



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

STUDIUM DEFORMACE KRUHOVÝCH OTVORŮ V ZÁVISLOSTI NA JEJICH Odstupu OD OHYBU PŘI DVOUBODOVÉM OHÝBÁNÍ NA OHRAŇOVACÍM LISU

STUDY OF THE DEFORMATION OF THE CIRCULAR HOLES IN RELATION TO THEIR SPACING FROM THE BEND IN THE TWO-POINT BENDING OF THE SHEET ON THE BEND PRESS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Miloslav Piterka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. RNDr. Libor Mrňa, Ph.D.

BRNO 2018

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Bc. Miloslav Piterka
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	doc. RNDr. Libor Mrňa, Ph.D.
Akademický rok:	2017/18

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:

Studium deformace kruhových otvorů v závislosti na jejich odstupu od ohybu při dvoubodovém ohýbání na ohraňovacím lisu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Prostudovat deformaci kruhových otvorů v různých druzích a tloušťkách plechu v závislosti na jejich odstupu od ohybové hrany při dvoubodovém ohýbání na ohraňovacím lisu.

Cíle diplomové práce:

- Osvojit si metodiku návrhu a provedení experimentu.
- Osvojit si technologii ohýbání plechu na ohraňovacích lisech.
- Osvojit si metody a metodiku měření průměrů otvorů.

Seznam doporučené literatury:

MARCINIAK, Zdislaw, John L. DUNCAN a Jack S. HU. Mechanics of sheet metal forming. 2.ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002. 211 s. ISBN 07-506-5300-0.

HOSFORD, William F. a Robert M. CADDELL. Metal forming: mechanics and metallurgy. 4th ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2011. 365 s. ISBN 978 1-107-00452-8.

CNC Ohraňování plechu. In: CNC zpracování plechu v průmyslu [online]. 2015 [cit. 2016-04-29]. Dostupné z: <http://www.ohranovaniplechu.cz/> Ohýbání.

Bystronics Czech Republic [online]. Brno, 2012 [cit. 2016-04-29]. Dostupné z: http://www.bystronic.cz/cs/produkty/ohranovaci_lisy/Ohybani.

TRUMPF Česká republika [online]. Praha, 2016 [cit. 2016-04-29]. Dostupné z: <http://www.cz.trumpf.com/cs/produkty/obrabeci-stroje/produkty/ohybani.html>

VAVRÚŠ, T. Rešerše ohraňovacích lisov. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 63s. Vedúci bakalárskej práce Ing. Jan Pavlík, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Bc. PITERKA Miloslav: Studium deformace kruhových otvorů v závislosti na jejich odstupu od ohybu při dvoubodovém ohýbání na ohraňovacím lisu.

Práce se zabývá studiem deformace kruhových otvorů v limitním prostoru ohybu v závislosti na druhu materiálu, vzdálenosti od ohybu, tloušťky materiálu a průměru otvoru. Po analýze všech potřebných technologických parametrů byla zvolena technologie ohýbání na ohraňovacím lisu. Byl navrhnut a proveden experiment, pro který byly zvoleny nástroje a ohraňovací lis Trumpf TruBend 5170. Vzorky pro studii byly zkonstruovány, ohnuty a změřeny. Z měření byly zpracovány grafy pro praktické použití ve firmě. Dále byla zpracována simulace v programu Ansys a vytvořeny grafy porovnávající hlavní vlivy deformace otvorů. Byly vybrány dvě metody jak zabránit deformaci otvoru v limitním prostoru. Metoda podřezání otvoru laserem a metoda použití speciálního nástroje Rollbend. Na závěr byla zpracována ekonomická studie, pro použití nástroje Rollbend místo podřezání otvoru s broušením.

Klíčová slova: ohraňování, deformace otvorů, ohraňovací lis, Rollbend,

ABSTRACT

Bc. PITERKA Miloslav: Study of the deformation of the circular holes in relation to their spacing from the bend in the two-point bending of the sheet on the bend press.

The thesis is focused on studying deformation of the circular holes in the limit bending space, depending on the material type, distance from bend, the thickness of material and diameter of hole. After analyzing all necessary technological parameters was bending technology on press brake selected. An experiment for which the tools and press brake Trumpf TruBend 5170 were selected was designed and performed. Samples for the study were designed, bent and measured. The charts have been prepared for practical use in the company from measuring. In addition, simulations were processed in Ansys program and graphs were compiled to compare the main effect of the hole deformations. Two methods were chosen to prevent deformation in limit bending space. Under-cutting method by laser and method of using special Rollbend tool. In the end, economic studies for the Rollbend tool were developed instead of under-cutting hole with grinding.

Keywords: bending, hole deformation, press brake, Rollbend.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PITERKA, Miloslav. *Studium deformace kruhových otvorů v závislosti na jejich odstupu od ohybu při dvoubodovém ohýbání na ohraňovacím lisu*. Brno, 2018. 66s, 12 výkresů, 67 příloh, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce doc. RNDr. Libor Mrňa, Ph.D.

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 Brně dne 25.5.2018

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu doc. RNDr. Mrňovi, Ph.D za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce. Také děkuji společnosti Technologické centrum a.s. a jejím zaměstnancům za poskytnuté podklady a vstřícnost při zpracování experimentů. Děkuji mé rodině, která mě při studiu podporuje a mamince Ingrid za poskytnutí finančních prostředků pro uskutečnění tohoto studia.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD.....	- 10 -
1 ROZBOR ZADÁNÍ.....	- 11 -
1.1 Varianty výroby	- 12 -
1.1.1 Dělicí technologie.....	- 12 -
1.1.2 Ohýbací technologie.....	- 14 -
2 OHRAŇOVÁNÍ.....	- 17 -
2.1 Napjatost a deformace při ohybu	- 17 -
2.2 Stanovení výchozího polotovaru	- 19 -
2.3 Odpružení při ohybu	- 20 -
2.4 Minimální a maximální poloměry ohybu.....	- 23 -
2.5 Síly a práce v procesu ohýbání	- 24 -
2.6 Ohraňovací operace	- 25 -
2.7 Ohraňovací nástroje	- 27 -
2.7.1 Ravníky	- 28 -
2.7.2 Matrice	- 28 -
2.7.3 Speciální nástroje	- 29 -
2.7.4 Výroba nástrojů	- 30 -
2.7.5 Upínání nástrojů	- 31 -
2.8 Ohraňovací stroje.....	- 32 -
2.9 Další technika při ohraňování.....	- 34 -
2.10 Technologičnost ohýbání	- 37 -
3 NÁVRH EXPERIMENTU	- 38 -
3.1 Materiály použité pro experiment	- 39 -
3.1.1 DC01.....	- 39 -
3.1.2 S235JRG2	- 39 -
3.1.3 X5CrNi18-10	- 40 -
3.1.4 AlMg3.....	- 41 -
3.2 Návrh vzorků	- 41 -
3.2.1 Počáteční návrh vzorků.....	- 42 -
3.2.2 Finální návrh vzorků.....	- 42 -

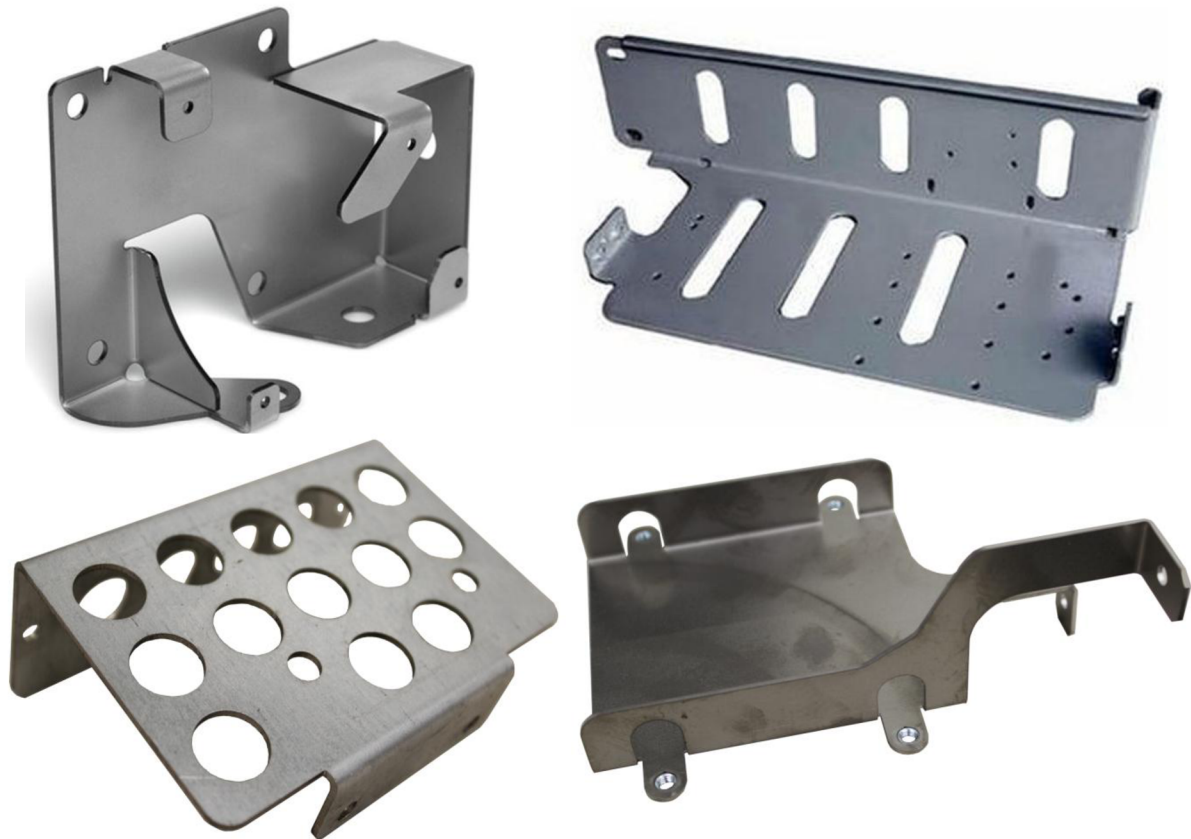
3.2.3 Minimální a maximální poloměr ohybu	- 43 -
3.2.4 Výpočet maximální ohybové síly	- 44 -
3.2.5 Výpočet rozvinu	- 44 -
3.3 Zařízení pro experiment	- 45 -
3.3.1 Volba Strojů	- 45 -
3.3.2 Použité nástroje	- 47 -
3.3.3 Možnosti měření a použitá měřidla	- 48 -
3.4 Průběh experimentu.....	- 49 -
3.5 Simulace deformace	- 51 -
3.4.1 Tahová zkouška materiálů	- 51 -
3.4.2 Simulace	- 54 -
3.6 Výsledky experimentu.....	- 55 -
3.6.1 Tabulky a grafy z měření	- 56 -
3.6.2 Porovnání experimentu se simulací.....	- 57 -
3.7 Možnosti kompenzace deformovaných otvorů.....	- 60 -
4 TECHNICKO EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	- 64 -
4.1 Technické zhodnocení	- 64 -
4.2 Ekonomické zhodnocení	- 64 -
5 ZÁVĚRY.....	- 66 -
Seznam použitých zdrojů	
Seznam symbolů a zkratk	
Seznam obrázků	
Seznam příloh a výkresů	

ÚVOD [2], [3], [4]

Strojírenství je jedno z největších průmyslových odvětví dnešní doby. Jeho zastoupení je možné nalézt téměř ve všech oblastech a to jak přímo, tak nepřímo. Nehledě na fakt, že v dnešní zrychlující se době, kdy je nutné vyrábět kvalitně, rychle a levně, jsou technologie u kterých je malý či minimální odpad velice žádoucí.

Těmto požadavkům dnešní doby velmi vyhovují tvářecí technologie. Polotovary se tvarují s minimálními ztrátami na odpadech a v mnoha případech lze zajistit i vysokou sériovost ve výrobě pomocí její automatizace. Těmito atributy mohou oponovat v některých oblastech technologiím obráběcím či slévárenským.

Základními dvěma skupinami tvářecích technologií je objemové a plošné tváření. Objemové tváření pracuje s tvarováním celého objemu součásti a příkladem může být kování či protlačování využívané pro výrobu šroubů. Druhým odvětvím je plošné tváření, při kterém se jedná převážně o zpracování plechových součástí. S výrobky vytvořené pomocí této technologie se můžeme setkat v každodenním životě, počínaje kuchyňským nádobím, oplechováním výtahů a konče karosériemi aut. Velkou výhodou je také možnost zaměření výroby na kusovou či malosériovou, kdy za pomoci stejných nástrojů je možné vytvořit různě tvarované výrobky. Příkladem takového plošného tváření pro malosériovou výrobu je například ohýbání na ohraňovacích lisech a výrobky vyrobené na těchto strojích je možné vidět na obr.1. S tímto druhem technologie ovšem nastávají různé druhy problémů a jedním z nich se tato práce bude zabývat. Při praxi dochází k tvorbě a objednávkám dílů, jenž mají otvory příliš blízko hrany ohybu. Ty se po ohnutí součásti zdeformují a není možné provádět následující operace jako například závitování.



Obr. 1 Příklady výrobků ohýbaných na ohraňovacím lise [4]

1 ROZBOR ZADÁNÍ [5], [6]

Výzkum je prováděn ve spolupráci s firmou Technologické centrum, a.s. zabývající se kooperační výrobou plechových komponentů a svařovaných sestav. Na trhu působí již od roku 1995. Logo firmy je možné vidět na obr.2.



Obr. 2 Logo firmy [5]

Často se stane, že firma dostane od zákazníků objednávku, kdy daný výrobek obsahuje otvory poblíž hrany ohybu, nebo s ním kolidují. Tyto výrobky jsou objednávány v malých až středních sériích a mnohdy i pouze kusově.

Cílem studie je zjistit chování kruhových otvorů v blízkosti ohybu. Příklad takového výrobku kde otvory zůstaly nedeformované je na obr.3. Takových výrobků je nepřeberné množství a mohou být z různorodých materiálů, různě velké, v různých vzdálenostech a také na různých tloušťkách plechů. Při objednání takového kusu je nutné nějakým způsobem posoudit již v konstrukční fázi, zda bude otvor po ohýbání deformován. To by mělo vést hlavně k úspoře finančních prostředků.



Obr. 3 Výrobek s nedeformovanými otvory

Pokud by se otvor nechal příliš blízko hrany ohybu vypadal by jako na obr.4. Na takto zdeformovaném otvoru, je poté nemožné provádět následné operace jako je například závitování. Také do takového otvoru již nelze zasunout například čep či kolík obvyklých tolerančních stupňů.

Nyní je využíváno poznatku, že pokud je otvor dále nebo stejně od ohybu jako je minimální možné rameno pro ohnutí na nástroji, který je pro ohyb určen, jeho deformace by měla být nulová či zanedbatelná. Minimálního rameno se určuje dle tabulek viz příloha č.1. Zjednodušeně toto rameno lze spočítat dle následujícího vzorce:

$$b_r = W \cdot 0,75 \text{ [mm]} \quad (1.1)$$

kde: b_r - minimální délka ramena [mm],

W - rozevření matrice [mm].

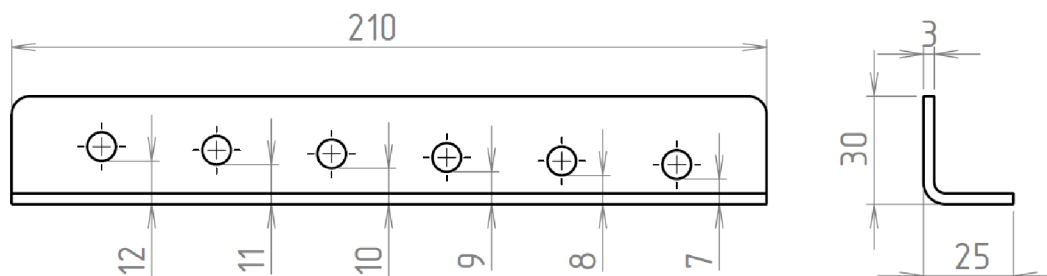


Obr. 4 Deformace otvoru v blízkosti

Takto spočítané minimální rameno souhlasí s tabulkou a také jakýkoli otvor umístěný na hranici či dále od hrany ohybu by neměl být nijak ovlivněn deformací. Ovšem u materiálů větší tloušťky nebo menších otvorů bylo zjištěno, že otvor se může nacházet i blíže k ohybové hraně a jeho deformace nenastane. Proto bude vytvořeno několik vzorků, na kterých se bude zjišťovat tato minimální vzdálenost od ohybové hrany v závislosti na tloušťce materiálu, druhu materiálu, velikosti kruhových otvorů a jejich polohy. Tloušťky materiálů

pro výzkum tohoto problému byly voleny 2, 3, 5, 6 a 8 mm v závislosti na materiálech DC01, S235JRG2, X5CrNi18-10 a AlMg3. Toto jsou obvyklé materiály využívané v praxi a podrobněji se jimi bude zabýváno v kapitole 3.1. Tvary vzorků budou do klasického V-ohybu ohnuté na 90° při různých délkách.

Vzorky budou koncipovány jako na obr. 5, s tím že se bude měnit jejich délka a velikost ramen v závislosti na velikosti kruhového otvoru v nich a tloušťce materiálu.



Obr. 5 Obecný tvar vzorků pro studii

1.1 Varianty výroby [1], [7], [8]

K výrobě vzorků je nutné použít minimálně dvě technologie. Jedna technologie musí být dělicí, abychom z tabule plechu získali rozvinutý tvar výrobku. Další technologií vzhledem k povaze výrobku bude zpracovávání pomocí technologií plošného tváření za studena. Při posuzování jednotlivých variant jsou brány v úvahu parametry jako ekonomičnost, časová náročnost nebo možnost opakovatelnosti výroby. Po tomto zpracování jsou obvyklé výrobky přesunuty na expedici, svařování, zámečnické operace nebo na další zpracování jako kooperační pokovení a jiné.

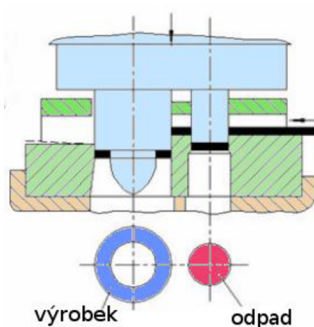
Vzhledem ke kusové povaze vzorků nebudou uvažovány kombinované technologie jako například stříh + ohyb ve sružených nástrojích na linkách do kterých jsou zaváděny pásy materiálů ze svitků. Tyto technologie vyžadují vysokou sériovost aby bylo možné co nejdříve zaplatit drahou výrobu speciálních nástrojů. Také kombinace vysekávání + tváření pomocí vysekávacích strojů nebude uvažována, protože je tento typ technologie úzce specifický pro tenké plechy a dobře využitelný například při tvorbě větracích otvorů, kdy je plech prostrížen a následně jiným nástrojem vylisován tvar.

1.1.1 Dělicí technologie [1], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17]

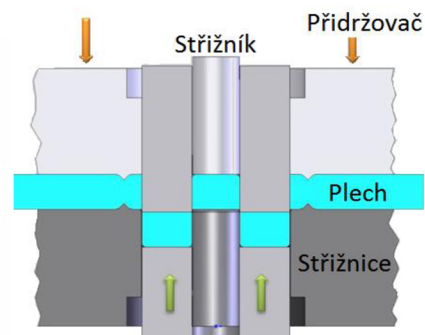
Dle popisu vzorků je nutné zvolit co nejefektivnější a nejekonomičtější variantu pro jejich výrobu z hlediska dělení plechu. Musí být dosaženo kvalitní dělicí plochy a přesnosti rozměrů. Vzhledem k těmto parametrům se mohou brát v úvahu tyto technologie:

- Postupové stříhání a přesné stříhání - jsou jednou z běžných technologií zpracování plechů za studena pokud je brána v úvahu vysoká sériovost. U konvenčního stříhání se dosahuje rozměrových přesností IT12 až IT 14 a při technologiích přesného stříhání přesností až IT 7 a velice dobrých drsností povrchu s $R_a = 0,8 \mu\text{m}$. Obecně u těchto technologií dochází k vnikání střížníku do střížnice skrz

pás plechu a materiál se dělí ve střížné rovině. Pro velkou výdrž nástrojů pro stříhání musí být vyrobeny z kvalitní oceli, což navyšuje jejich cenu a pro účely kusové výroby jsou tedy nevyhovující. Schéma postupového stříhání je na obr.6 a obr.7 ukazuje princip přesného stříhání s tlačnou hranou.

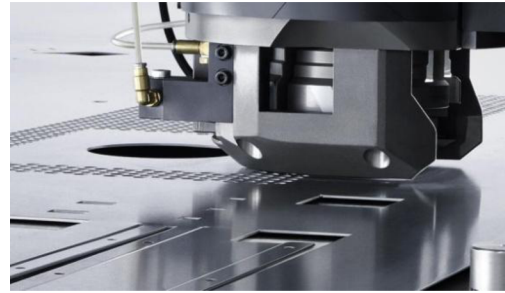


Obr. 7 Postupové stříhání [11]



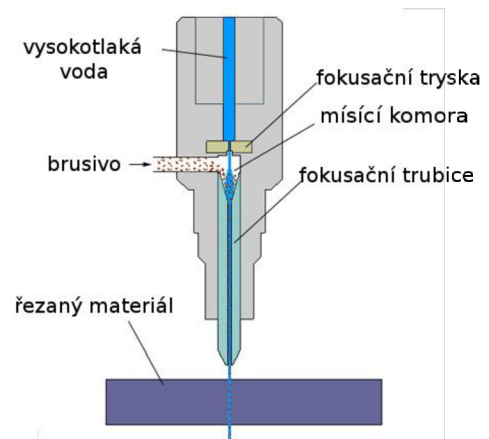
Obr. 6 Přesné stříhání s tlačnou hranou [1]

- Vysekávání - je moderní technologie využívající podobného principu jako u stříhání. Plechem je posunováno po pracovní ploše zatímco děrovací hlava se speciálními výměnnými nástroji se může natáčet podle potřeby a vysekávat výrobky. Nástroje mají tvary jednoduchých geometrických útvaru jako kruh, čtverec, nebo obdélníky, kterými lze vysekávat i kontury výrobků. Touto technologií je poměrně jednoduché a rychlé vytvářet výrobky z tenkých plechů do tloušťky maximálně 6 mm. Jak již bylo zmíněno výše, lze tuto technologii kombinovat i s tvářecími operacemi jako prolisy, ale u plechů větší tloušťky jako 8 mm by použití nebylo možné. Výhodou jsou menší pořizovací náklady oproti CO2 laseru a neovlivnění obrysu výrobku teplem. Ukázka děrování plechu je na obr.8.



Obr. 8 Děrování plechu [13]

- Řezání vodním paprskem - je moderní technologií dělení materiálu. Princip technologie je takový, že je přiváděna vysokotlaká voda (1300 až 4000 barů) do řezací hlavičky, kde je soustředěna do úzkého svazku a tím je následně řezán materiál. Variantě kdy se pro řezání kovů přidává brusivo se říká abrazivní paprsek. Toto brusivo následně napomáhá řezacímu procesu. Schéma řezné hlavičky je na obr.9. Výhodou této technologie je možnost řezat v podstatě jakýkoli materiál do tloušťky například 200 mm. Nevýhodou je kontakt řezaného materiálu s vodou, což by u některých kovových materiálů způsobilo korozi.



Obr. 9 Řezání vodním paprskem s abrazivem [14]

- Řezání plasmou - spadá do tepelného dělení materiálu. Mezi řezaným materiálem a tryskou vzniká elektrický oblouk jenž ohřívá plyn a vzniká plasma. To je elektricky vodivý stav plynu s vysokou teplotou (až 30 000°C) a velkou kinetickou energií, kterou je vytlačován materiál z místa řezu. Výhodou jsou vysoké řezné rychlosti a kolmost řezu. Také odpadá nutnost ochrany před odraženým paprskem jako je tomu například u laseru a možnost vypalování potřebných tvarů dle řezných plánů pomocí CNC řízení. Nevýhodami jsou tepelné ovlivnění místa řezu, širší řezná spára, což by mohlo činit problém při vypalování otvorů průměru například 5 mm. Ukázka řezání plasmou je na obr.10.



Obr. 10 Řezání plasmou [15]

- CO₂ LASER - (Liht Amplification by Stimulated Emission of Radiation) je moderní technologií tepelného dělení materiálů, kdy je vybuzené světelné záření fokusováno do úzkého svazku fotonů. Ty následně dopadají na materiál, svou vysokou energií 1 - 30 kW jej zahřívají, taví a následně jsou asistenčními plyny vyfukovány pryč

z řezného procesu. Vypalování výrobků pomocí této technologie je neefektivnější metoda jak připravit výrobky pro kusovou či malosériovou výrobu díky vysokým řezným rychlostem při řezání tenkých plechů. Rozměrové tolerance při řezání se pohybují do $\pm 0,1$ mm a struktura děleného povrchu dosahuje $R_a = 3,6 \mu\text{m}$. Řezat lze materiály do 25 mm a dosahuje se velmi malé řezné spáry od 0,2 - 0,4 mm. Na obr.11 je vidět laserová hlava. Nevýhodou jsou vysoké pořizovací náklady, provozní náklady a nutnost zkušené obsluhy. Pro potřeby dělení všech druhů materiálů, ze kterých budou vzorky vyhovuje tato technologie nejlépe a navíc firma disponuje tímto druhem laseru ve svém strojovém parku.



