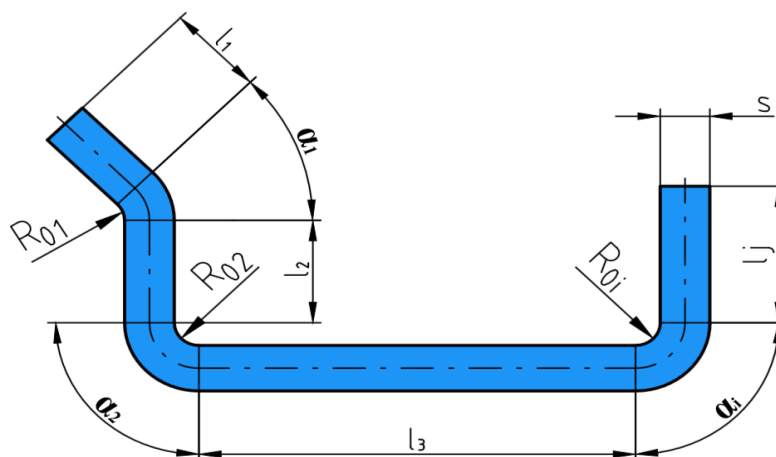
α_i – úhel ohybu [°]

Celková délka rozvinutého tvaru je součtem rovných úseků a délek neutrálních vrstev jednotlivých ohybů, viz obr. 22. Pro výpočet se využije následující vzorec:

$$L_{pol} = \sum_{i=1}^n l_{0i} + \sum_{j=1}^k l_j \quad [mm] \quad (2.8)$$

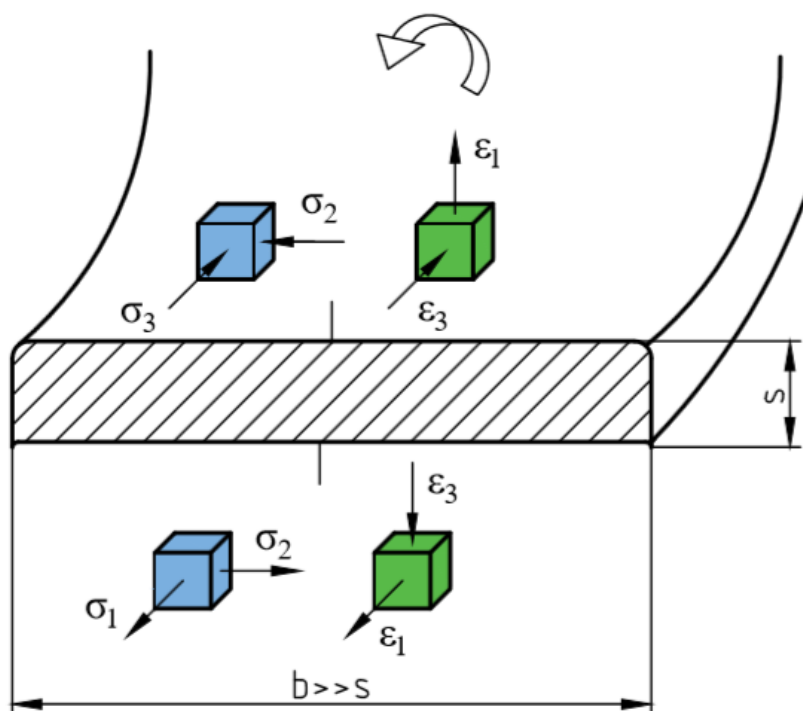
kde: L_{pol} – celková délka rozvinutého tvaru [mm]

l_j – délka j-tého rovného úseku [mm]



Obr. 22 Stanovení rozvinuté délky polotovaru [36]

Průběh deformace a napjatosti se během ohýbání liší podle poměru stran v příčném průřezu. U ohýbání širokých pásů plechu není umožněna deformace v příčném směru ($\epsilon_2 = 0$), viz obr. 23. Rovinný stav deformace je potom na tlakové straně $-\epsilon_1 = \epsilon_3$ a na tahové straně $\epsilon_1 = -\epsilon_3$.

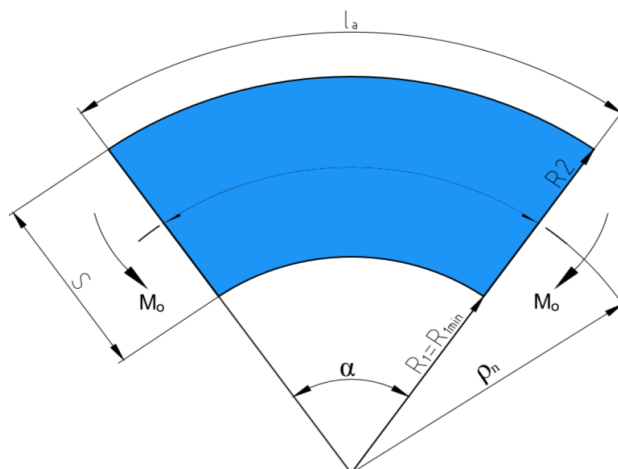


Obr. 23 Schémata napjatosti a deformace [37]

2.2.1 Technologické parametry ohraňování [1], [2], [4], [36], [37], [38], [48]

Pro získání přesného rozměru metodou ohraňování je zapotřebí nejprve zvážit technologické parametry, mezi které patří:

- Minimální poloměr ohybu – je hodnota, kdy ještě lze provádět pružně plastický ohyb. Při zmenšení překročí tahové napětí na vnější straně mez pevnosti, což způsobí porušení daného materiálu s následným lomem. Na obr. 24 je znázorněno schéma pro V ohyb, ze kterého se vypočítá maximální přípustná poměrná deformace ε_{1max} následujícím vztahem:



Obr. 24 Schéma ohybu [2]

$$\begin{aligned}\varepsilon_{1max} &= \frac{l_a - l_0}{l_0} = \frac{R_2 \cdot \alpha - \rho_n \cdot \alpha}{\rho_n \cdot \alpha} = \\ &= \frac{(R_{1min} + s) - \left(R_{1min} + \frac{s}{2}\right)}{\left(R_{1min} + \frac{s}{2}\right)} = \frac{s}{2 \cdot R_{1min} + s} [-]\end{aligned}\quad (2.9)$$

kde: ε_{1max} – maximální poměrná deformace [-]

l_a – délka oblouku na vnější straně ohybu [mm]

R_{1min} – minimální vnitřní poloměr ohybu [mm]

Ze vzorce (2.9) se vyjádří hodnota minimálního vnitřního poloměru ohybu:

$$R_{1min} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_{1max}} - 1\right) = c \cdot s [mm] \quad (2.10)$$

kde: c – materiálový součinitel [-]

Velikost materiálového součinitele se určí z technologických podkladů. Hodnota „ c “ se mění se směrem anizotropie a zpevněním ohýbaného materiálu. Pro ocel se pohybuje od 0,5 do 0,6.

- Maximální poloměr ohybu – je takový, při němž již dojde k trvalé deformaci tvářeného materiálu. U většího poloměru se po ukončení ohýbacího procesu polotovár vrátí do původního stavu, což je způsobeno pružnou deformací. Kritická poměrná deformace na mezi kluzu se určí z rovnice (2.9) a Hookova zákona následujícím vztahem:

$$\varepsilon_{1min} = \frac{\sigma_k}{E} = \frac{s}{2 \cdot R_{1max} + s} [-] \quad (2.11)$$

kde: ε_{1min} – kritická poměrná deformace [-]

σ_k – mez kluzu tvářeného materiálu [MPa]

E – modul pružnosti v tahu [MPa]

R_{1max} – maximální poloměr ohybu [MPa]

Ze vzorce (2.11) se vyjádří hodnota maximálního poloměru ohybu:

$$R_{1max} = \frac{s}{2} \left(\frac{E}{\sigma_k} - 1\right) [mm] \quad (2.12)$$

2.2.2 Síla a práce [1], [2], [36]

Velikost ohybové síly je základním faktorem pro zvolení správného ohrňovacího lisu. Na tomto stroji se v běžné praxi nejčastěji ohýbá do tvaru V.

Vlivem posuvu razníku do matrice se začne materiál pružně deformovat. Po překročení meze kluzu dochází v krajních bodech ohýbaného plechu k nevratným deformacím, které se následně rozšiřují směrem k neutrální ose. Síla má po celou dobu procesu stoupající charakter, viz obr. 28. Rapidní nárůst je v konečné oblasti, kdy dochází ke kalibraci z důvodu eliminace odpružení. Velikost celkové práce je rovna obsahu plochy pod křivkou.

Tvářený plech si lze představit jako nosník umístěný na dvou podporách a uprostřed zatížený ohybovou silou, která se určí na základě rozměrů polotovaru a geometrie nástroje. Pro výpočet síly u ohybu do tvaru V (obr. 29) se využije následující vzorec:

$$F_o = \frac{b \cdot s^2 \cdot R_m}{lv} \cdot C_o \quad [N] \quad (2.14)$$

kde: F_o – ohybová síla [N]

b – šířka materiálu [mm]

C – Caliho konstanta, jež se volí od 1,15 do 1,45

Z důvodu eliminace odpružení je možné použít kalibrační sílu F_k , jejíž velikost je $F_k = (2 \text{ až } 2,5) \cdot F_o$. Celková ohybová síla se stanoví vztahem:

$$F_{co} = F_o + F_k \quad [N] \quad (2.15)$$

kde: F_{co} – celková ohybová síla [N]

F_k – kalibrační síla [N]

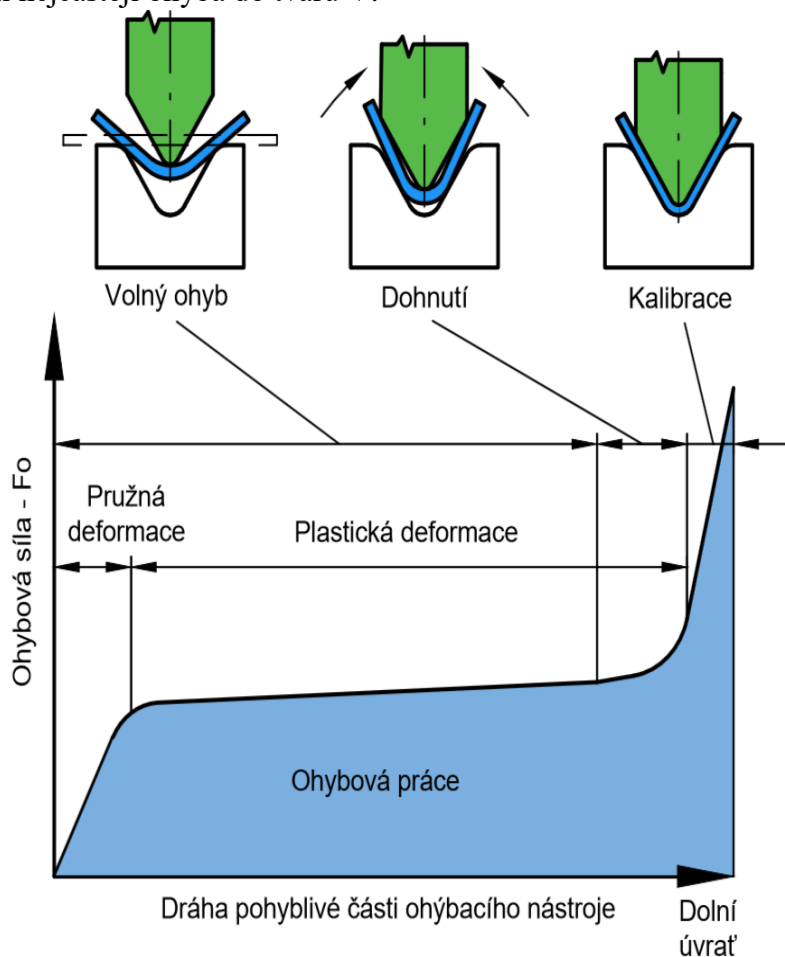
Ohybová práce se vypočítá ze vzorce:

$$A_v = F_o \cdot h \cdot \psi \quad [J] \quad (2.16)$$

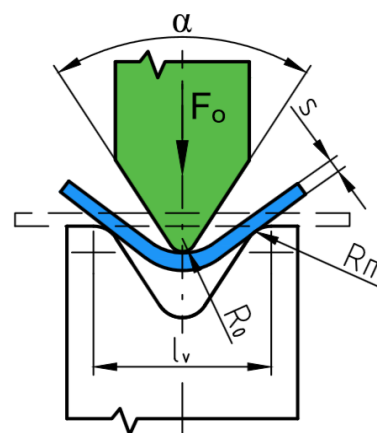
kde: A_v – ohybová práce [J]

h – dráha pohyblivého nástroje [m]

ψ – součinitel plnosti diagramu, který se pohybuje mezi 0,5 až 0,65 [–]



Obr. 28 Průběh ohýbací síly v závislosti na dráze ohýbacího nástroje [1]

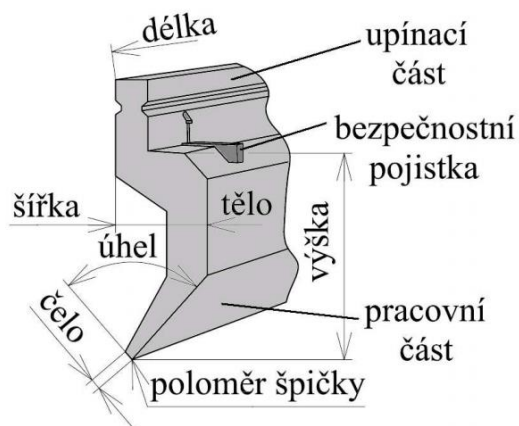


Obr. 29 Schéma ohýbaní do tvaru V [2]

2.2.3 Nástroje [4], [8], [37], [49], [50]

Ohraňovací nástroje se dělí na dvě základní části. V horní části stroje je upnutý razník, který sjíždí dolů pomocí beranu do dutiny matrice, jež je pevně upnutá ve spodní liště. Tvářený materiál se ohýbá tak, že je vtlačován razníkem do matrice. Tímto způsobem lze zhotovit mnoho tvarů, viz příloha 3. Výsledný ohyb součásti se řídí geometrií nástroje, poloměrem špičky razníku a zaoblením hran matrice. Vzájemné rozměry obou nástrojů jsou důležité z toho důvodu, aby nedošlo k případné kolizi. Proto je nutné provést kontrolu pomocí diagramu dodávaného k razníku.

Na obr. 30 je znázorněn popis razníku. Celek se skládá ze dvou hlavních částí, a to z upínací a pracovní. Razník má pevně stanovenou délku, šířku, výšku, velikost úhlu a poloměru špičky. Tělo se vyrábí v různých tvarech, z nichž se nejčastěji používají rovné nebo dvojnásobně lomené. Při volbě nástroje je zapotřebí znát kromě tvaru ohybu i délku ohýbané součásti.



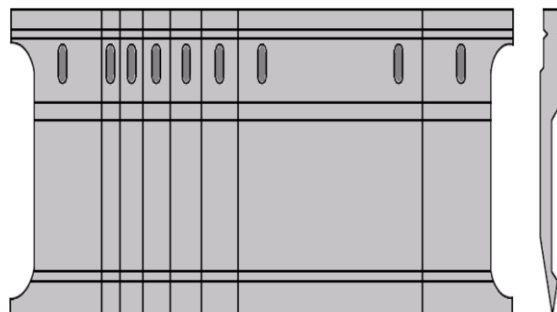
Obr. 30 Razník [50]

Pro zhotovení uzavřených tvarů je nutné použít nástroj, který má přesně stanovenou délku.

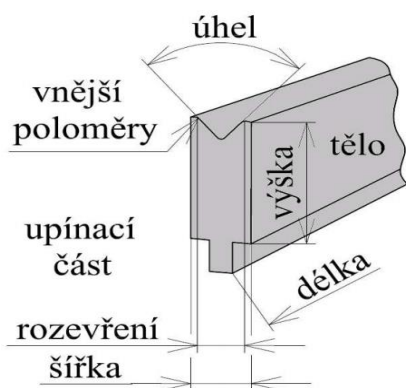
První možností je využití jednoho razníku (obr. 31), jehož délka je totožná s šířkou ohybu. Druhým způsobem je použití složeného nástroje z několika dílů (obr. 32). Existuje celá řada délek od 20 mm do více než 550 mm.



Obr. 31 Jednodílný nástroj [49]



Obr. 32 Vícedílný nástroj [49]



Obr. 33 Matrice [50]

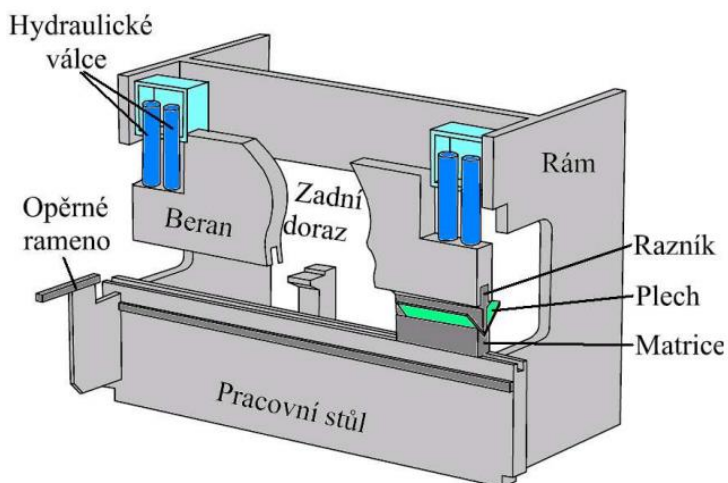
Matrice se ve většině případů vyrábí s dutinou ve tvaru písmene V nebo U. Upíná se za spodní část nástroje do upínací lišty. Pracovní dutina je dána poloměry zaoblení, velikostí vnitřního úhlu a vzdáleností mezi poloměry. Na obr. 33 je znázorněna jednodutinová matrice, jež se používá nejčastěji. V praxi se lze setkat i s provedením, které obsahuje čtyři dutiny pro obsáhlejší tvary a zvýšení produktivity.

Ohraňovací nástroje jsou obvykle vyrobeny z nízkolegovaných nebo vysokolegovaných ocelí. Pro zvýšení životnosti se funkční plochy tepelně zpracovávají. Dle požadavků zákazníka lze použít i různé ochranné povlaky.

2.2.4 Stroje [4], [8], [37], [49], [50]

Plechové dílce se nejčastěji ohýbají na počítačem řízených ohraňovacích lisech. Na těchto strojích se vyrábí různé tvary ohybů s vysokou rozměrovou přesností. Ohraňovací lisy umožňují vyrobit dílce, které mají mnoho ohybů za sebou nebo ohyby ve středu součásti. Mezi výhody tohoto zařízení patří vysoká produktivita, snadná obsluha a možnost automatizace.

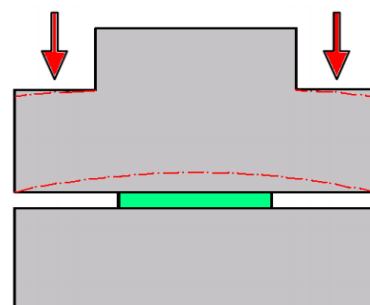
Na obr. 34 je znázorněn popis hydraulického ohraňovacího lisu. Nosným prvkem konstrukce je rám, který se vyznačuje vysokou tuhostí. Z tohoto důvodu jsou stroje schopné vyvinout vysoké tvářecí síly bez deformace konstrukce. Existují rámy do tvarů písmen C a O. Typ O má robustnější konstrukci a vyznačuje se vyšší tuhostí.



Obr. 34 Ohraňovací lis [50]

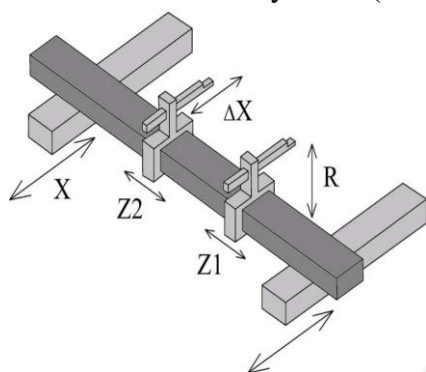
Pohon beranu ohraňovacího lisu je hydraulický nebo elektrický. Při použití elektrických pohonných systémů je pohyb dolů realizován pomocí systémů kladek a pásů v kombinaci se servomotory. Návrat beranu do horní polohy je zajištěn vratnými pružinami a konstrukce umožňuje rovnoměrné rozložení síly po celé jeho délce. Tento typ je méně náročný na údržbu a vyžívá se zejména pro ohýbání tenkých plechů.

Hydraulický systém je tvořen řídicí jednotkou, zubovým čerpadlem, tlakovým vedením a hydraulickými válci. Tento pohon vykazuje vysokou přesnost polohy, větší ohybové síly a rychlost pohybu okolo $10 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$. Hlučnost stroje je obvykle nižší než 70 dB. Při použití velké síly k vytvoření dlouhých ohybů vzniká pružná deformace beranu, viz obr. 35. To je způsobeno umístěním hydraulických válců, které působí maximální silou po bocích stroje. Tato deformace má negativní vliv na tvar součásti, kde ve středové části je úhel ohybu větší než požadovaný.



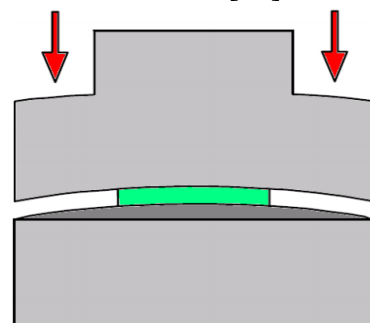
Obr. 35 Pružná deformace beranu [50]

V současné době výrobci ohraňovacích lisů vyvinuli řadu bombírovacích systémů (obr. 36), které kompenzují deformaci beranu.



Obr. 37 Směry pohybů zadních dorazů [50]

Pro zhotovení dílců je nutné ustavit materiál do požadované polohy. Z tohoto důvodu se



Obr.36 Bombírovací systém [50]

na ohraňovacích lisech používají ruční nebo počítačem řízené zadní dorazy. Tyto prvky jsou umístěny na dvou pohyblivých ramenech. Dorazy mohou vykonávat pohyb v různých směrech, viz obr. 37. Samotné dorazy obsahují rovné nebo tvarové "prsty", které slouží k zapření plechu. K zamezení opotřebení lze tyto prvky opatřit tlumiči.

2.3 Svařování [51], [52], [53], [54], [55]

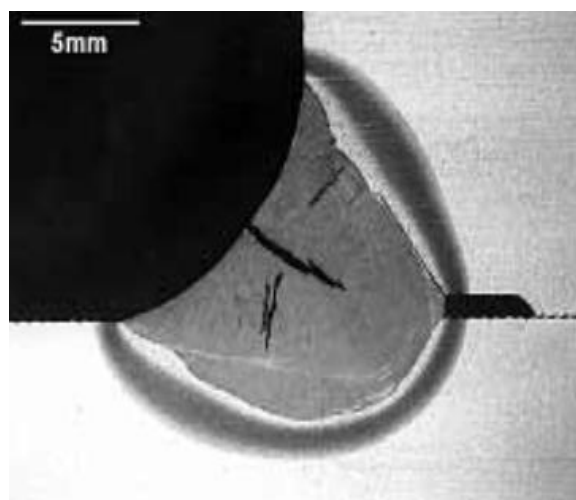
Chrom-nikl-molybdenové austenitické oceli jsou v praxi velmi často používané vzhledem ke skvělé tažnosti, odolnosti vůči korozi a dobré svařitelnosti. Během svařování ovšem vznikají větší deformace a napětí oproti slitinám s feritickou strukturou.

Korozivzdorné austenitické oceli se svařují přídavnými materiály, které mají stejné nebo podobné chemické složení. Je možné použít téměř všechny technologie svařování, u nichž je zajištěna dokonalá ochrana svarového kovu. Austenitická ocel není náchylná na studené trhliny, tudíž se nepoužívá předehřev, který by se navíc nepříznivě podílel na korozní odolnosti svarového kovu. Tepelný příkon se obvykle limituje na hodnotu 15 kJ.cm^{-1} vzhledem k náchylnosti ke tvorbě trhlin za tepla.

Při použití metod MAG, TIG a přivařování výbojem kondenzátoru mohou u austenitické oceli vznikat následující vady:

- Trhliny za tepla (obr. 38) – vznikají při chladnutí materiálu po svařování nad teplotou $800 \text{ }^\circ\text{C}$. Tyto vady mají negativní vliv na pevnost svařované konstrukce.

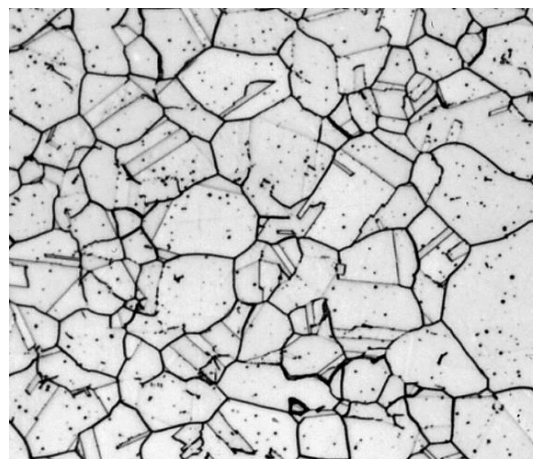
U austenitických ocelí vznikají krystalizační (pouze ve svarovém kovu), likvační a polonizační trhliny. Příčinou vzniku těchto defektů jsou prvky jako síra, fosfor, křemík, niob a titan, jelikož při tuhnutí snižují plasticitu kovu tuhnoucího v mezidendritických prostorech. Dále tyto prvky vytvářejí s železem a niklem nízkotavitelná eutektika, která značně snižují technologickou pevnost hranic zrn. Obsah síry se může redukovat vazbou na mangan, jelikož spolu vytváří sulfid manganatý, který přechází do strusky.



Obr. 38 Trhliny za tepla [53]

Fosfor lze snížit rozpustností v δ -feritu. Další prvky se limitují doporučeným obsahem. Hlavním faktorem pro snížení tvorby teplých trhlin je množství δ -feritu ve struktuře austenitické oceli. Za okolní teploty se vyžaduje ve svarovém kovu 2 až 6 hm. % δ -feritu a v základním materiálu přibližně 3 hm. % δ -feritu. K zamezení trhlin za tepla je nutné použít metodu svařování s nízkým měrným příkonem.

- Mezikrystalová koroze – může nastat u austenitických ocelí v pásmu zcitlivění, které se pohybuje v rozmezí teplot 425 až $815 \text{ }^\circ\text{C}$. Jedná se o nerovnoměrné korozní napadení materiálu, které se projevuje ztrátou mechanické pevnosti, přičemž nemusí docházet k viditelným změnám. Na vznik mezikrystalové koroze je zpracováno několik teorií, mezi které patří změna chemického složení tuhého roztoku na rozhraní zrn v okolí precipitátů, rozpouštění rozhraní zrn následkem vzniku místních článků a energetické rozdíly v místech vylučování sekundární fáze. Všechny tyto teorie uvádí jako základní příčinu mezikrystalové koroze precipitaci karbidů a nitridů chromu, které lze na obr. 39 pozorovat ve formě



Obr. 39 Mezikrystalová koroze [55]

teček. Na této vadě se výrazně projevuje uhlík, kdy do 0,02 hm. % (u velmi rychlých cyklů až 0,05 hm. %) nevzniká mezikrystalová koroze. Při vyšším obsahu prvku lze využít titan nebo niob, neboť se vyznačují vyšší afinitou k uhlíku než chrom. Důsledkem toho se v austenitické oceli po svaření začnou vytvářet karbidy titanu a niobu, čímž se zabraňuje vytvoření karbidu chromu. V praxi méně používaná varianta k odstranění mezikrystalové koroze je rozpouštěcí žíhání, které je však nevýhodné vzhledem k vyšší ceně.

- Fáze σ – je intermediální sloučenina, která je tvrdá a křehká, což u austenitických ocelí způsobuje zkrhnutí. Ve svarovém kovu vzniká v rozmezí teplot 500 až 820 °C. Fáze σ se projeví zejména při vyšším obsahu chromu jak 10 hm. %. Mezi faktory ovlivňující nežádoucí intermediální sloučeniny patří feritotvorné prvky (Al, Si, Ti, Mo, Nb), karbidotvorné prvky (Zr, Ti, Nb, Ta), přesycení chromem při rychlém ochlazení a hrubozrnná struktura.

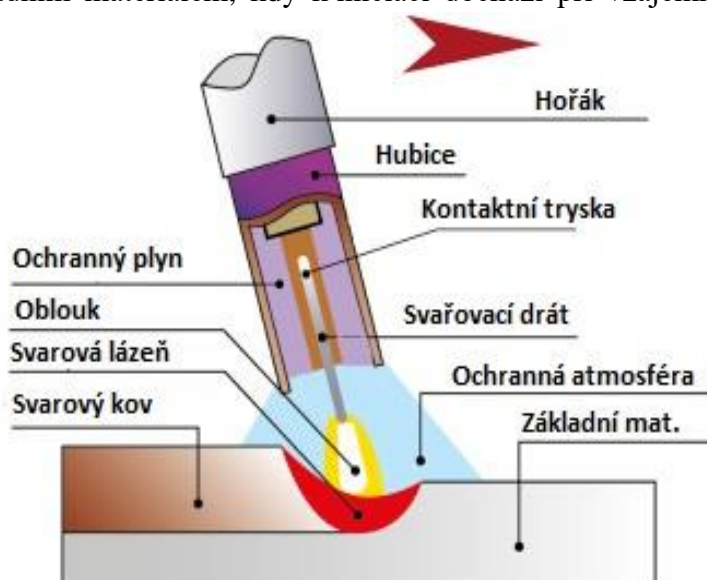
U svarových spojů austenitických ocelí se ve většině případů neprovádí tepelné zpracování. U tuhých a tvarově složitých svařenců je možné použít žíhání ke snížení vnitřního pnutí na teploty 400 až 500 °C nebo 850° až 950 °C. Pro zlepšení korozní odolnosti svarů je vhodné využít rozpouštěcího žíhání, kdy se materiál zahřeje v celém objemu na 1000 až 1050 °C, a následně rychle ochladí ve vodě, díky čemuž dochází k rozpouštění karbidů. Tento způsob tepelného zpracování může být doplněn o stabilizační žíhání.

2.3.1 MAG [56], [57], [58]

Metoda MAG (obr. 40) je jedna z nejrozšířenějších technologií svařování korozivzdorných austenitických ocelí. Elektrický oblouk hoří v ochranném aktivním plynu mezi tavící se elektrodou ve formě drátu a základním materiálem, kdy k iniciaci dochází při vzájemném kontaktu.

Během svařování je přídatný materiál postupně odvíjen z cívky pomocí podávacích válečků, což má příznivý vliv na produktivitu svařování. Pro metodu MAG se nejčastěji používá drát, který má stejné nebo podobné chemické složení jako základní materiál.

Svarová lázeň je chráněna před oxidací ochranným aktivním plynem, jenž je přiváděn kabelem do hořáku z tlakových lahví. U austenitických ocelí se používají směsi STARGON C2 a STARGON 02. Pro zrychlení procesu a dosažení hladkého povrchu svaru lze použít ochranný plyn obsahující malé množství vodíku, který je výhodný oproti heliu kvůli své ceně. Všeobecně je lepší použít směs s vyšším obsahem CO_2 z důvodu stabilnějšího oblouku.

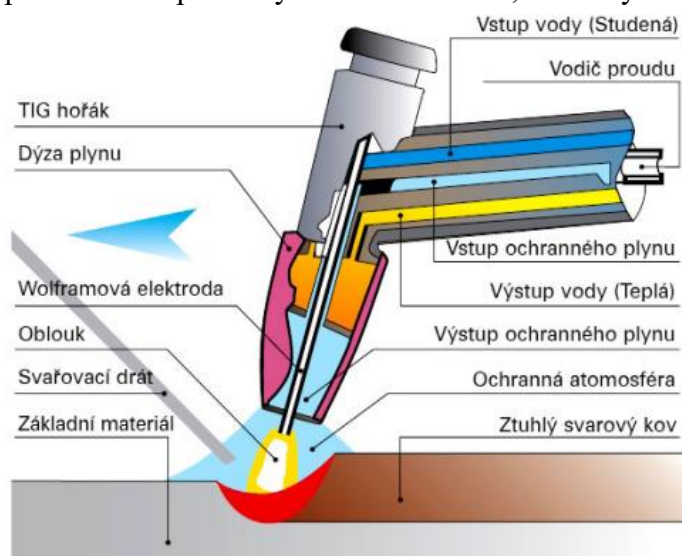


Obr. 40 Svařování v ochranné atmosféře MAG [57]

2.3.2 TIG [25], [58], [59]

Technologie svařování TIG (obr. 41) je metoda probíhající v inertním plynu. Elektrický oblouk hoří mezi wolframovou netavící se elektrodou a základním materiálem, který se vzniklým teplem taví společně s přídavným materiálem, který je do svaru přiváděn ze strany. Korozivzdorné oceli se svařují stejnosměrným proudem, a to buď s přímou polaritou (DSCP) nebo s elektrodou na záporném pólu (DCEN). Za těchto podmínek se elektroda velmi málo opotřebovává a je docíleno kvalitního průvaru.

Přídavný materiál je dodáván do svaru ve formě tyčinek nebo svinutého drátu, který zvyšuje produktivitu procesu. Austenitické oceli se svařují přídavnými materiály podobného chemického složení jako základní materiál. Výhodou metody TIG je, že lze využít svařování i bez přídavného materiálu.

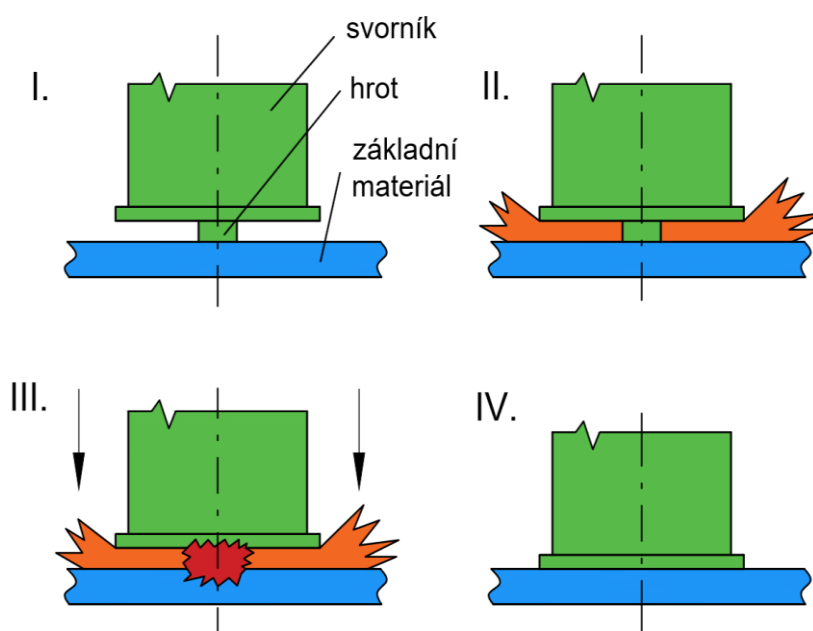


Obr. 41 Svařování v ochranné atmosféře TIG [59]

Inertní plyn chrání svar před okolní atmosférou a zároveň udržuje velmi stabilní oblouk. Při nedostatečné ochraně svaru dojde k oxidaci materiálu, která může být příčinou vzniku pórovitosti. Jako inertní plyn pro korozivzdorné oceli se používá argon.

2.3.3 Přivařování výbojem kondenzátoru [25], [26], [33]

Přivařování svorníků výbojem kondenzátoru je těž známé jako metoda hrotového zážehu. Technologie obsahuje stejné metalurgické aspekty a základní principy jako jiné druhy obloukového svařování. Na obr. 42 je znázorněn postup přivařování svorníků výbojem kondenzátoru, kdy je svorník obsahující speciální hrot přiložen k základnímu materiálu pomocí svařovací pistole. Při vzájemném kontaktu se iniciuje elektrický oblouk z baterie svařovacího kondenzátoru. Následně dojde k natavení konce svorníku a základního materiálu, po kterém se obě části stlačí a vytvoří se tak kvalitní spoj. Celý svařovací proces trvá v řádech milisekund. Z tohoto důvodu lze svařovat i tenké plechy bez viditelných deformací.



Obr. 42 Postup přivařování svorníků výbojem kondenzátoru [25]

Technologie kondenzátorového přivařování se používá zejména u svorníku z běžné nebo korozivzdorné oceli, mosazi či hliníku – a to zejména do průměru 9 mm.

2.4 Technologičnost konstrukce [8], [36], [60], [61], [62], [63]

Při návrhu výrobku je nutné uvažovat s funkcí, ekologií, ergonomií a estetikou, ale především s ekonomikou výroby. Technologičnost konstrukce je rozsáhlý pojem, jenž obsahuje komplexní souhrn požadavků, které mají zaručit funkčnost a životnost součásti za co možná nejnižších nákladů. Mezi základní zásady patří vysoké využití materiálu a jeho správná volba a způsob výroby, ideální tvar součásti pro danou technologii, přiměřené nároky na přesnost dílce, jednoduchá příprava, využití univerzálních nástrojů, nejnižší počet operací, jednoduchá manipulace a nejkratší výrobní časy.

Při návrhu dílce je nutné zohlednit všechna pravidla jednotlivých technologií, které se využijí při zhotovení zadané součásti. Tyto způsoby výroby jsou na sobě závislé, což se musí při návrhu zohlednit.

Pro technologii vysekávání platí následující pravidla:

- Maximální využití materiálu – je důležitým faktorem pro správné rozložení výstřížků na plechu při vysekávání. Stanoví se ze vztahu:

$$\eta_p = \frac{n_c \cdot S_v}{S_p} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2.17)$$

kde: η_p – využití materiálu z plechu [%]
 n_c – celkový počet výstřížků z plechu [-]
 S_v – plocha jednoho výstřížku [mm^2]
 S_p – celková plocha plechu [mm^2]

- Minimální vzdálenosti mezi výstřížky a okrajem – se určují z toho důvodu, aby nedošlo během vysekávání k nežádoucím deformacím výstřížku. Pro polotvrdé oceli se tyto rozměry ještě navyšují o 20 až 25 % z důvodu přesnosti vyráběné součásti. Velikost přepážek se vypočítá:

$$\begin{aligned} a &\geq 0,8 \cdot s \\ b &\geq 1 \cdot s \\ c &\geq 1,5 \cdot s \end{aligned}$$

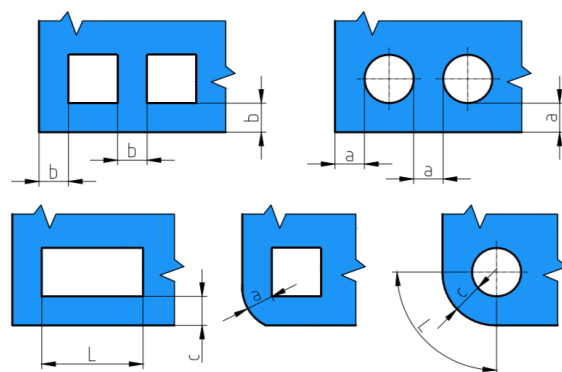
kde: a, b, c – přepážky, jejichž význam vyplývá z obr. 43 [mm]

V případě, že se součást ohne, musí být konstrukční prvky, jako jsou například otvory, v dostatečné vzdálenosti od hrany (obr. 44), aby nedošlo k deformacím:

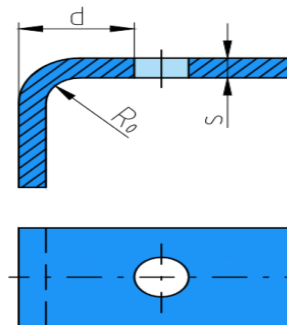
$$d \geq R_0 + 2 \cdot s \quad (2.19)$$

kde: d – vzdálenost otvoru od okraje [mm]

- Geometrické a rozměrové tolerance – se nepředepisují vyšší, než jsou požadované. Zejména pak rovinnost a kolmost střížné plochy, které se vlivem ohybového momentu těžko dodržují.



Obr. 43 Velikost přepážek při vysekávání [36] (2.18)



Obr. 44 Vzdálenost otvoru od okraje [36]

Technologičnost během ohraňování je stejná jako u běžného ohýbání. Mezi základní zásady konstrukce ohraňovaných dílců patří:

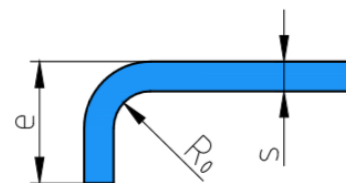
- Snížení odpružení – se provádí volbou co možná nejmenšího přípustného poloměru ohybu. V případě překročení kritické hodnoty však může dojít k nežádoucímu prasknutí materiálu.
- Minimální délka ramene výlisku – se volí z toho důvodu, aby bylo možné dílec správně vyrobit.

Na obr. 45 jsou znázorněny hodnoty, pro které platí:

$$\text{Pro } R_0 > 1 \text{ platí : } e \geq (2,5 \text{ až } 3) \cdot s \quad (2.20)$$

$$\text{Pro } R_0 < 1 \text{ platí : } e \geq 3 \cdot s + R_0 \quad (2.21)$$

kde: e – minimální délka ramene [mm]



Obr. 45 Minimální délka ramene [36]

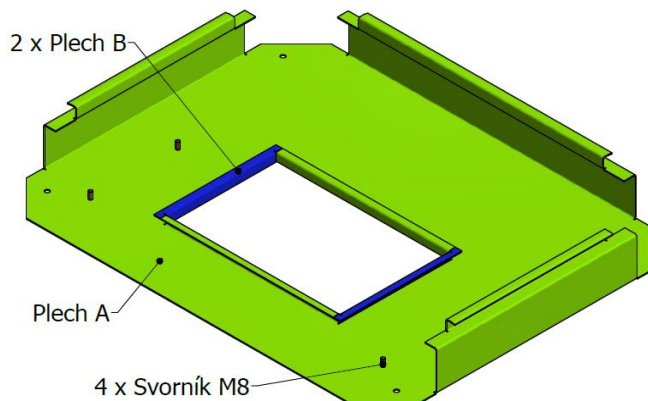
- Osa ohybu – by měla být kolmá na směr vláken vzniklých při válcování. Při nedodržení této podmínky, kdy jsou směry vzájemně totožné, je nutné hodnotu minimálního poloměru ohybu zdvojnásobit.
- Ztenčení tloušťky – je nežádoucím jevem při ohýbání, kdy dochází k rozdílu až o 20 %.
- Ohýbání s kalibrací – má přednost oproti volnému.
- Složité výlisky – navrhuje se tak, aby byl počet operací co nejmenší.
- Větší poloměry – jsou málo tuhé, z tohoto důvodu je nutné tyto ohyby vyztužit prolisy.

Pro správný návrh součásti vyrobené svařováním je nutné dodržet:

- Svařitelnost – je nutné znát při volbě vhodného polotovaru. Jedná se o komplexní charakteristiku, která vyjadřuje vhodnost materiálu k vytvoření svarového spoje předepsané jakosti za daných podmínek svařování.
- Počet svarů – navrhuje se u dílce, pokud možno co nejmenší, z čehož vyplývá, že přednost má ohýbání před svařováním.
- Umístění svaru – provádí se na přístupných místech tak, aby je bylo možné zhotovit danou technologií.
- Zajištění správné polohy svařovaných dílů – realizuje se použitím svařovacích přípravků.

3 NÁVRH VÝROBY [8], [36], [60], [61], [62], [63]

Vyráběná součást je spodním dílem stejnosměrné nabíjecí stanice, viz obr 46. Dílec se bude vyrábět v roční sérii 100 kusů. Polotovarem je zvolena tabule plechu z korozivzdorné oceli 17 349 o tloušťce 2 mm. Maximální rozměry činí 900 x 698 x 113 mm. Uprostřed dílce je osazený otvor, skrze něj jsou do stanice přiváděny různé kabely pro elektrická zařízení. Vzhledem ke tvaru nelze řešenou součást zhotovit z jednoho kusu plechu, z tohoto důvodu je dílec vyroben z více částí, které jsou znázorněny na obr. 46. Pro přehlednou orientaci v následujících výpočtech jsou jednotlivé plechové dílce rozděleny podle tvaru na "Plech A" a "Plech B".



Obr. 46 Popis spodního dílu

Ze zhodnocení technologičnosti vyplývá, že je nutné pro správné zhotovení dílce dodržet následující kritéria:

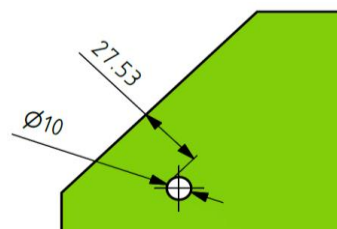
- Minimální vzdálenost otvorů od kraje – je důležitý parametr. Stanovuje se, aby se dosáhlo požadované kvality střížných ploch. Na obr. 47 je znázorněn nejmenší rozměr otvoru od kraje součásti, který činí 27,53 mm:

$$a \geq 0,8 \cdot s \text{ [mm]} \quad (2.18)$$

$$27,53 \geq 0,8 \cdot 2$$

$$27,53 > 1,6 \text{ mm}$$

Otvor bezpečně splňuje požadovanou podmínku. Byla spočítána nejhorší varianta, jelikož jsou všechny další rozměry vzdálenější od kraje, není nutné je kontrolovat.