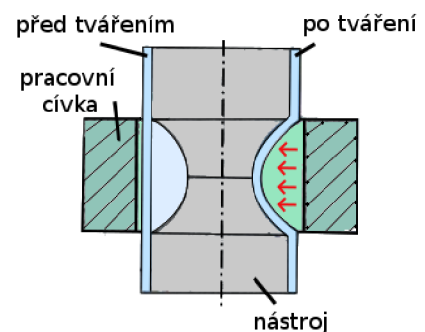
Obr. 11 Řezání laserem [17]

Z dělicích technologií je pro výrobu vzorků nejvhodnější použít CO₂ LASER, kterým je možné vypálit všechny druhy materiálů použité pro studii (viz kap.1) a také umožňuje zpracování plechů ve všech potřebných tloušťkách. Vhodný je také proto, že materiály nejsou v kontaktu s vodou, k čemuž by docházelo u řezání vodním paprskem a má menší řeznou spáru než při řezání plasmou. Dalším důvodem výběru této dělicí metody je, že firma má několik LASERŮ tohoto typu ve strojním parku.

1.1.2 Ohýbací technologie [1], [7], [8], [9], [18], [19], [20], [20], [21],[22], [23]

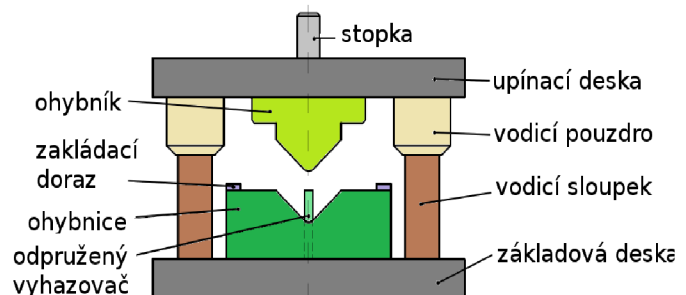
Jako druhá operace po dělení je plošné tváření za studena a toho může být dosaženo následujícími variantami:

- Elektromagnetické tváření - je speciální nekonvenční technologie využívající magnetických polí. V cívice okolo tvářeného materiálu je rychle (10 - 100 milisekund) vybit proud, a vytvoří se silné impulzní magnetické pole, díky kterému je materiál tvářen. Výhodou této technologie je potřeba pouze jedné strany nástroje přičemž druhou tvoří cívka. Tvářet lze pouze elektricky vodivé materiály. Technologie vhodná pro tváření trubek a tenkých plechů obvykle do 2mm tloušťky, což je poměrně velké omezení. Dále je vhodná pro sériovou výrobu a na obr.12 je ukázka mechanismu zužování trubek.



Obr. 12 Elektromagnetické tváření [18]

- Ohýbací nástroj - je přípravek pro ohýbání plechových polotovárů do požadovaného tvaru. Mnohdy se užívají v kombinaci s technologií stříhání, jak již bylo popsáno výše. Mezi základní tvary ohybu patří ohyby do "V" a "U". Výhodou je velká produktivita ve velkých sériích,



Obr. 13 Ohýbací nástroj [20]

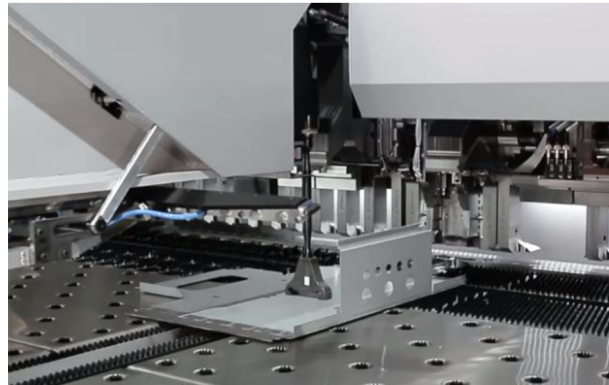
protože mohou být jednoduché výrobky ohnuty na jeden jediný zdvih lisu, do kterého jsou tyto nástroje umístěny. Nevýhodou je jejich drahá výroba a pro kusovou výrobu jsou nevhodné. Příklad ohýbacího nástroje do tvaru "V" je na obr.13.

- Ruční ohýbací stroj - je tvářecí nástroj pro jednoduché ohýbání plechů. Plech je umístěn na stůl a doražen o zarážku. Následně je sevřen horní částí a přední část je ručně odklápěna, což zapříčiňuje ohyb plechu okolo horní lišty na potřebný úhel. Moderní typy ohýbaček mají možnost sestavení horních lišt podobně jako je tomu například u ohraňovacích lisů. Práce s nimi je ovšem fyzicky náročná a využívají se spíše k jednorázovým či pomocným ohýbacím operacím. Jednoduchá ohýbačka od firmy Metallkraft je na obr.14.



Obr. 14 Ohýbačka firmy Merallkraft [21]

- Ohýbací centra - jsou v dnešní době jednou z nejlepších možností pro zpracování velkých i malých plechových součástí ať ve velkých nebo malých sériích. Jejich princip vychází z technologie ručních ohýbaček. To znamená, že je přitlačena lišta k neohýbané části plechu a zatíží ji v celé své délce a následně je přečnávající plech ohnut podle potřeby. Centra mohou být plně automatizována až do té míry, že se vloží rozvinu plechu do stroje a ten si je sám postupně odebírá a po dokončení ohybu je výrobek otočen a dochází k ohybům dalších stran. Přitom je programem řízena i výměna nástrojů potřebných pro ohyby. Tyto atributy činí z ohýbacích center velice vhodné stroje do strojního parku firmy a při velkých sériích jsou nepostradatelné, ovšem jejich nevýhodou jsou vysoké pořizovací náklady a obsluha která vytváří programy musí být zkušená. Ukázka ohýbání v ohýbacím centru je na obr.15.



Obr. 15 Výrobek v automatickém ohýbacím centru [22]

- Ohraňovací lis - je stroj umožňující instalaci ohraňovacích lišt a nástrojů. To mu dovoluje provádět širokou škálu ohýbacích operací od krátkých ohybů až po ohyby dlouhé i několik metrů a to v podstatě od 1° - 180° . Přesnosti je dosaženo obsluhujícím pracovníkem, který sestaví a připraví nástroje, naprogramuje CNC program, součást ohne a následně dokoriguje program aby součást vyhověla potřebným parametrům. Součást je položena na matici (prismu) do stroje a uvnitř se zarazí o dorazy. Následně je ohybník lisem tlačěn přes plech do matrice čímž vzniká ohyb. Tento proces je možné vidět na obr.16. Variabilitou různých velikostí nástrojů pro různé tloušťky plechů a možností sestavit nástroje do potřebných délek jsou ohraňovací lisy velice vhodným zařízením ve strojovém parku firem. Hodí se převážně pro střední a malosériovou výrobu. Nevýhodou jsou velké pořizovací náklady stroje a náklady

na nástroje. Vzhledem k tomu, že jde o samostatnou operaci s materiálem, je nutné mít prostory pro uskladnění a přesun výrobků z dělicích linek k lise.



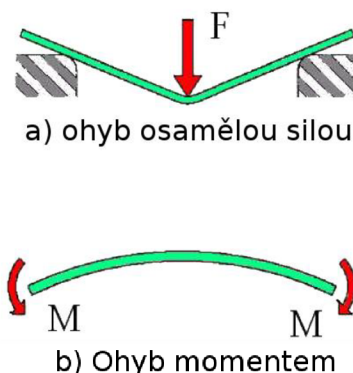
Obr. 16 Ohyb na ohraňovacím lise [23]

Z ohýbacích technologií se jako nejvhodnější jeví ohýbání na ohraňovacím lise. Firma tyto lisy vlastní a také jsou vhodné pro svou variabilitu vzhledem k rozdílným tvarům a velikostem vzorků. Není nutné vytvářet a konstruovat ohýbací nástroje a vzorky jsou jednoduchého tvaru "V", takže ohyb a programování ohýbacího centra by bylo zbytečně složité. Ohýbání na ručním ohýbacím stroji by možné bylo, ale nebylo by tak přesné jako ohýbání na ohraňovacím lise. Vzhledem k těmto skutečnostem se na tuto technologii zaměřuje řešeršní část této práce.

2 OHRAŇOVÁNÍ [2], [3], [7], [8], [9], [24], [25], [26]

Dle názvosloví v normě ČSN 22 6001 je ohraňování zařazeno do metod plošného tváření a dále do skupiny ohýbání plechových materiálů na ohraňovacích lisech. Jak je možné z definice vyčíst, svou podstatou je ohraňování ohýbání, proto u něj platí obecně stejné zákonitosti a problematika jako u jiných technologiích ohýbání. Mezi tyto problematiky spadají průběhy napjatosti a deformací v materiálu, minimální a maximální poloměry ohybu, odpružení materiálu a mnoho jiných, které budou v této kapitole rozepsány blíže.

Výhodou ohraňování není jen možnost zpracování plechů velkých délek, ale díky široké škále nástrojů možnost vytvářet i různé typy ohybů jako lemy, zakružování a jiné. Nástroje užívané pro ohraňování se skládají ze dvou částí. Horní část se nazývá ohybník a je upnut na pohyblivém beranu lisu. Spodní část se nazývá matrice, někdy také prisma, nejčastěji tvarovaná do tvaru "V". Ta je pevně umístěna na stole lisu. Nástroje budou podrobněji popsány v kapitole 2.7. Ohraňování využívá jednoho ze dvou základních druhů ohybů a to ohyb lokální osamělou silou a řadí se do dvoubodového volného ohýbání. Schéma tohoto ohýbání společně s ohýbáním momentem je na obr.17.

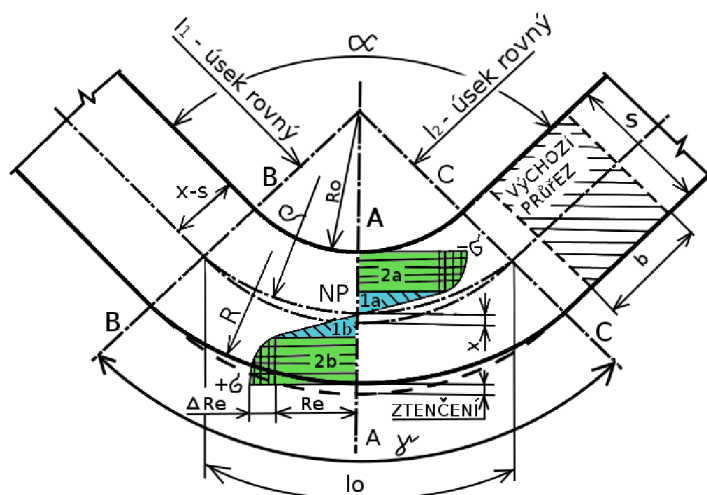


Obr. 17 Schémata druhů ohýbání [2]

2.1 Napjatost a deformace při ohybu [2], [3], [7], [8], [26], [27]

Ohýbání je proces zpracování materiálu, který se ve strojírenské praxi zařazuje do technologie tváření. Ohybem se dosahuje trvalé deformace materiálu, přičemž napětím vzniklým působením vnějších sil se materiál buď rovná nebo ohýbá. Ve strojírenství je technologie ohýbání velice používaná. V největší míře je zastoupeno ohýbání plechů, ale jsou i technologie se zaměřující se na ohýbání tyčí, trubek nebo profilů. Ohýbání plechů se řadí do plošného tváření a je možné jej provozovat buď za tepla nebo za studena. Ohýbání součástí z plechu je prováděno převážně za studena, ale materiály které jsou příliš křehké nebo tvrdé je lepší ohýbat za tepla, čímž nedochází k jejich praskání.

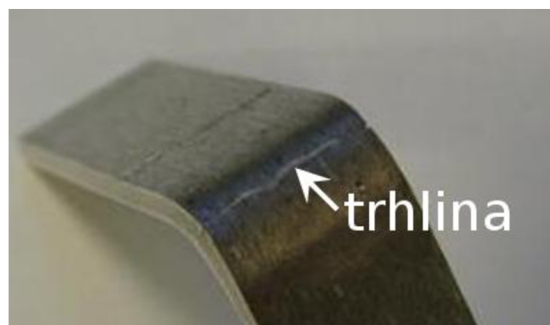
Rozbor stavu napjatosti v ohýbaném plechu jen a obr.18. Ohyb je kombinací plastické a elastické deformace. Před zahájením ohybu je tzv. neutrální plocha (NP) v těžišti ohýbaného materiálu. Při ohýbání se tato plocha přesouvá k vnitřní straně ohybu.



- 1a, 1b - oblast pružné deformace,
- 2a, 2b - oblast plastické deformace se zpevněním ΔRe ,
- x - součinitel posunutí neutrální plochy (NP),
- R_o - poloměr ohybu,
- l_o - délka ohnutého úseku v NP
- ρ - poloměr neutrální plochy,
- γ - úhel ohnutého úseku ($\gamma = 180^\circ - \alpha$),
- α - úhel ohybu,
- s - tloušťka materiálu,
- b - šířka materiálu

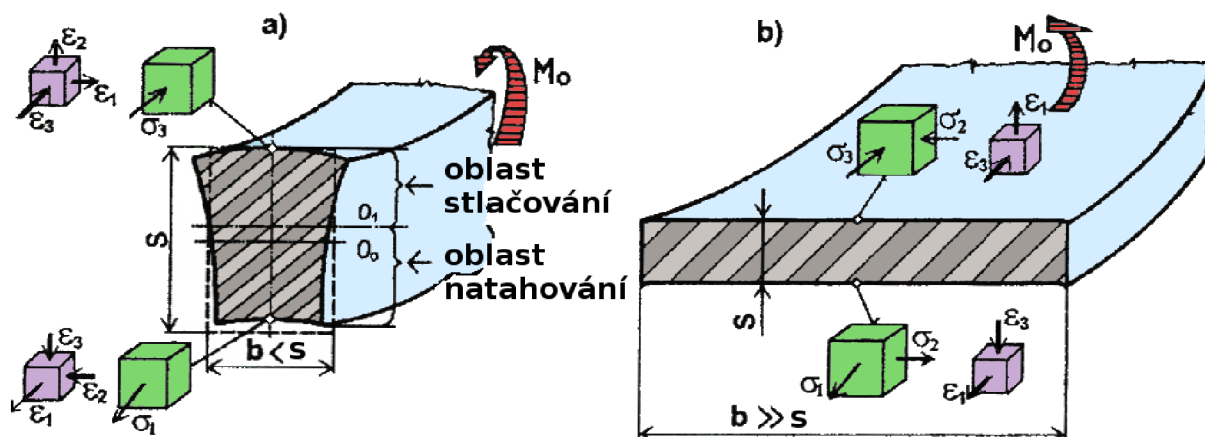
Obr. 18 Schéma ohýbání [2]

Neutrální plocha je oblast, kde jsou napětí nulová a tvoří rozhraní mezi napětími tlakovými a tahovými, kde se vlákna materiálu nestlačují ani nenatahují. Směrem k vnitřnímu poloměru ohybu se tvoří napětí tlakové kde jsou vlákna zkracována, naopak směrem k vnější straně ohybu jsou napětí tahová a vlákna materiálu jsou natahována. Okolo této plochy jsou napětí nižší než je mez kluzu materiálu a to má za následek elastickou deformaci, která se projevuje odpružením. Napětí na vláknech materiálu od neutrální plochy směrem k povrchu roste. Na určité vzdálenosti od neutrální plochy hodnota napětí překročí mez kluzu "Re" materiálu a dojde k plastické deformaci. Ale je nutné aby se nepřekonalo napětí na mezi pevnosti "Rm", protože by došlo k porušení celistvosti materiálu. Tohoto stavu je často dosahováno při ostrých ohybech, nebo ohybech vyšší rychlostí tváření, kdy na vnější části výrobku dojde k popraskání jako na obr.19.



Obr. 19 Trhlina na vnější straně ohybu [27]

Při rozboru napjatosti je nutné uvažovat geometrii ohýbaných součástí. Obecně lze tuto geometrii rozdělit na úzké tyče a široké pásy.



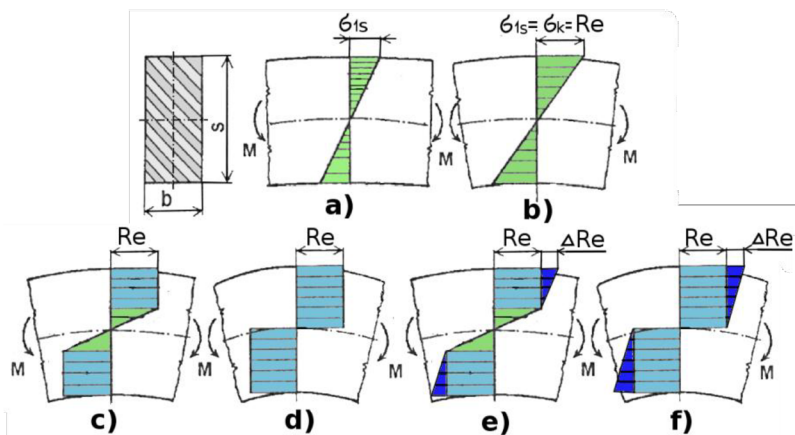
Obr. 20 Schéma napjatosti a deformace při ohybu tyčí a širokých pásů [2]

Úzké tyče jsou případy, kdy je šířka "b" menší jako tloušťka tyče "s" jak je vidět z obr.20a. U takových tyčí obdélníkového průřezu, je napětí ve směru šířky materiálu možno zanedbat čímž dostáváme $\sigma_2 = 0$. V krajním vláknech vnější strany tyče je napjatost odpovídající jednoosému tahu a šířka tyče se zmenšuje a naopak na vnitřní straně tyče odpovídá napjatost jednoosému tlaku s trojosým schématem deformace a tyč se rozšiřuje.

Široké pásy jsou případ, kdy je naopak šířka mnohonásobně větší jako tloušťka materiálu jako na obr.20b. V tomto případě je zabráněno deformaci v příčném směru a $\epsilon_2 = 0$. Z rovinného stavu deformace je patrné, že na vnější (tahové) straně pásu plechu bude $\epsilon_1 = -\epsilon_3$ a na vnitřní (tlakové) straně $-\epsilon_1 = \epsilon_3$. Tomu odpovídá rovinná napjatost tlaková na vnitřní straně a tahová na vnější straně.

Napětí a na něm závislá deformace také závisí na jednotlivých fázích ohybu a podle toho se mění. Jednotlivé druhy napětí je možné vidět na obr.21. Z počátku, když ohybník dosedne na materiál a začíná proces tváření v průřezu materiálu se vytváří elastická deformace, které odpovídá napětí σ_{s1} , které je menší jako mez kluzu materiálu a platí pro ni vztahy odvozené z Hookova zákona (obr.21a). Pokud se v tváření pokračuje dochází k růstu napětí až do chvíle, kdy nastává rovnost mezi napětím σ_{s1} a mezí kluzu materiálu Re (obr. 21b).

Po překročení meze kluzu materiálu nastává v krajních vláknech plastická deformace a dle míry zatížení pokračuje směrem k neutrální ploše, kde se mění druh napětí z tahové na tlakový. Tento průběh zobrazuje obr.21c, který představuje ideálně pružně plastický model a obr.21d, který zobrazuje ideálně plastický model. V praxi a především při tváření za studena se projevuje zpevnění materiálu. Tuto situaci ilustruje obr.21e a obr.21f, kde je k jednotlivým napětím přičteno napětí zobrazující vliv zpevnění materiálu.



Obr. 21 Rozložení napětí v jednotlivých fázích ohybu [2]

2.2 Stanovení výchozího polotovaru [2], [3], [7], [8], [9], [26],

Abychom mohli získat ohnutou součást je nejdříve nutné spočítat velikost rozvinutého neohnutého dílu. A vzhledem k tomu, že je materiál natahován na vnější straně a stlačován na vnitřní, jak bylo popsáno v předchozí kapitole je nutné vyřešit polohu, tedy poloměr neutrální plochy, díky čemuž se především určuje délka ohnuté části "l_o" (viz obr.18).

Při ohýbání mohou nastat dvě možnosti. Buď bude ohyb prováděn s velkými poloměry zaoblení nebo malými. Při ohýbání velkými poloměry je výpočet zjednodušen o fakt, že není deformován průřez materiálu. Do této skupiny se zařazuje výpočet pokud poměr $\frac{R_o}{s} \geq 12$ a neutrální plochu umísťujeme do poloviny tloušťky materiálu. Pro takový případ je výpočet následující:

$$\rho = R_o + \frac{s}{2} \text{ [mm]} \quad (2.1)$$

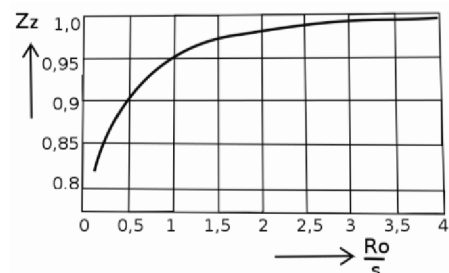
kde: ρ - poloměr neutrální plochy [mm],
 R_o - Poloměr ohybu [mm],
 s - tloušťka plechu [mm].

Při ohýbání s malými poloměry se u výpočtu poloměru neutrální vrstvy bere v úvahu deformace průřezu. Při poměru $\frac{R_o}{s} \leq 6$ se určí poloměr následovně:

$$\rho = (R_o + \frac{s}{2}) \cdot z_z \cdot z_r \text{ [mm]} \quad (2.2)$$

kde: $z_z = \frac{s_1}{s}$ - součinitel ztenčení [-],
 $z_r = \frac{b_1}{b}$ - součinitel rozšíření původního průřezu [-],
 b - šířka výchozího materiálu [mm],
 b_1, s_1 - šířka a tloušťka ohnutého materiálu [mm].

Jak je ze vztahu (2.2) vidět jsou do něj zahrnuty dva součinitelé, které byly experimentálně zjištěny. Součinitel ztenčení "z_z" závisí na několika parametrech. Jsou to tvárnost materiálu, stupeň deformace, úhel ohybu a tření materiálu o nástroj. K jednoduchému odečtení



Obr. 22 Graf součinitele ztenčení (z_z) měkké oceli [3]

tohoto součinitele slouží grafy. Ukázka grafu pro ohýbání měkké oceli o 90° je na obr.22. Dalším součinitelem je součinitel rozšíření původního průřezu "z_r". Tento součinitel se uvažuje pokud se jedná o úzkou tyč, tedy až do poměrné hodnoty šířky kdy je b ≥ 3 · s. To se již tyč nazývá širokým pásem. Hodnoty pro ohyb úzkých pásů plechu z měkké oceli jsou v tab.1.

Tab. 1 Součinitel rozšíření původního průřezu [3]

Šířka ohýb. dílce b [mm]	b = 0,5 · s	b = 1,0 · s	b = 1,5 · s	b = 2,0 · s	b = 2,5 · s	b ≥ 3 · s
Součinitel rozšíření z _r [-]	1,09	1,05	1,025	1,01	1,005	1,0

Při ohýbání širokých pásů plechu se poloměr neutrální plochy určuje pomocí součinitele "x", který představuje posunutí neutrální plochy. Její poloměr se poté určí dle následujícího vztahu:

$$\rho = R_0 + x \cdot s \quad [\text{mm}] \quad (2.3)$$

kde: x - součinitel posunu neutrální plochy [mm].

Při ohýbání na ohracovacím lise se neutrální plocha posouvá směrem k vnitřní straně ohybu. Závislost součinitele "x" a ztenčení "z_z" na poměrném rádiu ohybu je v tab.2.

Tab.2 Závislosti jednotlivých součinitelů [3]

R ₀ /s	0,1	0,25	0,25	1	2	3	4	5	6	8	10	15	20
x	0,32	0,35	0,38	0,42	0,445	0,47	0,475	0,478	0,48	0,483	0,486	0,492	0,498
z _z	0,82	0,87	0,92	0,96	0,985	0,992	0,995	0,996	0,996	0,997	0,998	0,999	1

Délka ohnutého oblouku se následně spočítá dle vztahu:

$$l_o = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot \rho = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot (R_0 + x \cdot s) \quad [\text{mm}] \quad (2.4)$$

kde: γ = 180 - α - úhel ohnutého useku [°].