Obr. 47 Vzdálenost otvoru od kraje

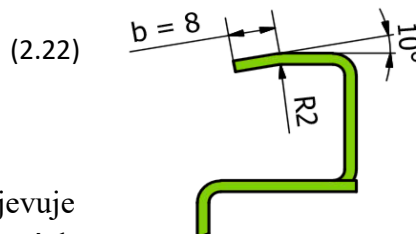
- Poloměr ohybu – je vzhledem ke snížení odpružení zvolen 1 mm.
- Minimální délka ramene – je nezbytným parametrem pro správné zhotovení dílce při ohraňování. Na obr. 48 je znázorněn ohyb s vnitřním úhlem 170°, který má délku 8 mm. Jedná se o nejmenší rameno na celé součásti. Pro poloměr ohybu $R_0 = 1 \text{ mm}$ z důvodu bezpečnosti platí:

$$b \geq 3 \cdot s + R_0 \text{ [mm]} \quad (2.22)$$

$$8 \geq 3 \cdot 2 + 1$$

$$8 \text{ mm} > 7 \text{ mm}$$

Délka ramene vyhovuje.



Obr. 48 Nejmenší délka ramene součásti

- Orientace vláken – se u plechové polotovaru projevuje rozdílnými mechanickými vlastnostmi v různých směrech. Z důvodu tvaru součásti nelze vytvořit ohyby tak, aby jejich osa byla kolmo na průběh vláken způsobených během výroby válcováním. Pootočení součásti o 45° je neekonomické. Proto je nutné po vytvoření ohybu provést vizuální kontrolu, zda nedošlo k nežádoucímu defektu.
- Svařitelnost – je u austenitické oceli 17 349 zaručená.
- Svary dílce – jsou navrženy tak, že je k nim snadný přístup a zároveň je jejich počet minimální.

3.1 Stanovení rozvinuté délky a vysekávacího plánu [1], [8], [36], [37], [48]

Před samotným výpočtem rozvinuté délky je zapotřebí provést kontrolu poloměru ohybu, aby nedošlo k vytvoření trhliny. Potom platí:

- Minimální poloměr ohybu se stanoví ze vztahu (2.10):

$$R_{1min} = c \cdot s = 0,5 \cdot 2 = 1 \text{ mm}$$

kde: c – je zvolena pro ocel 0,5

Pro poloměr ohybu platí:

$$R_{1min} \leq R_0 \quad (3.1)$$

$$1 \text{ mm} = 1 \text{ mm}$$

Hodnota minimálního poloměru je totožná s poloměrem ohybu. Tvar dílce je však takový, že osa ohybu je rovnoběžná se směrem vláken tvářeného polotovaru. V tento okamžik by měla být hodnota minimálního poloměru dvojnásobná ($R_{1min} = 2 \text{ mm}$), což by nesplňovalo zadanou podmínku. Natočení součásti o 45° je ekonomicky nevýhodné. Firma DEL a.s. disponuje pouze ohraňovacím nástrojem s poloměrem ohybu 1 mm. Z předchozích zkoušek bylo zjištěno, že plech z austenitické oceli 17 349 ohnout tímto razníkem lze. Z tohoto důvodu je zvolen ohraňovací nástroj s poloměrem 1 mm, kdy v případě nedodržení požadovaných parametrů je nutné koupit jiný, což by negativně ovlivnilo cenu součásti.

- Maximální poloměr ohybu se vypočítá vztahem (2.12):

$$R_{1max} = \frac{s}{2} \left(\frac{E}{\sigma_k} - 1 \right) = \frac{2}{2} \left(\frac{2,03 \cdot 10^5}{300} - 1 \right) = 675,67 \text{ mm}$$

kde: E – modul pružnosti, který je pro ocel 17 349 roven $2,03 \cdot 10^5 \text{ MPa}$

σ_k – mez kluzu, jež je zvolena 300 MPa

Hodnota maximálního poloměru je několikanásobně větší než poloměr ohybu, z čehož vyplývá, že dojde k požadované deformaci materiálu.

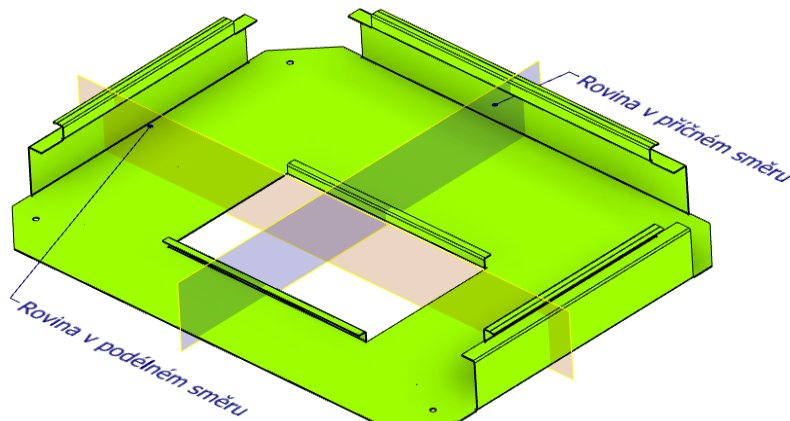
Vyráběná součást se skládá ze tří plechů. Pro správné určení polotovaru je nezbytná znalost rozvinuté délky dílce. Celkový rozvin součásti se vypočítá ze součtu všech délek neutrálních os v rovných a uhnutých částech dílce. Řešená součást je vyráběna z polotovaru o tloušťce 2 mm.

Na obr. 49 je znázorněn "Plech A", který obsahuje řadu ohybů s vnitřními úhly 90 a 170 °. Pro stanovení délky oblouku je nejprve nutné určit poloměr neutrální osy ze vztahu (2.6):

$$\rho_i = R_{oi} + x_i \cdot s = 1 + 0,37 \cdot 2 = 1,74 \text{ mm}$$

kde: x – součinitel, který se určí pro poměr R_o/s a je roven 0,37, viz tab. 5.

$$\text{Poměr poloměru ohybu a tloušťky plechu} - R_o/s = 1/2 = 0,5 \quad (3.2)$$



Obr. 49 Plech A

Z poloměru neutrální plochy se vypočítají délky oblouků ze vztahu (2.7) pro jednotlivé úhly znázorněné na obr. 50 a 51:

$$l_{o_i} = \frac{\pi}{180} \cdot \alpha_i \cdot \rho_i \text{ [mm]}$$

Pro úhel ohybu 10° (α_1):

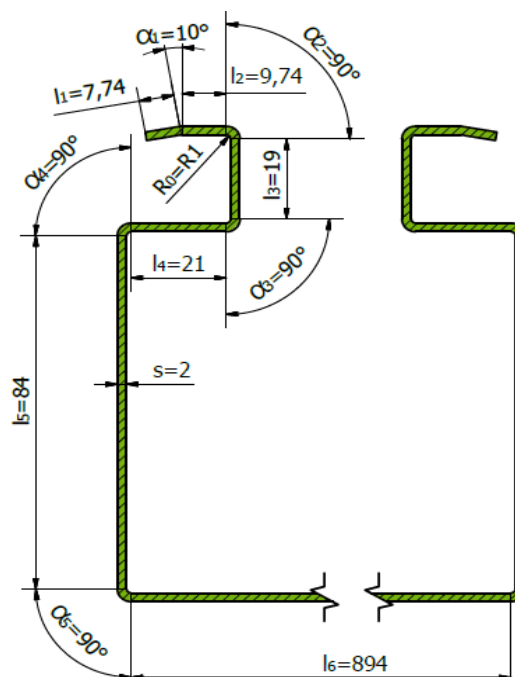
$$l_{o_1} = \frac{\pi}{180} \cdot 10 \cdot 1,74 = 0,30 \text{ mm}$$

Pro úhel ohybu 90° ($\alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5, \alpha_6, \alpha_7$):

$$l_{o_{2,3,4,5,6,7}} = \frac{\pi}{180} \cdot 90 \cdot 1,74 = 2,73 \text{ mm}$$

"Plech A" tvoří po stranách tři ramena, která mají stejný profil. Z tohoto důvodu se stanoví rozvinutá délka jednoho ramene, k němuž se přičtou požadované hodnoty v závislosti na podélném nebo příčném směru. Na obr. 50 jsou znázorněny jednotlivé rozměry, pomocí nichž se vypočítá rozvin dle vzorce (2.8):

$$L_{pol} = \sum_{i=1}^n l_{o_i} + \sum_{j=1}^k l_j$$



Obr. 50 Profil "Plechu A" v podélném směru

Délka jednoho ramene:

$$L_{ram} = l_{o_1} + l_{o_2} + l_{o_3} + l_{o_4} + l_{o_5} + l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5$$

$$L_{ram} = 0,3 + 2,73 + 2,73 + 2,73 + 2,73 + 7,74 + 9,74 + 19 + 21 + 84 = 152,7 \text{ mm}$$

Nyní se stanoví délka celkového rozvinu "Plechu A" v jednotlivých směrech:

- V podélném:

$$L_{po} = 2 \cdot L_{ram} + l_6 = 2 \cdot 152,7 + 894 = 1199,4 \text{ mm}$$

- V příčném:

$$L_{pr} = L_{ram} + l_{11} = 152,7 + 695 = 847,7 \text{ mm}$$

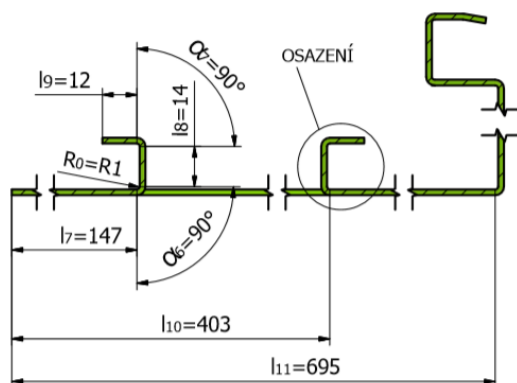
Součást obsahuje i dvě stejná osazení otvoru, viz obr. 51. Jejich rozvinutá délka se určí k jedné straně dílce (obr. 52) následovně:

- První osazení:

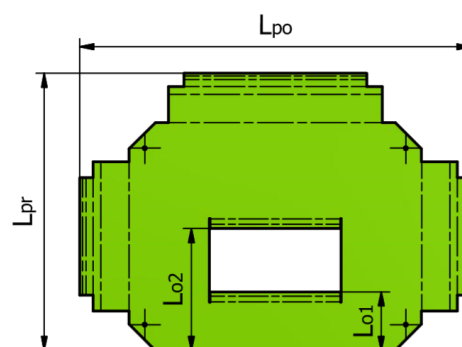
$$L_{o1} = l_{o_6} + l_{o_7} + l_7 + l_8 + l_9 = 2,73 + 2,73 + 147 + 14 + 12 = 178,46 \text{ mm}$$

- Druhé osazení:

$$L_{o2} = l_{10} - l_{o_6} - l_{o_7} - l_8 - l_9 = 403 - 2,73 - 2,73 - 14 - 12 = 371,54 \text{ mm}$$



Obr. 51 Profil "Plechu A" v příčném směru



Obr. 52 Rozvin "Plechu A"

Na obr. 53 je vidět "Plech B" se základními rozměry, z nichž se vypočítá celkový rozvin. Jelikož je úhel ohybu 90° , lze použít velikost délky oblouku z "Plechu A". Hodnota l_{o8} je tedy rovna 2,67 mm.

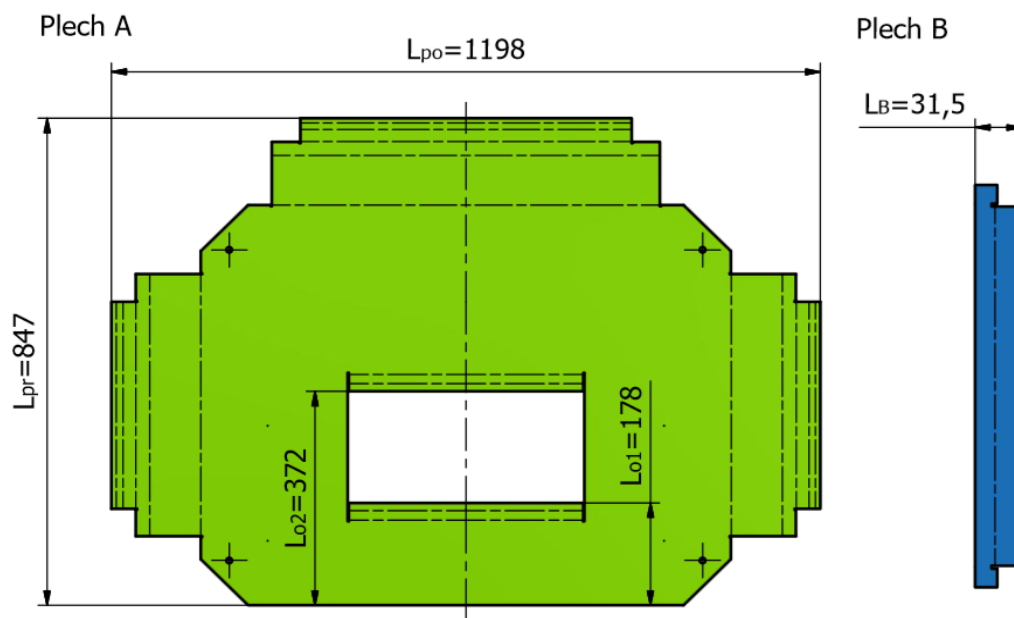


Obr. 53 Plech B

Dle vztahu (2.8) se vypočítá rozvinutá délka "Plechu B":

$$L_B = \sum_{i=1}^n l_{o_i} + \sum_{j=1}^k l_j = l_{o8} + l_{12} + l_{13} = 2,73 + 17 + 12 = 31,73 \text{ mm}$$

Rozvin jednotlivých dílů se zjistí i pomocí programu Autodesk Inventor Professional 2018, který bude v textu dále nazýván Inventor. Na obr. 54 jsou znázorněny rozměry vygenerované tímto softwarem.



Obr. 54 Rozvin dílců pomocí Inventoru

Vypočítané hodnoty se mírně liší od rozměrů vygenerovaných Inventorem. Důvodem je firemní nastavení programu pro jednotlivé ohyby. Je na zvážení, které hodnoty jsou správné. Vzhledem ke zkušenostem společnosti při ohýbání oceli 17 349 o tloušťce 2 mm jsou zvoleny rozměry vygenerované programem Inventor, jež jsou uvedeny v tab. 6.

Tab. 6 Rozvinuté délky pro "Plech A" a "Plech B"

Plech A				Plech B
L_{po} [mm]	L_{pr} [mm]	L_{o1} [mm]	L_{o2} [mm]	L_B [mm]
1198	847	178	372	31,5

Ze zjištěných rozměrů se vytvoří vysekávací plán pro rozměry tabule plechu. Na základě využití materiálu se stanoví nejvhodnější varianta výroby. K řešení je nutné znát plné plochy jednotlivých součástí včetně vnitřního odpadu. Pomocí programu Inventor je určen obsah pro "Plech A" ($S_A=835\,760 \text{ mm}^2$) a pro "Plech B" ($S_B=8\,309 \text{ mm}^2$). Celková plocha se stanoví následujícím vztahem:

$$S_c = S_A + 2 \cdot S_B = 835\,760 + 2 \cdot 8\,309 = 852\,378 \text{ mm}^2 \quad (3.3)$$

Při rozmísťování součástí na polotovary, je nutné zvážit některá základní pravidla při vysekávání. Podél strany, kde se upne tabule plechu do programovatelných klapků, je nutné nechat 100 mm volného prostoru po celé délce. Vzhledem k výrobním zkušenostem společnosti je zvolena vzdálenost součástí od kraje a mezi sebou 16 mm.

V praxi se nejčastěji používají rozměry tabule ve velikostech 1000 x 2000 mm, 1250 x 2500 mm a 1500 x 3000 mm. Existuje mnoho způsobů rozmístění dílců na polotovary, proto jsou vybrány takové, které mají maximální využití materiálu a zároveň je tvar využitelného odpadu co možná nejpříznivější:

- Varianta A – je zaměřena pro tabuli plechu o rozměrech 1000 x 2000 mm. Počet součástí vyrobených z tohoto polotovaru je $i_{sA} = 1$, viz obr. 55. Využití materiálu se stanoví ze vztahu (2.17):

$$\eta_{pA} = \frac{i_{sA} \cdot S_C}{S_{pA}} \cdot 100 [\%]$$

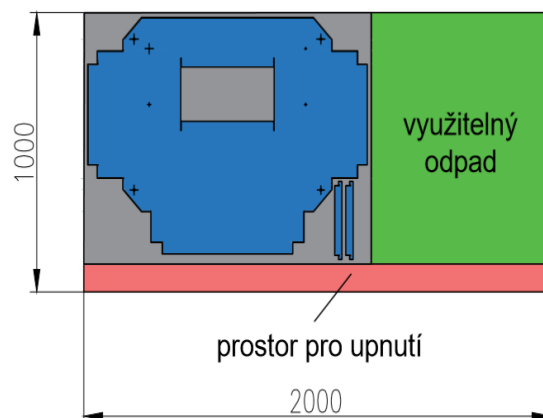
$$\eta_{pA} = \frac{1 \cdot 852\,378}{1000 \cdot 2000} \cdot 100 = 42,6 \%$$

Výsledné využití plechu pro variantu A je poměrně nízké, což je způsobeno rozměry dílce. Na obr. 55 je znázorněna zelená oblast o rozměrech 900 x 770 mm, jež se může doplnit o menší výstřížky, a tak zvýšit využití plechu.

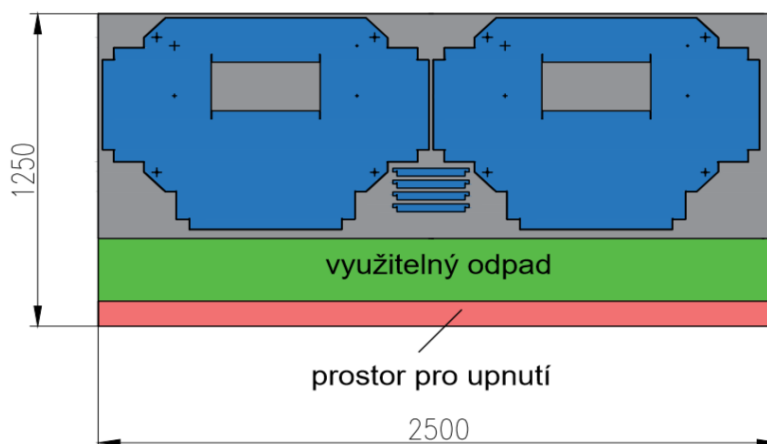
- Varianta B – je znázorněna na obr. 56, kdy je rozměr tabule 1250 x 2500 mm. Dva plechy A jsou podélně umístěny vedle sebe a mezi ně jsou vloženy čtyři plechy pro osazení. Pro variantu B platí:

$$\eta_{pB} = \frac{i_{sB} \cdot S_C}{S_{pB}} \cdot 100 = \frac{2 \cdot 852\,378}{1250 \cdot 2500} \cdot 100 = 54,6 \%$$

Hodnota využití materiálu je mírně přes polovinu. Využitelný odpad je jeden dlouhý pás, který by se mohl zaplnit delšími výztuhami nebo profily.



Obr. 55 Varianta A

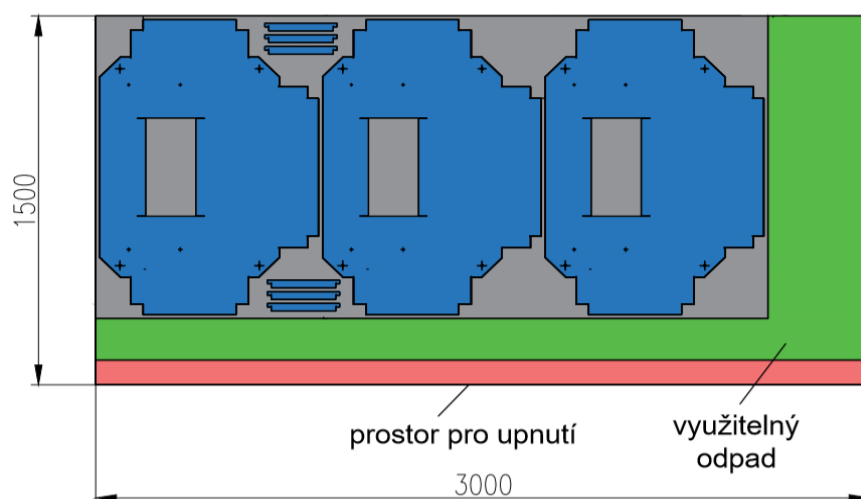


Obr. 56 Varianta B

- Varianta C – je pro největší polotovary o rozměrech 1500 x 3000 mm, kde je počet dílců z jedné tabule roven 3. Na obr. 57 je vidět uspořádání jednotlivých dílců. Využití materiálu pro tuto variantu se stanoví:

$$\eta_{pC} = \frac{i_{sC} \cdot S_C}{S_{pC}} \cdot 100 = \frac{3 \cdot 852\,379}{1500 \cdot 3000} \cdot 100 = 56,8 \%$$

Pro variantu C platí, že využití materiálu z tabule plechu je 56,8 %. Využitelný odpad je ve tvaru písmene L, který by se mohl zaplnit delšími díly.



Obr. 57 Varianta C

Vzhledem ke skutečnosti, že se využitelný odpad může oddělit a použít u jiného programu, je pro vysekávací plán zvolena varianta B, což je plech o rozměrech 1250 x 2500 mm. Využitelný odpad se může použít pro výrobu dvoumetrových výztuh, které jsou součástí celé skříňové nabíjecí stanice. Pro tuto variantu se budou odvíjet následující výpočty i volba nástrojů a strojů.

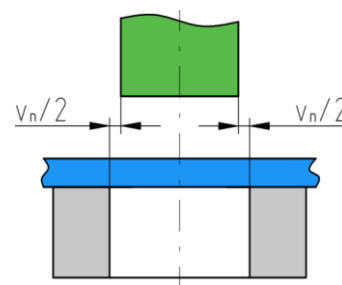
3.2 Volba vysekávacích nástrojů a zařízení [8], [37], [39], [40], [41], [44], [64]

Před samotnou volbou vysekávacího nástroje je důležité určit optimální střížnou vůli, která má vliv na velikost ořepu a opotřebení nástroje. Pro korozivzdornou ocel se velikost celkové střížné vůle v_n (obr. 58) pohybuje okolo 25 % tloušťky plechu:

$$v_n = 0,25 \cdot s = 0,25 \cdot 2 = 0,5 \text{ mm} \quad (3.3)$$

Hodnota stanovená výpočtem je 0,5 mm. Jelikož firma nedisponuje razníky a matricemi s touto střížnou vůlí, jsou zvoleny nástroje s hodnotou 0,4 mm.

Pro zvolený vysekávací plán se vytvoří CNC program pomocí softwaru JETCAM II, který automaticky vytvoří postup výroby a volbu nástroje. Podle potřeby lze použít ruční úpravu programu. Pro zvolené rohy součástí se z každé strany udělají můstky o rozměru 0,3 mm, jenž slouží k udržení výstřižku v polotovaru. V tab. 7 je seznam použitých nástrojů:

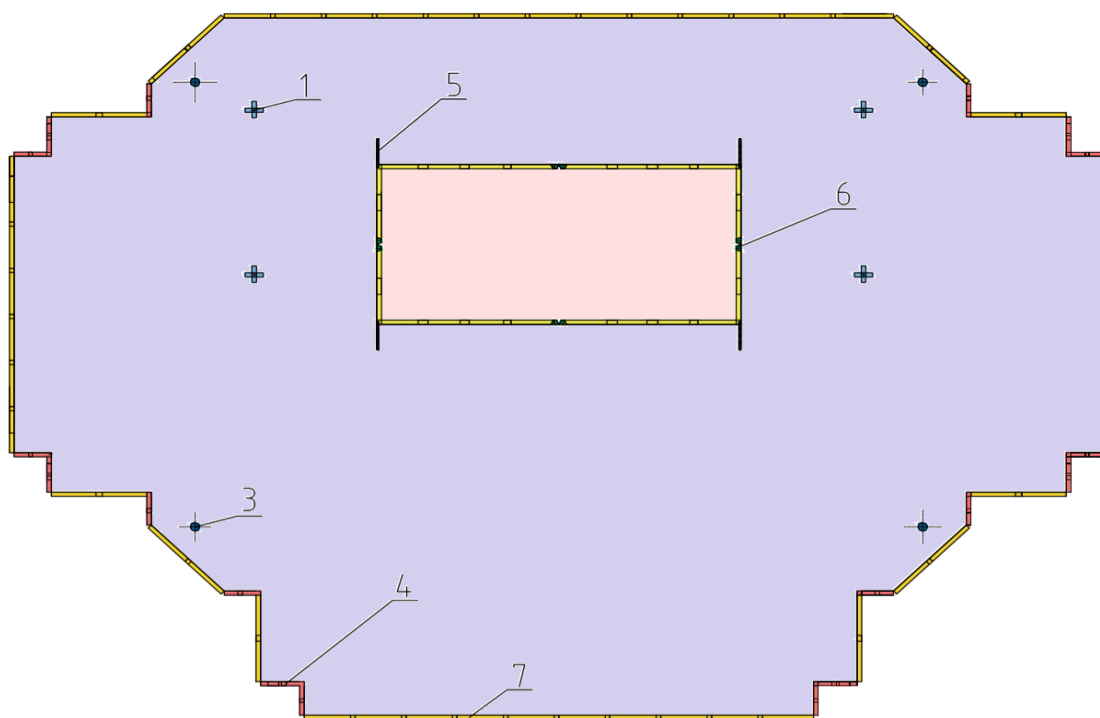


Obr. 58 Střížná vůle [37]

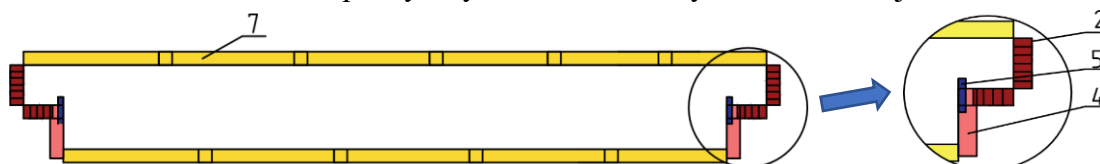
Tab. 7 Seznam použitých nástrojů při vysekávání [8]

Číslo nástroje	Tvar	Rozměr
1	Speciál (Důlčák)	N1005
2	Čtverec	5 x 5
3	Kruh	Ø 10
4	Obdelník	20 x 5
5	Obdelník	11 x 2
6	Lichoběžník	8 x 5
7	Obdelník	56 x 5

Na obr. 59 je znázorněn postup výroby "Plechu A". V první operaci se speciálním nástrojem (důlčíkem) vytvoří čtyři značky, jež slouží k umístění svorníku do správné polohy během přivařování. Následně proběhne automatická výměna nástroje na tvar čtverce o rozměrech 5 x 5 mm, který se použije u "Plechu B" (obr. 60), kdy dojde k dělení stran o délkách 13 a 15 mm a mezi nimi se vytvoří můstek. Pro vytvoření čtyř otvorů o průměru 10 mm se využije nástroj č. 3. Na kratší obvodové strany obou dílců se použije razník s matricí ve tvaru obdelníku o rozměrech 20 x 5 mm. Po této operaci dojde k nastřížení obou součástí nástrojem č. 5, aby bylo možné vytvořit požadované ohyby. "Plech A" obsahuje velký otvor ve tvaru čtverce, tudíž se materiál po odvodu oddělí a uprostřed se vytvoří můstek nástroje č. 6 ve tvaru lichoběžníku pro snadnější vyloupení odpadu. V posledním kroku dojde k dělení materiálu nejdelším nástrojem o rozměrech 56 x 5 mm. Po obvodu "Plechu A" se vytvoří můstky, aby nedošlo k vyskočení výstřížku a tím k následnému poškození nástroje během vysekávání. Tímto nástrojem se na polotovaru podélně oddělí využitelný odpad, jenž se může dále použít u jiného programu.



Obr. 59 Popis výroby "Plechu A" na vysekávacím stroji



Obr. 60 Popis výroby "Plechu B" na vysekávacím stroji

Po vytvoření všech dílců, které jsou na vysekávacím plánu, se stroj zastaví. Operátor postupně vyloupne jednotlivé součásti včetně odpadu. Z výstřížků se následně odstraní ostré hrany a ořepy vzniklé během vysekávání.

Hlavním faktorem pro volbu vysekávacího stroje je velikost střížné síly. Jelikož se při výrobě použije více nástrojů, provede se vzorový výpočet pro dělicí nástroj o rozměrech 56 x 5 mm. Velikost střížné síly se stanoví vztahem (2.4):

$$F_{s7} = 0,8 \cdot R_m \cdot s \cdot o \cdot n = 0,8 \cdot 690 \cdot 2 \cdot 122 \cdot 1,4 = 188\,896 \text{ N}$$

kde: R_m – pro ocel 17 349 je zvoleno 690 MPa

o – pro nástroj 7 je roven obvodu obdelníku ($o_7 = 2 \cdot 56 + 2 \cdot 5 = 122 \text{ mm}$)

n – hodnota otupení je zvolena 1,4

Pro stanovení práce je nutno znát napětí ve stříhu, které se vypočítá následovně:

$$\tau_s = 0,8 \cdot R_m = 0,8 \cdot 690 = 552 \text{ MPa} \quad (3.4)$$

Nyní se stanoví střížná práce vztahem (2.5):

$$A_{s7} = F_{s7} \cdot s \cdot k = 188\,896 \cdot 2 \cdot 0,38 = 143\,561 \text{ J}$$

kde: k – je zvoleno z tab. 4 pro $\tau_s = 552 \text{ MPa}$

V následující tabulce jsou znázorněny hodnoty střížných sil a prací pro jednotlivé nástroje pomocí výpočtu stanoveného programem Excel:

Tab. 8 Hodnoty střížných sil a prací pro jednotlivé nástroje

Nástroj	Obvod střížné hrany [mm]	Střížná síla [N]	Střížná práce [J]
1	-	-	-
2	20	30 912	23 493
3	31,42	48 556	36 903
4	50	77 280	58 733
5	26	40 186	30 541
6	120	185 472	140 959
7	122	188 563	143 308

Sílu při vtlačování speciálního nástroje pro zhotovení označení je možné vzhledem k rozměrům hrotu zanedbat, neboť dojde pouze k označení plechu. Hloubka vniknutí je nastavena programem vysekávacího stroje.

Vzhledem k maximální střížné síle (188 563 N), jež vznikne při dělení materiálu nástrojem obdélníkového tvaru o rozměrech 56 x 5 mm, je zvolen vysekávací lis Pullmax 720 (obr. 61). Základní parametry stroje jsou sepsány v tabulce níže.



Obr. 61 Vysekávací stroj Pullmax 720 [64]

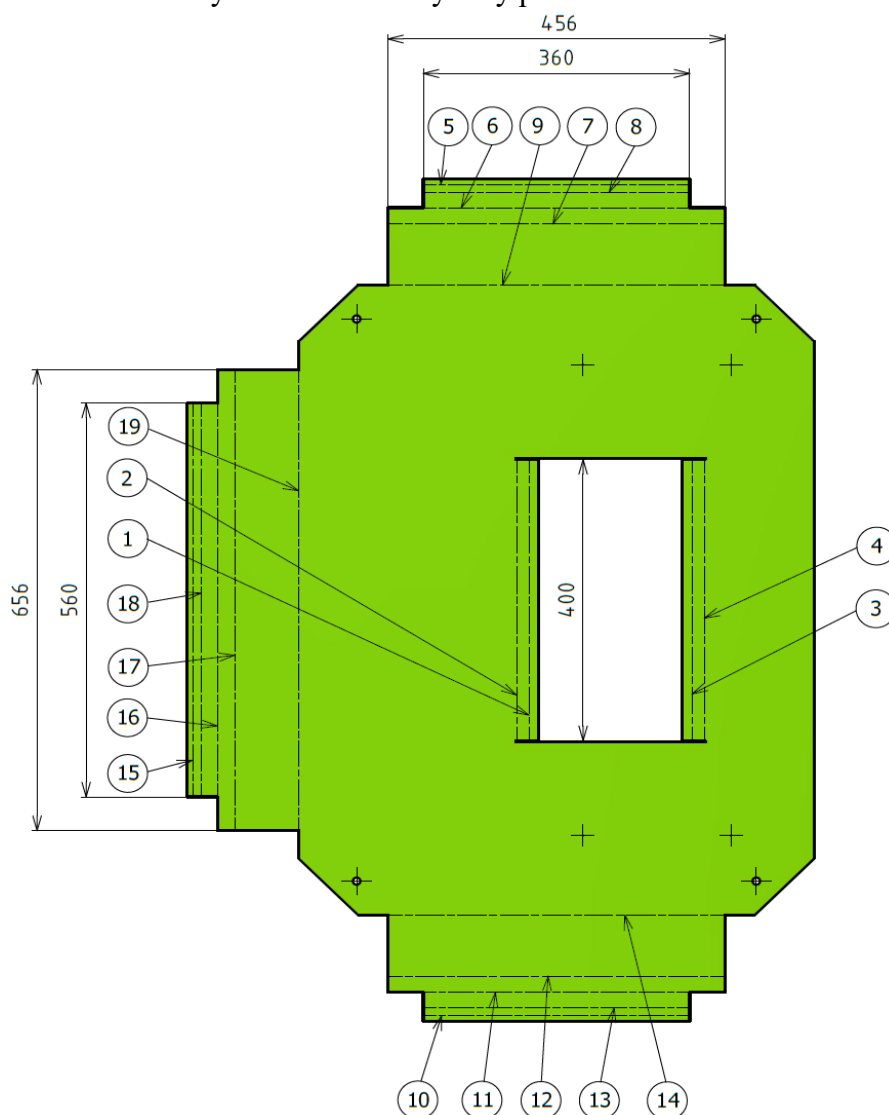
Tab. 9 Základní parametry stroje Pullmax 720 [8]

Hmotnost	14 000 kg
Max. velikost plechu	1500 x 3000 mm
Min. tloušťka plechu	0,7 mm
Max. tloušťka plechu	8 mm
Pozicovací přesnost	+ - 0,1 mm
Opakovatelná přesnost	+ - 0,03 mm
Lisovací síla	220 kN
Počet nástrojů v zásobníku	20
Počet upínek	4

3.3 Postup ohraňování [8], [36], [65].

Pro určení správného ohraňovacího postupu je nutné zvážit celou řadu faktorů. Při nesprávném sledu operací je možné, že se požadovaná součást nevyrobí. Dále se musí zabránit kolizím tvářeného dílce s razníkem, matricí, dorazem nebo upínací lištou. Zakládání polotovarů by mělo být co nejjednodušší a zajišťovat přesnou polohu dílce.

Na obr. 62 je znázorněn ohybový plán pro "Plech A", na němž se nejprve vytvoří osazení otvoru o délce 400 mm. Následně se ohnou ramena dílce, která jsou složena z řady ohybů. Postup jednotlivých operací je vytvořen tak, aby zakládání polotovaru do stroje bylo co nejjednodušší. Na závěr se ohne nejdelší rameno součásti o délce 656 mm. Celý dílec se zhotoví na devatenáct ohybů. Pro tento ohybový plán se zvolí vhodné ohraňovací nástroje.



Obr. 62 Ohybový plán "Plechu A"

"Plech B" se skládá pouze z jednoho ohybu, který lze vidět na obr. 63. Je vytvořen pod úhlem 90° a jeho délka činí 250 mm.



Obr. 63 Ohybový plán "Plechu B"

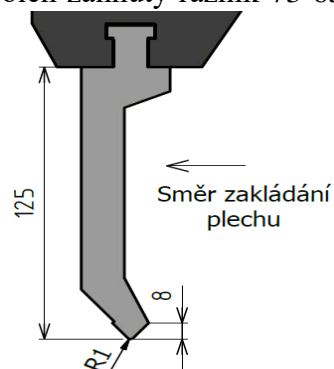
Při volbě nástroje je nutné brát v úvahu tvar vyráběných součástí. Vzhledem ke složitosti "Plechu A", který je složen z řady po sobě jdoucích ohybů, je zvolen zahnutý razník 73 630 (obr. 64), který byl součástí jednoho ohraňovacího lisu zakoupeného společností před mnoha lety. Tento nástroj se v současné době již nevyrábí, z tohoto důvodu byl proveden jeho návrh tvaru a rozměrů a je k nalezení na výkrese DP-07-170681. Maximální povolené zatížení razníku je 700 kN/m.

K tomuto nástroji firma používá matrici 52 377 (obr. 65) uvedenou v příloze 4. Oproti razníku 73 630 má jiný vrcholový úhel, z čehož vyplývá, že nelze použít kalibraci. Z tohoto důvodu se provede pouze volný ohyb. Maximální přípustné zatížení matrice je 500 kN/m.

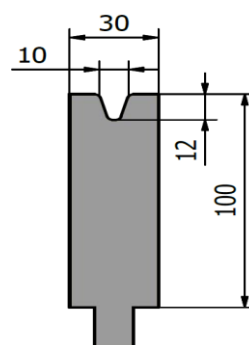
"Plech A" obsahuje osazení vnitřního otvoru o délce 400 mm. Pro zhotovení tohoto dílce je nutné složit nástroj z více částí, neboť délka ohybu a nástroje musí být totožná. V následující tabulce jsou uvedeny rozměry nástrojů, kterými firma disponuje:

Tab. 10 Délky ohraňovacích nástrojů [8]

Ohraňovací nástroje							
Délka [mm]	50	100	120	140	150	350	1 000
Počet [-]	1	2	1	1	1	2	1

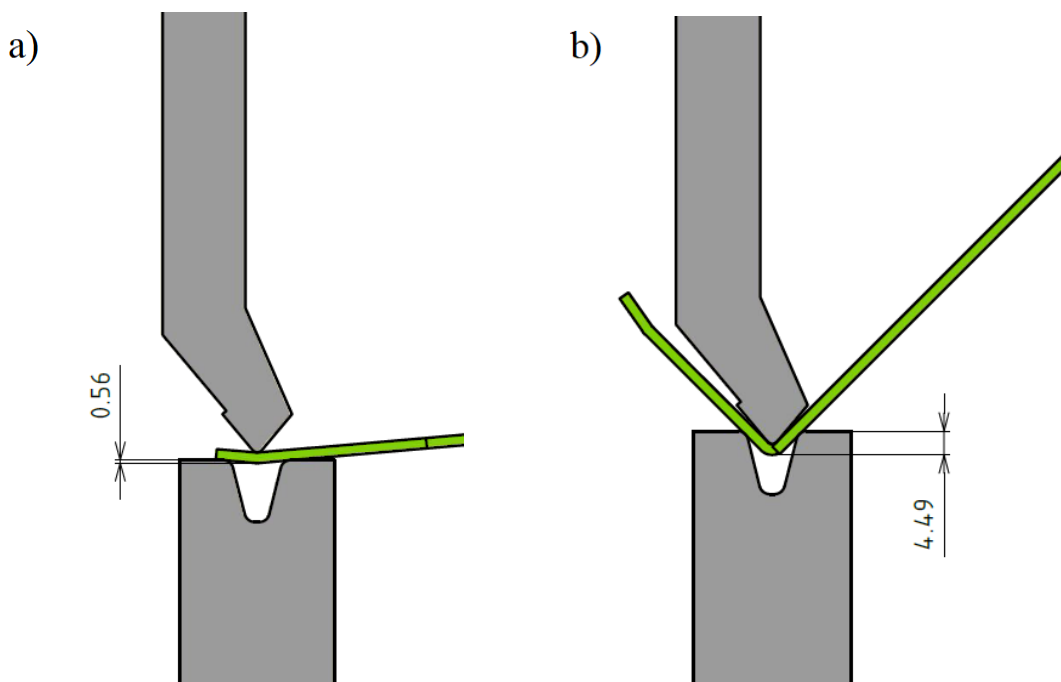


Obr. 64 Razník 73 630



Obr. 65 Matrice 52 377

Hloubka vniknutí polotovaru do matrice závisí na velikosti úhlu ohybu. Ke zjištění této hodnoty se použije program Inventor, kdy pro úhel ohybu 10° platí, že velikost vtlačení materiálu je rovna 0,56 mm, viz obr. 66a. Na obr. 66b je znázorněno ohnutí o 90° , pro které je velikost vniknutí polotovaru rovno 4,46 mm.



Obr. 66 Hloubka vniknutí tvářeného materiálu do matrice

Vlivem pružnosti materiálu dochází k odpružení, což způsobuje změnu úhlu ohybu. Pomocí vzorce (2.13) se vypočítá velikost odpružení:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \beta &= 0,375 \cdot \frac{l_v}{(1-x) \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} \rightarrow \beta [^\circ] \\ &= 0,375 \cdot \frac{10}{(1-0,37) \cdot 2} \cdot \frac{300}{2,03 \cdot 10^5} = 4,4 \cdot 10^{-3} \rightarrow \beta = 0,25^\circ = 0^\circ 15' 7'' \end{aligned}$$

kde: l_v – je pro matici 52 377 rovno 10 mm

Vypočítaná hodnota je poměrně nízká, je však nutné ji brát v úvahu, neboť součást obsahuje vícenásobné ohyby, které se spolu sčítají a mohou tak ovlivnit tvar součásti. Velikost odpružení stanovená tímto vztahem je pouze orientační. Pro zjištění přesné hodnoty je nutné, aby operátor ohraňovacího lisu provedl zkušební ohyb, po kterém si změří velikost odpružení a provede korekci. Všechny ohyby jsou vytvořeny pomocí volného ohýbání, proto se provede korekce nastavení dolní úvratě zdvihu razníku.

Podle ohybového plánu pro "Plech A" (obr. 62) jsou vytvořeny jednotlivé ohyby pomocí programu Inventor. Profily jednotlivých ramen součásti jsou totožné, z tohoto důvodu se stejné ohyby, které se liší pouze svojí délkou, sloučí do jednoho obrázku.

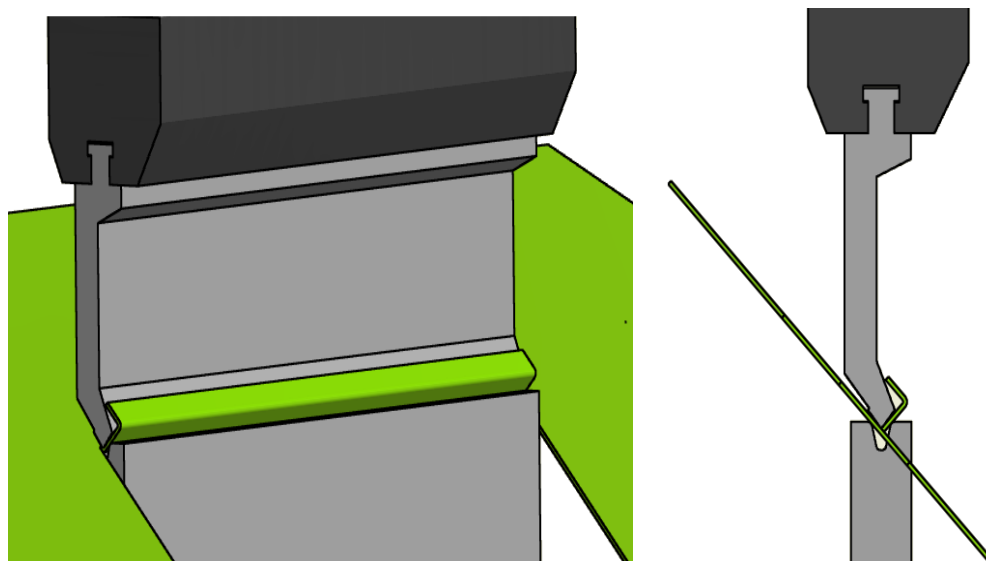
Pro jednotlivé operace platí:

- Ohyby č. 1 a 3 (obr. 67) – jsou vytvořeny pod úhlem 90° a o délce 400 mm. Hodnota vnitřního poloměru je rovna 1 mm. Jedná se o první ohyb obou osazení otvoru, z čehož vyplývá, že délka ohybu a nástroje musí být totožná. Razník 73 630 a matrice 52 377 se složí ze dvou kusů o délkách 50 mm a 350 mm. Operátor ohraňovacího stroje musí přesně ustavit součást, aby došlo pouze k ohnutí požadovaného osazení. Pro ohyb č. 1 se nastaví vzdálenost dorazu od osy ohybu na 461,75 mm, kdy se polotovar zapře o hranu o délce 560 mm. V případě ohybu č. 3 se materiál zapře za druhou stranu o rozměru 736 mm o doraz nastavený na hodnotu 164,75 mm od osy nástroje. Vzhledem ke tvaru součásti je nutné, aby se na straně operátora polotovar pohyboval při ohýbání směrem dolů. Z důvodu toho, že se plech za tuto část musí při pohybu přidržet, aby nedošlo k nežádoucímu prohnutí. Při zhotovování tohoto tvaru je zapotřebí velké pozornosti pracovníka ohraňovacího lisu.



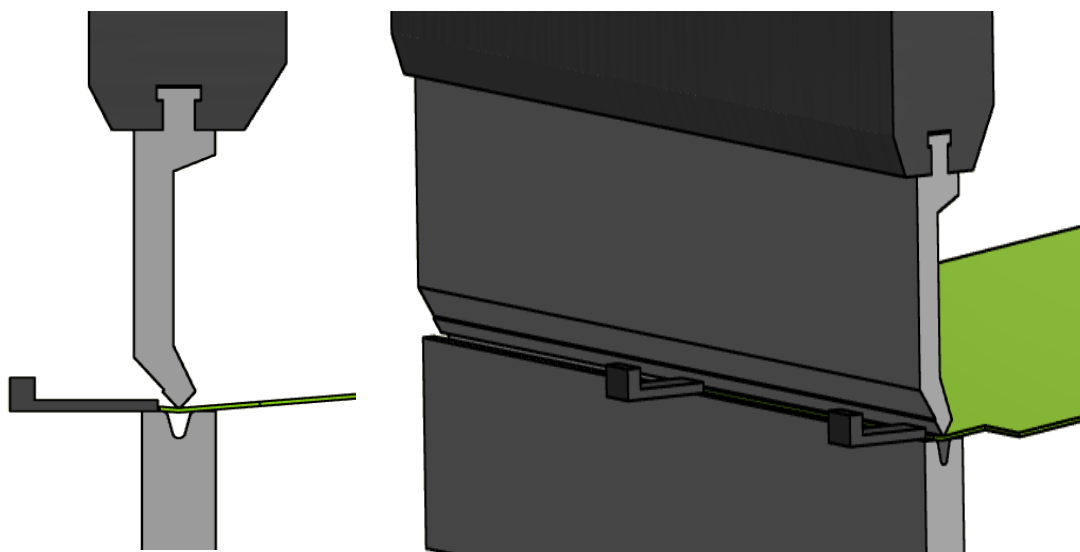
Obr. 67 Ohyby č. 1 a 3

- Ohyby č. 2 a 4 (obr. 68) – jsou zhotoveny v otvoru součásti pod úhlem 90° a o délce 400 mm. Jako v předchozím případě se jak razník 73 630, tak matrice 52 377 složí ze dvou kusů o délkách 50 mm a 350 mm. Je nutné nástroj ustavit vůči tvářenému materiálu tak, aby nedošlo k přesáhnutí nastřížení zhotoveného vysekáváním o šířce 2 mm. Vzdálenost dorazu se u jednotlivých ohybů liší, kdy pro č. 2 je rovna 445,25 mm a pro č. 4 je nastavená hodnota 148,25 mm. Tvářený materiál jde na straně operátora stroje směrem dolů, kdy při ohraňování je nutné přidržení součásti proto, aby nedošlo k prohnutí plechu.