Celková rozvinutá délka ohýbaného kusu je následně vyjádřena součtem všech přímých a ohnutých částí je následně vyjádřena vztahem:

$$L_c = \sum_{i=1}^n l_i + \sum_{j=1}^n l_{oj} \quad [\text{mm}] \quad (2.5)$$

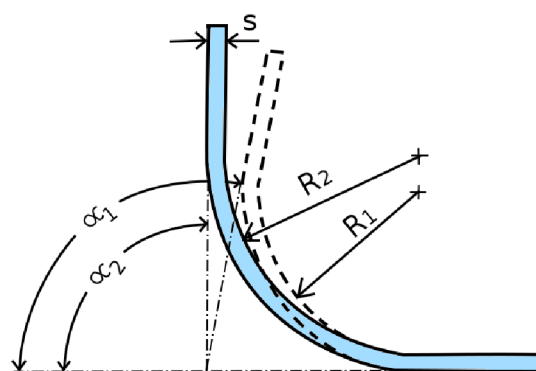
kde: L_c - celková rozvinutá délka výrobku [mm],

$\sum_{i=1}^n l_i$ - součet přímých délek [mm],

$\sum_{j=1}^n l_{oj}$ - součet ohnutých oblouků [mm].

2.3 Odpružení při ohybu [2], [3], [7], [8], [9], [24], [27], [29], [31]

Odpružení je ve většině případů nežádoucí jev vznikající při ohybu za studena. Způsobují jej pružné deformace při pružně-plastické deformaci v materiálu. V důsledku toho se výsledný tvar ohnuté součásti neshoduje s tvarem součásti a materiál má tendenci navrátit se zpět do původního stavu. Při konstrukci nástrojů a ohýbadel se na tento problém musí brát zřetel, aby bylo možné tvar "přehnout" a po odtižení byl výrobek takový jaký má být. Obr.23 schematicky zobrazuje odpružení materiálu po ohybu. Výrobek je ohnut z výchozího stavu s poloměrem R₁ na úhel α₁. Následně se



Obr. 23 Schéma odpružení [29]

po odtížení tento úhel zmenší na α_2 poloměr R_2 . Rozdíl mezi těmito úhly se nazývá oním odpružením a značí se β a lze jej určit dle vztahu:

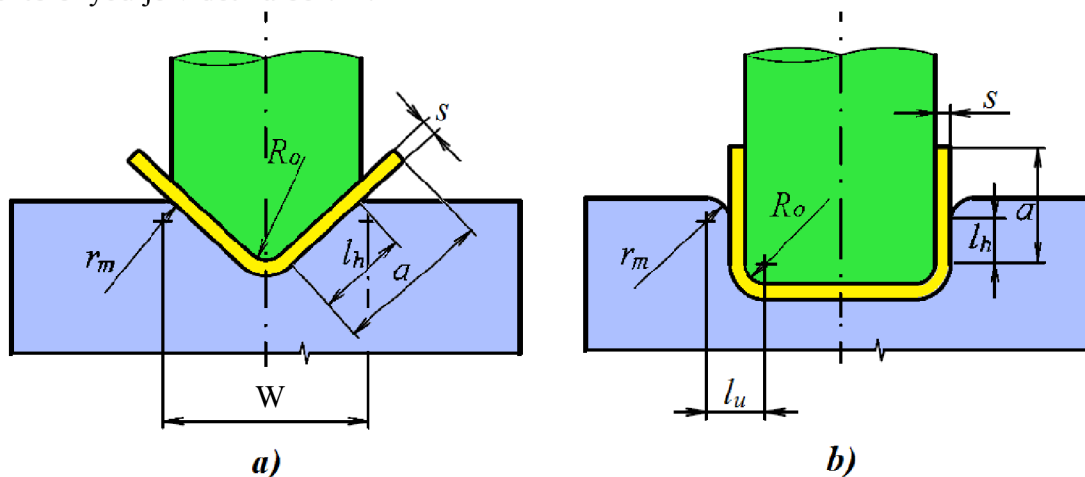
$$\beta = \alpha_1 - \alpha_2 \text{ [}^\circ\text{]} \quad (2.6)$$

kde: β - úhel odpružení [°],

α_1 - úhel ohybu v zatíženém stavu [°],

α_2 - úhel ohybu v nezatíženém stavu [°].

Velikost odpružení závisí na kvalitě materiálu, poloměru ohybu, tloušťce plechu, velikosti úhlu ohybu a také na způsobu provedení. Způsoby provedení jsou V-ohyb a U-ohyb a schéma těchto ohybů je vidět na obr.23.



Obr. 24 Schéma V-ohybu a U-ohybu [31]

Velikost odpružení lze odečíst z tabulek nebo diagramů, které byly sestaveny na základě praktických pokusů, nebo pomocí výpočtů. Pro výpočet odpružení výše zmíněných dvou typů odpružení se používají následující vztahy:

- Pro ohyb do tvaru "V"

$$\beta = \arctg \cdot \left(0,375 \cdot \frac{W}{k_\beta \cdot s} \cdot \frac{Re}{E} \right) \text{ [}^\circ\text{]} \quad (2.7)$$

kde: W - rozevření matrice [mm],

k_β - součinitel určující polohu NP, v závislosti na poměru $\frac{R_o}{s}$, viz tab.3.[-],

Re - mez kluzu ohýbaného materiálu [MPa],

E - modul pružnosti v tahu [MPa].

- Pro ohyb do tvaru "U"

$$\beta = \arctg \cdot \left(0,75 \cdot \frac{l_u}{k \cdot s} \cdot \frac{Re}{E} \right) \text{ [}^\circ\text{]} \quad (2.8)$$

kde: l_u - vzdálenost dle obr.24b, $l_u = R_m + R_o + 1,2 \cdot s$ [mm],

r_m - poloměr ohybnice [mm],

R_o - poloměr ohybníku [mm].

Z normy ČSN 22 7340 je následující tabulka pro stanovení součinitele k_β .

Tab.3 Součinitel k_β v závislosti na poměru $\frac{R_o}{s}$ [31]

R_o/s	0,10	0,25	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	8,00	10,00
k_β	0,68	0,65	0,62	0,58	0,54	0,53	0,52	0,52	0,52	0,51	0,51

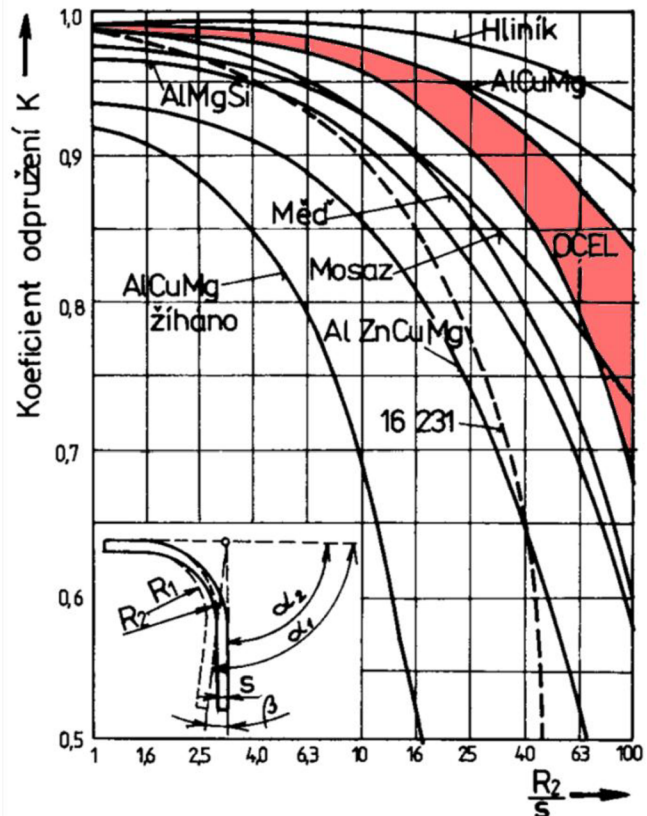
Při ohýbání s velkým poloměrem je možné orientačně určit odpružení jako závislost poměru K na poměru $\frac{R_2}{s}$, kdy poměr K je určen vztahem:

$$K = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{R_1 + 0,5 \cdot s}{R_2 + 0,5 \cdot s} \quad [-] \quad (2.9)$$

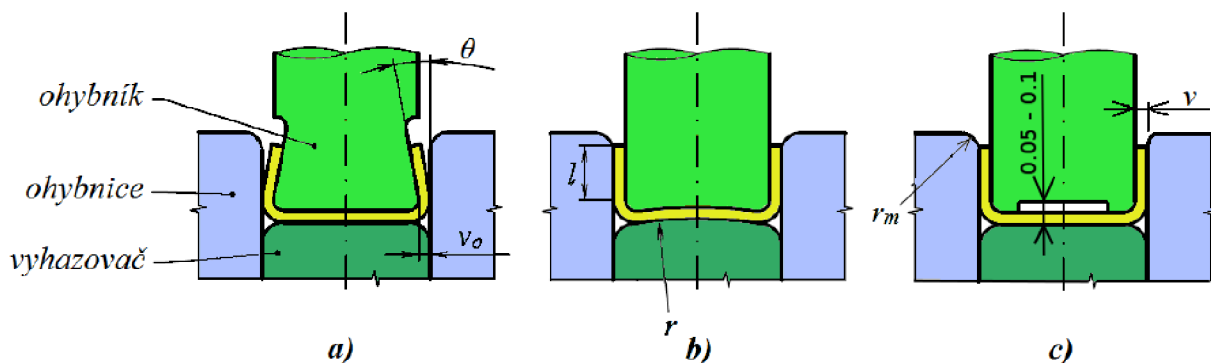
kde: R_1 - vnitřní poloměr ohybu před odlehčením [mm],
 R_2 - vnitřní poloměr ohybu po odlehčení [mm].

Diagram užívaný pro určení odpružení při velkém poloměru ohybu je na obr.25. Tímto způsobem lze následně snadno a rychle stanovit s jakými nástroji a na jaký úhel je nutné součást ohnout tak, aby se po odlehčení vrátila do požadovaného stavu. U obvyklých konstrukčních materiálů bývá velikost odpružení okolo 3°- 15°.

Existuje několik variant jak zabránit, omezit, nebo dokonce obrátit směr odpružení. Takovými technologiím se říká kalibrování. Ohýbáním s kalibrováním lze docílit velmi dobré přesnosti rozměrů a úhlů. Mnohdy nejjednodušším způsobem je "přehnout" součást o velikost odpružení. Například při ohybu na 90° ohnout součást na 87° a po uvolnění se odpruží na potřebných 90°. Dalšími možnostmi jsou technologické úpravy nástrojů a ohybníků. Obecně je kalibrace charakterizována jako zvýšení síly při tváření v závěrečné fázi procesu ohýbání, kdy je plech pevně sevřen mezi ohybníky a ohybnici. Na obr.26 je několik způsobů jak zabránit výraznému odpružení. Všechny



Obr. 25 Diagram k určení odpružení pro velké poloměry ohybu [2]

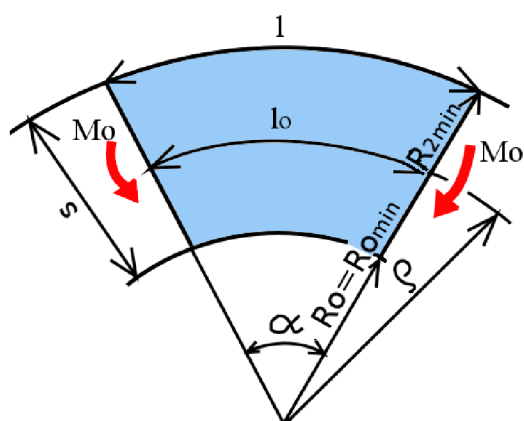


Obr. 26 Způsoby odstranění výrazného odpružení [2]

možnosti plně dosedají na vyhazovač, který zabraňuje prohýbání plechu. První možností obr.26a je podbroušení ohybníku o úhel potřebný k "přehybu" tak, aby po odtížení došlo k odpružení na správný úhel a také vytvoření záporné vůle $v_0 = (0,8 \text{ až } 0,9) \cdot s$. Další možností obr.26b, kde je zaoblení ohybníku a vyhazovače a poslední obr.26c zobrazuje možnost zpevnění materiálu v rozích kalibrací ohybu, při obvyklých hodnotách vůlí pro U-ohyby, které jsou $v = (1,05 \text{ až } 1,15) \cdot s$ pro oceli a $v = (1,00 \text{ až } 1,1) \cdot s$ pro barevné kovy.

2.4 Minimální a maximální poloměry ohybu [2], [3], [7], [8]

Minimální poloměr R_{omin} je hraniční poloměr, při kterém během pružně plastického ohybu nebude docházet k poškození, respektive trhlinám na vnější straně ohýbaného materiálu. V krajních vláknech, je při ohýbání rozhodující tahové napětí a při dosažení meze pevnosti R_m začne docházet k tvorbě trhlin. Z toho je tedy patrné, že R_{omin} závisí především na plastičnosti materiálu. Další atributy, které jej ovlivňují jsou způsob ohýbání, úhel ohybu, kvalita povrchu, druh materiálu (oceli, barevné kovy), šířka a tloušťka materiálu. Ohyb by měl pokud být, pokud je to možné, kolmo na směr vláken. Dle schématu na obr.27 se vyjádří maximální trvalá poměrná deformace ϵ_{tmax} dle následujícího vztahu:



Obr. 27 Deformační schéma ohybu [2]

$$\epsilon_{tmax} = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{R_{2min} \cdot \alpha - \rho \cdot \alpha}{\rho \cdot \alpha} = \frac{(R_{omin} + s) - (R_{omin} + \frac{s}{2})}{(R_{omin} + \frac{s}{2})} = \frac{s}{2 \cdot R_{omin} + s} [-] \quad (2.10)$$

kde: ϵ_{tmax} - mezní trvalá def. při jejíž překročení dojde k porušení materiálu [-],
 R_{2min} - vnější poloměr ohybu [mm],
 R_{omin} - minimální poloměr ohybu [mm].

Odtud pak vyjádření minimálního poloměru ohybu:

$$R_{omin} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{1}{\epsilon_{tmax}} - 1 \right) [mm] \quad (2.11)$$

Hodnoty R_{omin} dle tohoto vztahu jsou v praxi využívány zřídka kdy. Obvykle se výpočet zjednodušuje na následující vztah a poté je zvětšen o 20%:

$$R_{omin} = c_{min} \cdot s [mm] \quad (2.12)$$

kde: c_{min} - součinitel volený dle druhu materiálu, hodnoty jsou uvedeny v tab.4 [-].

Tab.4 Technologický součinitel c_{min} pro minimální ohyb [2]

Druh materiálu	Měkká ocel	Měkká mosaz	Hliník	Dural	Měkká měď
Součinitel c_{min}	0,5 až 0,6	0,3 až 0,4	0,35	3 až 6	0,25

Je nutné poznamenat že tyto hodnoty součinitele platí při ohýbání kolmo na směr vláken, tedy směr válcování a mění se zpevněním materiálu. Pokud se ohýbá rovnoběžně s vlákny, doporučuje se volit hodnotu součinitele až dvojnásobně větší oproti hodnotám v tab.4.

Maximální poloměr ohybu R_{omax} je takový, kdy dojde k počátku plastické (nevratné) deformace v krajních vláknech ohýbaného materiálu. Tedy překročení meze kluzu R_e a napětí σ_k . Pokud by byl poloměr nástroje větší jakou tento poloměr nedošlo by k plastické deformaci materiálu a materiál by se dle Hookova zákona navrátil do původního stavu. Z technologického hlediska je při ohýbání důležitější vnitřní poloměr. Pomocí Hookova zákona a rovnice (2.10) je vyjádřena kritická poměrná deformace:

$$\epsilon_{tmin} = \frac{\sigma_k}{E} = \frac{s}{2 \cdot R_{omax} + s} [-] \quad (2.13)$$

kde: ϵ_{tmin} - mezní poměrná deformace, před počátkem plastické deformace [-],

σ_k - napětí na mezi kluzu [MPa],

R_{omax} - maximální poloměr ohybu,

E - modul pružnosti v tahu.

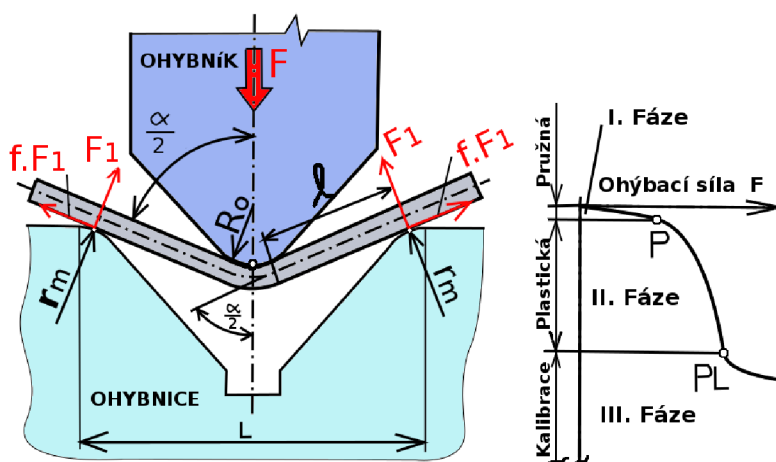
Z této rovnice (2.13) již explicitně můžeme vyjádřit závěrečný vztah pro maximální poloměr ohybu vztahem:

$$R_{\text{omax}} = \frac{s}{2} \left(\frac{E}{\sigma_k} - 1 \right) \text{ [mm]} \quad (2.13)$$

2.5 Síly a práce v procesu ohýbání [2], [3], [7], [8], [29]

Ohýbací síla je jedním z důležitých parametrů při stanovování možnosti výroby pomocí ohýbání. Díky ní je možné stanovit optimální tvářecí stroj a ověřit zda nástroje na kterých se ohyb provádí vydrží toto zatížení či nikoli. V technologii ohýbání je obrovské množství tvarů nástrojů pro ohýbání a přípravků, ale mezi nejčastější patří ohyby do "V" a "U". To je důležité poznamenat, protože tvar ohybu ovlivňuje nejen výslednou ohybovou sílu a práci, ale také průběh nárůstu této síly.

Při ohybu na ohraňovacím lise se ohýbá osamělou silou, kdy tlačí ohybník v jednom bodě do materiálu a ten se opírá ve dvou bodech o ohybnici jako na obr.28. Tato síla je nejvíce ovlivněná tloušťkou materiálu a jeho mechanickými vlastnostmi. Dalšími důležitými faktory jsou úhel ohybu, způsob ohýbání a také šířka ohýbaného kusu.



Obr. 28 Ohýbání osamělou silou [2]

Jak je vidno z výše zmíněného obrázku ohýbací síla není konstantní, ale lze ji rozdělit v podstatě na tři fáze. První fáze začíná dosednutím ohybníku na ohýbanou součást a má charakter pružné deformace. Po překonání meze kluzu materiálu začíná druhá fáze, přidává se plastická deformace vznikající v krajních vláknech a s pokračujícím ohýbáním se tato oblast plastické deformace rozšiřuje směrem do středu materiálu. To má za následek pozvolný nárůst potřebné ohýbací síly. Závěrečná třetí fáze není podmínkou u každého ohýbání. Jedná se o tzv. kalibraci, to je moment, kdy materiál vyplní prostor mezi ohybníkem a ohybnicí. Nastává prudký nárůst ohýbací síly, mnohdy až o 200 - 400%. S tímto nárůstem je nutné počítat a dle potřeby volit nástroje, které se touto zvýšenou silou nepoškodí.

Pro výpočet ohýbací síly do tvaru "V" uvádí norma ČSN 22 7340 následující vztah:

$$F_v = \frac{b \cdot s^2 \cdot Re}{2 \cdot R_o} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \text{ [N]} \quad (2.14)$$

kde: F_v - ohýbací síla do tvaru "V" [-].

Pro výpočet ohýbací síly do tvaru "U" uvádí norma ČSN 22 7340 tento vztah:

$$F_U = (1 + 7 \cdot f) \cdot \frac{b \cdot s^2 \cdot Re}{R_o + s} \text{ [N]} \quad (2.15)$$

kde: F_U - ohýbací síla do "U" [-].

f - třecí koeficient [-]

Práce při ohýbání je plocha pod diagramem průběhu síly na dráze. Ale vzhledem k různým tvarům průběhu této síly při různých typech ohybů je výpočet integrační metodou náročný. Zjednodušuje se tedy na výpočet následujícím vztahem:

$$A_{ov} = F_v \cdot k_1 \cdot h_o \quad [J] \quad (2.16)$$

kde: A_o - ohybová práce do "V" [J],

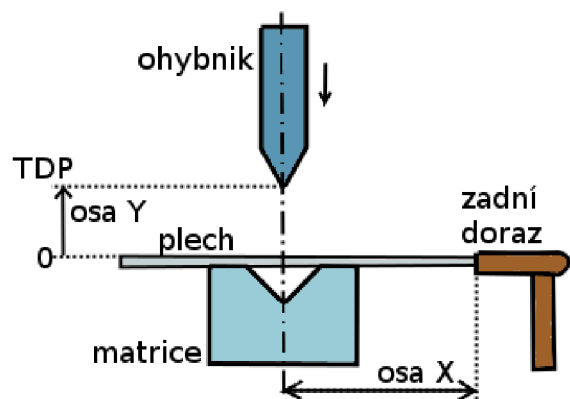
k_1 - koeficient průběhu F_v (volí se $k_1 = 1,3$) [-],

h_o - zdvih (hloubka průniku razníku) [m].

2.6 Ohraňovací operace [8], [32], [33], [34], [35]

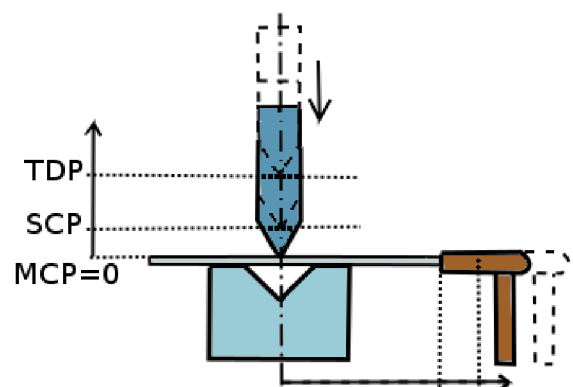
Proces ohýbání se skládá z několika po sobě jdoucích kroků jenž se stále opakují, nebo z části modifikují. Před rozebráním jednotlivých druhů operací, jenž lze na ohraňovacích lisech provádět je nutné si tento proces blíže přiblížit.

Prvním krokem je nachystání příslušných nástrojů (ohybníku a matrice) a jejich upnutí do stroje. Ohybník se upíná do beranu a matrice do stroje. Ohybník se upíná do beranu a matrice do pracovního stolu. Následně je v ovládacím panelu vytvořen řídicí CNC program, podle kterého se dorazy rozmístí na požadovanou polohu. Po spuštění programu se beran s ohybníkem zvedne do výchozí (maximální) polohy zvané "TDP", dorazy přijdou na požadovanou polohu v ose X a Y. Jakmile je stroj v klidu, plech se položí na matrici a dorazí na dorazy, jak je schematicky zobrazeno na obr.29. Povrch plechu má v tomto stavu hodnotu $Y = 0$.



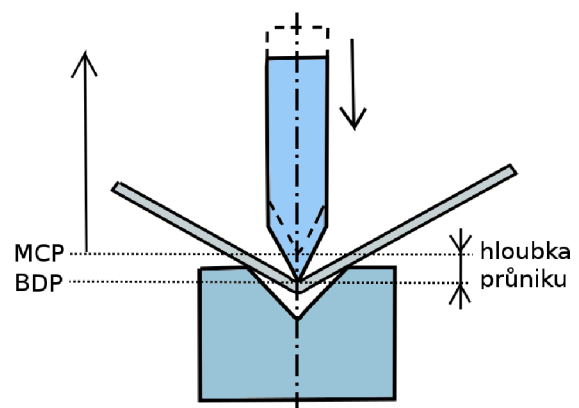
Obr. 29 Umístění plechu [8]

Po této fázi následuje druhý krok, který má pevně uchytnit plech mezi ohybníkem a matricí. To lze vidět na obr.30. Po sešlápnutí pedálu se beran pohybuje rychloposuvem až do polohy "SCP", což je poloha bezpečné vzdálenosti od materiálu. Od této polohy se začne beran pohybovat nastavenou tvářecí rychlostí až do polohy "MCP", který se nazývá bod uchopení a představuje referenční hodnotu $Y=0$. Při následném ohýbání se pozice nástroje pohybuje do záporných hodnot a při zdvihu naopak do kladných. V této fázi by měl být materiál pevně upnut mezi nástroje a dorazy se odsunou mimo ohýbací prostor aby nedošlo ke kolizi při ohybu s materiálem.