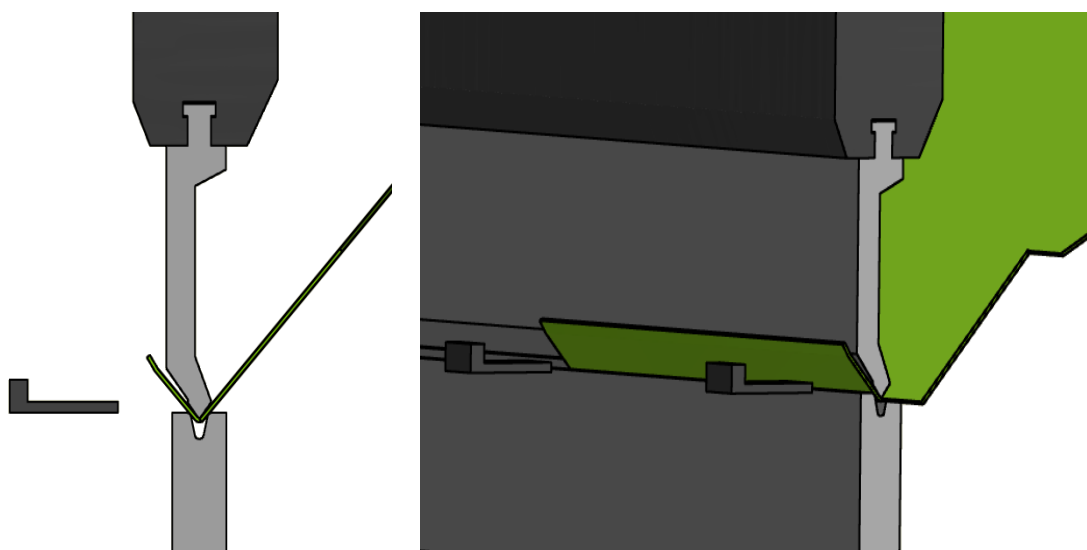
Obr. 68 Ohyby č. 2 a 4

- Ohyby č. 5, 10 a 15 – jsou provedeny pod úhlem 170° s vnitřním poloměrem 1 mm. K jejich vytvoření se použije razník 73 630 a matrice 52 377 složené ze dvou délek o velikostech 350 mm, protože ohyby č. 5 a 10 jsou dlouhé 360 mm a č. 15 má velikost 560 mm. Jelikož délka ohýbaného ramene nepřesahuje hranu matrice, musí být doraz těsně nad ní ve vzdálenosti 8 mm od osy nástroje, viz obr. 69. Při ohraňování je nutné přidržet plech při pohybu vzhůru, aby nedošlo k nežádoucímu prohnutí, což by mohlo vést ke změně rozměrů součásti.



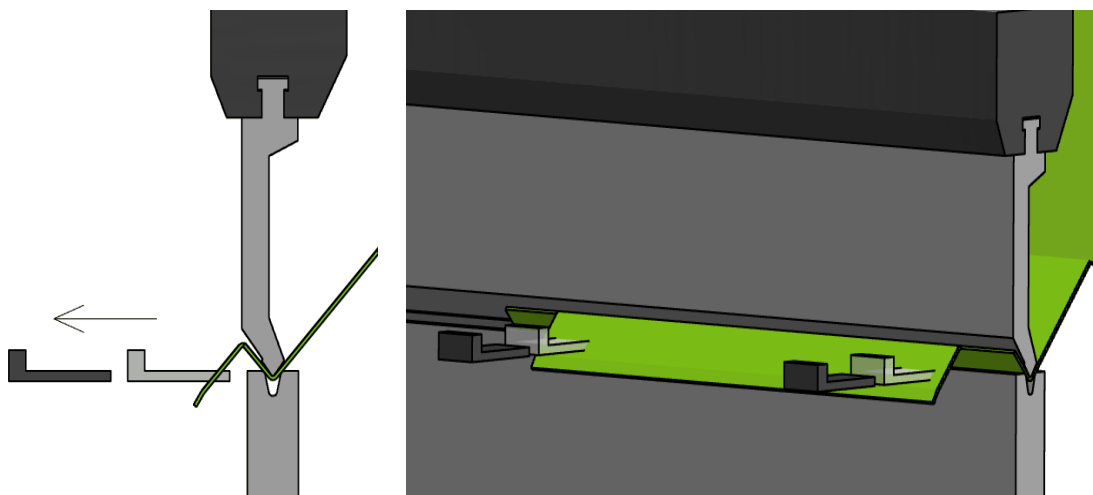
Obr. 69 Ohyby č. 5, 10 a 15

- Ohyby č. 6, 11 a 16 (obr. 70) – jsou vyrobeny pod úhlem 90° s vnitřním poloměrem 1 mm. K výrobě se použije razník 73 630 a matrice 52 377, které jsou složeny ze dvou délek o velikostech 350 mm, kdy ohyby č. 6 a 11 jsou dlouhé 360 mm a č. 15 má hodnotu 560 mm. Vzhledem ke tvaru součásti se musí polotovar opřít o doraz za šikmou stranu pod úhlem 10° ve vzdálenosti 40,75 mm. Pracovník ohraňovacího stroje musí dbát na přesné zakládání plechu. Ze zkušeností firmy je vzniklá nepřesnost minimální, ale i přesto je nutné součást po dokončení první operace důkladně zkontrolovat. V případě, že by rozměry neodpovídaly požadovaným tolerancím, je nutné pořídit nový doraz a přeprogramovat ovládací panel stroje, což by se negativně projeвило na ceně dílce.



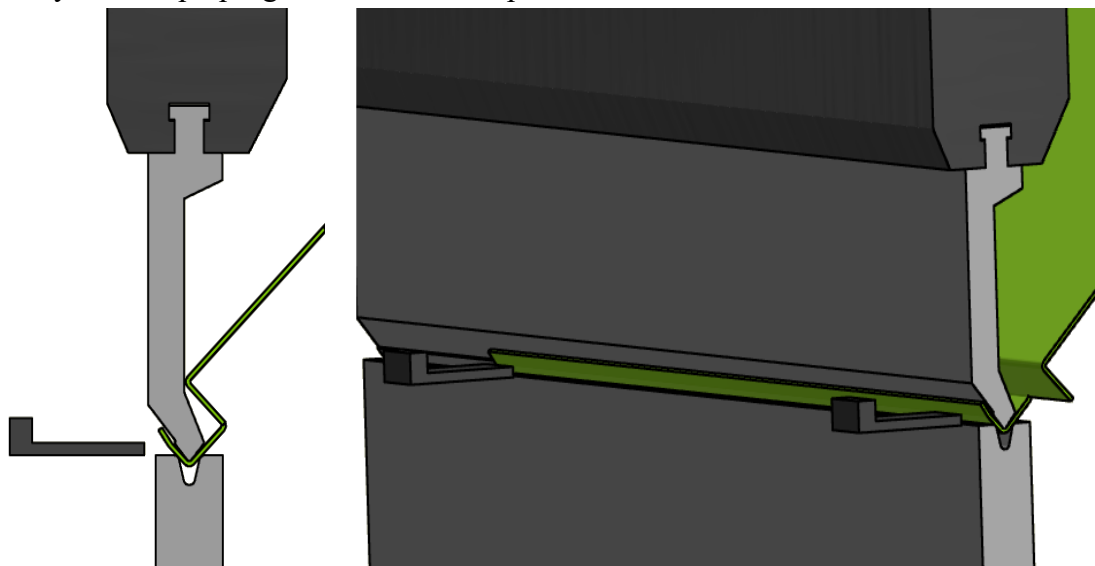
Obr. 70 Ohyb č. 6, 11 a 16

- Ohyby č. 7, 12 a 17 – jsou zhotoveny v otvoru součásti pod úhlem 90° s vnitřním poloměrem 1 mm. Razník 73 630 a matrice 52 377 se složí ze dvou 350 mm kusů, jelikož délka ohybu č. 6 a 11 je rovna 456 mm a pro č. 17 je hodnota rovna 656 mm. Ustavení plechu se provede za rovnou část ohnutého tvaru vyrobeného v předchozí operaci ve vzdálenosti 64,25 mm od osy matrice. Při pohybu plechu během ohraňování by došlo ke kolizi s dorazem. Z tohoto důvodu si nástroj najede na založený materiál a přitlačí ho, poté doraz odjede (obr. 71) a součást se ohne do požadovaného tvaru.



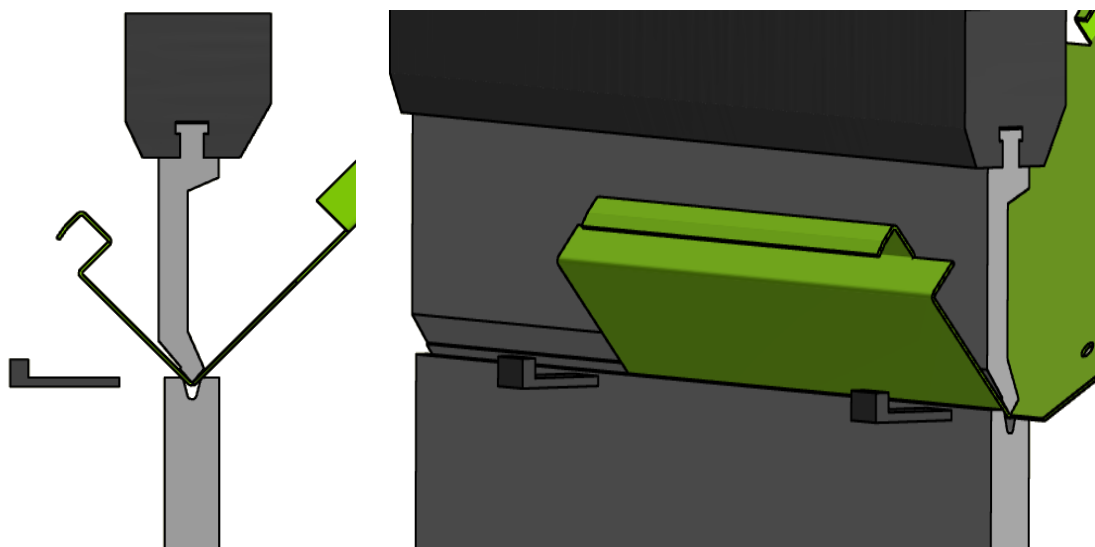
Obr. 71 Ohyby č. 7, 12 a 17

- Ohyby č. 8, 13 a 18 (obr. 72) – disponují vnitřním poloměrem 1 mm a jsou zhotoveny pod úhlem 90°. K vytvoření se použije razník 73 630 a matrice 52 377, které se složí ze dvou 350 mm kusů, kdy délka ohybu č. 8 a 13 je rovna 360 mm a pro č. 15 je hodnota 560 mm. Vzhledem k profilu bočních ramen se musí dílec zapřít o doraz za šikmou stranu, která je uhnuta pod úhlem 10°. Je nutné, aby zakládání plechu bylo co nejpřesnější. Firma má s tímto ohybem zkušenost, díky čemuž je ověřeno, že odchylka rozměru je minimální. I přesto se musí provést důkladná kontrola u prvního zkušebního dílu. V případě nedodržení požadovaných tolerancí rozměru je nutné pořídit nový doraz a přeprogramovat ovládací panel ohraňovacího lisu.



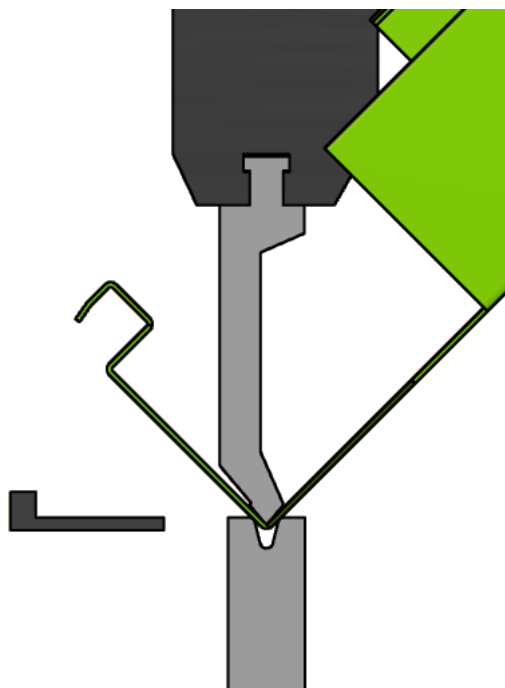
Obr. 72 Ohyb 8, 13 a 18

- Ohyby č. 9 a 14 (obr. 73) – jsou vytvořeny pod úhlem 90° a o délce 456 mm. Hodnota vnitřního poloměru je stejná jako u předchozích operací, tedy rovna 1 mm. Jako nástroje pro ohraňování těchto tvarů jsou zvoleny razník 73 630 a matrice 52 377, které jsou složeny ze dvou 350 mm délek. Součást se ustaví o doraz za nejbližší ohyb od místa ohnutí za šířku 20 mm od kraje, aby nedošlo ke kolizi s profilem ramene. Vzdálenost dorazu od osy nástroje činí 150,75 mm.

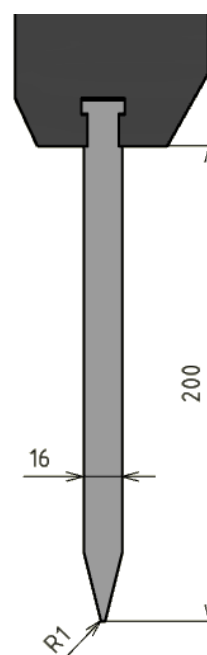


Obr. 73 Ohyby č. 9 a 14

- Ohyb č. 19 – je proveden pod úhlem 90° a délce 656 mm s vnitřním poloměrem 1 mm. Ze simulace vygenerované prostřednictvím programu Inventor je zjištěno, že při použití stejných ohraňovacích nástrojů jako v předchozích operacích (razník 73 630 a matrice 52 377), dojde ke kolizi součásti s horní upínací lištou, viz obr. 74. Z tohoto důvodu je zvolen druhý razník 52 339 (obr. 75) s maximálním zatížením 750 kN/m. Bližší informace o nástroje lze najít v příloze 5.

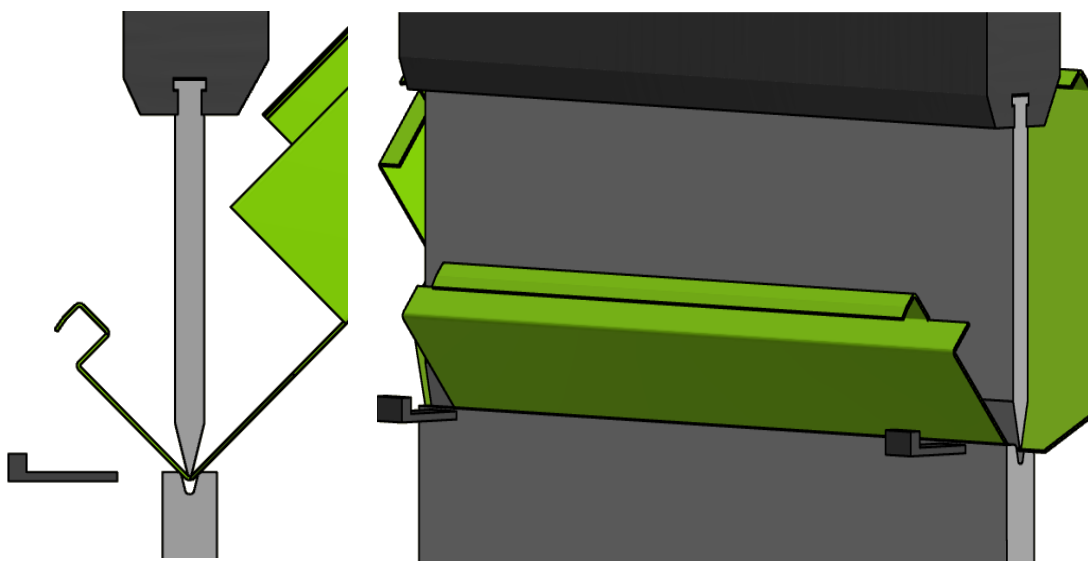


Obr. 74 Kolize ohybu 19



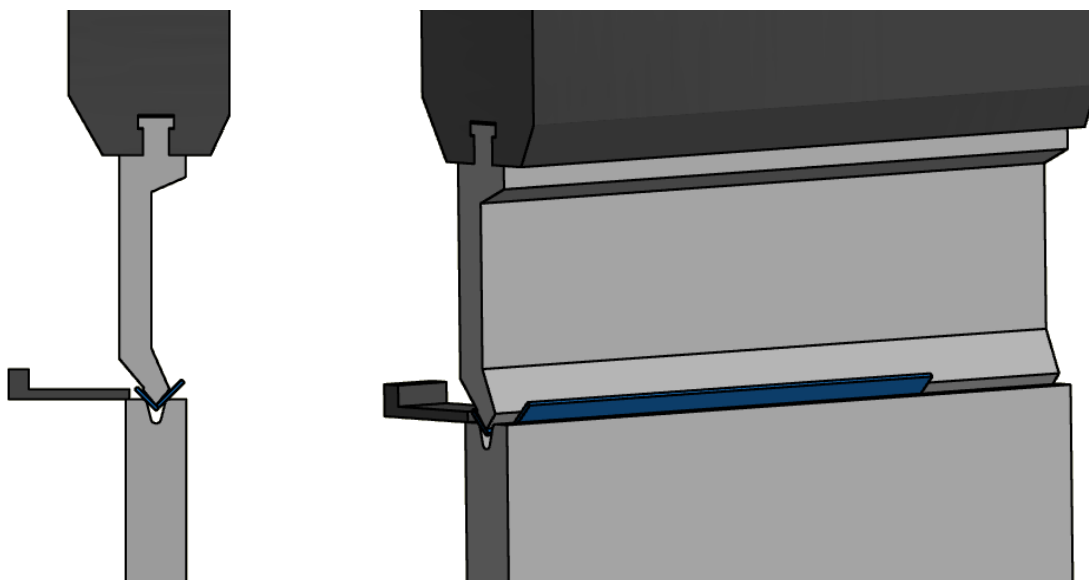
Obr. 75 Razník 52 339

Před poslední ohraňovací operací na "Plechu A" je nutné vyměnit razník 73 630 a použít druhý pod označením 52 339. Na obr. 76 je znázorněn ohyb č. 19 s použitím nového nástroje, kdy již nedochází ke kolizi součásti s horní upínací lištou. Dílec se zapře o doraz za nejbližší ohyb od místa ohnutí za šířku 20 mm od kraje, aby nedošlo ke kolizi s dalším profilem ramene. Vzdálenost dorazu od osy matrice je nastavena na hodnotu 150,75 mm.



Obr. 76 Ohyb č. 19

Z ohybového plánu pro "Plech B" (obr. 63) vyplývá, že se součást vytvoří na jeden ohyb, který se zhotoví pod úhlem 90° s vnitřním poloměrem 1 mm, viz obr. 77. Šířka ohybu činí 250 mm, z tohoto důvodu se použije razník 73 630 a matrice 52 377 o délce 350 mm. Vzhledem ke tvaru dílce musí doraz najet těsně nad matrici ve vzdálenosti 13,25 mm od osy ohybu, kde se zapře o stranu o délce 280 mm.



Obr. 77 Ohyb "Plechu B"

3.4 Ohraňovací síla a práce [1], [2], [8], [36], [66]

Základním faktorem při volbě stroje, na kterém se součást zhotoví, je velikost ohraňovací síly. Zároveň slouží ke kontrole maximálního zatížení nástroje. Jelikož součást obsahuje mnoho ohybů, je zvolen pro vzorový výpočet ten nejdelší, který je dlouhý 656 mm:

$$F_{o19} = \frac{b \cdot s^2 \cdot R_m}{l_v} \cdot C_o = \frac{656 \cdot 2^2 \cdot 690}{10} \cdot 1,45 = 262\,531\,N$$

kde: l_v – pro matrici 52 377 je hodnota rovna 10 mm

C_o – Caliho konstanta je zvolena 1,45

Velikost ohraňovací síly pro nejdelší ohyb je 262 531 N. Z této hodnoty se bude vycházet při volbě stroje.

Nyní se ze vztahu (2.14) provede výpočet pro délku ohybu jeden metr, který se použije pro kontrolu maximálního zatížení nástroje. Platí, že:

$$F_{on} = \frac{b \cdot s^2 \cdot R_m}{l_v} \cdot C_o = \frac{1000 \cdot 2^2 \cdot 690}{10} \cdot 1,45 = 400\,200\,N$$

Výsledná síla na jednom metru délky činí 400 200 N. Tato hodnota musí být menší než povolené zatížení nástroje. Kontrola maximálního zatížení se provede pro matrici 52 377:

$$\begin{aligned} F_{on} &< F_{max} \\ 400\,200\,N &< 500\,000\,N \end{aligned} \quad (3.5)$$

kde: F_{on} – ohraňovací síla pro jeden metr délky ohybu

F_{max} – maximální povolené zatížení matrice 52 377

Z předcházejícího vztahu vyplývá, že matrice je vhodná pro výrobu součástí. Ověření jiných nástrojů není třeba provádět, jelikož jejich dovolené zatížení je vyšší než u této matrice.

Ohranění zadané součásti se provede pouze volným ohybem, z čehož vyplývá, že nedojde ke kalibraci, a tím k nárůstu síly. Velikost tvářecí práce se vypočítá pro nejdelší délku ohybu dle vztahu (2.16):

$$A_{V19} = F_{o19} \cdot h \cdot \psi = 262\,531 \cdot 4,46 \cdot 0,6 = 707\,259 \text{ J}$$

kde: F_{o19} – ohranovací síla pro ohyb č.19, jež je rovna 262 531 N

h_{19} – je rovno 4,49 mm

ψ – zvolena hodnota 0,6

Práce potřebná k vytvoření ohybu č. 19 je rovna 707 259 J.

Dle vzorového výpočtu je pomocí programu Excel vytvořena následující tabulka ohranovacích sil a prací pro jednotlivé ohyby.

Tab. 11 Hodnoty ohranovacích sil a prací pro jednotlivé operace

Ohyb	Délka ohybu [mm]	Síla [N]	Dráha nástroje [mm]	Práce [J]
č. 1	400	160 080	4,49	431 256
č. 2	400	160 080	4,49	431 256
č. 3	400	160 080	4,49	431 256
č. 4	400	160 080	4,49	431 256
č. 5	360	144 072	0,56	48 408
č. 6	360	144 072	4,49	388 130
č. 7	456	182 491	4,49	491 631
č. 8	360	144 072	4,49	388 130
č. 9	456	182 491	4,49	491 631
č. 10	360	144 072	0,56	48 408
č. 11	360	144 072	4,49	388 130
č. 12	456	182 491	4,49	491 631
č. 13	360	144 072	4,49	388 130
č. 14	456	182 491	4,49	491 631
č. 15	560	224 112	0,56	75 302
č. 16	560	224 112	4,49	603 758
č. 17	656	262 531	4,49	707 259
č. 18	560	224 112	4,49	603 758
č. 19	656	262 531	4,49	707 259
Plechu B	250	100 050	4,49	269 535

Vzhledem k největší zjištěné síle, která u ohybu č. 19 činí 262 531 N, je zvolen hydraulický CNC ohranovací lis OptiFlex 130 t 3,1 (obr. 78) od švédského výrobce Urskviken Technology, jenž patří ke špičce ve svém oboru. Tento stroj umožňuje vytvářet ohyby různých úhlů díky velkému prostoru okolo nástroje. Zařízení se vyznačuje vysokou mírou spolehlivosti, kvalitou a životností. Řízení zadních dorazů umožňuje pohyb až v šesti osách (X1, X2, R1, R2, Z1, Z2). Nástrojové upínače nejsou součástí beranu, což umožňuje rychlou výměnu při opotřebení.

Zařízení je součástí strojového parku společnosti. Základní technické parametry stroje jsou uvedeny v tab. 12.

Tab. 12 Základní parametry lisu OptiFlex 130 t 3,1[8]

Max. lisovací síla	1 300 kN
Hmotnost	14 500 kg
Max. délka ohybu	3 100 mm
Rozměry D x Š x V	4310 x 2320 x 3530 mm
Výška pracovního stolu	900 mm
Šířka pracovního stolu	100 mm
Výkon motoru	22 kW
Obsah hydraulického agregátu	200 litrů
Rychlost volného sjíždění beranu	170 mm/s
Rychlost pracovního pohybu	15 mm/s
Nejmenší rychlost pro přesné nastavení beranu	1 mm/s

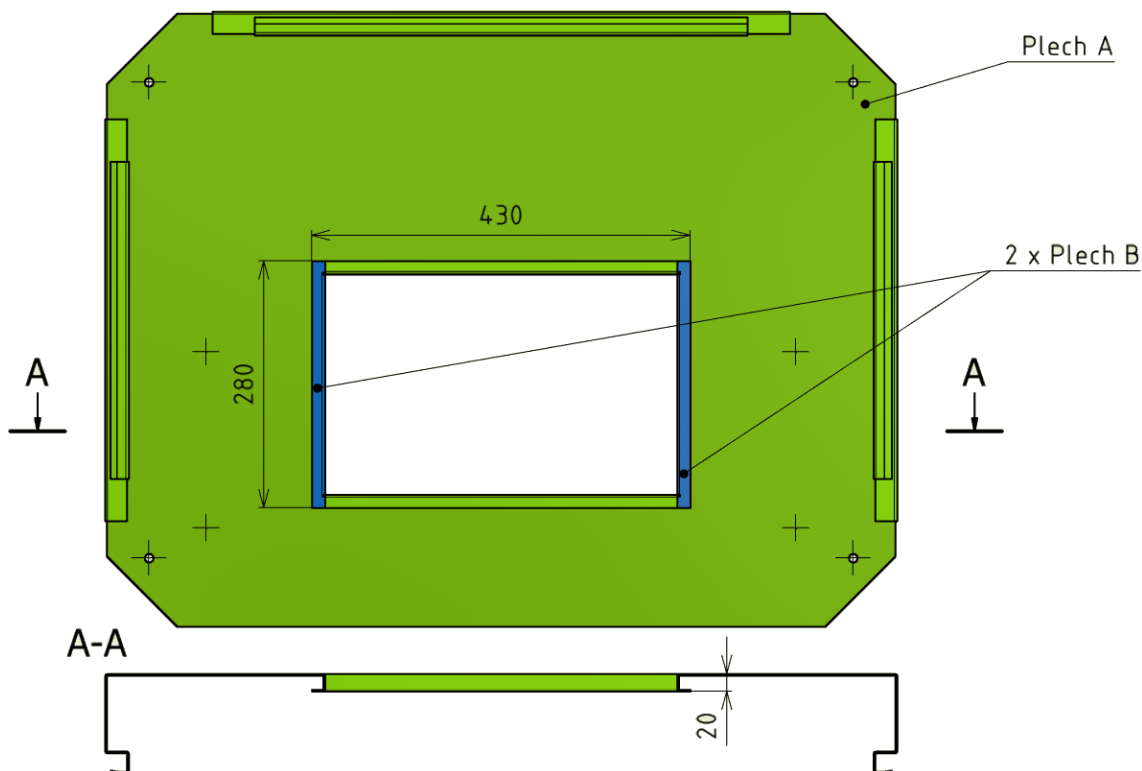


Obr. 78 Ohraňovací lis OptiFlex [66]

Stroj obsahuje i řadu příslušenství, mezi které patří bezpečnostní prvky, pomocný zvedací stůl a systém pro kompenzaci vyklonění beranu a stolu. Součástí zařízení jsou i dorazy, pro které byl vytvořen návrh tvaru i rozměrů, a lze ho vidět na výkrese DP-06-170681. V programu stroje jsou tyto dorazy přednastaveny, tudíž si jejich pohyb řídí sám. Nevýhodou tohoto nastavení je, že při použití jiného dorazu je nutné přeprogramování celého systému.

3.5 Svaření dílců [8], [22], [67], [68], [69], [70], [71], [72]

K vytvoření součásti je nutné svařit tři výlisky zhotovené na ohraňovacím lise. Na obr. 79 je znázorněno umístění jednotlivých dílů (1 x "Plech A" a 2 x "Plech B") před svařováním, díky čemuž vznikne osazení otvoru o rozměrech 430 x 280 mm s výškou 20 mm ode dna.



Obr. 79 Poloha svařovaných dílů

Vzhledem ke tvaru dílců je nejprve provedeno svařování s přídavným materiálem metodou MAG. "Plech A" a "Plech B" se ustaví do správné polohy pomocí úhelníku a mezi nimi se vytvoří koutový svar o velikosti 2 mm a délce 14 mm.

Přídavným materiálem je zvolen chrom-nikl-molybdenový svařovací drát OK Autrod 316LSi o průměru 1 mm. Výsledný svar se vyznačuje vysokou odolností vůči korozi. Vyšší obsah křemíku zajišťuje dobré svařovací vlastnosti, především pak roztékavost roztaveného materiálu. Díky nízkému obsahu uhlíku je svar odolný vůči mezikystalové korozi. Typické chemické složení a mechanické vlastnosti svarového kovu z tohoto drátu jsou v tab. 13 a 14.

Tab. 13 Typické chemické složení svarového kovu z drátu OK Autrod 316LSi. [22]

Prvek	C	Cr	Ni	Mo	Si	N
Chem. složení %	0,02	18,5	12	25	0,8	<0,08

Tab. 14 Typické mechanické vlastnosti svarového kovu z drátu OK Autrod 316LSi. [22]

Mechanické vlastnosti v žíhaném stavu			
R_m	$R_{p0,2}$	A_5	KV
[MPa]	[MPa]	[%]	[J]
620	440	37	120

Jako ochranný plyn je zvolen Inomaxx 2, jenž se používá pro MAG svařování tenkých korozivzdorných ocelí. Směs je složena ze 2 % oxidu uhličitého a zbytek je tvořen argonem. V případě plného drátu lze svařovat ve všech polohách. Tento ochranný plyn zaručuje vysokou kvalitu svarového spojení.

Pro vytvoření koutového svaru je vybrán zkratový přenos kovu, kdy dochází k menšímu vnesenému teplu, tím se snižuje riziko teplých trhlin. Parametry procesu svařování jsou sepsány v tab. 15.

Tab. 15 Parametry procesu svařování [22]

Parametry svařování pro průměr drátu 1 mm				
Proud	Napětí	Spotřeba plynu	Rychlost podávání	Svařovací výkon
[A]	[V]	[l/min]	[m/min]	[kg/min]
85	20	15	5	0,031

Vzhledem ke svařovacím podmínkám a strojovému parku podniku je pro výrobu koutových svarů metodou MAG zvoleno zařízení FRONIUS TransPuls Synergic 3200, viz obr. 80. Tento přístroj lze použít ke svařování austenitické oceli. Technické parametry jsou sepsány v tab. 16.

Tab. 16 Parametry stroje Synergic 3200 [68]

Síťové napětí	3 x 400 V
Rozsah pracovního napětí	14,2 až 30 V
Rozsah svařovacího proudu	3 až 320 A
Účinnost	91 %
Rozměry D x Š x V	625 x 290 x 480 mm
Hmotnost	34,6 kg



Obr. 80 TransPuls Synergic 3200 [69]

Dílec se následně přesune na jiné pracoviště, kde se vytvoří tupý spoj ve tvaru I o velikosti 2 mm mezi "Plechem A" a "Plechem B". Svařování proběhne bez přídavného materiálu metodou TIG a provede se z obou stran výsledné součásti.

Ochranným plynem je zvolen argon 4.8, kdy čistota Ar je rovna 99,998 %. Používá se pro TIG svařování k zabránění výsledného svaru před oxidací.

Výsledný svar se provede elektrodou s thoriem při průchodu stejnosměrného proudu. Parametry svařování metodou TIG jsou uvedeny v tab. 17.

Tab.17 Parametry procesu svařování metodou TIG [8]

Průměr elektrody	Proud	Napětí	Spotřeba plynu	Rychlost svařování
[mm]	[A]	[V]	[l/min]	[m/min]
1,6	75	10,1	7	0,25

Pro vytvoření tupých svarů metodou TIG je zvoleno zařízení TransTig 1750 Puls, které je zobrazeno na obr. 81. Technická data přístroje jsou uvedena v tab. 18.

Tab. 18 Technické parametry zařízení TransTig 1750 Puls [71]

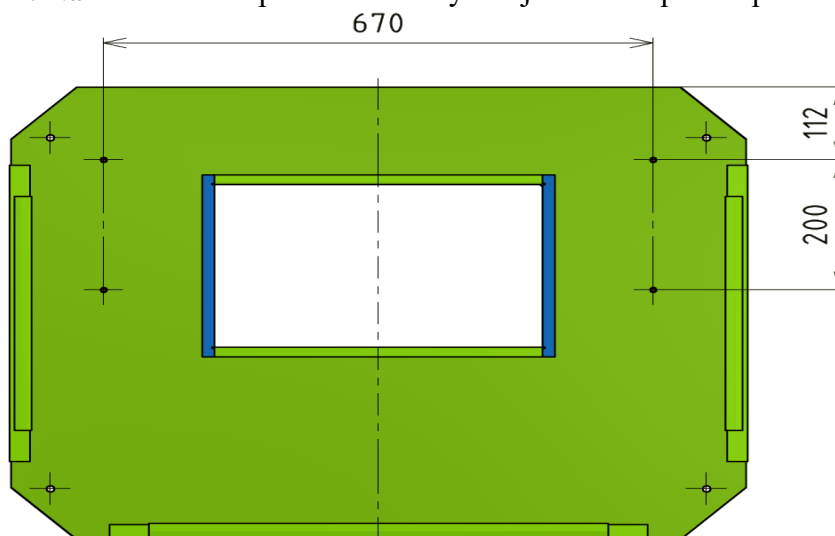
Síťové napětí	230 V
Rozsah pracovního napětí	10,1 až 16,8 V
Rozsah svařovacího proudu	2 až 170 A
Účinnost	84 %
Rozměry D x Š x V	460 x 180 x 280 mm
Hmotnost	9,1 kg



Obr. 81 TransTig 1750 Puls [71]

3.6 Přivaření svorníků [8], [73], [74]

Na spodní díl je nutné přivařit čtyři svorníky M8, pomocí nichž se zajistí držák zdroje. Na obr. 82 je znázorněno umístění jednotlivých svorníků, jejichž rozteč je rovna 670 x 200 mm. Pracovník nemusí tyto vzdálenosti rozměřovat, neboť jsou v plechu vytvořeny důlky při vysekávání. Na tato místa se přivaří svorníky a zajistí se tak přesná poloha.

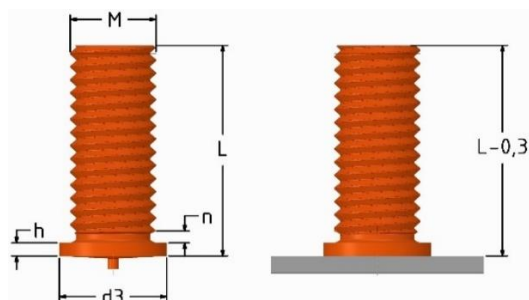


Obr. 82 Umístění svorníků

Vzhledem k technologii výroby a materiálu součásti jsou zvoleny svorníky CFT z korozivzdorné oceli dle normy DIN 32 501. Jednotlivé rozměry (obr. 83) jsou v tab. 19.

Tab. 19 Rozměry svorníku M8 [73]

l	16 mm
d3	9 mm
h	0,8 mm
nmax	2 mm



Obr. 83 Rozměry svorníků CFT [73]

Pro přivaření svorníků M8x16 se použije zařízení Nomark 65+ (obr. 84) od společnosti Thomas. Na přístroji se nastaví nabíjecí napětí na hodnotu 145 V. Technická data zařízení Nomark 65+ jsou v tab. 20.

Tab. 20 Technická data zařízení Nomark 65+ [74]

Síťové napětí	230 V
Svařovací rozsah	M3 až M8
Nabíjecí napětí	50 až 200 V
Kapacita	66 000 μ F
Pracovní cyklus	10 ks / min
Svařovací doba	0,001 – 0,003 s
Rozměry D x Š x V	380 x 165 x 250 mm
Hmotnost	12,5 kg



Obr. 84 Zařízení Nomark 65+ [74]

4 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [8], [75], [76], [77]

Celková cena spodního dílu souvisí s řadou nákladů. Technicko – ekonomické zhodnocení se bude zabývat pouze náklady na materiál polotovaru, svařovací drát, ochranný plyn a také cenou svorníků. Strojní zařízení a nástroje, které jsou použity při výrobě spodního dílu, jsou součástí podniku, tudíž se výdaje spojené s pořízením nepodílí na ceně dílce. K určení výsledné ceny součásti je nutné přičíst režijní náklady, s nimiž se však v této práci neuvažuje. Z těchto důvodů budou zjištěny následující náklady:

- Náklady na materiál polotovaru – vypočítají se z celkového počtu potřebných tabulí plechů a ceny materiálu. Součást se vyrobí z austenitické oceli 17 349, kdy je polotovarem zvolena tabule plechu válcovaného za studena o rozměrech 2 x 2500 x 1250 mm. Potřebný počet tabulí se stanoví vzorcem:

$$n_{tab} = \frac{n_{rs}}{i_s} = \frac{100}{2} = 50 \text{ ks} \quad (4.1)$$

kde: n_{tab} – počet tabulí pro celou sérii [-]
 n_{rs} – roční série, jenž činí 100 kusů
 i_s – počet součástí z jednoho plechu je roven 2

Ke zhotovení celé roční série je nutné zakoupit 50 kusů tabulí plechu.

Náklady na pořízení jedné tabule činí 7 653 Kč. Pomocí této hodnoty se výdaje na zakoupení všech tabulí plechu stanoví následovně:

$$N_{ctab} = C_{tab} \cdot n_{tab} = 7\,653 \cdot 50 = 382\,650 \text{ Kč} \quad (4.2)$$

kde: N_{ctab} – celkové náklady na pořízení všech tabulí [Kč]
 C_{tab} – cena za jednu tabuli (7 653 Kč)

Pro určení množství odpadu je nutné stanovit hmotnost všech tabulí:

$$m_{ctab} = s \cdot D_{tab} \cdot \check{S}_{tab} \cdot \rho_o \cdot n_{tab} = 0,002 \cdot 2,5 \cdot 1,25 \cdot 7850 \cdot 50 = 2\,453,13 \text{ kg} \quad (4.3)$$

kde: m_{ctab} – hmotnost všech tabulí plechu [kg]
 D_{tab} – délka tabule [m]
 \check{S}_{tab} – šířka tabule [m]
 ρ_o – hustota oceli [kg/m³]

Hmotnost celkového odpadu se vypočítá z nevyužitého materiálu.

$$m_o = m_{ctab} \cdot \frac{100 - \eta_{pB}}{100} = 2\,453,13 \cdot \frac{100 - 54,6}{100} = 1\,113,72 \text{ kg} \quad (4.4)$$

kde: m_o – hmotnost odpadu [kg]
 η_{pB} – využitelnost materiálu pro variantu B [%]

Výkupní cena odpadu z austenitické oceli 17 349 je stanovena na 30 Kč/kg. Vratné náklady z odpadového materiálu jsou rovny:

$$N_v = m_o \cdot C_o = 2\,453,13 \cdot 30 = 73\,593,9 \text{ Kč} \quad (4.5)$$

kde: N_v - vratné náklady z odpadového materiálu [Kč]
 C_o – výkupní cena odpadu [Kč/kg]

Výsledné materiálové náklady jsou sepsány v tab. 21.

Tab. 21 Materiálové náklady pro roční sérii

Náklady	Cena [Kč]
Přímé materiálové náklady	382 650,00
Náklady na vratný odpad	-73 593,90
Celkové materiálové náklady	309 056,10

Výsledné materiálové náklady činí přibližně 309 056 Kč. V případě, že se vysekávaný plech doplní o menší díly potřebné při výrobě celé skříně, zvýší tak celkové využití materiálu, tudíž se náklady na materiál sníží.

- Náklady na svařovací drát – spočítá se pro technologii MAG. Přídavným materiálem je drát OK Autrod 316LSi o průměru 1 mm. Celkový objem ze všech čtyř koutových svarů je určen pomocí programu Inventor a činí 224 mm³. Z této hodnoty se vypočítá hmotnost přídavného materiálu na jedné součásti:

$$m_p = V_p \cdot \rho_p = 224 \cdot 10^{-9} \cdot 7850 = 0,0018 \text{ kg} \quad (4.6)$$

kde: m_p – hmotnost přídavného materiálu pro jednu součást [kg]

V_p – objem všech koutových svarů na jedné součásti [m³]

ρ_p – hustota přídavného materiálu je zvolena 7 850 kg/m³

Následně se vypočítá celková hmotnost přídavného materiálu:

$$m_{cp} = m_p \cdot n_{rs} = 0,0018 \cdot 100 = 0,18 \text{ kg} \quad (4.7)$$

kde: m_{cp} – celková hmotnost přídavného materiálu pro celou sérii [kg]

Drát OK Autrod 316LSi o průměru 1 mm se prodává na cívce o hmotnosti 15 kg. Cena tohoto balení je rovna 6 131 Kč. Náklady spjaté s přídavným materiálem se stanoví následovně:

$$N_p = m_{cp} \cdot \frac{C_{bp}}{m_{bp}} = 0,18 \cdot \frac{6\,131}{15} = 73,6 \text{ Kč} \quad (4.8)$$

kde: N_p – náklady na přídavný materiál pro celou sérii [Kč]

C_{bp} – cena jednoho balení se svařovacím drátem [Kč]

m_{bp} – hmotnost jednoho balení se svařovacím drátem [kg]

Cena přídavného materiálu pro celou sérii činí 73,6 Kč. Zbytek nevyužitého drátu se použije při svařování nabíjecí stanice.

- Náklady na ochranný plyn – se vypočítá pro metody MAG a TIG. Nejprve je nutné stanovit čistý svařovací čas, kdy pro technologii MAG platí:

$$t_{SMAG} = \frac{m_p}{P_{SMAG}} = \frac{0,0018}{0,031} = 0,06 \text{ min} \quad (4.9)$$

kde: t_{SMAG} – čistý svařovací čas na jedné součásti metodou MAG [min]

P_{SMAG} – svařovací výkon [kg/min]

Z čistého svařovacího času a ze spotřeby plynu lze vypočítat množství plynu $Inomaxx 2$ dle:

$$V_{OMAG} = t_{SMAG} \cdot Sp_{MAG} = 0,06 \cdot 0,015 = 0,9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \quad (4.10)$$

kde: V_{OMAG} – objem ochranného plynu pro jednu součást [m³]

Sp_{MAG} – spotřeba ochranného plynu [m³/min]

Pro roční sérii je objem potřebného plynu roven:

$$V_{SMAG} = V_{OMAG} \cdot n_{rs} = 0,9 \cdot 10^{-4} \cdot 100 = 0,09 \text{ m}^3 \quad (4.11)$$

kde: V_{SMAG} – objem ochranného plynu pro celou sérii [m³]

Jedna láhev $Inomaxx 2 - X50S 300B$ stojí 5 309 Kč. Uvnitř se nachází stlačený plyn, který má za atmosférického tlaku objem 14,99 m³. Potom platí:

$$N_{oMAG} = \frac{V_{SMAG}}{V_L} \cdot C_L = \frac{0,09}{14,99} \cdot 5\,309 = 31,9 \text{ Kč} \quad (4.12)$$

kde: N_o – náklady na ochranný plyn pro metodu MAG [Kč]

V_L – objem plynu z jedné lahve za atmosférického tlaku [m³]

C_L – cena láhve s ochranným plynem [Kč]

Nevyužitý ochranný plyn se použije při svařování dalších dílců nabíjecí stanice. Při svařování metodou TIG se použije plyn Argon 4.8. Celková délka tupých svarů na dílci je stanovena programem Inventor a činí 552 mm. Čistý svařovací čas je roven:

$$t_{sTIG} = \frac{L_s}{v_{sTIG}} = \frac{0,552}{0,25} = 2,21 \text{ min} \quad (4.13)$$

kde: L_s – celková délka svarů [m]
 v_{sTIG} – svařovací rychlost [m/min]

Množství ochranného plynu pro jednu součást se vypočítá dle vztahu (4.10):

$$V_{oTIG} = t_{sTIG} \cdot Sp_{TIG} = 2,21 \cdot 7 \cdot 10^{-3} = 0,0155 \text{ m}^3$$

Dle (4.11) se určí množství ochranného plynu pro roční sérii:

$$V_{sTIG} = V_{oTIG} \cdot n_{rs} = 0,0155 \cdot 100 = 1,15 \text{ m}^3$$

Jedna padesáti litrová láhev s ochranným plynem Argon 4.8 stojí 5 969 Kč. Uvnitř se nachází stlačený plyn, který má za atmosférického tlaku objem 15,2 m³. Náklady na Argon 4.8 se spočítají dle (4.12):

$$N_{oTIG} = \frac{V_{sTIG}}{V_L} \cdot C_L = \frac{1,15}{15,2} \cdot 5\,969 = 608,7 \text{ Kč}$$

Nevyužitý ochranný plyn se použije při svařování jiných dílců nabíjecí stanice.