Obr. 30 Upnutí plechu [8]

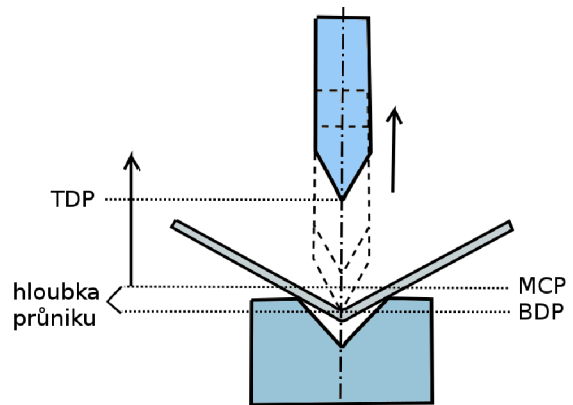
Po upnutí plechu začíná již proces ohraňování (obr.31), při kterém se ohybník pohybuje nastavenou tvářecí rychlostí do záporných hodnot osy Y. Pohybuje se z polohy "MCP" do polohy "BDP", což je poloha při níž je dosaženo požadovaného úhlu ohybu, a to již se započítaným odpružením



Obr. 31 Ohraňování [8]

materiálu. Vzdálenost mezi těmito body se nazývá hloubka průniku.

Poslední krokem je zdvih beranu do původní polohy jako zobrazuje obr.32. Ovšem při zvedání beranu se pohybuje zpět do polohy "MCP" zpomalenou rychlostí a až od této polohy pokračuje rychloposuvem. Vzdálenost od dolní úvrati, kterou beran koná po tuto polohu "MCP" se nazývá dekompresní vzdálenost. Beran zde jede pomalejší rychlostí, aby se zamezilo nebezpečí odskoku plechu z matrice, který by mohl zranit obsluhu. Po vyjetí beranu na nastavenou polohu může dojít k vyjmutí popřípadě dalším ohybům součásti s podobnými opakujícími se kroky.

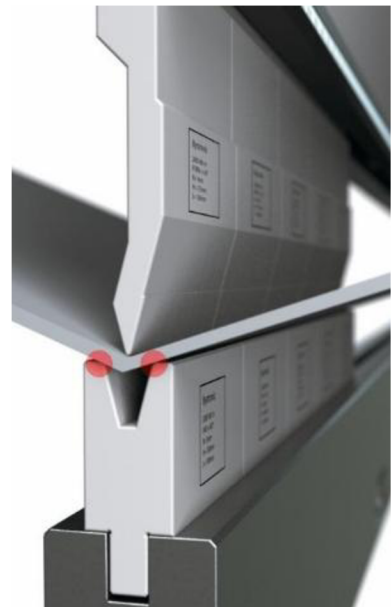


Obr. 32 Zdvih beranu [8]

Po vyjmutí plechu se provede kontrola parametrů ohybu dle výkresové dokumentace, což značí změření úhlu a rozměrů a při nedokonalostech se program zkoriguje tak, aby při dalších ohybech byla součást již na jeden cyklus ohybu dle zadání.

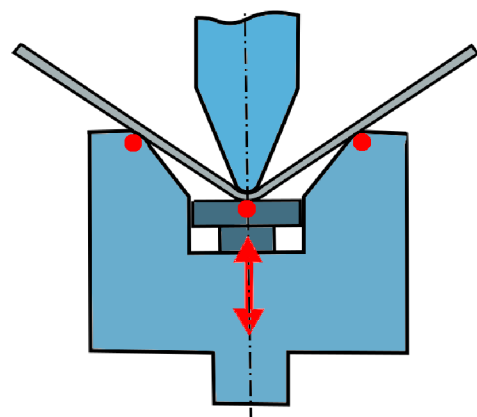
Výše zmíněné operace jsou obecně podobné pro všechny následující typy ohýbání se kterými se při ohýbání na ohraňovacích lisech nejčastěji setkáme:

- Dvoubodové ohýbání - neboli ohýbání ve vzduchu je bodech ("hranách") a vnější radius ohybu je volně ve vzduchu. Ohybník vniká do materiálu a ten je vtlačován do vnitřního prostoru matrice a proces ohybu končí po dosažení požadovaného úhlu ohybu, aniž by došlo k opření materiálu o matrici. Ukázka tohoto druhu ohýbání je na obr.33. Výhodou je univerzálnost použití pro širokou škálu úhlů od 30° do 179°, dle toho jak moc je razník zasunut do matrice bez nutnosti měnit nástroje. Tento druh ohýbání je také velice málo finančně náročný a při ohýbání nedochází k nutnosti používat vysoké ohýbací síly, čímž se šetří daný ohraňovací lis. Nevýhodou této operace je nepřesnost při ohýbání způsobená odpružením materiálu. Obvykle se při tomto ohýbání pracuje s odchylkami $\pm 0,3^\circ$ v závislosti na délce ramena a tloušťce materiálu.



Obr. 33 Volné ohýbání [32]

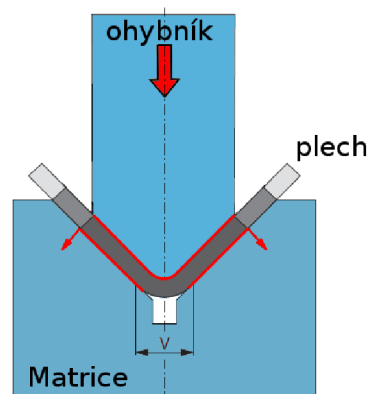
- Tříbodové ohýbání - je přesnější jako dvoubodové ohýbání a schéma tohoto ohýbání je na obr.34. Při tomto typu ohýbání je materiál v ose ohybu podpírán a tím je vytvořen třetí opěrný bod. Společně s pohybem razníku do matrice se pohybuje toto dno stejným směrem a je v neustálém kontaktu s materiálem. Při tomto druhu ohýbání je docíleno velice přesného ohýbání z hlediska úhlů, ale je zapotřebí větších tvářecích sil pro provedení ohybů. Jednou z firem vyrábějící ohraňovací stroje s tímto typem nástrojů je firma Bystronic s lisem



Obr. 34 Tříbodový ohyb [33]

Hämmerle. Také z finanční stránky jsou náklady na pořízení takového lisu mnohonásobně vyšší. V porovnání s ohraňovacím lisem pro volný ohyb stojí lis na třibodové ohýbání až 4x více.

- Ohýbání s dotlačením - je ve své podstatě kalibrace při ohraňování a je nejdokonalejším ohýbacím typem, kde je úhel ohybu tvořen s přesností na desetiny stupně. Ohybník materiál natlačuje do matrice a postupně se zmenšuje vzdálenost "V" jako je na obr.35. Při ohýbání s malými poloměry ohybu není v matrici ani drážka jako je na obrázku a materiál tak vyplní prostor mezi nástroji, ale tváření pokračuje až do okamžiku, kdy je dosaženo požadovaného úhlu. Tímto procesem se zabrání odpružení materiálu a ohyb je velice přesný. Musí být pečlivě spočítáno, zda použité nástroje toto zvýšené zatížení vydrží, protože jinak by mohlo dojít k jejich zničení. Nejčastěji se užívá pro ohyby na 90° a tenkých plechů do tloušťky 3 mm.



Obr. 35 Ohyb s dotlačením [34]

- Ohyb s přeložením - neboli v dílenském slangu "falz" či "pertl" je druh ohybu který má za úkol zpevnit a vyztužit hrany tenkých plechů. Na ohraňovacích lisech lze tuto operaci vykonávat maximálně u materiálu do tloušťky 3 mm, neboť při vyšších tloušťkách dochází k praskání plechu v místě ohybu. Falz se provádí na dva kroky. Nejprve je plech ohnut na co nejmenší možný úhel, obvykle 30° a následně dojde k odskoku pracovního stolu a vytvoření prostoru pro zasunutí nástroje mimo matrici. Plech se ohnutou částí vloží na nástroj a razník jej poté stlačí jako na obr.36. V podstatě dojde k vytvoření úhlu 180°. Možností tvaru falzu jsou různé, od rovného, slzu, nebo falz se spárou který se vytváří v druhém kroku vložením pomocného plechu mezi ohýbaný materiál.



Obr. 36 Ohyb s přeložením [35]

Další typy operací převážně pomocí speciálních nástrojů jsou v příloze č.2.

2.7 Ohraňovací nástroje [6], [8], [9]

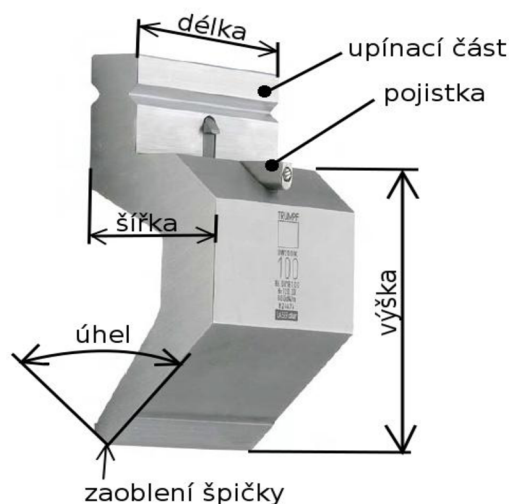
Ohraňovací nástroje se skládají ze dvou částí a to razníků a matic jinak zvaných také prisky. Razníky se obvykle upínají do horní lišty umístěné na beranu stroje a matrice do pracovního stolu. Při ohraňování se beran lisu pohybuje dolů a tlačí materiál do dutiny matrice, až do požadovaného úhlu. Tvar ohybu, který je možné vyrobit, je určen především tvarem razníku a dutiny matrice. Nejdůležitějšími parametry razníku je výška, poloměr zaoblení špičky a jeho tvar. U matrice je nejdůležitější její šířka, maximální úhel který je na ní možný ohýbat a poloměr zaoblení vnitřních hran.

Při programování ohýbání je nutné znát především tvary razníku a maximální délky ramen například u ohybu tvaru "U", aby při ohybu nedošlo ke kolizi s nástrojem. Proto je v každém katalogu pro jednotlivé razníky vytvořen diagram, ze kterého je toto možné zjistit. Příklad takového diagramu je v příloze č.3.

2.7.1 Razníky [6], [8], [9], [29], [35], [36], [37]

Základním prvkem sestavy nástrojů pro ohraňování jsou razníky, jinak zvané také ohybníky. Vyrábí se v mnoha různých provedeních, ať už se jedná o jejich velikost či tvar. Základní popis stavby razníku je na obr.37. Každý ohybník má na sobě označení o jaký razník se jedná, jeho délku, maximální úhel ohybu, který je s ním možné ohýbat (obvykle 86° nebo 30°), poloměr zaoblení špičky, výšku a maximální možné zatížení udávané v kN na metr délky.

Razník se skládá z upínací části, za kterou je upnut do lišty beranu a některé mohou mít pojistku pro jednodušší upínání. Ohybníky počínající délkou 300 mm mají obvykle v upínací části ještě kalené bezpečnostní kolíky, aby je bylo jednoduché zasunout do horní lišty beranu. Dále mají různě tvarovanou střední část zvanou "tělo" a pracovní část, jejíž tvar určuje vzhled a možnosti ohýbaných tvarů. Pracovní část nástroje počínající poloměrem špičky je tepelně zpracována, aby byla zvýšená pevnost nástroje a také aby nedocházelo při ohraňování během kontaktu s materiálem k rychlému opotřebování razníku. Na obr. 38 jsou další typy razníků.



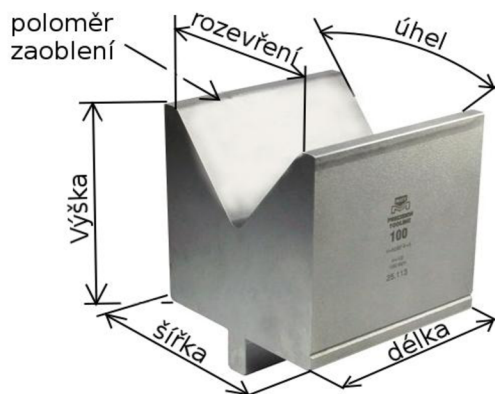
Obr. 37 Základní popis razníku [6]



Obr. 38 Další druhy razníků (firma Trumpf) [6]

2.7.2 Matrice [6], [8], [9], [29], [35], [36], [37]

Matrice jsou druhou nedílnou součástí sestavy nástrojů pro ohraňování. Stejně jako razníky se skládají z upínací části, ta je nyní ovšem ve spodní části. Upínání se provádí nejčastěji na pracovním stole ohraňovacího lisu. Další částí je tělo ve kterém je tvarová dutina určující jaký tvar ohybu bude prováděn. Nejčastějším tvarem dutiny jsou tvary do "V" o různých úhlech rozevření, ale mohou být i dutiny tvaru "U", nebo speciálně tvarované dle přání zákazníka. Nejčastějším typem matic jsou jedno-dutinové jako je na obr.39, ovšem je možné používat i čtyř-dutinové, které jsou



Obr. 39 Základní popis matrice [36]

výhodné svou univerzálností, kdy pouhým otočením matrice získáme jinou tvarovou dutinu. Ukázka čtyř-dutinové matrice je na obr.40. Hlavními parametry matrice, které jsou opět zaznamenány přímo na ní, jsou její výška, délka, poloměr zaoblění hrany dutiny a velikost rozevření společně s jejím úhlem. Velikost rozevření je charakterizována jako vzdálenost středů poloměrů hran tvarové dutiny a je to hlavní parametr podle kterého se matrice dělí. Horní funkční část a část dosedací je tepelně zpracovaná stejně jako u razníků.

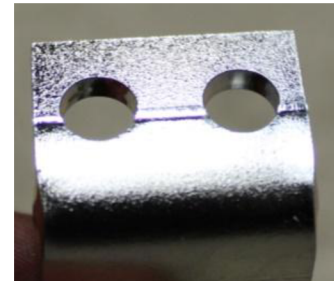


Obr. 40 Čtyř-dutinová matrice [35]

2.7.3 Speciální nástroje [6], [8], [9], [29], [35], [37], [38], [39]

Nástroje určené pro neobvyklé tvary ohybů a vybočují z obvyklých standardů se nazývají speciální nástroje. Může se jednat o zkrácení délky nástroje na nestandardní, nebo tvarové nástroje usnadňující ohýbací operaci, kdy místo dvou zdvihů beranu je součástí vytvořena na jeden zdvih (například tvar "Z").

Při ohraňování vzniká obvykle charakteristický otlak od zaoblění matrice z vnější strany ohybu jako na obr.41, což u pohledových dílů může být problém. Tohoto je možné se vyvarovat použitím pryžové fólie ("gumy"), která se umístí mezi matricí a ohýbaný materiál. Další možností speciální nástroj zvaným ROLLBEND. Tento nástroj nahrazuje obvyklou matricí s tvarem dutiny "V", průběh ohybu na tomto speciálním nástroji je možné vidět na obr.42. Materiál je vtlačován do nástroje a ten postupně naklápí ploché válečky mezi kterými je ohýbaný plech sevřen. Výhodou tohoto nástroje je skvělá kvalita povrchu bez otlaků a zamezení deformací otvorů blízko hrany ohybu. Nevýhodou jsou vysoké pořizovací náklady, které jsou 5 až 6 krát vyšší jako u klasických matric. Ukázka výrobku s broušeným povrchem a ohýbaného na tomto nástroji je na obr.43.



Obr. 41 Otlak od matrice



Obr. 43 Ohyb na ROLLBEND [38]



Obr. 42 Výrobek ohnutý na nástroji ROLLBEND [39]

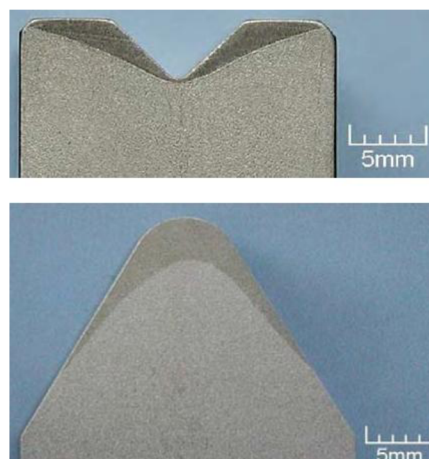
2.7.4 Výroba nástrojů [6], [8], [9], [29], [35], [37]

Důležitým faktorem ovlivňující životnost a možnosti použití razníků a matic pro ohýbání je jejich správná výroba a vhodně zvolené materiály. Nástroje jsou vyráběny ze zušlechťených vysokopevnostních ocelí, aby byla zajištěna jejich trvanlivost a neměnná geometrie při provozu. Příklady tří nejužívanějších ocelí pro výrobu a jejich základní parametry jsou v tab.5.

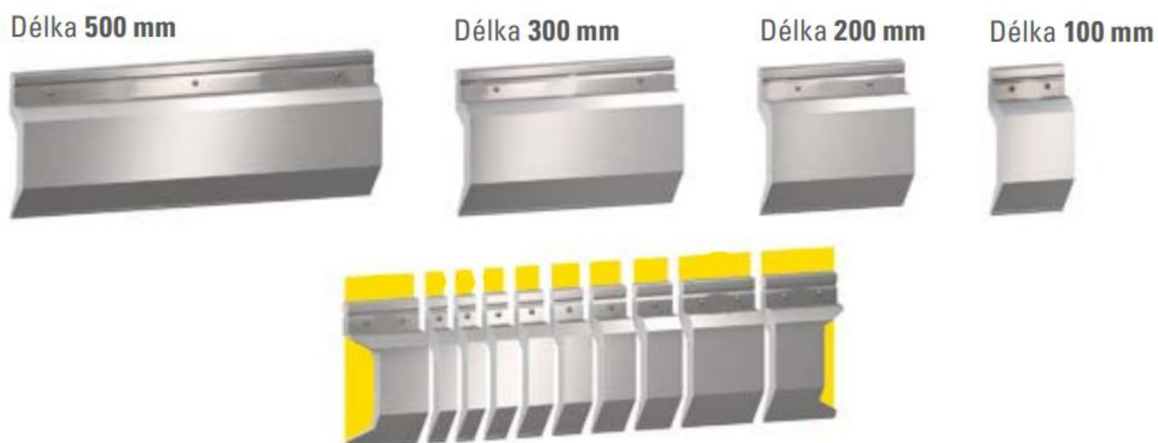
Tab.5 Materiály pro výrobu razníků a matic [35]

Materiál		42 CrMo4	W 1.2312	C45
Pevnost	[MPa]	1100 -1200	950 - 1100	800 - 850
Tvrдость	[HRC]	52 -55	52 -55	52 -55

Výroba nástrojů se skládá v podstatě ze čtyř kroků. Nejprve je zkonstruovaný nástroj vyfrézován v obráběcích centrech. Dále aby bylo dosaženo velké výdrže a tvrdosti funkčních ploch nástroje, jsou tyto plochy povrchově zakaleny. Obvykle se jedná o oblast s největším namáháním, tedy špička ohybníku a hrany vnitřní dutiny matrice. Zpravidla se tepelně zpracovává také dosedací plocha nástrojů, která je v kontaktu s upínacími lištami. K tepelnému zpracování se používá buď indukční povrchové kalení, nebo kalení pomocí laseru. Laserem zakalená oblast matrice a špičky ohybníku je vidět na obr.44. Následně jsou broušeny funkční plochy celé sady nástrojů najednou. To se dělá z důvodu aby měli všechny nástroje ze sady přesnou výšku, která je pro ohýbání nejdůležitější. Broušením se dosáhne přesnosti výšky nástrojů v toleranci tisícín a jakosti povrchu až $Ra = 0,8 \mu m$. Posledním krokem je přesné změření výšky nástrojů a následný popis již výše zmíněných parametrů na jednotlivé nástrojů pomocí laseru.



Obr. 44 Zakalení funkčních ploch [6]



Obr. 45 Rozdělení sady ohybníků [35]

Pro mnohé ohyby je nutné mít přesně definovanou délku nástroje. Proto se pro univerzálnost použití dodávají nástroje v sadách. Tyto sady se obvykle skládají z několika dlouhých nástrojů například 500 mm a dalších krátkých až po délku 20 mm, nebo na segmenty dodávané dle individuální potřeby a přání zákazníka. Tím je umožněno, aby si pracovník sestavil potřebnou délku pro daný ohyb. Příklad rozdělení takové sady je na obr.45.

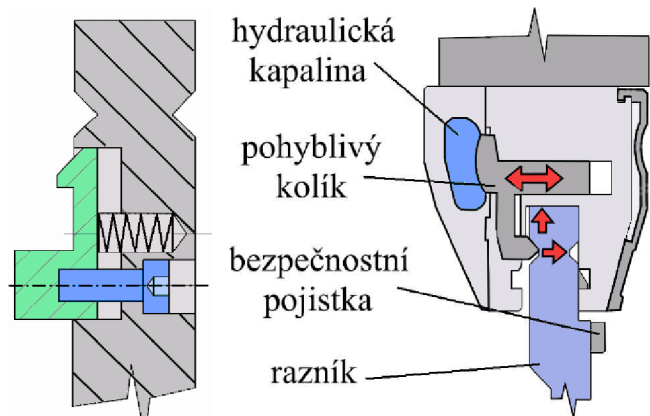
2.7.5 Upínání nástrojů [6], [8], [9], [29], [35], [40]

Aby bylo možné s nástroji pracovat a ohyby byly přesné a nelišily se od sebe, je nutné nástroje správně a dobře upnout. V současné době se provádí nejčastěji hydraulické upínání nástrojů, ale lze upínat také mechanicky a to jak horní tak spodní nástroje. Každý výrobce má svůj vlastní systém upínání, takže je možnost i kombinace výše zmíněných typů.

Při hydraulickém upínání horních nástrojů operátor ujistí, zda je vypnuta hydraulika. Následně umístí razník do upínací lišty tak, že zamáčkne bezpečnostní pojistku zabudovanou v upínací části razníku jako na obr.46. Razník se "nacvakne" nebo nasune do drážky v upínací liště beranu a díky pojistce drží volně a je možné s ním posouvat na potřebné pozice. Po sestavení potřebné délky nástrojů je spuštěno hydraulické upínání a razníky jsou vyrovnány a vystředěny do správné pozice. Schéma hydraulického upínání je na obr.47. Pohyblivý kolík má jednu stranu v kontaktu s hydraulickou kapalinou a druhou má tvarovanou do tvaru "V" aby zapadla do upínací drážky v razníku. Při upnutí dojde ke zvýšení tlaku v kapalině a kolík se pohybuje horizontálním směrem a razník je upnut na přesnou polohu v upínací liště.

Při hydraulickém upínání spodních nástrojů na pracovní stůl se postupuje podobně, akorát matrice neobsahují bezpečnostní pojistky. Mechanickém se převážně užívá v kombinaci s hydraulickým upínáním, kdy je adaptér upnut hydraulicky do drážky v pracovním stole a nástroje je mechanicky upnut v adaptéru. Upínat je pak možné například dotažením šroubů jenž se opřou přímo o matrici, nebo pomocí svorek, což je vhodné například pro upínání čtyř-dutinových matic jako na obr.48.

Nástroje se při ohráňovacím pracích poměrně často mění a proto je vhodné je skladovat někde poblíž lisu, aby operátor nemusel absolvovat dlouhé cesty při jejich výměnách. Proto se na skladování nástrojů používají buď skříně, kde jsou uloženy "nastojato" jako na obr.49, nebo mohou být skladovány ve šuplících jako na obr.50.