- Náklady na pořízení svorníků – se spočítají z celkového počtu těchto konstrukčních prvků a jejich ceny. Na jedné součásti jsou přivařeny celkem 4 svorníky. Pro roční sérii platí:

$$n_{sv} = n_{sv1} \cdot n_{rs} = 4 \cdot 100 = 400 \text{ kusů} \quad (4.14)$$

kde: n_{sv} – počet svorníků pro celou sérii [–]
 n_{sv1} – počet svorníků na jedné součásti [–]

Cena jednoho svorníku M8x16 je 5 Kč.

$$N_{sv} = n_{sv} \cdot C_{sv} = 400 \cdot 5 = 2\,000 \text{ Kč} \quad (4.15)$$

kde: N_{sv} – náklady na pořízení svorníků pro celou sérii [Kč]
 C_{sv} – cena jednoho svorníku [Kč]

Náklady na pořízení svorníků pro celou sérii činí 2 000 Kč

Podle zadaných kritérií se vypočítaly náklady na materiál polotovaru, svařovací drát, ochranný plyn a svorníky. Pro porovnání jednotlivých hodnot se sestrojila tab. 22.

Tab. 22 Vypočítané náklady

Náklady	Cena [Kč]
Celkové materiálové náklady	309 056,10
Náklady na svařovací drát	73,60
Náklady na ochranný plyn pro metodu MAG	31,90
Náklady na ochranný plyn pro metodu TIG	608,70
Náklady na pořízení svorníků	2 000,00
Celkem pro celou sérii	311 770,30
Celkem pro jednu součást	3 117,70

Celkové výdaje pro celou sérii činí přibližně 311 770 Kč, které se vypočítaly z nákladů na materiál polotovaru, svařovací drát, ochranný plyn a svorníky. U této sumy se neuvažovalo náklady na režii a na pořízení strojů i nástrojů. Cena jednoho spodního dílu se poté pohybuje kolem 3 118 Kč.

5 ZÁVĚRY

Úkolem bylo vypracovat návrh výroby spodního dílu, jenž tvoří kostru nabíjecí stanice. Součástí se zhotoví z austenitické oceli 17 349 v roční produkci 100 kusů. Jedná se o plechový díl o tloušťce 2 mm s maximálními rozměry 900 x 698 x 113 mm.

Z několika různých metod výroby byla zvolena kombinace technologií vysekávání, ohraňování, svařování metodami MAG i TIG a v konečné fázi přivaření svorníků výbojem kondenzátoru. Všemi zmíněnými technologiemi disponuje společnost DEL a.s. Vzhledem k vybraným způsobům výroby bylo navrženo, že se výsledná součást bude skládat ze tří plechů (1 x "Plech A" a 2 x "Plech B"), které se společně svaří.

Nejprve se zhotoví rozvinuté tvary pomocí vysekávání. Jako polotovar byl zvolen plech o rozměrech 2 x 2500 x 1250 mm, kdy využití materiálu činí 54,6 %. K výrobě se použije celkem šest děrovacích nástrojů a jeden speciální pro vytvoření označení na povrchu plechového polotovaru. Největší střížná síla byla stanovena na 188 563 N, proto byl zvolen vysekávací lis Pullmax 720.

Zhotovené tvary budou poté ohnuty na ohraňovacím lise, kdy pro zhotovení "Plechu A" je zapotřebí devatenácti ohybů. Pro výrobu byl zvolen razník 73 630 a matrice 52 377. Pomocí simulace programem Inventor bylo zjištěno, že v ohybu č. 19 dojde ke kolizi součásti s nástrojem. Z tohoto důvodu se pro tuto operaci použije razník 52 339. "Plech B" obsahuje pouze jeden ohyb o poloměru 90°, proto je zvolen razník 73 630 a matrice 52 377. Největší vypočítaná ohybová síla činí 262 531 N a dílec se zhotoví na hydraulickém CNC ohraňovacím lise OptiFlex 130 t 3,1.

Po ohraňování se k "Plechu A" svaří dva "Plech B" a vytvoří se tak osazení o rozměru 430 x 280 mm. Koutové svary se zhotoví pomocí přístroje TransPuls Synergic 3200 metodou MAG, kdy přídatný materiál je drátová elektroda OK Autrod 316LSi a ochranný plyn je Inomaxx 2. Dále se zařízením TransTig 1750 Puls vytvoří tupé svary metodou TIG bez přídatného materiálu v inertním plynu Argon 4.8.

V poslední fázi se na součást přivaří čtyři svorníky M8x16 s roztečí 670 x 200 mm. Ke zhotovení se použije zařízení Nomark 65+. Svorníky se přivaří na důlky, které byly vyrobeny již při vysekávání plechu.

Technicko – ekonomické zhodnocení se zabývalo pouze náklady na materiál polotovaru, svařovací drát, ochranný plyn (MAG i TIG) a také cenou svorníků. Celkové náklady pro roční sérii činí přibližně 311 770 Kč. Cena jedné součásti je pak podle zkoumaných kritérií rovna 3 118 Kč.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [78]

1. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ, Milan HORÁČEK, Ladislav ZEMČÍK, Bohumil KANDUS, Jaroslav KUBÍČEK, Evžen VYPLAŠIL a Ladislav ŽÁK. *Technologie II*. Vyd. 3., dopl., v Akademickém nakl. CERM 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2683-7.
2. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 4., V Akademickém nakladatelství CERM 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 978-80-214-3425-7.
3. Strojírenství. *CZECH.cz* [online]. 2009 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <http://www.czech.cz/cz/Podnikani/Firmy-v-CR/Strojirensvi>
4. LENFELD, Petr. Technologie tváření kovů. *Technologie II* [online]. Technická univerzita Liberec [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/obsah_kovy.htm
5. Ohýbání plechů. *KOVO-ZACH* [online]. 2019 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://www.kovo-zach.cz/ohybani-plechu.html>
6. Sheet Metal Part. *IndiaMART: Sheet Metal Part* [online]. [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/sheet-metal-part-13635578888.html>
7. Ohýbání. *Kovo-Klobás* [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.kovo-klobas.cz/ohybani/>
8. *DEL a.s.: Interní dokumenty*. 2019. Žďár nad Sázavou.
9. FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. *Nástrojové oceli*. Brno: Dům techniky, 1994. 230 s.
10. Materiálové normy. *Ferona a.s* [online]. Praha 1, 2017 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://online.ferona.cz/materialove-normy/>
11. Engineering. *DEL a.s.* [online]. 2011 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <http://www.del.cz/engineering/>
12. 316 L. *PX Group* [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.pxgroup.com/sites/default/files/316L1.4404.pdf>
13. ČSN 41 7349. *Ocel 17 349 Cr-Ni-Mo*. Český normalizační institut. Praha, 1993, 4 s.
14. OCEL - Převodní tabulka. *Plech Server* [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.i-plech.cz/pdf/ocel.pdf>
15. JANÍČKOVÁ, Petra. Nekonenční technologie obrábění - Laser. In: *Střední odborná škola technická Uherské Hradiště* [online]. 2012 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <http://www.uh.cz/szesgsm/files/sblizovani/pdf/laser-projekt-sablona.pdf>

16. Laserové a plazmové řezání (84,83). In: *VŠB – Technická univerzita Ostrava* [online]. s. 13 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/~hla80/2009svarovani/16-17-83-84.pdf>
17. Punch Catalogue - EUROMAC. *Direct Industry* [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <http://pdf.directindustry.com/pdf/euromac/punch-catalogue/16272-475421.html>
18. ARANGO, Ivan a Fabio PINEDA. Design of CNC Turret Punch for small batches production. In: *SciELO* [online]. s. 100 [cit. 2019-05-17]. ISSN 2145-9371. Dostupné z: <http://www.scielo.org.co/pdf/inde/v30n1/v30n1a06.pdf>
19. Punching at a glance. In: *TRUMPF* [online]. s. 52 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/filestorage/TRUMPF_Master/Products/Services/01_brochures/TRUMPF-punching-at-a-glance-brochure-EN.pdf
20. Ohýbačky plechu. *TOMEK stroje a nářadí* [online]. 2019 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.tomek-naradi.cz/ohybacky-plechu/>
21. CNC zpracování plechu v průmyslu. *Ohraňování plechu* [online]. [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <http://www.ohranovaniplechu.cz/>
22. Svařování nerezavějících ocelí. In: *ESAB Technická příručka* [online]. s. 92 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <http://products.esab.com/ESABImages/nerezy2012.pdf>
23. Metody. *Automig* [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <http://automig.cz/o-svarovani/metody/>
24. T.I.G WELDING. *JunkMail* [online]. 2019 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.junkmail.co.za/services/education-and-training-providers/north-west/klerksdorp/t-i-g-welding-training-in-klerksdorp-call-0727459590/13e37bfed1344ee1924e296a0e0f88e3>
25. Svařování korozivzdorných ocelí. In: *Euro Inox* [online]. 2007, s. 39 [cit. 2019-05-17]. ISBN 978-2-87997-177-3. Dostupné z: http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/BrochureWeldability_CZ.pdf
26. Přivařování svorníků - 78. In: *VŠB – Technická univerzita Ostrava* [online]. s. 15 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/~hla80/2009svarovani/2-05-78.pdf>
27. Laser cutting. *BRETAGNE LASER* [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.bretagne-laser.com/laser-cutting,2,101.html>
28. Klampiarske výrobky Ohýbanie plechov Ohýbačka plechu 2m. In: *Youtube* [online]. 2013 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=ihQvXO-QUio>
29. MP3003 CNC PRESS BRAKE NARGESA. In: *Youtube* [online]. 2017 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=rAWryQ0HBfg>

30. T.I.G WELDING. *JunkMAil* [online]. 2019 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.junkmail.co.za/services/education-and-training-providers/north-west/klerksdorp/t-i-g-welding-training-in-klerksdorp-call-0727459590/13e37bfed1344ee1924e296a0e0f88e3>
31. How to MIG Weld? Top Mig Welding Tips and Tricks 2019. *Compare-Bear* [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://compare-bear.com/how-to-mig-weld/>
32. What is Stud Welding?. *Sunbelt Stud Welding* [online]. 2019 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.sunbeltstudwelding.com/what-is-stud-welding.html>
33. SVORNÍKOVÉ SVAŘOVÁNÍ. *ARTWELD vše pro svařování* [online]. 2018 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://artweld.cz/svornikove-svarovani/>
34. HOSFORD, William F. a Robert M. CADDELL. *Metal forming: mechanics and metallurgy*. 3rd ed. New York, NY: Cambridge University Press, 2007. ISBN 978-052-1881-210.
35. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1980.
36. BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. *Technológia tvárnenia*. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2010. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3242-0.
37. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
38. FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. Vyd. 2., v Akademickém nakladatelství CERM 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2764-7.
39. MACHEK, Václav. *Zpracování tenkých plechů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1983.
40. BAREŠ, Karel. *Lisování*. Praha: SNTL, 1971, 542 s.
41. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1. Brno: Vysoké učení technické, 1992. ISBN 80-214-0401-9.
42. TRUMPF STYLE TOOLING SYSTEMS. In: *METE PRECISION TOOLING* [online]. s. 56 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: https://4aefm62s97fr5v4qj2tj67uq-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2015/11/LIT00536_Trumpf_NORTH_AMER_PN_2017_REV_D_LR.pdf
43. Punching Tools. In: *TRUMPF* [online]. s. 212 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/filestorage/TRUMPF_Master/Products/Services/01_brochures/TRUMPF-punching-tools-catalog-EN.pdf

44. Správná střížná vůle. In: *MATE PRECISION TOOLING* [online]. s. 1 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <http://www.sp-tech.cz/static/soubory/stranka-85/spravna-strizna-vule-105.pdf>
45. Akademie tváření: Stříhání. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2010 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani.html>
46. Strippit PX. *LVD* [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.lvdgroup.com/en/products/punch-presses/strippit-px>
47. Děrovací stroje. *TRUMPF* [online]. 2019 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/cs_CZ/produkty/stroje-systemy/derovaci-stroje/
48. MARCINIAK, Zdzislaw. *Teorie tváření plechů*. Praha: SNTL, 1964, 259 s.
49. PRESS BRAKE PRODUCTIVITY CATALOG. In: *WILA* [online]. 2019, s. 108 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <http://www.wila.nl/images1/wila/data/catalogs-html/WILA-Catalog-GB/index.html>
50. BUCHFING, Gabriela a Nicola LEIBINGER-KAMMÜLLER. *Fascination of Sheet Metal: A material of limitless possibilities*. 1. 2006, 252 s. ISBN 978-3834330710.
51. NĚMEC, Josef. *Svařování korozivzdorných a žárovzdorných ocelí*. 2. přeprac. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1975, 168 s.
52. Mezikrytalová koroze. In: *Ústav kovových materiálů a korozního inženýrství* [online]. s. 6 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: [http://ukmki.vscht.cz/files/uzel/0016736/Mezikrytalov%C3%A1%20koroze%20I%20\(Strauss\).pdf?redirected](http://ukmki.vscht.cz/files/uzel/0016736/Mezikrytalov%C3%A1%20koroze%20I%20(Strauss).pdf?redirected)
53. What is hot cracking (solidification cracking)?. *TWI* [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/faq-what-is-hot-cracking-solidification-cracking>
54. Svařování konstrukcí z korozivzdorných ocelí ve shodě s ČSN EN 1011-3. *Konstrukce* [online]. 2012 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/svarovani-konstrukci-z-korozivzdornych-oceli-ve-shode-s-csn-en-1011-3/>
55. Intergranular Corrosion. *WORDPRESS* [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://bloggingwithjimmyd.wordpress.com/two-methods-for-the-price-of-one/intergranular-corrosion/>
56. Svařování vysocelegovaných ocelí. In: *MESSER* [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://www.messer.cz/documents/20591/717449/Svarovani_vysokolegovanych_oceli.pdf/cd4d2140-a304-4692-84b0-f6b5e857045c
57. METAL CORED OUTERSHIELD® WIRES. *The Lincoln Electric Company* [online]. 2010 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.lincolnelectric.com/en-gb/support/process-and-theory/Pages/metal-cored-wires.aspx>

58. Svařování slabých plechů. *Konstrukce* [online]. 2014 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/svarovani-slabych-plechu/>
59. Obloukové svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu WIG (TIG) - 141. In: *VŠB – Technická univerzita Ostrava* [online]. s. 5 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/~hla80/2009Svarovani/09-141.pdf>
60. ČADA, Radek. *Technologie I*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, [2008]. ISBN 978-80-248-1507-7.
61. Akademie tváření: Technologičnost konstrukce v návrhu výstřížků. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2011 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-technologicnost-konstrukce-v-navrhu-vystrizku.html>
62. Svařitelnost některých technických materiálů a volba přídavných materiálů. In: *ČVUT FS* [online]. s. 16 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/svarovani/N1_svaritelnost_materialu_ESAB.pdf
63. KUBÍČEK, Miroslav. Svařování. In: *Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola technická Brno* [online]. Brno, 2013, s. 23 [cit. 2019-05-19].
64. Pullmax Series - PUNCHING MACHINES. In: *Newtech* [online]. s. 12 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.newtech.cz/files/produktove-novinky/pullmax/pullmax720-eng-1-.pdf>
65. PRESS BRAKE TOOLS. In: *URSVIKEN* [online]. s. 8 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://ursviken.com/wp-content/uploads/2018/03/Tools-for-Ursviken-machinesrev3.pdf>
66. HYDRAULICKÉ OHRAŇOVACÍ LISY OPTIFLEX, 100 AŽ 400 TUN. *INTECH* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://www.intech.cz/product/Hydraulick%C3%A9+ohra%C5%88ovac%C3%AD+lisy+OPTIFLEX%2C+100+a%C5%BE+400+tun>
67. Inomaxx 2. In: *AIR PRODUCTS* [online]. s. 2 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <http://www.airproducts.cz/~media/downloads/i/inomaxx-2/data-sheets/en-inomaxx-2-datasheet.pdf?productType=Gases&productLevel1=WeldingCutting-Gases&productLevel2=Maxx-Shielding-Gases&productLevel3=Inomaxx-2>
68. TransPuls Synergic 3200. *HBT WELD s.r.o.* [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: [http://www.hbt-weld.cz/katalog/transpuls-synergic-3200/#technicke-specifikace_tab%20\(tab.\)](http://www.hbt-weld.cz/katalog/transpuls-synergic-3200/#technicke-specifikace_tab%20(tab.))
69. TransPuls Synergic 3200. *Fronius* [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <http://www.virtualwelding.com/en-au/australia/welding-technology/products/manual-welding/mig/transpuls-synergic/transpulssynergic/transpuls-synergic-3200>

70. Metoda - 141 TIG/WIG nerez 2,0 mm. *AZ-svarecotechnika.cz* [online]. 2019 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <http://www.az-svarecotechnika.cz/clanky/metoda-141-tig-wig-nerez-2-0-mm>
71. TransTig Puls. *Fronius* [online]. 2019 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.fronius.com/cs-cz/czech-republic/perfect-welding/vyrobky/ru%C4%8Dn%C3%AD-sva%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD/tig/transtig/transtig-puls/transtig-1750-puls>
72. OK 16.32 (AUTROD 316LSi) 1.0 AUT 15kg nerez 1632109820 Svařovací drát. *Maister nářadí a svařování do továren* [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <http://www.maister.cz/Svarovani/Svarovaci-materialy/Draty-MIG-MAG/Nerezove/OK-16-32-AUTROD-316LSi-AUT-15kg-nerez-16329820-Svarovaci-drat-OK-16-32-AUTROD-316LSi-1-0-AUT-15kg-nerez-1632109820-Svarovaci-drat.html>
73. Katalogy ke stažení. *SIMAF* [online]. 2018 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://simaf.cz/katalogy-ke-stazeni>
74. NOMARK 65+. *THOMAS Welding systems* [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: http://www.thomas-welding.com/machine/nomark_65PLUS_99PLUS.htm
75. Plech - 1.4404 - 2B. *Inerez.cz* [online]. 2019 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.inerez.cz/nerezove-plechy/nerezove-plechy-valcovane-za-studena/nerezovy-plech-valcovany-za-studena-2b-1.4404/>
76. Ceník - výkup nerezí. *MILATA* [online]. 2019 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.milata.cz/cenik-nerez/>
77. Plyny. In: *AIR PRODUCTS* [online]. s. 1 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <http://www.airproducts.cz/Products/Gases/~~/media/FDED0C1455C14993AFC1EEB992169D03.pdf>
78. *Citace Pro* [online]. [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://www.citace.com>
79. UKB-Kataloge. *UKB* [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.ukb-gmbh.de/de/media/ukb-kataloge/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A_5	Tažnost	[%]
A_s	Střížná práce	[J]
A_v	Ohybová práce	[J]
b	Šířka materiálu	[mm]
C	Caliho konstanta	[-]
C_{bp}	Cena jednoho balení se svařovacím drátem	[Kč]
C_L	Cena láhve s ochranným plynem	[Kč]
C_o	Výkupní cena odpadu	[Kč/kg]
C_{sv}	Cena jednoho svorníku	[Kč]
C_{tab}	Cena za jednu tabuli	[Kč]
c	Materiálový součinitel	[-]
D_{tab}	Délka tabule	[m]
d	Vzdálenost otvoru od okraje	[mm]
E	Modul pružnosti v tahu	[MPa]
e	Minimální délka ramene	[mm]
F_{co}	Celková ohybová síla	[N]
F_k	Kalibrační síla	[N]
F_{max}	Maximální povolené zatížení	[N]
F_o	Ohybová síla	[N]
F_{on}	Ohraňovací síla pro jeden metr délky ohybu	[N]
F_s	Střížná síla	[N]
h	Dráha pohyblivého nástroje	[m]
i_s	Počet součástí z jedné tabule	[-]
k	Koeficient	[-]
L_{pol}	Celková délka rozvinutého tvaru	[mm]
L_s	Celková délka svarů	[m]
l	Délka rovného úseku	[mm]
l_a	Délka oblouku na vnější straně ohybu	[mm]
l_o	Délky neutrální plochy	[mm]
l_v	Vzdálenost mezi opěrami matrice	[mm]
m_{bp}	Hmotnost jednoho balení se svařovacím drátem	[kg]
m_{ctab}	Hmotnost všech tabulí plechu	[kg]
m_o	Hmotnost odpadu	[kg]
m_p	Hmotnost přídavného materiálu pro jednu součást	[kg]
N_{ctab}	Celkové náklady na pořízení všech tabulí	[Kč]
N_o	Náklady na ochranný plyn	[Kč]
N_p	Náklady na přídavný materiál pro celou sérii	[Kč]
N_{sv}	Náklady na pořízení svorníků pro celou sérii	[Kč]
N_v	Vratné náklady z odpadového materiálu	[Kč]
n	Koeficient otupení nástroje	[-]
n_c	Celkový počet výstřížků z plechu	[-]
n_{sv}	Počet svorníků pro celou sérii	[-]
n_{sv1}	Počet svorníků na jedné součásti	[-]
n_{rs}	Roční série	[-]
n_{tab}	Počet tabulí pro celou sérii	[-]
o	Obvod střížné hrany	[mm]
R_{1max}	Maximální poloměr ohybu	[mm]

Označení	Legenda	Jednotka
R_{1min}	Minimální vnitřní poloměr ohybu	[mm]
R_m	Mez pevnosti	[MPa]
R_o	Poloměr ohybu	[mm]
$R_{p0,2}$	Smluvní mez kluzu	[MPa]
S_A	Obsah "Plechu A" včetně vnitřního odpadu	[mm ²]
S_B	Obsah "Plechu B" včetně vnitřního odpadu	[mm ²]
S_c	Celková plocha	[mm ²]
S_p	Celková plocha plechu	[mm ²]
S_{pMAG}	Spotřeba ochranného plynu	[m ³ /min]
S_s	Střížná plocha	[mm ²]
S_v	Plocha jednoho výstřížku	[mm ²]
s	Tloušťka plechu	[mm]
\check{S}_{tab}	Šířka tabule	[m]
t_s	Čistý svařovací čas	[s]
V_L	Objem plynu z jedné lahve za atmosférického tlaku	[m ³]
V_o	Objem ochranného plynu	[m ³]
V_p	Objem všech koutových svarů na jedné součásti	[m ³]
V_s	Objem ochranného plynu pro celou sérii	[m ³]
v_n	Celkové střížné vůle	[mm]
v_{sTIG}	Svařovací rychlost	[m/min]
x	Součinitel polohy neutrální osy	[-]