Obr. 46
Bezpečnostní pojistka [35]

Obr. 47 Hydraulické upínání razníku [35]



Obr. 48 Upnutí pomocí svorek [35]



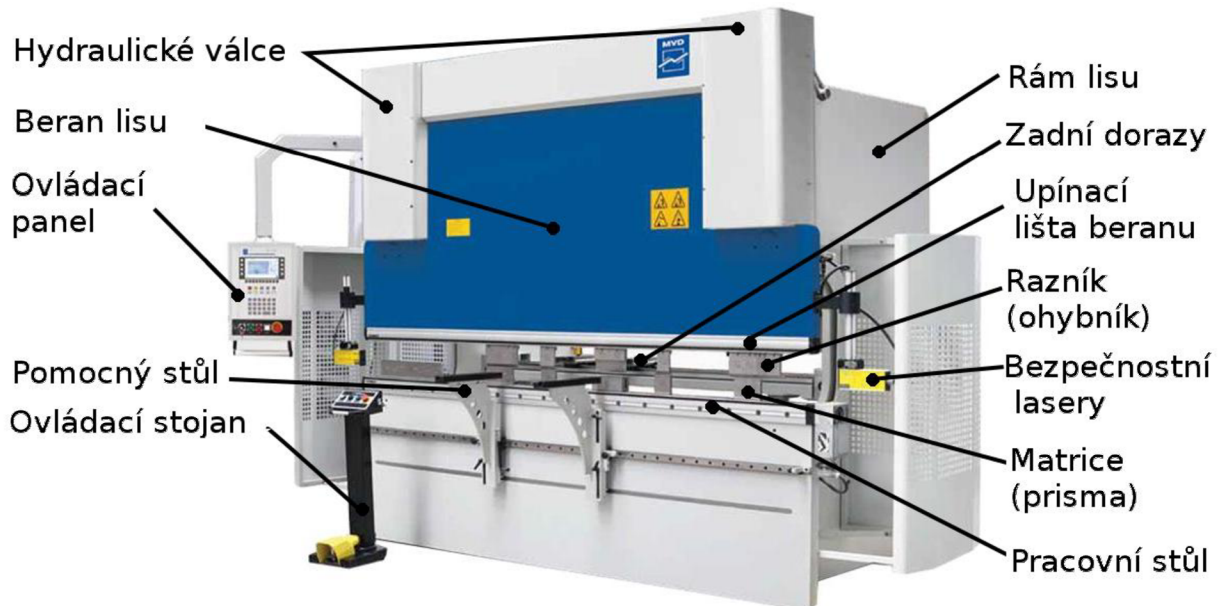
Obr. 49 Nástroje ve skříně



Obr. 50 Nástroje v šuplících [40]

2.8 Ohraňovací stroje [8], [41], [42], [43], [44], [45]

Stroje na ohraňování jsou v dnešní době již velice sofistikované lisovací zařízení konající opakované pohyby beranu. Umožňují vyrobit součástky z plechů tloušťky až 12 mm a délek například 9 m. Výhodou ohraňování je především možnost ekonomicky vyrobit složité součástky s více ohyby, pro které není vhodné, nebo je přímo nemožné je vytvářet pomocí konvenčních ohýbacích technologií v ohýbacích nástrojích či přípravcích. Svým



Obr. 49 Základní popis ohraňovacího lisu [42]

jednoduchým užíváním a univerzálností použití se hodí především pro kusovou či sériovou výrobu, nikoli však pro výrobu hromadnou, pro kterou je mnohem ekonomičtější pořízení automatických ohýbacích center nebo nástrojů pro ohýbání. Označení základních částí ohraňovacího lisu je na obr.51. a popis některých z nich bude popsán v následujících kapitolách. Ohraňovací lisy můžeme rozdělit do čtyř základních skupin dle pohonu:

- **Ruční** - jsou zařízení pro dílenskou výrobu z plechů tloušťek maximálně 3 mm. Závisí na lidské síle, proto takové omezení. Nicméně jsou ekonomické z hlediska nulové spotřeby energie. Lidská síla se převádí pomocí vačky nebo hřebenové tyče a způsobuje pohyb beranu. Nejčastěji je využíván při klempířských pracích, ale může být použit pro lemování případně i stříhání. Ukázka takového ohraňovacího lisu je na obr.52.
- **Mechanické** - využívají se do výrobních linek pro sériové výroby. Rám stroje je tvořen odléváním nebo svařováním. Pohyb beranu je v dnešní době realizován pomocí servomotorů které roztáčejí setrvačnicích a následně je tato síla převedena spojku na vertikální pohyb beranu. V minulosti se využívalo klikového nebo vřetenového mechanismu, ale od těchto typů se již ustoupilo. Výhodou mechanického ohraňovacího



Obr. 50 Ruční ohraňovací lis [43]

lisu je robustní stavba a tím zajištěna přesnost ohýbání, snadná údržba, jednoduchá obsluha a velká všestrannost. Pro pohyb a nastavení dorazů se využívá CNC řízení, což zabezpečuje rychlé a přesné ohýbání. Pro případné překročené tvářecí síly je v lisu zabudovaná pojistka, která zabrání v pokračování tváření a případně následného poškození lisu. Na obr.53 je setrvačnickový mechanický lis.



Obr. 51 Mechanický ohraňovací lis [44]

- Servoelektrické - jsou moderní variantou používanou v mnoha firmách. Vertikální pohyb beranu dolů je zajištěn buď čistě pomocí servomotorů, nebo pomocí servomotorů, které rozpohybují pásy a kladky. Pohyb zpět vzhůru zajišťují pružiny umístěné po stranách rámu stroje. Schéma tohoto typu pohonu je na obr.54. Konstrukce a rozložení kladek po celé délce beranu zajišťuje rovnoměrně rozloženou tvářecí sílu při ohýbání a tím zajištěnou velice dobrou přesnost ohybu v celé tvářené délce. Taktéž toto rozložení předchází nežádoucímu prohnutí beranu při ohybu ve střední části, které je poté nutno kompenzovat tak zvaným bombírováním. Pásy používané pro tento typ pohonu jsou velice pevné, vyztužené ocelovými vlákny a na jejich povrch je nanášena vrstva polyuretanu, aby nedošlo k přetržení. Další výhodou tohoto typu lisů je poměrně tichý chod a úspora elektrické energie, protože oproti hydraulickým pohonům nemusí být čerpadla přiváděna hydraulická kapalina do válců i při nečinnosti stroje, ale pouze při aktivním ohybu beranu. Nevýhodou konstrukce s kladkami je bohužel vytvoření menších tvářecích sil a to okolo 5 000 kN (cca 500 tun). Proto se tyto elektrické ohraňovací lisy hodí především pro ohýbání výrobků z tenkých plechů nebo pro ohyb plechu do tloušťky 15 mm.



Obr. 52 Elektrický pohon ohraňovacího lisu [8]

- Hydraulické - využívající pro pohyb beranu hydraulických válců umístěných po stranách na rámu stroje. Do hydraulických válců je pomocí čerpadel čerpána hydraulická kapalina. Kvůli těmto rozvodům a hydraulickým ventilům je z konstrukčního a údržbového hlediska tento typ lisu nejnáročnější. Rám stroje je velice pevný, obvykle tvořený odlévanou a svařovanou konstrukcí. Tyto lisy dokáží vytvořit největší tvářecí síly ze všech zmiňovaných typů lisů. Ta může



Obr. 53 Hydraulický ohraňovací lis [45]

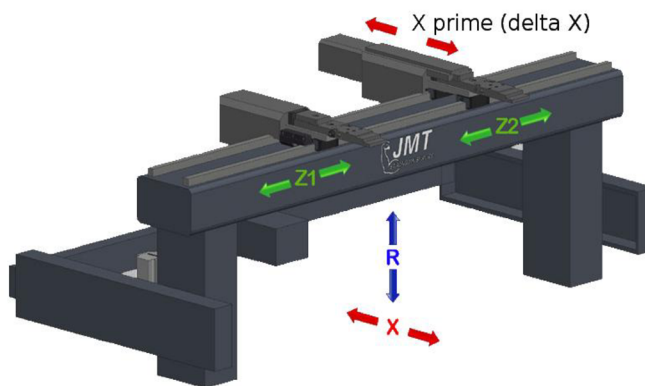
pohybovat až okolo 4 000 t. Obrovskou výhodou těchto lisů je řízení pohybu beranu s přesností až 0,01 mm a rychlostí při ohýbání okolo 10 mm/s. Další výhodou je také možnost vychýlení beranu po stranách (jedna strana tlačí více jako druhá). Tím je zajištěna možnost dokonalého zkorigování při ohýbání delších kusů, například v situaci, kdy jedna ze stran ohýbaného výrobku není dostatečně ohnuta, je přidán tlak pouze na jednu stranu beranu. V dnešní době se užívá CNC řízení dorazů těchto ohraňovacích lisů, čímž je zajištěna vysoká produktivita a přesnost ohnutých kusů. Na obr.55 je hydraulický ohraňovací lis Ursviken s možností tvářecí síly až 3 200 kN (320 t).

Mezi nejznámější značky firem vyrábějící ohraňovací lisy patří firmy Trumpf, Amada, Safan nebo Bystronic. Tyto firmy dodávají vysoce kvalitní lisovací stroje.

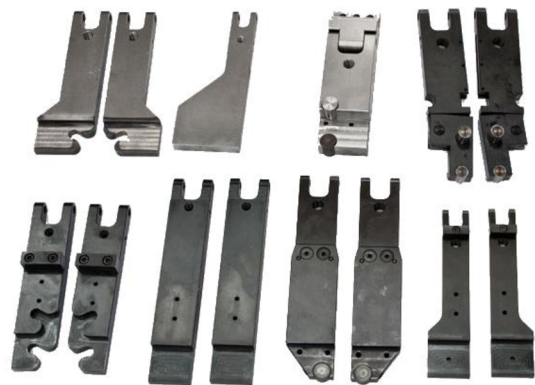
2.9 Další technika při ohraňování [6],[8], [9],[29], [35],[46], [47], [48], [49], [50], [51]

Při práci na ohraňovacích lisech je velice důležité také další technika, bez které by takhle přesné ohýbání nebylo možné, nebo zjednodušuje práci a případně také chrání před zraněními. Mezi základní techniku využívanou při ohraňování patří:

- Dorazy - jsou nutnou součástí každého ohraňovacího lisu pokud chceme docílit přesných ramen ohybů. V minulosti byly dorazy nastavovány na potřebnou polohu ručně. Dnešní doba nabízí použití CNC systémů pro jejich řízení a všechny moderní ohraňovací lisy jsou jimi vybaveny. Pohyb dorazů je zajištěn servomotory, kuličkovými šrouby a lineárními pohony. Díky tomu se mohou pohybovat rychlostí a s náležitou přesností. Mohou se pohybovat minimálně ve 3 osách X, Z a R, ale u lepších a moderních strojů je možnost pohybu až v 6ti osách. Na obr.56 je zobrazen 5-osý doraz od firmy JMT. Dorazy mají také různé tvary dorážecích ploch, tím je zajištěno například dorážení do roh součástí. Několik tvarů dorazů je na obr.57.

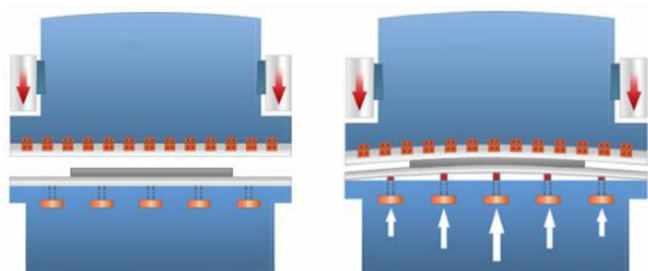


Obr. 55 Možnosti pohybu dorazů [46]



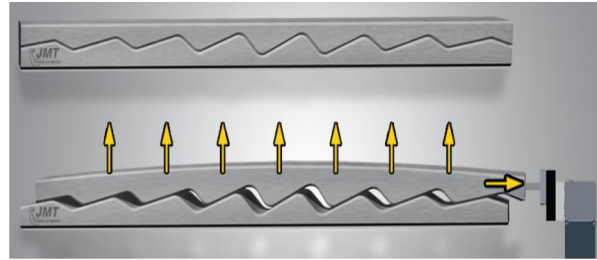
Obr. 54 Tvary dorazů [46]

- Bombírování - je proces, při kterém se kompenzuje pružná deformace beranu. Tato deformace je problém a nastává především u hydraulických lisů, kde jsou válce jenž tlačí beran dolů, po stranách upevněné k rámu stroje. Při ohybu dlouhých a tlustých plechů je odpor materiálu ve středu beranu tak velký, že beran nedosáhne potřebné polohy na ohnutí daného úhlu, zatímco kraje beranu, na které tlačí



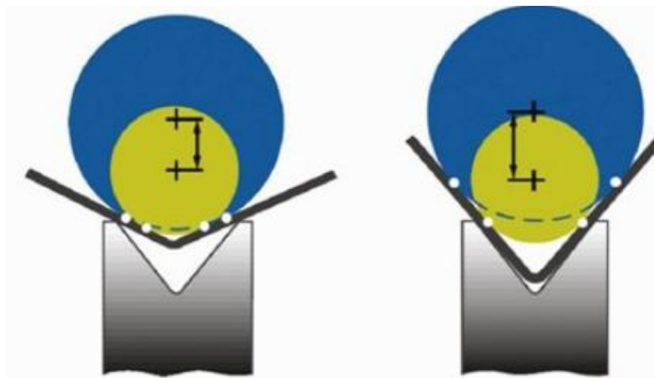
Obr. 56 Znárodnění prohnutí beranu [47]

hydraulické válce, jí dosáhnou bez problému. Prohnutí beranu při ohybu je naznačeno na obr.58 společně s vyznačenou kompenzací. Problém je pak znát u delších ohybů, kde na krajích je úhel přesně, ale ve středu výrobku je nedohnuto. Každý výrobce má svůj typ bombírování, nicméně princip je v podstatě stejný u všech. V pracovním stole lisu jsou umístěny klíny nebo písty, které pomáhají stůl v jeho středu "vyboulit" směrem vzhůru. Tímto procesem se vykompenzují milimetry kterých nedosáhne beran. Princip klínů na bombírung je na obr.59.



Obr. 57 Klínový bombírung [46]

- Odměrování úhlů - je pomocný proces při ohraňování, kdy je vnějšími zařízeními zjištěn úhel ohybu součásti a následně CNC systém vyhodnotí o kolik se má součást více ohnout. Beran se automaticky o tuto potřebnou hodnotu posune níže a součást má přesný úhel. K tomu využívá mechanického nebo laserového měření. Při mechanickém měření jsou vestavěné do nástrojů pomocné senzory. Do razníků se používají dva rozdílně velké dotykové kotouče, jako na obr.60. Při ohýbání materiálu

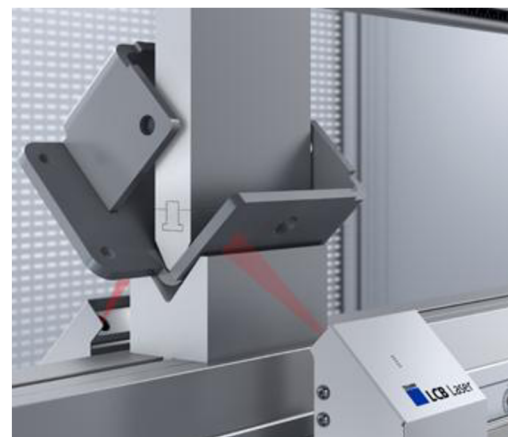


Obr. 59 Mechanické snímání úhlu razníkem [48]



Obr. 58 Mechanické snímání úhlu v matrici [35]

se dotýkají ve čtyřech místech. Kotouče jsou zkalibrovány, aby byla známa jejich výchozí vzdálenost středů. Systém při ohýbání vyhodnocuje změnu vzdálenosti těchto středů kotoučů a dle výsledku přizpůsobuje tlak beranu. Senzory mohou být umístěny také v matrici jako na obr.61, kde je princip měření podobný. Při snímání úhlu laserem jsou čidla s obou stran ohýbaného kusu. V tomto případě se jedná o bezkontaktní měření. Příklad aplikace odměrování laserem je na obr.62. Odměrování laserem je poměrně drahé a je důležité mít toto zařízení náležitě zkalibrované.

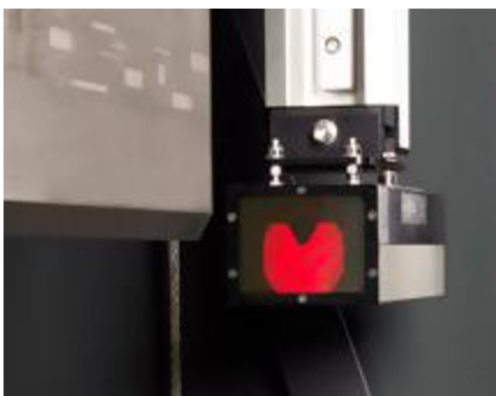


Obr. 60 Snímání úhlu ohybu laserem [50]

- Bezpečnostní lasery - jsou v dnešní době součástí snad každého moderního ohraňovacího lisu. Nejčastěji se užívají dva typy a to světelné závory a bezpečnostní lasery využívající fotoelektrického jevu. Světelné závory se využívají například v prostorách za lisem, pokud není zakrytován, kdy při přerušení této závory dojde k automatickému vypnutí hydrauliky stroje a zastavení provozu. Příklad světelné závory je na obr.63. Bezpečnostní lasery jsou umístěny po stranách beranu a produkují světlo obvykle červené nebo zelené barvy. Světlo dopadá na protější stranu s čidlem. Systémově je nastaven tvar nástrojů, který toto čidlo rozeznává, ale jakmile je světlo zastíněno například prstem, nebo jiným nástrojem ještě před počátkem ohybu, dojde k zastavení beranu aby se zabránilo zranění. Příklad bezpečnostního laseru je na obr.64. Za zmínku vzhledem k bezpečnosti stojí také piktogramy hrozících nebezpečí, kterými musí být označen každý ohraňovací lis. Při ohybu, kdy operátor drží dlouhé rameno materiálu je nutné dbát na zvýšenou rychlost pohybu plechu na konci ramena. Také je důležité držet součásti převážně z boční strany aby nedošlo k přiskřípnutí prstů mezi výrobek a nástroj. Různé piktogramy nebezpečí jsou na obr.65.



Obr. 61 Světelné závory [51]



Obr. 63 Bezpečnostní laser [49]



Obr. 62 Piktogramy nebezpečí [47]

- Ovládací panel - je součástí každého CNC řízeného ohraňovacího lisu. Pomocí těchto panelů operátor programuje, popřípadě vybírá výrobní programy při opakované výrobě. Panely jsou navrženy tak aby se s nimi pracovalo intuitivně a pohodlně. Obvykle jsou vybaveny klávesnicí nebo jsou dotykové a mají "central stop" tlačítko, kdyby došlo k nějakému problému. Příklad dotykového panelu je na obr.66. Pomocí vizualizačních softwarů je možné na těchto panelech zkontrolovat, zda při naprogramovaném ohybu bude docházet ke kolizi s nástroji.

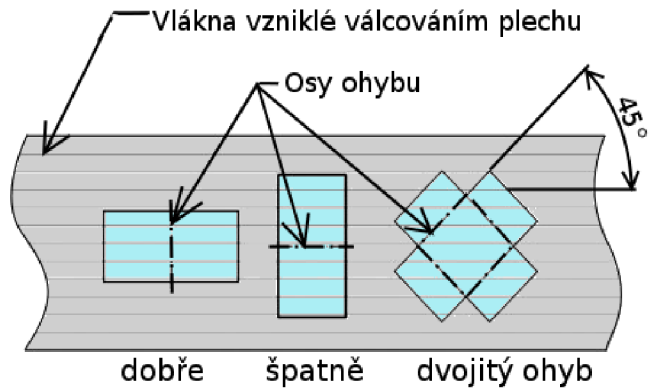


Obr. 64 Ovládací panel [46]

2.10 Technologičnost ohýbání [3], [8], [9], [52], [53]

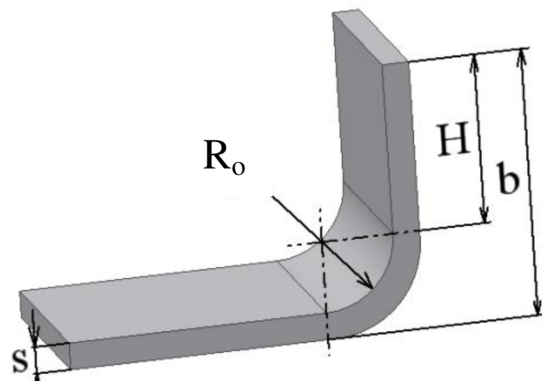
Pro správné kvalitní s přesné ohýbání je nutné brát v úvahu některé technologické zákonitosti. Při ohýbání se musí brát v potaz mnoho parametrů, které do ohýbacího procesu vstupují. Nejvíce je technologičnost ovlivněna konstrukcí výrobku, velikost a tvar ohýbaného dílu, rovnoměrnosti tloušťky plechu, přesností nástrojů, technologickým postupem výroby a především vlastnostmi materiálu z něhož má být výrobek zhotoven.

Příkladem může být umístění výrobku na plech jako na obr.67. Pokud je výrobek jednoduchého tvaru, je žádoucí, aby se umísťoval tak, že osa ohybu bude směřovat kolmo na směr válcování plechu, tedy kolmo na směr vláken. Pokud je součást umístěna rovnoběžně s vlákny je snížena tažnost plechu a vlivem malých ohýbacích poloměrů v závislosti na tloušťce materiálu může docházet ke vzniku trhlin v ohybu. Pokud se součást "krabicového" typu je nejlepší ji umístit na plech pod úhlem 45° vůči směru válcování.



Obr. 65 Umístění výrobku na plech [9]

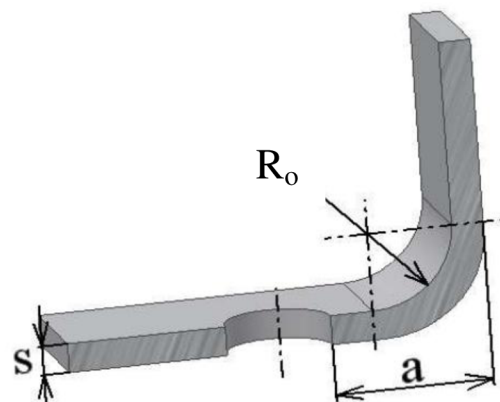
Dalším technologickým parametrem který se musí ověřit je minimální velikost ramena. Schéma délky ramena je na obr.68. Tato vzdálenost je u ohraňovacích lisů volena dle šířky rozevření "w" matrice. K tomuto účelu jsou v každém katalogu nástrojů uvedeny hodnoty "b" pro jednotlivé druhy matic. Příklad této tabulky byl zmíněn již v první kapitole, je od firmy Trumpf a je v příloze č.1 Další možnosti výpočtu tohoto minimálního ramene jsou dle vzorce (1.1).



Obr. 66 Minimální rameno ohybu [9]

Při ohraňování je snahou vyrábět díly s co nejmenším poloměrem ohybu, ovšem takovým, který nepřekročí minimální poloměr ohybu R_{omin} . Pokud by toto nastalo došlo by překročení meze pevnosti materiálu a následnému porušení. Vzhledem k jisté nepřesnosti při dvoubodovém ohýbání na klasických maticích je vhodné u výrobků, které se uzavírají například jako krabice, konstruovat vůli odpovídající asi 10% tloušťky materiálu.

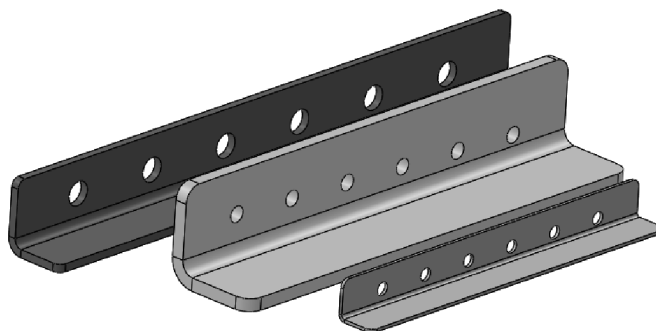
Asi nejdůležitějším faktorem při konstrukci ohýbaných součástí je vyvarování se umístění otvorů a výřezů poblíž hrany ohybu. V těchto místech dochází ke hromadění napětí a příliš blízké otvory jsou následně zdeformovány natažením. Pro výpočet této vzdálenosti se obecně užívá výpočet, kdy tečná vzdálenost otvoru $a \geq R_o + 2 \cdot s$ ovšem to závisí také na velikosti matrice na které je ohýbáno. Obr.69 ukazuje co je míněno touto vzdáleností. Další možností je umísťovat otvory až do vzdálenosti minimálního ramena "b", kde je jistota, že k deformaci nedojde.



Obr. 67 Minimální vzdálenost otvoru [9]

3 NÁVRH EXPERIMENTU [6], [54], [55], [56], [57]

Při ohýbání na ohraňovacích nástrojích dochází k deformaci otvorů tak jak bylo popsáno v 1. kapitole. A je žádoucí vytvoření výzkumu, jak blízko ohybu mohou otvory být aniž by se zdeformovaly, který by mohl být použit v praxi již v počáteční fázi návrhu výrobku. Proto byly navrženy vzorky, pro experiment, který se má pokusit zjistit závislosti této deformace na několika parametrech. Těmito parametry jsou tloušťka materiálu, vzdálenost otvoru od ohybu, velikost otvoru a použitý materiál. Pro experiment byly vytvořeny jednoduché tvary vzorků "V" ohnuté na 90° z různého materiálu a tloušťky. Tvar vzorků je možné vidět na obr.70. Materiály použité pro experiment jsou podrobně rozepsané v kapitole 3.1. Tloušťky plechů volené pro jednotlivé materiály jsou zobrazeny v přehledné tab.6.

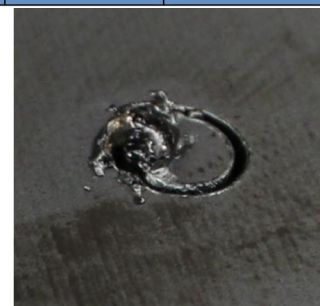


Obr. 68 Tvar vzorků

Tab.6 Tloušťky plechu pro experiment

Tloušťka	s [mm]	2	3	5	6	8
Materiál						
DC01						
AlMg3						
XCrNi18-10						
S235JRG2						

Vzhledem k posouzení technologičnosti výrobků z hlediska dělicí technologie, bylo zajištěno aby výrobky byly na řezném plánu při pálení na CO₂ LASERU uskládány stejným směrem (tj. stejně natočené na řezném plánu). Další konstrukčním prvkem byla tvorba zaoblení aby vypalování probíhalo plynule. Minimální průměr otvoru byl volen 5 mm u materiálu tloušťky 2 a 3 mm a průměr 8 mm u materiálu tloušťky 5, 6 a 8 mm. Tímto bylo zabráněno vypalování otvorů menších než je tloušťka materiálu. V takovém případě by mohlo nastat "zapečení" materiálu jako je na obr.71.



Obr. 69 Zapečení materiálu

Protože je experimentem zjišťována hranice, kdy se otvory započnou deformovat, byly postupně přibližovány k hraně ohybu. Proto vzorek nevyhovuje z hlediska polohy otvorů minimální vzdáleností otvoru počítanou dle $a \geq R_o + 2s$. Protože při experimentu je žádoucí, aby se otvor deformoval, ale vzájemně se neovlivňoval s ostatními otvory, byly konstruovány otvory v dostatečné vzdálenosti od sebe. Vzdálenost středů otvorů je obvykle 3 až 4 krát větší než je průměr otvoru.

Minimální rameno všech vzorků je vždy větší jako rozevření prismy "W", aby došlo ke kvalitnímu ohybu. Po konzultaci s konstruktéry firmy, byly zvoleny matrice pro jednotlivé tloušťky materiálu, jímž odpovídají minimální vzdálenost ramena ohybu "br" uvedené v tab.7.

Tab.7 Volené matrice pro ohyb vzorků [6]

Rozevření matrice	W [mm]	12	20	30	50	60
Tloušťka materiálu	s [mm]	2	3	5	6	8
Minimální rameno ohybu	b _r [mm]	9	15	22,5	37,5	45

3.1 Materiály použité pro experiment

Po konzultaci firmou byly zvoleny následující čtyři materiály, které jsou užívány nejčastěji. Objednávány jsou ve formě tabulí plechu od tloušťky 0,5 mm do 20 mm v závislosti na druhu materiálu.

3.1.1 DC01 [54], [58]

Nelegovaná jakostní hlubokotažná ocel válcovaná za studena, která se používá pro tváření za studena. Je vhodná k žárovému pokovování nebo pokovování ponorem i dalším druhů pokovování. Velké uplatnění nalézá v automobilovém či potravinářském průmyslu díky využití pro lisování, tažení, děrování, hluboké tažení nebo ohýbání. Obvykle lze tento materiál bez větších obtíží sehnat v tloušťkách 1, 2 a 3 mm a to jak ve svitcích, což pomáhá při automatizaci výrobních linek, tak v tabulích plechu o rozměrech až 1700 x 6000 mm. Materiálový list oceli byl dodán firmou a je umístěn v příloze č.4. Další možné ekvivalenty značení oceli jsou v tab.8.

Tab.8 Ekvivalenty označení oceli DC01 dle EN 10027-1 [54]

Číselné označení	Německo (DIN)	Evropské značení (EN)	Česká republika (ČSN)
1.0330	St12	10130	11 321

Dále vhodná ke svařování díky nízkému obsahu uhlíku a její chemické složení popisuje tab.9. Po dohodě může také být dolegována například bórem nebo titanem.

Tab.9 Chemické složení oceli DC01 dle EN 10027-1 [54]

C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]
max 0,12	-	max 0,60	max 0,045	max 0,045

Ocel má jemnozrnnou a velmi homogenní strukturu s malými rozdíly mechanických vlastností ve své ploše. Mechanické vlastnosti této oceli jsou uvedeny v tab.10.

Tab.10 Mechanické vlastnosti oceli DC01 dle EN 10027-1 [54], [58]

Vlastnost	Jednotka	Hodnota
Pevnost v tahu R _m	MPa	270 - 410
Mez kluzu R _{p0,2}	MPa	max 280
Tažnost A ₈₀	%	28
Tvrdość dle Vickerse	HV	max 105

3.1.2 S235JRG2 [57], [59]

Nelegovaná konstrukční ocel válcovaná za tepla, velmi vhodná k pevnějším svařovaným konstrukcím díky dobré svařitelnosti. Její použití se uplatňuje při stavbě mostů, hal, jeřábů, méně namáhaných strojních dílů a nosných konstrukcí strojů. Ocel není vhodná k tepelnému zpracování s výjimkou normalizačního žihání. Tloušťky plechů se obvykle pohybují od 3 do 20 mm, ale je možné sehnat polotovary tloušťky až 200 mm. Materiálový list oceli byl dodán firmou a je umístěn v příloze č. 5. Další možné ekvivalenty značení oceli jsou uvedené v tab.11.

Tab.11 Ekvivalenty označení oceli S235JRG2 dle EN 10027-1 [57], [59]

Číselné označení	Německo (DIN)	Evropské značení (EN)	Česká republika (ČSN)
1.0038	RSt 37-2	S235JRG2	11 375

Jak již bylo zmíněno výše ocel je vhodná k tavnému svařování, ovšem s rostoucí tloušťkou výrobků a tím rostoucím uhlíkovým ekvivalentem, roste riziko vzniku trhlin za studena. Pro oceli s $t > 40$ mm je obsah C = max 0,23 %. Podrobnější chemické složení oceli obsahuje tab.12.

Tab.12 Chemické složení oceli S235JRG2 dle EN 10027-1 [57]

C [%]	N [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]
max 0,19	max 0,011	max 1,50	max 0,055	max 0,055

Jak napovídá značení oceli dle EN 10027-1 je mez kluzu oceli $R_e = 235$ MPa. Vlastnosti oceli se mění převážně s její tloušťkou. Základní mechanické vlastnosti oceli pro $t \leq 16$ mm jsou uvedeny v tab.13.

Tab.13 Mechanické vlastnosti oceli S235JRG2 dle EN 10027-1 [57]

Vlastnost	Jednotka	Hodnota
Pevnost v tahu R_m	MPa	340 - 470
Mez kluzu $R_{p0,2}$	MPa	235
Tažnost A_5 podél	%	min 26
Tažnost A_5 napříč	%	min 24
Nárazová práce KV při 20°C	J	27

3.1.3 X5CrNi18-10 [56], [60], [61]

Korozivzdorná austenitická chrom-niklová ocel, se zaručenou svařitelností, ovšem náchylná k mezikrystalické korozi v oblasti tepelného ovlivnění. Pokud je průvar nad 5 mm tloušťky je nutné takovou konstrukci žíhat na snížení vnitřního pnutí a následně tryskat a mořit. Její zpracování je možné stříháním, ohýbáním nebo tažením pro její poměrně vysokou tažnost. Ocel je vhodná pro chemické nádoby, včetně těch tlakových. Další užití je například v potravinářském či farmaceutickém průmyslu. Je možné ji používat všude tam, kde je požadována vysoká čistota produktu. Tloušťky plechů se pohybují od 0,3 do 8 mm, ale je možné sehnat polotovary tloušťky až 100 mm. Rozměry plechu mohou být až 1500 x 6000 mm a jsou válcovány buď za tepla nebo častěji za studena. Materiálový list oceli byl dodán firmou a je umístěn v příloze č.6. Ekvivalentní označení oceli jsou v tab.14.

Tab.14 Ekvivalenty označení oceli X5CrNi18-10 dle EN 10027-1 [56], [59], [61]

Číselné označení	Německo (DIN)	USA (AISI)	Česká republika (ČSN)
1.4301	X5CrNi18-10	304	17 240

Chemické složení oceli vyhovuje normám pro použití výrobků pro potraviny a pitnou vodu. Podrobnější chemické složení oceli obsahuje tab.15.

Tab.15 Chemické složení oceli X5CrNi18-10 dle EN 10027-1 [56]

C [%]	Mn [%]	Si [%]	Cr [%]	Ni [%]	P [%]	S [%]
max 0,07	max 2,00	max 1,00	17,00-20,00	9,00-11,5	max 0,045	max 0,030

Jak již bylo zmíněno výše, ocel má velmi dobrou tažnost. Ta se ovšem snižuje společně s vrubovou houževnatostí KCU 3 (tyčinka s vrubem tvaru U a hloubkou vrubu 3 mm) při rostoucí tloušťce materiálu. Základní mechanické vlastnosti oceli pro $t \leq 60$ mm jsou uvedeny v tab.16.

Tab.16 Mechanické vlastnosti oceli X5CrNi18 - 10 dle EN 10027-1 [56]

Vlastnost	Jednotka	Hodnota
Pevnost v tahu R _m	MPa	490 - 685
Mez kluzu R _{p0,2}	MPa	min 185
Tažnost A ₅	%	min 50
Vrubová houževnatost KCU 3	J · cm ⁻²	196

3.1.4 AlMg3 [55], [62]

Tvářená slitina hliníku využitelná pro všeobecné použití. Její předností je vysoká odolnost proti korozi na vzduchu, ale i v mořské vodě nebo slabých alkalických roztocích. Materiál má dobrou tepelnou a elektrickou vodivost. Je dobře obrobitelný a velmi dobře svařitelný všemi běžnými technologiemi jako je TIG, MIG nebo odporové svařování. Použití slitiny je v potravinářském, chemické i leteckém průmyslu pro vnitřní i vnější viditelné středně zatěžované konstrukce. Materiálový list oceli byl dodán firmou a je umístěn v příloze č.7. Ekvivalentní označení slitiny AlMg3 dle ČSN 42 4413 jsou v tab.17.

Tab.17 Ekvivalenty označení slitiny AlMg3 dle ČSN 42 4413 [55], [62]

Číselné označení	Německo (DIN)	USA (ASTM)	Česká republika (ČSN)
3.3535	AlMg3	A95454	42 4413

Podrobnější chemické složení slitiny obsahuje tab.18.

Tab.18 Chemické složení slitiny AlMg3 dle ČSN 42 4413 [55]

Mg	Mn	Si	Fe	Ti	Zn	Cu	Cr	Fe + Si	Al
[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	
2,5 - 4,0	0,05-0,4	max 0,5	max 0,4	max 0,2	max 0,2	max 0,1	max 0,05	max 0,06	zbytek

Tato slitina má několik typů ve kterým je možné ji dodávat a každý typ má jiné mechanické vlastnosti. U slitiny jenž používá firma se jedna o slitinu AlMg3 polotvrdou s označením H22. Dalšími typy slitiny jsou tvrdý a mekký typ. Pro mekký typ, který se pohybuje v rozmezí t = 0,2 - 10,0 mm jsou v následující tab.19 uvedeny základní mechanické vlastnosti slitiny.

Tab. 19 Mechanické vlastnosti slitiny AlMg3 dle ČSN 42 4413 [55], [63]

Vlastnost	Jednotka	Hodnota
Pevnost v tahu R _m	MPa	220 -270
Mez kluzu R _{p0,2}	MPa	min 80
Tažnost A ₅	%	min 11
Tvrdoost dle Brinella	HB	45 - 60

3.2 Návrh vzorků

Aby bylo možné zhodnotit veškeré parametry mající vliv na deformaci, bylo nutné zhotovit řadu vzorků. Pro jednotlivé tloušťky materiálu (viz tab.6), jsou navrženy vždy čtyři vzorky s kruhovými otvory. Tyto otvory jsou umístěny na vzorku tak, že se postupně mění jejich vzdálenost od hrany ohybu. Otvory pro materiály stejné tloušťky jsou stejného

průměru a na stejné vzdálenosti, aby bylo možné je následně zhodnotit a porovnat. Vzhledem k těmto návrhům je v nakonec dosaženo nutnosti vyrobit 44 potřebných vzorků.

3.2.1 Počáteční návrh vzorků

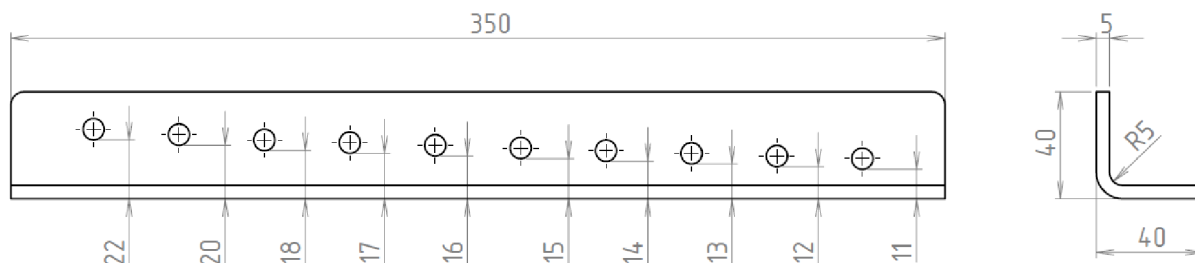
V počáteční fázi je vytvořeno několik vzorků s daným průměry otvorů z levnějšího materiálu DC01 (tl. 2 a 3 mm) a S235JRG2 (tl.5 mm) . Na těchto vzorcích jsou umístěny otvory jejichž okraj je ve vzdálenosti větší jako je rozevření matrice "W" pro danou tloušťku. Tímto systémem se zjistilo, že například několik prvních otvorů není vůbec deformováno a některé otvory jsou deformovány příliš. Tato prvotní fáze návrhu vzorků je vytvořena z důvodu úspory materiálu při konstrukci vzorků z dražších materiálu jako je korozivzdorná ocel nebo hliníková slitina. Otvory u kterých je jasné, že k deformaci nedošlo nebo jsou deformovány příliš, se při následující konstrukci již vynechali a konstrukce byla směřována odhadem na oblast počáteční deformace otvoru.

Obr.72 ukazuje ohnutý vzorek z materiálu S235JGR2 a tloušťky 5 mm a průměrem otvoru 8 mm s polohou děr, které byly v následující konstrukci vynechány. Číselné označení na obrázku označuje tečnou vzdálenost otvoru od vnější hrany ohybu.



Obr. 70 Nezdeformované otvory počátečním návrhu

Čtyři nejvzdálenější otvory byly následně vynechány a do další konstrukce se zahrnul otvor na vzdálenosti 16 mm, aby bylo docíleno kontroly, že na tomto otvoru nedochází k deformaci. Stejným systémem posouzení se postupovalo také u ostatních průměrů otvorů a tloušťek materiálu. Na obr.73 je zobrazen obecný tvar vzorků z počáteční fáze a jeden výkres toho vzorku z počáteční fáze je ve výkresové dokumentaci diplomové práce, další výkresy pro tuto počáteční fázi nejsou zahrnuty ani do přílohové části. Podrobně jsou zpracovány až výkresy pro finální fázi vzorků, které jsou blíže rozebrány v kapitole 3.2.4.



Obr. 71 Množství otvorů v počátečním návrhu

Následně se díky informacím získaných z počáteční fáze experimentu může přejít ke konstrukci jednotlivých vzorků pro Experiment. Vzhledem k vysokému počtu jednotlivých vzorků (44ks) jsou zpracovány pouze ukázkové případy při výpočtu následujících parametrů.

3.2.2 Finální návrh vzorků

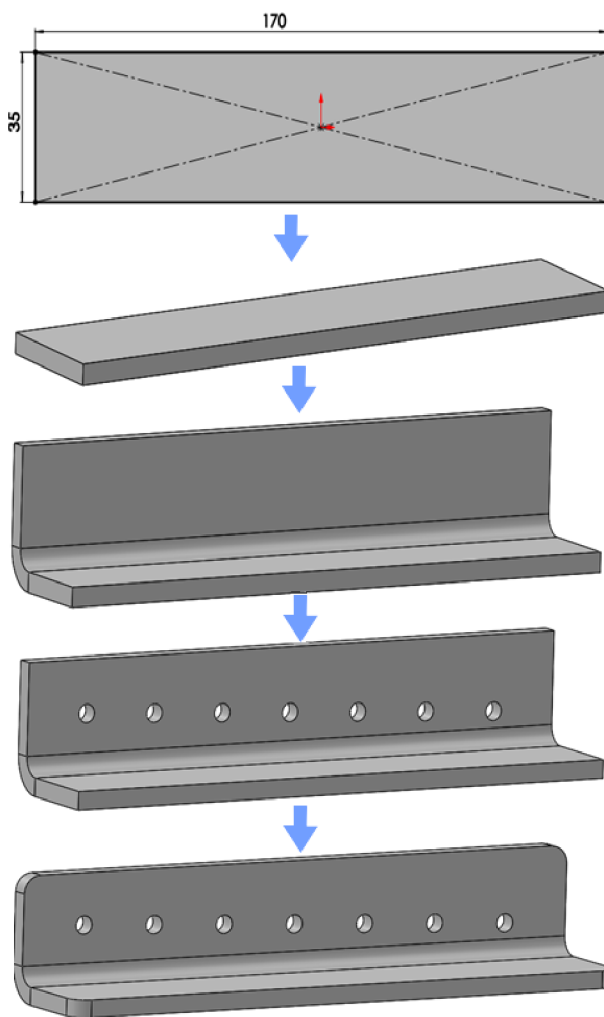
Dle výsledků z prvního návrhu, které v práci nejsou podrobně rozebírány z důvodu rozsahových omezení, byl s následujícími parametry vytvořen finální návrh vzorků.

Pro každý materiál a tloušťku byly stanoveny vždy čtyři vzorky, které obsahovali kruhové otvory. Počet otvorů ve vzorku se stanovil na 6 až 7 a ty se postupně přibližují k hraně ohybu až do oblasti, kde je již předpoklad velké deformace. V jednom vzorku jsou otvory vždy stejného průměru, aby bylo možné zhodnotit zda má na deformaci vliv i průměr otvoru v porovnání. Pro materiály tloušťky $s \leq 5$ mm byly stanoveny průměry otvorů na 5, 8, 10 a 15mm a pro tloušťky $s \geq 6$ mm byly voleny otvory 8, 10, 15 a 20 mm. Příklad pojmenování vzorků je jejich průměrů je v tab.20. Celkový seznam vzorků je v příloze č.8.

Tab.20 Příklad návrhu vzorků pro materiál S235JRG2

Materiál	s	Název výkresu	Průměr otvoru [do]	Číslo výkresu
	[mm]	[-]	[mm]	[-]
S235JRG2	5	VZOREK 1	5	C_TL5_W30_PR5
		VZOREK 2	8	C_TL5_W30_PR8
		VZOREK 3	10	C_TL5_W30_PR10
		VZOREK 4	15	C_TL5_W30_PR15

Pro 3D návrh a zpracování výkresové dokumentace byl použit program SolidWorks 2017. Postup při konstrukci VZORKU 1 ukazuje obr.74. Nejprve je nakreslena základní skica s rozměry 170 x 35 mm. Dále je tento náčrt převeden na plechový díl a je mu přiřazena tloušťka $s = 5$ mm. Z této vzniklé základny se zkonstruuje rameno ohybu o velikosti 35 mm a je vytvořen vnitřní rádius s rozměrem $R_o = 5$ mm, protože program nastavuje vnitřní poloměry dle tloušťky materiálu. Následuje konstrukce sedmi otvorů průměru $d_o = 5$ mm, které se z tečné vzdálenosti od ohybu 18 mm po 1 mm přibližují k hraně ohybu až na vzdálenost nejbližšího otvoru 12 mm. Jako poslední konstrukční úprava jsou vnější hrany zaobleny na $R = 5$ mm, aby byl proces řezání laserem plynulý. Modelu se nastaví materiál, ze kterého bude vyroben, tedy S235JRG2 a je vytvořena výkresová dokumentace. Dále se vytvoří .DXF soubor, pomocí kterého následně programátoři laseru vytvoří rezný plán pro výrobek. Pro označení vzorků se na horní straně během vypalování vzorků vytvoří gravír s číslem výkresu patřící k danému vzorku (např. C-TL5-W30-PR5)



Obr. 72 Postup konstrukce vzorků

Vzhledem k tomu, že konstrukce ostatních vzorků byla stejná a geometrie některých vzorků je totožná (liší se pouze v gravíru dílu a přiřazeném materiálu), bude ve výkresové dokumentaci pouze několik ukázkových výkresů (včetně výkresu VZORKU 1), jelikož je počet výkresů 44ks. Zbylé výkresy budou v pdf. formátu umístěny do přílohy elektronické formy.

3.2.3 Minimální a maximální poloměr ohybu

Pro určení nástrojů pro ohýbání a ověření zda, u daného materiálu nedojde při ohybu k poškození je nutné spočítat minimální a maximální poloměr ohybu. Minimální poloměr vychází z faktu, že když je překročena tato hodnota může začít docházet na vnější straně

ohybu k trhlinám. Výpočet se provede pro ocel $s = 3$ mm dle vzorce (2.12) z kapitoly 2.4. Hodnota součinitele pro měkkou ocel je volena z tab.4 jako $c_{\min} = 0,5$.

$$R_{\min} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_{\max}} - 1 \right) = c_{\min} \cdot s = 0,5 \cdot 3 = \mathbf{1,5 \text{ mm}}$$

Vzhledem k hodnotě R_{\min} by bylo vhodné volit razník s poloměrem špičky $R_{o2} = 2$ mm. Bohužel daná firma tento razník nemá, a proto je pro ohyb zvolen razník s $R_{o1} = 1$ mm s doporučením kontroly každého vzorku po ohybu. Výsledky minimálních ohybů a volby poloměrů zaoblení razníků pro ostatní materiály a tloušťky jsou uvedeny v tab.21a a tab.21b.

Tab.21a Minimální poloměry ohybu

Materiál	Tloušťka	s = 5 mm	s = 6 mm	s = 8 mm	R_{o4} [mm]
	c min [-]	R_{\min} [mm]	R_{\min} [mm]	R_{\min} [mm]	
XCrNi18-10	0,5	2,5	/	/	4
AlMg3	0,35	1,75	/	/	4
S235JRG2	0,5	2,5	3	4	4

Tab.21b Minimální poloměry ohybu

Materiál	Tloušťka	s = 2 mm	s = 3 mm	R_{o1} [mm]
	c min [-]	R_{\min} [mm]	R_{\min} [mm]	
XCrNi18-10	0,5	1	1,5	1
AlMg3	0,35	0,7	1,05	1
DC01	0,5	1	1,5	1

Z tabulek je patrné že pro materiály tloušťky $s \geq 5$ mm jsou voleny razníky s poloměrem zaoblení špičky $R_{o4} = 4$ mm a pro tloušťky $s \leq 3$ mm razníky s $R_{o1} = 1$ mm.

Maximální poloměr ohybu je poloměr, při kterém by se při ohýbání materiál vrátil do původního stavu protože by nebyla překročena mez kluzu materiálu. Pro výpočet maximálního poloměru je zvolen materiál DC01, s tloušťkou $s = 2$ mm, aby bylo zjištěno jaký je nejmenší maximální poloměr. Mez kluzu tohoto materiálu je určena z tabulky 10 jako $\sigma_k = 280$ MPa a modul pružnosti pro běžné ocelové materiály je volen jako $E = 2,1 \cdot 10^5$ MPa. Výpočet se provede dle rovnice (2.13):

$$R_{\max} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{\sigma_k} - 1 \right) = \frac{2}{2} \cdot \left(\frac{2,1 \cdot 10^5}{280} - 1 \right) = \mathbf{749 \text{ mm}}$$

3.2.4 Výpočet maximální ohybové síly

Maximální ohybová síla je nutná k návrhu, jaký ohraňovací lis je pro ohyb potřeba zvolit. Když by byl vzorek ohýbán na lisu, který tuto sílu nedokáže vykonat, k ohnutí by nedošlo. Pro výpočet maximální ohybové síly dle vztahu (2.14) má nejvyšší váhu tloušťka materiálu. Proto je pro tento výpočet zvolen nejdelší kus z finálního návrhu vzorků, tedy "Vzorek 44" s délkou $b = 515$ mm, dále má tloušťku 8mm, mez kluzu oceli je volena dle tabulky 13 jako $Re = 235$ MPa a ohybník pro ohyb této tloušťky je volen z tabulky 21a jako $R_{o4} = 4$ mm.

$$F_v = \frac{b \cdot s^2 \cdot Re}{2 \cdot R_{o4}} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{515 \cdot 8^2 \cdot 235}{2 \cdot 4} \cdot \operatorname{tg} \frac{90}{2} = 968 \, 200 \text{ N} = \mathbf{968,2 \text{ kN}}$$

Tento výsledek nám říká že pro ohnutí toho nejtlustšího kusu je zapotřebí, aby lis dokázal vytvořit sílu téměř 97t na 0,515 m délky.

3.2.5 Výpočet rozvinu

Jak je zmíněno v kapitole 2.2 o stanovení výchozího polotovaru, je potřeba si nejprve určit poloměr zaoblení špičky nástroje, kterým bude vzorek ohýbán. Obecně se při ohýbání

dodržuje pravidlo, kdy by se měl vnitřní poloměr ohybu, tedy poloměr razníku R_o , rovnat tloušťce ohýbaného materiálu. Vzhledem k tomu, že daná firma nedisponuje poloměry razníku pro všechny zkoumané tloušťky, volba poloměru zaoblení razníků R_o byla provedena dle výpočtu v kapitole 3.2.3 a určena v tabulce 21a a 21b s komentářem pod nimi. Tedy $R_{o1} = 1 \text{ mm}$ a $R_{o4} = 4 \text{ mm}$.