α	Úhel ohybu	[°]
β	Úhel odpružení	[°]
ε_{1max}	Maximální poměrná deformace	[-]
ε_{1min}	Kritická poměrná deformace	[-]
η_p	Využití materiálu z plechu	[%]
σ_1	Hlavní tahové napětí	[MPa]
σ_3	Hlavní tlakové napětí	[MPa]
σ_k	Mez kluzu tvářeného materiálu	[MPa]
σ_n	Normální složka napětí	[MPa]
τ_{max}	Maximální smykové napětí	[MPa]
τ_s	Napětí ve stříhu	[MPa]
ρ	Poloměr neutrální plochy	[mm]
ρ_o	Hustota oceli	[kg/m ³]
ρ_p	Hustota přídavného materiálu	[kg/m ³]
ψ	Součinitel plnosti diagramu	[-]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklady součástí vytvořených plošným tvářením [5], [6], [7].....	9
Obr. 2 Model nabíjecí stanice [8]	10
Obr. 3 Nosná konstrukce stanice [8].....	10
Obr. 4 Spodní díl.....	10
Obr. 5 Základní rozměry dílu	11
Obr. 6 Logo firmy [8]	11
Obr. 7 Řezání laserem [27]	12
Obr. 8 Vysekávání [19].....	12
Obr. 9 Ohýbaní plechu pomocí ohýbačky [28].....	13
Obr. 10 Ohraňování [29].....	13
Obr. 11 Svařování TIG [30].....	14
Obr. 12 Svařování MAG [31]	14
Obr. 13 Obloukové přivařování svorníků [32]	15
Obr. 14 Přivařování svorníků výbojem kondenzátoru [33]	15
Obr. 15 Základní fáze stříhání [36].....	16
Obr. 16 Schéma napjatosti a deformace při vysekávání [37]	17
Obr. 17 Průběh síly při vysekávání [37]	18
Obr. 18 Schéma děrovacího nástroje [43]	19
Obr. 19 Popis vysekávacího lisu [46]	20
Obr. 20 Technologie ohraňování [29].....	20
Obr. 21 Schéma ohýbání [37]	21
Obr. 22 Stanovení rozvinuté délky polotovaru [36]	22
Obr. 23 Schémata napjatosti a deformace [37]	22
Obr. 24 Schéma ohybu [2].....	23
Obr. 25 Závislost ohybového momentu na křivosti [48].....	24
Obr. 26 Odpružení po ohybu [38].....	24
Obr. 27 Schéma V ohybu [2].....	24
Obr. 28 Průběh ohýbací síly v závislosti na dráze ohýbacího nástroje [1].....	25
Obr. 29 Schéma ohýbání do tvaru V [2]	25
Obr. 30 Razník [50]	26
Obr. 31 Jednodílný nástroj [49]	26
Obr. 32 Vícedílný nástroj [49].....	26
Obr. 33 Matrice [50]	26
Obr. 34 Ohraňovací lis [50]	27
Obr. 35 Pružná deformace beranu [50].....	27
Obr. 36 Bombírovací systém [50]	27
Obr. 37 Směry pohybů zadních dorazů [50].....	27
Obr. 38 Trhliny za tepla [53]	28
Obr. 39 Mezikrystalová koroze [55].....	28
Obr. 40 Svařování v ochranné atmosféře MAG [57].....	29
Obr. 41 Svařování v ochranné atmosféře TIG [59]	30
Obr. 42 Postup přivařování svorníků výbojem kondenzátoru [25]	30
Obr. 43 Velikost přepážek při vysekávání [36]	31
Obr. 44 Vzdálenost otvoru od okraje [36]	31
Obr. 45 Minimální délka ramene [36]	32
Obr. 46 Popis spodního dílu	33
Obr. 47 Vzdálenost otvoru od kraje.....	33
Obr. 48 Nejmenší délka ramene součásti.....	33

Obr. 49 Plech A	34
Obr. 50 Profil "Plechu A" v podélném směru	35
Obr. 51 Profil "Plechu A" v příčném směru.....	35
Obr. 52 Rozvin "Plechu A"	35
Obr. 53 Plech B.....	36
Obr. 54 Rozvin dílců pomocí Inventoru	36
Obr. 55 Varianta A.....	37
Obr. 56 Varianta B.....	37
Obr. 57 Varianta C.....	38
Obr. 58 Strižná vůle [37]	38
Obr. 59 Popis výroby "Plechu A" na vysekávacím stroji	39
Obr. 60 Popis výroby "Plechu B" na vysekávacím stroji.....	39
Obr. 61 Vysekávací stroj Pullmax 720	40
Obr. 62 Ohybový plán "Plechu A"	41
Obr. 63 Ohybový plán "Plechu B"	41
Obr. 64 Razník 73 630.....	42
Obr. 65 Matrice 52 377.....	42
Obr. 66 Hloubka vniknutí tvářeného materiálu do matrice	42
Obr. 67 Ohyby č. 1 a 3.....	43
Obr. 68 Ohyby č. 2 a 4.....	44
Obr. 69 Ohyby č. 5, 10 a 15.....	44
Obr. 70 Ohyb č. 6, 11 a 16.....	45
Obr. 71 Ohyby č. 7, 12 a 17.....	45
Obr. 72 Ohyb 8, 13 a 18.....	46
Obr. 73 Ohyby č. 9 a 14.....	46
Obr. 74 Kolize ohybu 19.....	47
Obr. 75 Razník 52 339.....	47
Obr. 76 Ohyb č. 19.....	47
Obr. 77 Ohyb "Plechu B"	48
Obr. 78 Ohraňovací lis OptiFlex [66].....	50
Obr. 79 Poloha svařovaných dílů.....	51
Obr. 80 TransPuls Synergic 3200 [69]	52
Obr. 81 TransTig 1750 Puls [71]	53
Obr. 82 Umístění svorníků.....	53
Obr. 83 Rozměry svorníků CFT [73].....	54

SEZNAM TABULEK

Tab. 1	Ekvivalenty pro označení oceli 17 349 [14]	11
Tab. 2	Mechanické vlastnosti oceli 17 349 v žíhaném stavu [12]	11
Tab. 3	Chemické složení oceli 17 349 [12]	11
Tab. 4	Hodnoty součinitele k [40]	18
Tab. 5	Závislost součinitele x na R0/s pro ocel s Rm nad 400 MPa [4]	21
Tab. 6	Rozvinuté délky pro "Plech A" a "Plech B"	36
Tab. 7	Seznam použitých nástrojů při vysekávání [8]	38
Tab. 8	Hodnoty sřížných sil a prací pro jednotlivé nástroje	40
Tab. 9	Základní parametry stroje Pullmax 720 [8]	40
Tab. 10	Délky ohraňovacích nástrojů [8]	42
Tab. 11	Hodnoty ohraňovacích sil a prací pro jednotlivé operace	49
Tab. 12	Základní parametry lisu OptiFlex 130 t 3,1 [8]	50
Tab. 13	Typické chemické složení svarového kovu z drátu OK Autrod 316LSi. [22]	51
Tab. 14	Typické mechanické vlastnosti svarového kovu z drátu OK Autrod 316LSi. [22]	51
Tab. 15	Parametry procesu svařování [22]	52
Tab. 16	Parametry stroje Synergic 3200 [68]	52
Tab. 17	Parametry procesu svařování metodou TIG [8]	52
Tab. 18	Technické parametry zařízení TransTig 1750 Puls [71]	53
Tab. 19	Rozměry svorníku M8 [73]	54
Tab. 20	Technická data zařízení Nomark 65+ [74]	54
Tab. 21	Materiálové náklady pro roční sérii	55
Tab. 22	Vypočítané náklady	57

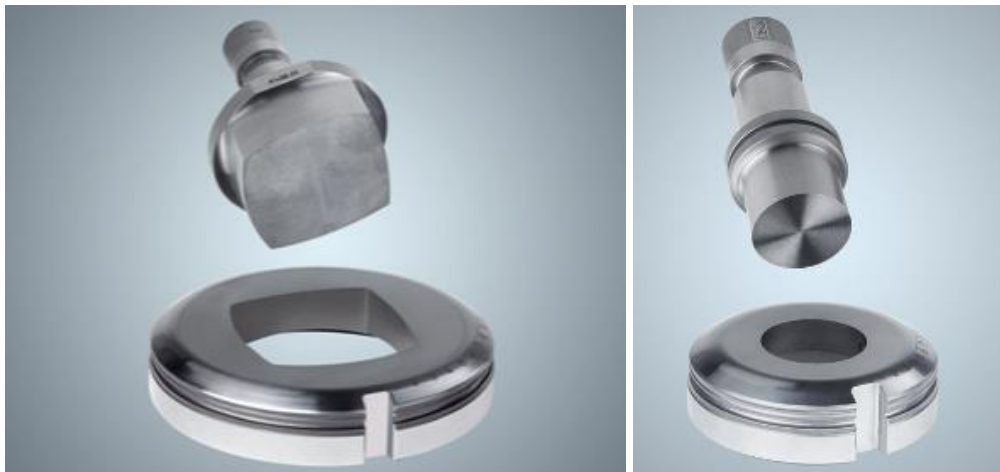
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Příklady vysekávacích nástrojů [43]
Příloha 2	Příklady tvarů děrovacích nástrojů [43]
Příloha 3	Příklady ohraňovacích operací [79]
Příloha 4	Matrice 52 377 [65]
Příloha 5	Razník 52 339 [65]

SEZNAM VÝKRESŮ

Spodní díl	DP-01-170681
Výstřižek Plechu A	DP-02-170681
Plech A	DP-03-170681
Výstřižek Plechu B	DP-04-170681
Plech B	DP-05-170681
Doraz	DP-06-170681
Razník	DP-07-170681

- Děrovací nástroje – používají se při výrobě otvorů různých tvarů.



- MultiTool – obsahuje více menších nástrojů, které jsou schopny produktivně děrovat, ale i tvářit a razit.



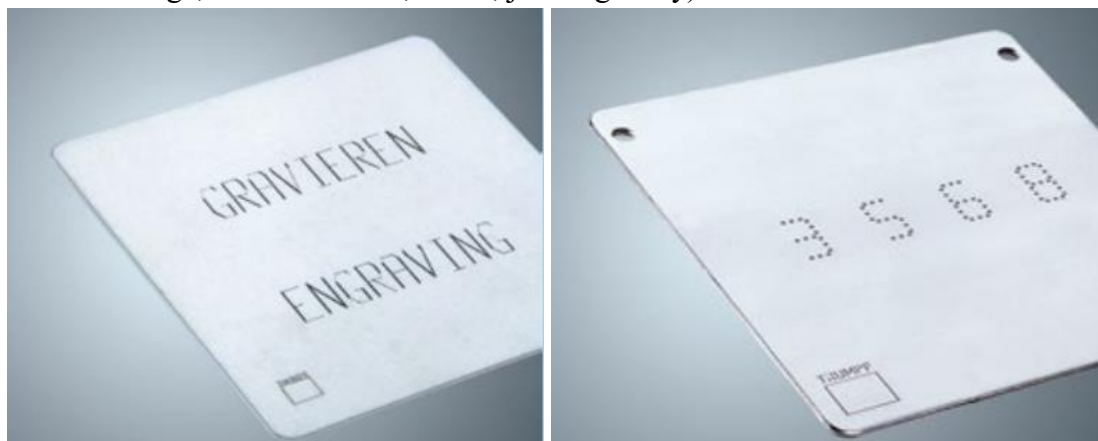
- Dělicí nástroje – nejčastěji slouží k vytvoření obrysového tvaru.



- Tvářecí nástroje – se využívají k vytváření prolisů, lemů, ohybů, můstků, jazýčků, výstupků, pantů, drážek a otvorů se závitem.

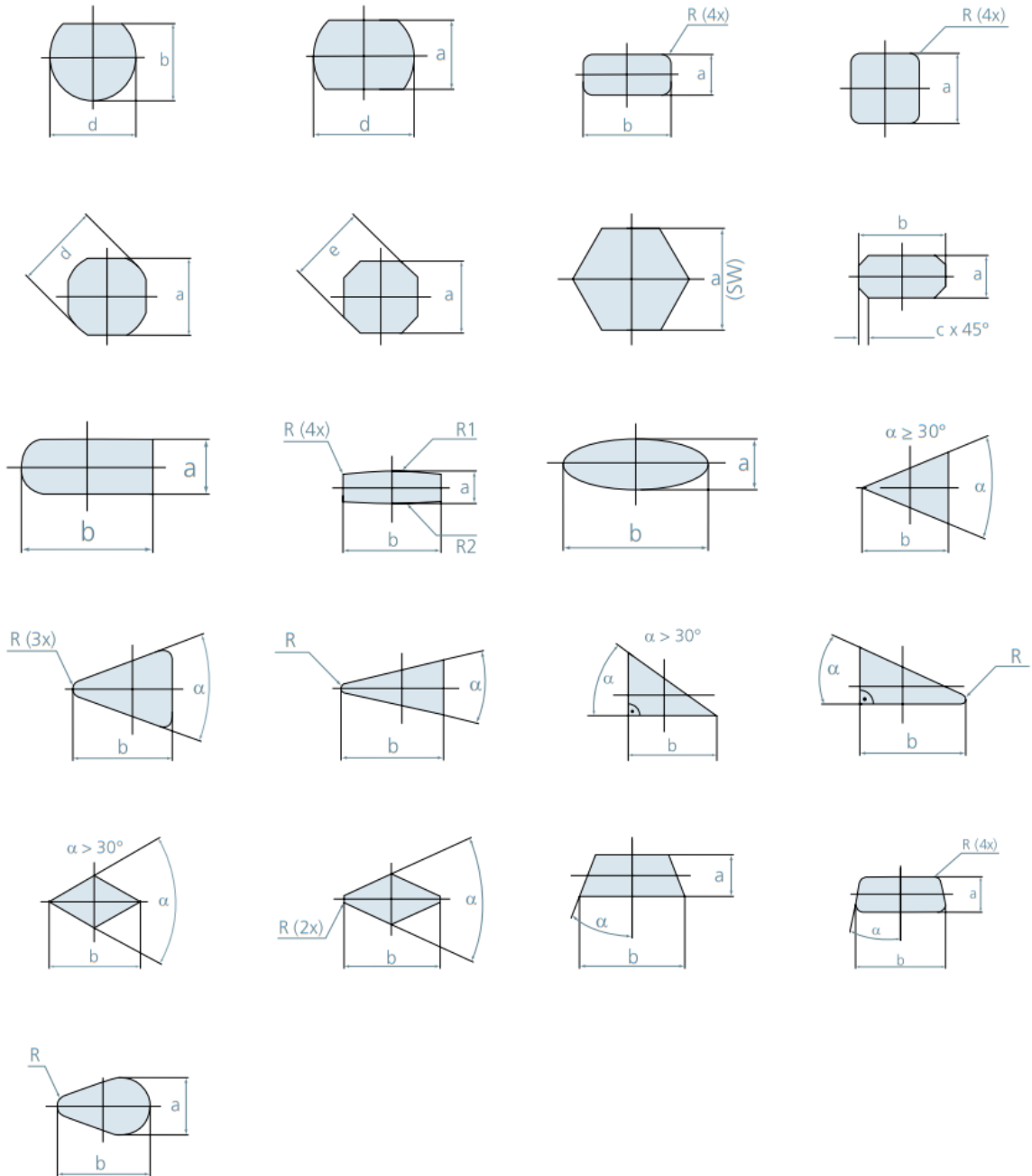


- Značící nástroje – se používají pro povrchové označení plechu (např. vytvoření firemního loga, sériového čísla, důlků, jemné grafiky).

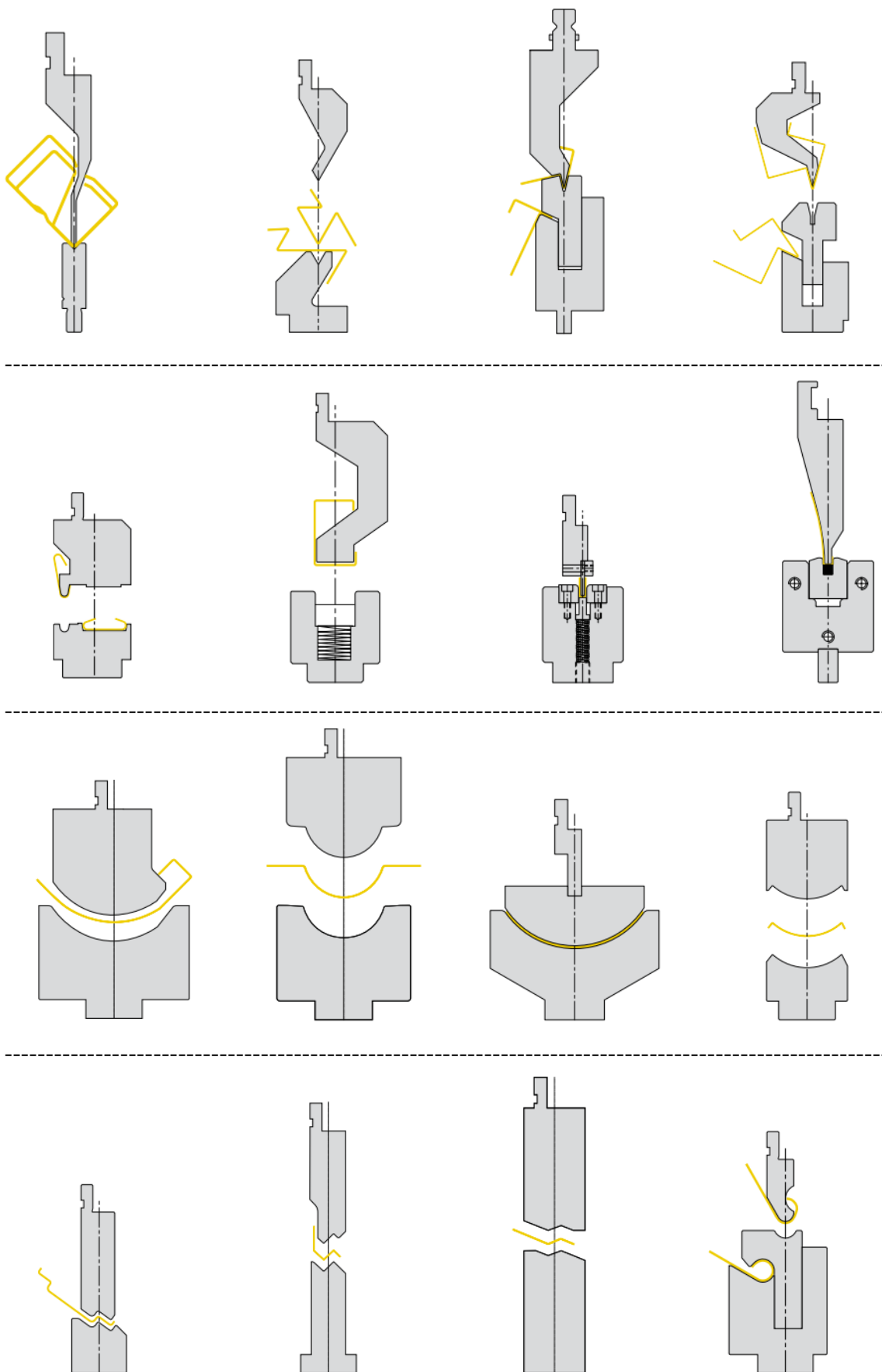


Příloha 2 Příklady tvarů děrovacích nástrojů [43]

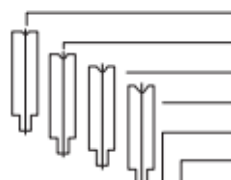


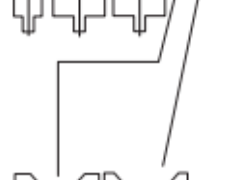
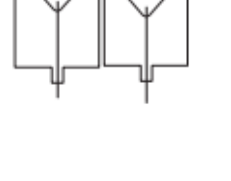




Mezi základní tvary děrovacích nástrojů patří kruh, obdélník nebo ovál. Existuje mnoho různých geometrií děrovacích nástrojů, kdy příklady z nich lze vidět na následujících schématech:

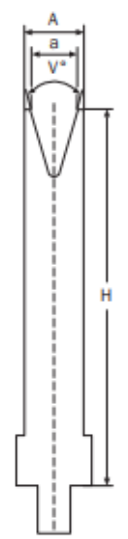
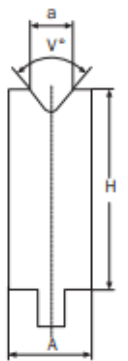


Příloha 3 Příklady ohraňovacích operací [79]

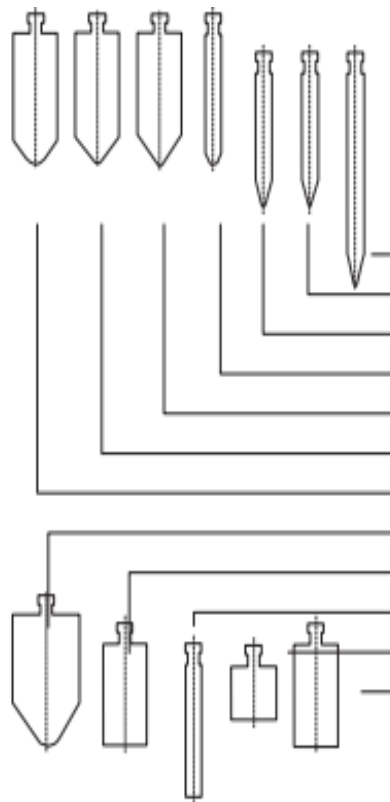


Příloha 4 Matrice 52 377 [65]

	Part. No Art.nr	Measure Mått				Load Belastning
		a	A	H	V	
		Die mm Dyna mm	Width mm Bredd mm	Height mm Höjd mm	Angle mm Vinkel mm	tons/m ton/m
	52365	8	30	100	80	125
	52366	10	30	100	80	125
	52367	12,5	30	100	80	100
	52368	16	30	100	80	80
	52369	20	30	100	80	70
	52370	25	40	100	80	80
	52371	32	40	100	80	70
	56545	25	32	150	80	60
	52372	40	60	100	80	125
	52373	50	60	100	80	100
	52374	64	100	100	80	190
	52375	80	100	100	80	170
	52376	8	30	100	28	70
	52377	10	30	100	28	50
	52378	12,5	30	100	28	30
	52379	16	30	100	28	25
	52380	20	30	100	28	20
	52381	25	40	100	28	25
	52382	32	40	100	28	20
	56550	16	30	150	28	25
	56540	8	16	150	80	55
	56541	10	18	150	80	55
	56542	12,5	20	150	80	50
	56543	16	24	150	80	50
	56544	20	25	150	80	50
	56546	6	12	150	28	15
	56547	8	16	150	28	20
	56548	10	20	150	28	23
	56549	12,5	25	150	28	25



Příloha 5 Rzník 52 339 [65]



Part. No Art. nr	Measure Mått				Load Belastning
	R	A	H	V	
	mm	mm	mm	°	tons/m tony/m
52339	1	16	200	28	Max 75
49256	1	16	125	28	Max 75
49728	3	16	125	28	Max 100
52338	6	16	125	28	Max 100
49254	6	50	125	80	Max 350
49255	12	50	125	80	Max 350
52331	20	50	125	80	Max 350
52332	25	80	125	80	Max 600
52333	-	50	125	-	Max 350
52334	-	16	125	-	Max 100
52335	-	50	50	-	Max 350
52336	-	50	100	-	Max 350