U ohraňování vzorků pro experiment se jedná o ohyb s co nejmenšími poloměry a převážně o ohýbání širokých pásů plechu kdy platí $b \geq 3 \cdot s$. Při výpočtu rozměrů rozvinutého vzorku je nutné nejprve spočítat poloměr neutrální osy ρ dle vztahu (2.3). Pro příklad je proveden výpočet rozvinutého tvaru VZORKU 1, jehož konstrukce byla vysvětlena v kapitole 3.2.2. Pro tento vzorek se použije zaoblení razníku R_{o4} , vzorek je tloušťky $s = 5 \text{ mm}$ a součinitel posunu neutrální osy "x" je volen z tabulky 2 dle poměru $\frac{R_{o4}}{s} = \frac{4}{5} = 0,8$ jako $x = 0,41$. poloměr neutrální osy se nyní spočítá následovně:

$$\rho = R_{o4} + x \cdot s = 4 + 0,41 \cdot 5 = \mathbf{6,05 \text{ mm}}$$

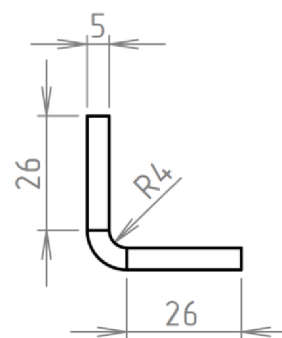
Následně je dle vztahu (2.4) spočtena délka ohnutého oblouku, všechny vzorky jsou ohýbány na $\alpha = 90^\circ$ tedy úhel ohnutého oblouku bude $\gamma = 180 - \alpha = 180 - 90 = 90^\circ$:

$$l_o = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot \rho = \frac{\pi \cdot 90}{180} \cdot 6,05 = \mathbf{9,5 \text{ mm}}$$

Celková délka rozvinu se následně spočítá součtem všech přímých a ohnutých částí dle vzorce (2.5). Rozměry VZORKU 1 jsou na obr.75.

$$L_c = \sum_{i=1}^n l_i + \sum_{j=1}^n l_{oj} = l_1 + l_2 + l_o = 26 + 26 + 9,5 = \mathbf{61,5 \text{ mm}}$$

Tuto vypočítanou délku rozvinu můžeme porovnat s délkou rozvinu spočítanou, dle know-how firmy, kdy se do programu SoulidWorks 2017 při konstrukci zadá plechu hodnota "zkrácení" pro určitý úhel a materiál. S touto hodnotou poté program vypočítal na $L_{CPr} = \mathbf{61,2 \text{ mm}}$. Je vidět že hodnota se liší pouze o 0,3 mm a v hodnotě "zkrácení" zadávané do programu je uvažován také materiál výrobku, takže byl pro výpočet rozvinu vzorků zvolen výpočet podle programu.



Obr. 73 Rozměry VZOREK 1

3.3 Zařízení pro experiment

Aby bylo možné experiment provést, je nutné si definovat jaké stroje, zařízení a měřidla budou při pokusu použity.

3.3.1 Volba Strojů [64], [65]

Pro řezání výrobku byl použit CO2 LASER Bystronic ByAutonom 3015, který je ve firmě nový a zajišťuje veškeré potřeby pro vypálení vzorků pro experiment svým výkonem 4,4 kW. Laser je na obr.76.



Obr. 74 Laser Bystronic ByAutonom 3015 [64]

Společnost Technologické centrum a.s. vlastní několik ohraňovacích lisů. Dle výpočtu v kapitole 3.2.4 je nutné zvolit lis, který zvládne ohnout nejtlustší navržené vzorky z materiálu $s = 8$ mm. Tedy lis co překoná sílu $F_v = 968,2$ kN. Pro tento účel byl zvolen Ohraňovací lis Trumpf TruBend 5170 zobrazený na obr.77, jehož síla až 1 700kN (170t) hravě dostačuje pro tyto potřeby. Další parametry tohoto stroje jsou v tab.22.



Obr. 75 Ohraňovací lis Trumpf TruBend 5170 [65]

Tab.22 Technické parametry Trumpf Trubend 5170 [65]

Parametr	Jednotka	Velikost
Lisovací síla	kN	1 700
Maximální délka ohýbaných dílů	mm	3 050
Maximální tloušťka ohýbaných dílů	mm	12
Maximální vzdálenost stůl - beran	mm	735
Zdvih	mm	445
Maximální pracovní rychlost	mm.s ⁻¹	25
Rychloposuv beranu	mm.s ⁻¹	220
Délka x Šířka x Výška	mm	3 980 x 1 900 x 3 000

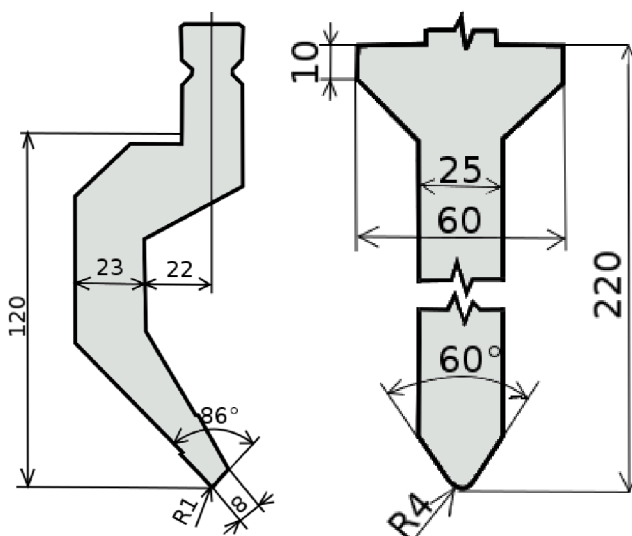
Firma disponuje i dalšími ohraňovacími lisy a ty jsou uvedeny v tab.23.

Tab.23 Seznam ohraňovacích lisů společnosti technologické centrum [65]

Označení stroje	Lisovací síla	Max délka ohybu
	[kN]	[mm]
Ursviken OptiFlex 320t	3 200	3100
Bystronic Expert 150	1 500	3050
Trumpf TruBend 5170	1 700	3050
Trumpf TruBend 5050	500	1250

3.3.2 Použité nástroje [6]

K přesnému ohnutí vzorků byly zvoleny nástroje od firmy Trumpf. Všechny nástroje jsou z kvalitní chrom-molybdenové oceli 42 Cr Mo 4 a jejich funkční části jsou kaleny laserem na tvrdost 60 - 62 HRC. To zajišťuje nástrojům dlouhou životnost a neměnnou geometrii během používání. Volba nástrojů probíhala ve dvou fázích, kdy byly zvoleny jako horní nástroj pouze dva razníky dle poloměru zaoblení zvoleného v kap.3.2.3, ale pro 5 použitých tloušťek materiálu muselo být vybráno 5 matic. Volba matic byla zkontrolována s pracovníky firmy, které matrice se využívají nejčastěji a na které tloušťky, proto aby výsledky experimentu mohli být použity při konstrukci dílů ohýbaných na těchto maticích.



Obr. 77 Razník Trumpf OW200/K [6]

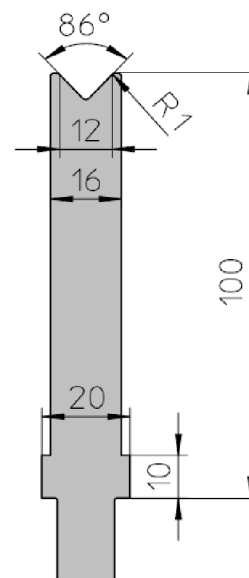
Obr. 76 Razník Trumpf OW203/S [6]

Jako horní nástroj s poloměrem $R_{o1} = 1\text{mm}$ byl zvolen razník označovaný OW200/K. Základní rozměry toto razníku jsou uvedeny na obr.78. Razník je konstruovaný pro výrobu dílců tvaru "U" a větší možnost maximálního zatížení a to 800 kN/m, než u jiných typů razníků s poloměrem R1. Tento razník je použit na ohnutí vzorků s tloušťkou $s \leq 3\text{ mm}$ a lze s ním provádět ohyby do maximálního úhlu 86° . Razník s poloměrem zaoblení špičky $R_{o4} = 4\text{ mm}$ se základními rozměry je na obr.79. Označuje se jako OW203/S a lze s ním provádět ohyby až do úhlu 60° . Tento razník vydrží maximální zatížení 1 300kN/m, takže i z hlediska vypočítané síly v kap.3.2.4 kdy $F_v = 968,2\text{ kN}$ nedojde k překročení této hodnoty. Při experimentu bude použit pro ohyb vzorků s tloušťkou $s \geq 5\text{ mm}$.

Při volbě matic se postupovalo dle doporučení konstruktérů, kdy volba rozšíření matic odpovídá zhruba 6ti násobku tloušťky materiálu nebo více. Pro ukázkou je na obr.80 zobrazena matrice s označením EV023/S 86° od firmy Trumpf. Všechny použité matrice jsou v příloze č.9. Tato matrice je použita pro ohyb vzorků tloušťky s 2 mm a je možné na ní provádět ohyby do úhlu až 86° . Vzhledem k velkému počtu použití matic je vytvořena tab.24, ve které jsou některé základní charakteristické parametry zvolených matic.

Tab.24 Parametry použitých matic [6]

Označení matrice	Pro tloušťku	Rozšíření	Poloměr zaoblení hrany dutiny	Max. úhel ohybu	Max. zatížení	Min. rameno ohybu
	s [mm]	W [mm]	R[mm]	$\alpha[^\circ]$	F [kN/m]	b [mm]
EV023/S 86°	2	12	1	86	400	8,2
EV W20/84°	3	20	2	84	700	14,5
EV027 86°	5	30	3	86	750	21,3
EV W50/80°	6	50	5	80	1 500	37,5
EV W60/80°	8	60	5	80	1 500	45

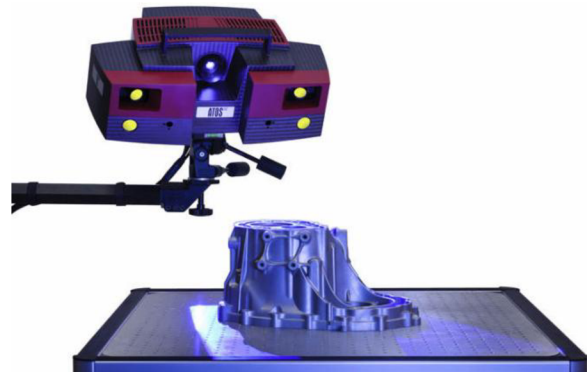


Obr. 78 Matrice Trumpf EV023/S 86° [6]

3.3.3 Možnosti měření a použitá měřidla [66], [67], [68]

Aby bylo možné vytvořit výstup z experimentu, je nutné zvolit metody měření oválné deformace otvoru a následně stanovit jakými měřidly se bude experiment vyhodnocovat. Mezi základní metody měření připadají v úvahu tyto:

- Skenování (ATOS) - je moderní metoda, díky které je pomocí promítání modrého světla a snímání dvou kamer možné naskenovat součást. Této technologie se využívá převážně v reverzním inženýrství, kdy se součást naskenuje a poté se v post-procesingu zpracuje na model typu "solid". Při měření tímto zařízením je možné dosáhnout přesnosti okolo $\pm 0,02$ mm od reálného vzhledu součásti. Skenování je proces rychlý, ale následující postprocessing velice zdoluhavý. Proto vzhledem k množství vzorků a časové náročnosti není tato metoda vhodná pro měření v experimentu.



Obr. 79 Skenování pomocí ATOS Triple scan [66]

- FaroArm - je zařízení propojené s počítačem, které pomáhá přesně měřit součásti a odchylky od tvaru modelu, který je vložen do softwaru. Ramena mohou měřit s přesností až 0,019 mm a pro přenos signálu mohou být vybaveny rozhraním Bluetooth. Velkou výhodou je dotyková sonda zařízení, která je obvykle tvaru kuličky a je možnost měnit typy sond dle potřeby za jiné. Při práci se operátor dotkne měřené plochy, stiskne tlačítko pro zaznamenání polohy ramena a pokračuje k dalšímu bodu měření. V softwaru se následně tvoří tyto nasnímané body a je možné vygenerovat protokol, který vyhodnotí zda se výrobek udržel v nastavených tolerancích, či ne. Výhodou použití pro měření deformovaných otvorů by byla velká přesnost a možnost měření deformace otvoru uvnitř ohybu. Ovšem nevýhodou je nutnost mít zpracované a nainportované modely do měřicího softwaru a časová náročnost vyhodnocení.



Obr. 80 FaroArm [67]

- Posuvné měřidlo - je základní měřící vybavení užívané ve strojírenské praxi. Hlavní rozdělení je na mechanická a digitální. Přesnost měření pomocí digitálních posuvných měřidel se pohybuje v toleranci $\pm 0,01$ mm. Práce s nimi je jednoduchá, intuitivní a je možné měřit jak vnější tak vnitřní rozměry. Vzhledem k určitým vülím mezi posuvnou částí a pevnou je vhodné, aby měření prováděl jeden člověk, který navíc přibližně zachovává stejnou přítlačnou sílu při měření a minimalizují se tímto chyby v měření. Pro potřeby experimentu bylo zvoleno toto měřidlo.



Obr. 81 Digitální posuvné měřidlo

Pro potřeby experimentu bylo zvoleno měření pomocí digitálního posuvného měřidla délky 300 mm, které má platnou kalibraci do 3/2020. Dalším používaným měřidlem byl mechanický univerzální úhloměr s lupou jako na obr.84 s kalibrací do 3/2020. Tímto měřidlem byl kontrolován úhel ohybu. Úhloměr je po obvodu rozdělen na 4 x 90° a obsahuje noniusovou stupnici, kterou se měří úhel s přesností 5 úhlových minut. Pro ověření, že byl ohyb proveden na potřebných 90° byl v některých případech použit dílenský úhelník.



Obr. 82 Univerzální úhloměr

3.4 Průběh experimentu

Pomocí zkonstruovaných vzorků v programu SolidWorks 2017 byly vytvořené 2D rozviny ve formátu DXF. Tyto soubory byly předány programátorům řezných plánů pro vypalování na CO2 laseru. Následně byly vzorky pro experiment vypáleny na CO2 laseru a mohlo se přistoupit k ohraňování.

Postup ohraňování je znázorněn na následujících obrázcích a je popisován pro výrobu



Obr. 85 Příprava nástrojů



Obr. 84 Založení a dorazená vzorku

vzorku s názvem "VZOREK 40". Nejdříve proběhla příprava nástrojů, což je vidět na obr.85. Pro ohyb byly zvoleny nástroje OW203/S a EV W50/80°, sestavené v délce 600 mm. Nástroje byly nasunuty do upínací lišty a pracovního stolu a upnuty hydraulickým spináním. Následně byl zpracován program na ohýbání přes ovládací panel. Dále byl umístěn na matrici vzorek gravírem nahoru a otvory dovnitř, jako na obr.86. Součást se dorazila na dorazy a byl sešlápnut pedál. Beran lisu přijel rychloposuvem do bezpečné vzdálenosti nad výrobek a následně byl pracovním posuvem proveden ohyb, který je vidět z boční strany na obr.87. Následoval zdvih beranu (obr.88) a vyjmutí vzorku pro kontrolní měření. To bylo nejdříve provedeno univerzálním úhloměrem a následně zkontrolováno za účelem věrohodnosti dílenským úhelníkem, což je vidět na obr.89.



Obr. 83 Ohyb vzorku

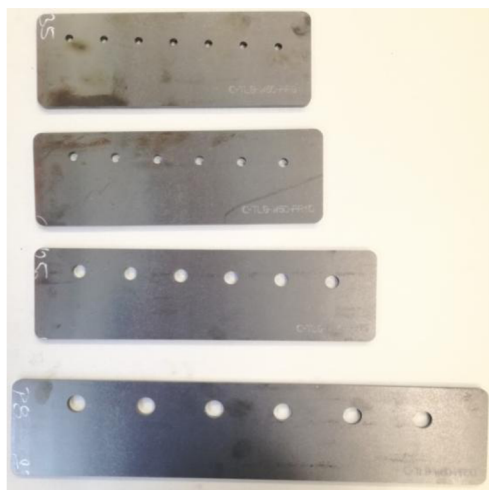


Obr. 86 Razník v poloze po ohybu



Obr. 87 Ověření 90° úhelníkem

Pro ukázkou jsou na obr.90 jsou vzorky $s = 8$ mm (VZOREK 41 - VZOREK 44) před ohybem a na obr.91 po ohybu.

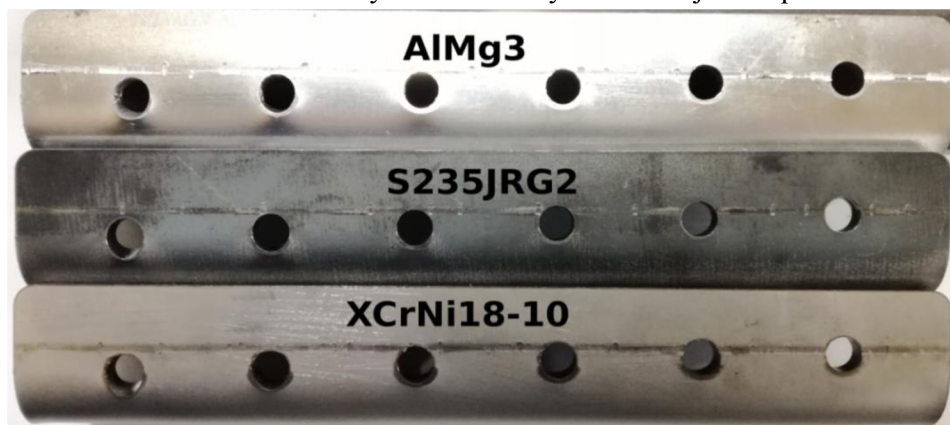


Obr. 88 Vzorky před ohybem

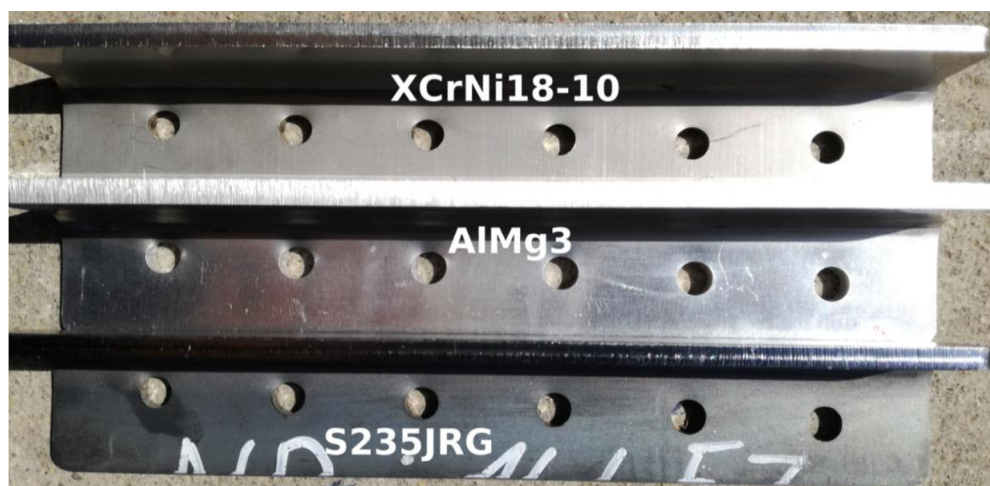


Obr. 89 Vzorky po ohybu

Po ohybu všech 44ks vzorků probíhalo měření deformace otvorů v závislosti na odstupu od hrany ohybu. Tyto měření jsou blíže rozebrány v kapitole 3.6. Na obr.92 je porovnání ohnutých vzorků z materiálu $s = 5$ mm z vnější strany a na obr.93 jsou tyto vzorky zobrazeny ze strany vnitřní. Některé další obrázky deformovaných otvorů jsou v příloze č.10.



Obr. 90 Vzorky z tloušťky 5mm - vnější strana po ohybu



Obr. 91 Vzorky tloušťky 5mm - vnitřní strana po ohybu

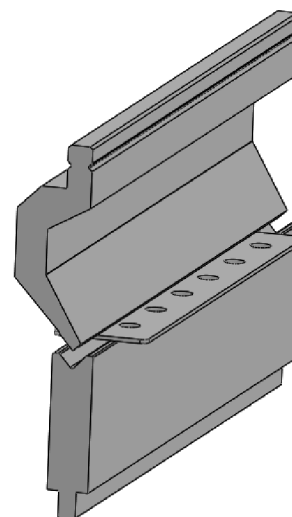
3.5 Simulace deformace

Aby bylo možné experimenty provádět mnohem levněji, než vzorky vypalovat, ohýbat a tak dále, byla provedena simulace tohoto procesu. Výsledky této simulace budou následně zhodnoceny a využity k porovnání se skutečnými naměřenými hodnotami.

Pro simulaci byly vybrány celkem čtyři vzorky, jeden z každého materiálu a pro simulaci byl určen program ANSYS. Dále byl vytvořen model sestavy pro každý vzorek jako na obr.94 a na reálných kusech změřena hloubka průniku razníku (viz kap.2.6, obr.32). Seznam použitých vzorků, jejich tloušťek a hloubka průniku razníku je v tab.25.

Tab.25 Seznam použitých vzorků na simulaci

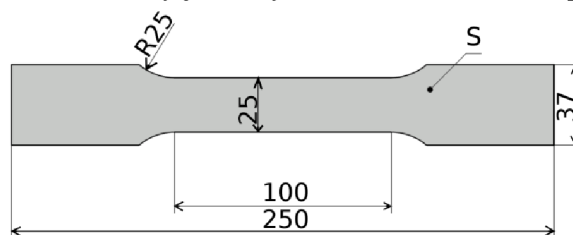
Název vzorku	Materiál	Tloušťka	Hloubka průniku razníku
		s [mm]	h_p [mm]
VZOREK 4	S235JRG2	5	12,111
VZOREK 8	DC01	3	8,207
VZOREK 24	XCrNi18-10	3	8,069
VZOREK 28	AlMg3	3	8,802



Obr. 92 Model sestavy pro simulaci

3.4.1 Tahová zkouška materiálů [69]

Pro co největší věrohodnost zpracování pomocí simulace, byla provedena zkouška tvárných vlastností a to tahová zkouška. Tím se získá základní představa o materiálových vlastnostech materiálu. Na provedení zkoušky byly vytvořeny tahové vzorky dle geometrie jako je na obr.95 a výkres vzorku, který je ve výkresové dokumentaci práce.

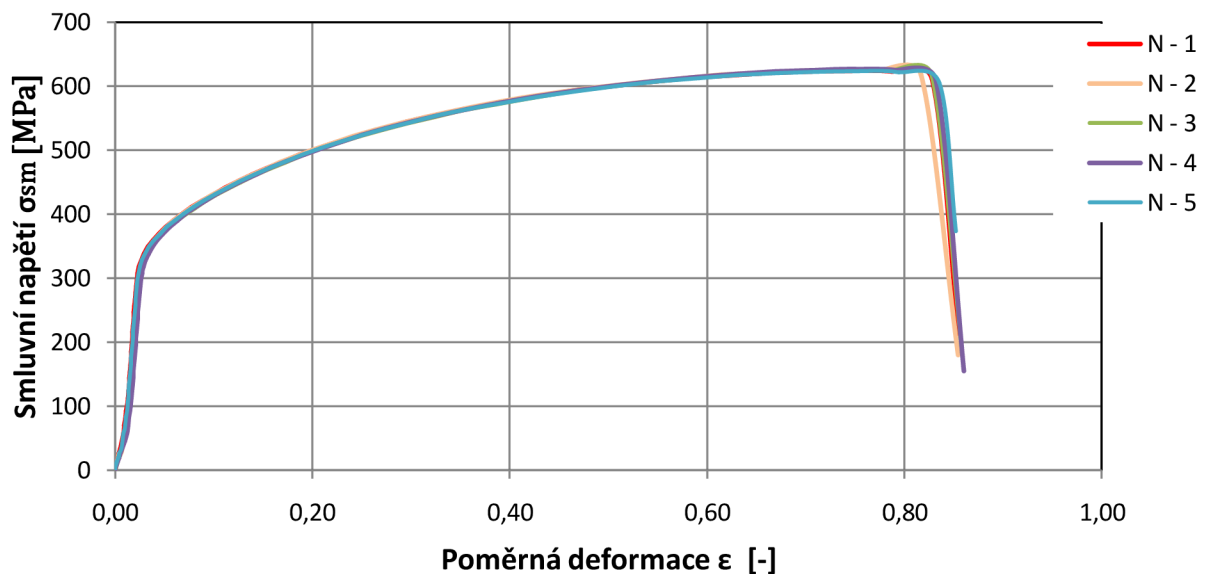


Obr. 93 Geometrie vzorku na tahovou zkoušku [69]

Vzorky byly zpracovány z jednotlivých materiálů použitých pro experiment. Pro materiál S235JRG2 byla použita tloušťka materiálu $s = 6$ mm a pro ostatní byla použita tloušťka $s = 3$ mm. Pro zohlednění tvárných vlastností, byly vzorky umístěny na plech ve směru válcování (tyto vzorky mají v popisku názvu "I") a kolmo na směr válcování (ty jsou popsány zkratkou bez "I"). Vzorky byly vyhotoveny vždy v počtu 5ks z jednoho materiálu pro jeden směr. Materiálová anizotropie nebyla pro posouzení základních mechanických vlastností uvažována, tedy na plech nebyly umístěny vzorky pod úhlem 45° . Na jednotlivé vzorky byl vynesena úsek délky 80 mm, pomocí kterého se následně vyhodnocovala tažnost materiálu A_{80} [%]. Tahová zkouška se prováděla na Trhacím hydraulickým zkušebním stroji ZD40/400kN, jehož bližší popis je v příloze č.11.

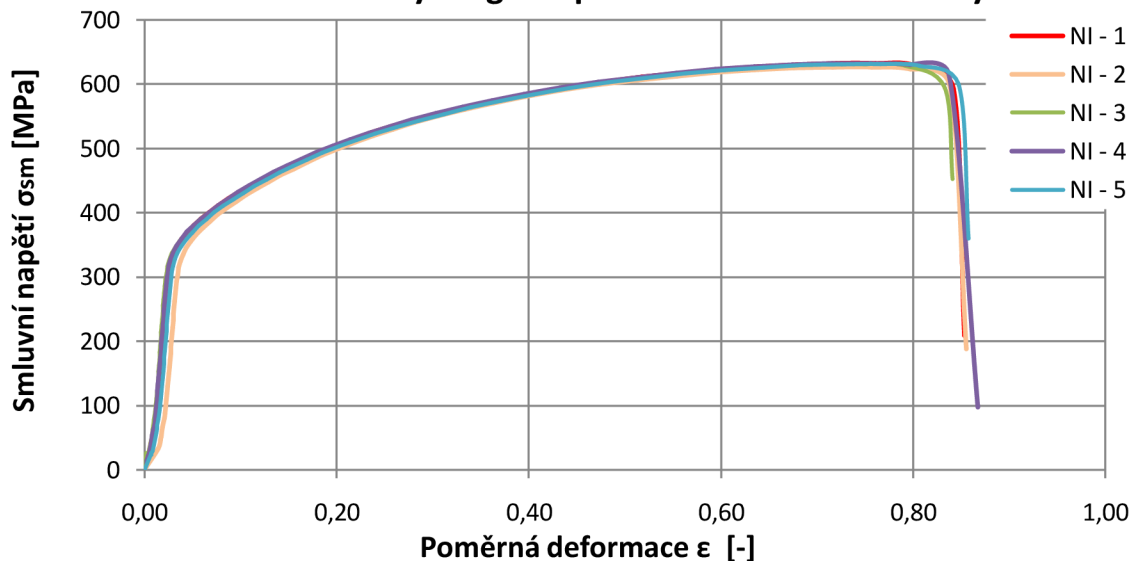
Ukázka smluvního tahového diagramu pro korozivzdornou ocel XCrNi18-10, kde byly vzorky umístěny kolmo na vlákna materiálu (tedy kolmo na směr válcování) je na obr.96 a diagram pro vzorky umístěné rovnoběžně s vlákny je na obr.97.

Smluvní tahový diagram pro XCrNi18-10 - kolmo na vlákna



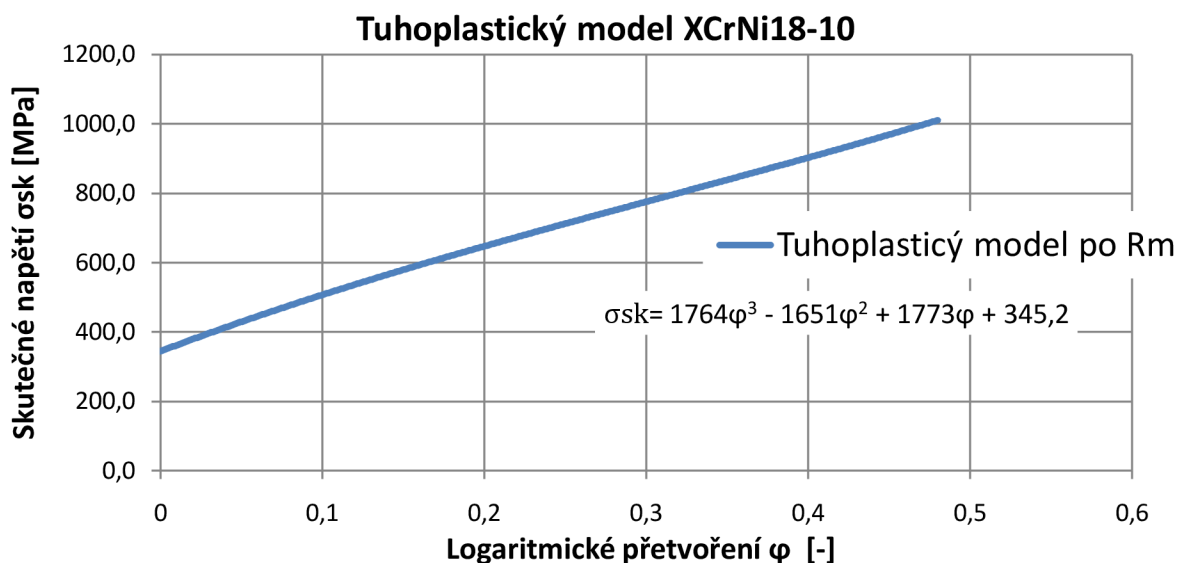
Obr. 94 Smluvní tahový diagram pro korozivzdornou oce XCrNi18-10 - kolmo na vlákna

Smluvní tahový diagram pro XCrNi18-10 - II s vlákny



Obr. 95 Smluvní tahový diagram pro korozivzdornou oce XCrNi18-10 - rovnoběžně s vlákny

Následně byly pro simulaci zpracované tuhoplastické modely jednotlivých materiálů, které byly výsledkem zprůměrování skutečného napětí σ_{sk} [MPa] v závislosti na logaritmickém přetvoření φ [-] ze všech 10ti vzorků pro jeden materiál. Výsledný graf pro materiál XCrNi18-10 je na obr.98.

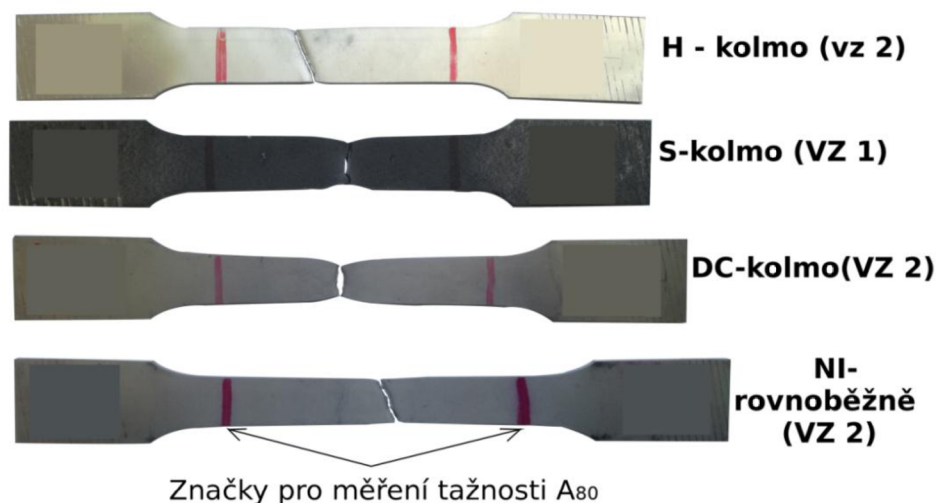


Obr. 96 Tuhoplastický model pro materiál XCrNi18-10

Výsledné smluvní diagramy a tuhoplastické modely zbylých materiálů jsou uvedeny v elektronických přílohách práce. Průměrné hodnoty vyhodnocené pro jednotlivé materiály jsou v následující tabulce 26 a obr.99 ukazuje vzorky z jednotlivých materiálů po provedení tahové zkoušky.

Tab.26 Vyhodnocené parametry jednotlivých materiálů

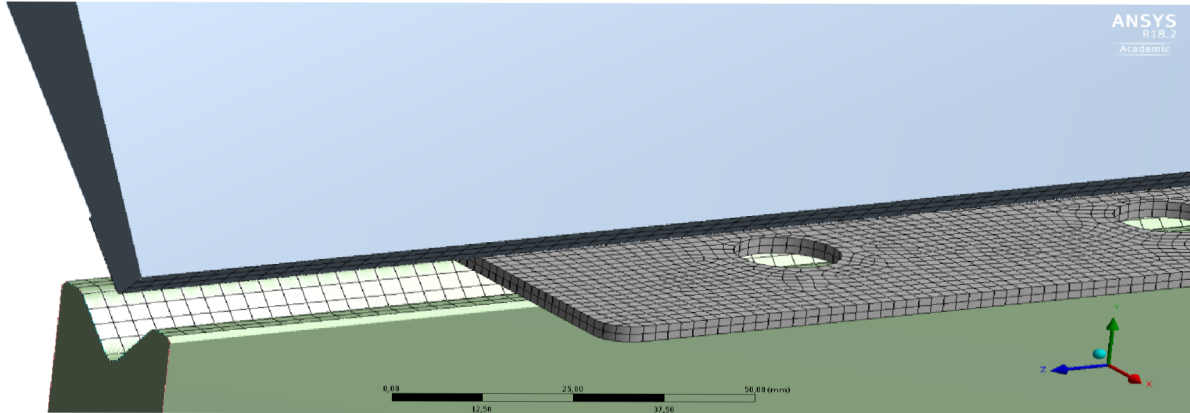
Materiál	Mez kluzu $R_{p0,2}$	Mez pevnosti R_m	Tažnost A
	[MPa]	[MPa]	[%]
DC01	204,9	322,9	44,8
XCrNi18-10	332,9	623,0	56,6
AlMg3	136,2	227,0	20,7
S235JRG2	430,9	513,8	32,2



Obr. 97 Ukázka vzorků po provedení tahové zkoušky

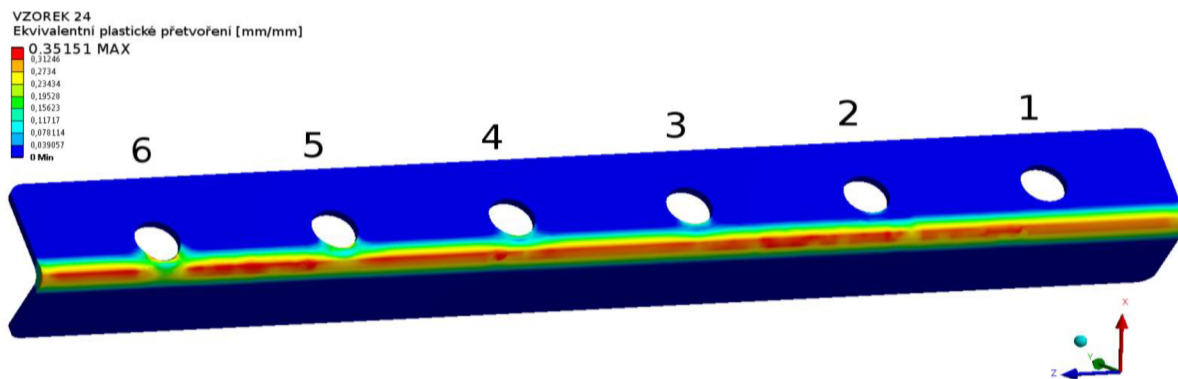
3.4.2 Simulace

Po kompletaci materiálového modelu byla zpracována simulace v programu ANSYS. Následující vyhodnocení simulace je pro VZOREK 24. Pro simulaci byly použité parametry z materiálového modelu a hloubka průniku razníku při ohybu. Simulace byla prováděna pro pomalou rychlost tváření spadající do kvazistatických parametrů lisování. Ovšem parametry, které nebylo možné přesně určit např. tření mezi materiálem a nástroji, byly stanoveny odhadem. Materiálu byla přiřazena síť pro výpočet o velikosti hrany 0,5·s. Detail sítě před započítím simulace je vidět na obr.100.

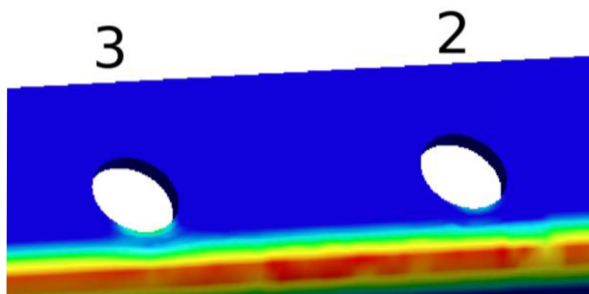


Obr. 98 Vzhled sítě na vzorku před simulovaným ohybem

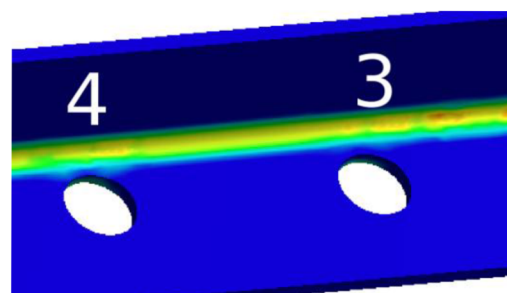
Po simulaci trvající asi 4 hodiny byl vygenerován následující obr.101, zobrazující barevně ekvivalentní plastické přetvoření při pohledu na díl z vnější strany. Z obrázku je patrné, že deformace otvoru probíhá na straně blíže k hraně ohybu. K patrné deformaci dochází již u otvoru č.3 (viz detail obr.102) a ta se postupně zvětšuje se snižující vzdáleností otvoru od hrany. Dále bylo zjištěno, že z vnější strany ohybu nastává deformace otvoru dříve jako ze strany vnitřní. Detail na obr.103 ukazuje, že deformace z vnitřní strany nastává až u otvoru č.4.



Obr. 99 Simulace ohybu dílu VZOREK 24



Obr. 101 Detail otvorů 2 a 3 z vnější strany



Obr. 100 Detail otvorů 3 a 4 z vnitřní strany

Pro porovnání se simulací je na obr.104 fotka skutečného ohnutého dílu "VZOREK 24" s třemi nejvíce zdeformovanými otvory při pohledu z vnější strany.



Obr. 102 Tři nejvíce deformované otvory ve skutečném Vzorku 24

Další obrázky ze simulací pro ostatní materiály jsou v příloze č.12.

3.6 Výsledky experimentu

Po naohýbání všech vzorků potřebných pro experiment se stanovili některé parametry pro následné vyhodnocování:

- Po konzultaci s konstruktéry firmy byly stanoveny tolerance, které vyhovují například vložení šroubu či kolíku při obvyklé přesnosti "m" dle ČSN ISO 2768-1. Tato hodnota byla stanovena na $\pm 0,1$ mm pro tloušťky plechu $s \leq 3$ mm a $\pm 0,2$ mm pro $s \geq 5$ mm.
- Počet měření jednoho otvoru v jednom směru byl stanoven na počet 5, aby se vyloučila chyba měření a tyto hodnoty byly následně zprůměrovány.
- Pro měření bylo stanoveno digitální posuvné měřidlo s přesností 0,01 mm.
- Vzhledem ke zjištění ze simulace i skutečnosti, že otvor se deformuje dříve na vnější straně, kde působí tahové napětí, budou prováděna měření pouze pro vnější stranu otvoru (s výjimkou tloušťky $s = 2$ mm). Také kvůli špatné dostupnosti z vnitřní strany při měření posuvným měřidlem
- Měření bude probíhat ve dvou osách, a to v ose otvoru kolmo na ohyb, kde se deformace projevuje nejvíce (osa y), měření je zobrazeno na obr.105 a ose rovnoběžné s ohybem (osa x).
- Na jednom vzorku bylo provedeno vždy 60 měření a na některých i více. Vzhledem k rozsahu měření čítajícím více jak 2600 měření, budou v práci uvedeny pouze ukázkové tabulky a grafy a ostatní bude umístěno do elektronických příloh práce.



Obr. 103 Měření osy y

3.6.1 Tabulky a grafy z měření

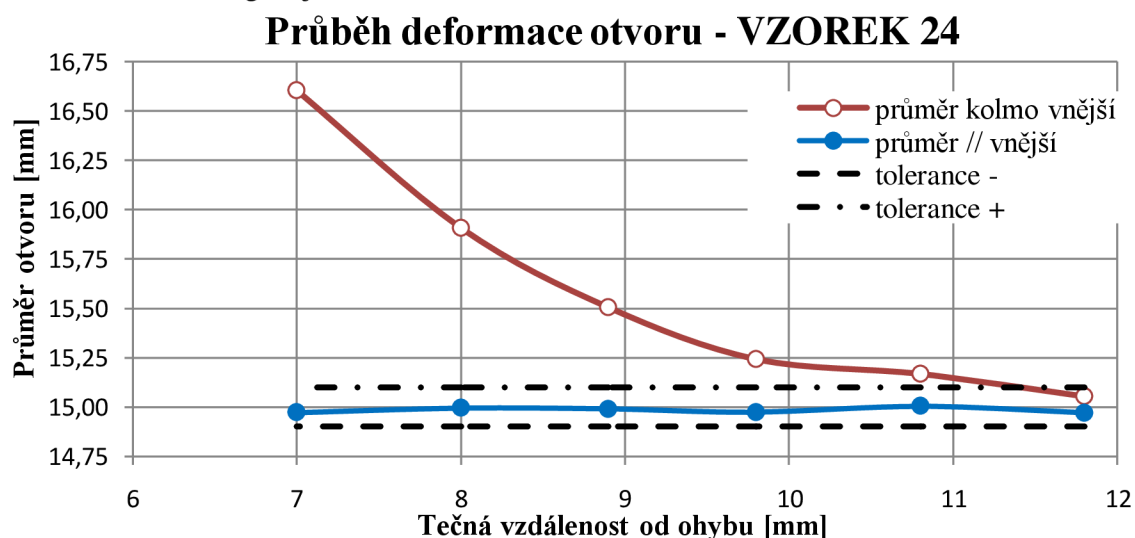
Vzhledem k velkému počtu zkoumaných vzorků, zde bude rozebrán pouze díl VZOREK 24 (výkres N_TL3_W20_PR15). Zkrácené tabulky a grafy pro některé další vzorky jsou v příloze č.13 a kompletní tabulky se všemi měřeními a grafy jsou v elektronických přílohách práce. V tab.27 jsou zobrazeny všechna měření pro tento vzorek.

Tab.27 Měření pro VZOREK 24

vzorek 24						
hodnoty jsou udávány v milimetrech						
Průměr otvoru "d"	15,00					
Tečná vzdálenost od ohybu	11,8	10,8	9,8	8,9	8	7
Vnější rozměr kolmo na ohyb (osa y)	15,09	15,19	15,24	15,55	15,94	16,53
	15,05	15,17	15,24	15,45	15,97	16,58
	15,01	15,13	15,18	15,50	15,94	16,62
	15,06	15,16	15,27	15,50	15,88	16,64
	15,06	15,18	15,28	15,52	15,80	16,65
Průměrná hodnota	15,05	15,17	15,24	15,50	15,91	16,60
Vnější rozměr rovnoběžný na ohyb (osa x)	14,92	15,02	14,93	14,99	15,00	14,98
	14,97	15,04	14,98	14,98	14,98	14,97
	14,95	14,97	14,98	14,93	14,98	14,98
	15,03	14,98	14,97	15,00	15,01	14,96
	14,98	15,01	15,01	15,05	15,00	14,97
Průměrná hodnota	14,97	15,00	14,97	14,99	14,99	14,97
tolerance -	14,90	14,90	14,90	14,90	14,90	14,90
tolerance +	15,10	15,10	15,10	15,10	15,10	15,10

Tečná vzdálenost byla pro účely vytvoření přesných grafů korigována dle délky ramena nad měřeným otvorem. Tzn. že délka ramena nad otvorem nebyl 40,00 mm, ale 39,80 mm. Otvor měl tedy tečnou hranu k ohybu blíže o 0,2 mm. Dále je možné z tabulky vidět, že měření v ose x je na všech polohách otvoru vždy v uvedené toleranci (proto zelená barva). U rozměru v ose y dochází již k překročení tolerance na vzdálenosti 10,8 mm (oranžová barva), a je brána jako hraniční mez, díky které budou vytvořeny finální grafy. Otvory blíže k ohybu jsou již za hranicí definované tolerance (červená barva).

Dále byl z těchto hodnot vytvořen graf, ukazující závislost polohy otvoru na velikosti jeho deformace. Tento graf je na obr.106.

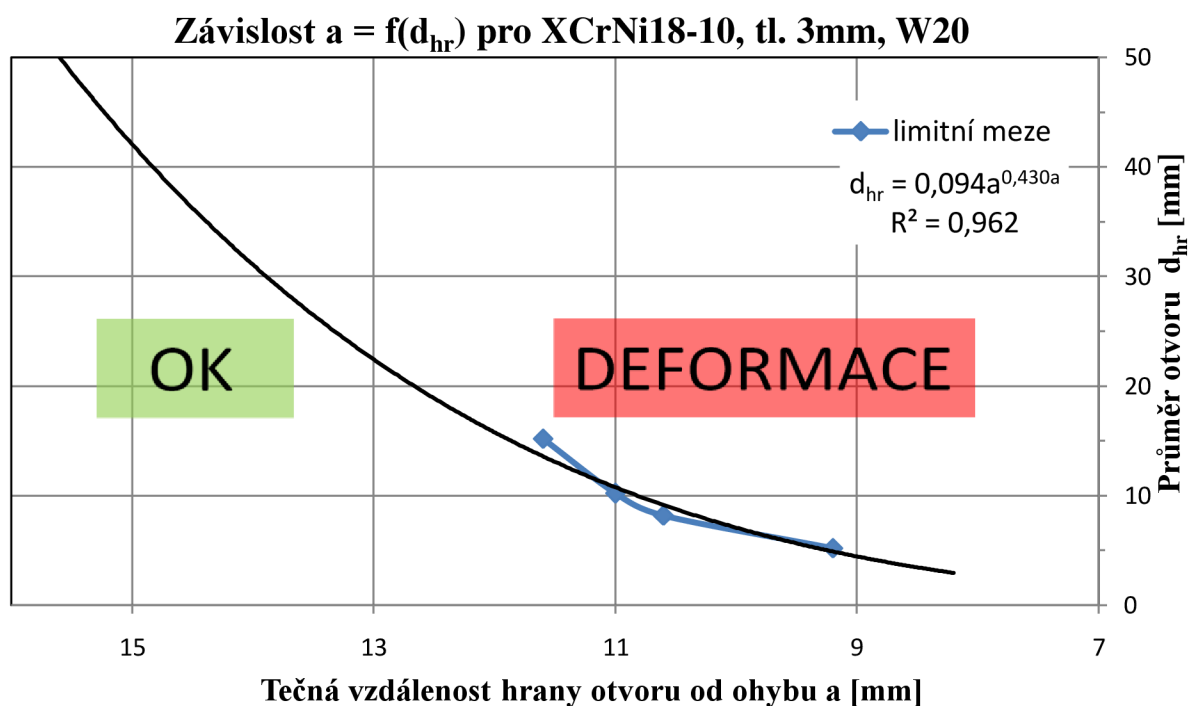


Obr. 104 Graf průměru otvoru v závislosti na jeho poloze

Tímto systémem byl vždy pro čtyři vzorky s různými průměry otvorů, ale stejného materiálu a tloušťky vytvořeny čtyři grafy, ze kterých se odhadla hraniční mez, kdy je otvor těsně před opuštěním tolerance, nebo na ní. Tyto hraniční hodnoty a průměry jsou zobrazeny v tab.28 a následně je z nich vytvořen finální graf na obr.107.

Tab.28 Krajní meze deformace otvorů

Tečná vzdálenost hrany otvoru od ohybu a [mm]	9,2	10,6	11	11,6
Hraniční průměr otvoru d_{hr} [mm]	5,2	8,20	10,20	15,20



Obr. 105 Finální graf pro materiál XCrNi18-10 z tl.3

Křivka z hraničních hodnot byla základem pro extrapolování pomocí mocninné funkce, čímž vznikly dvě oblasti v grafu. Oblast pod křivkou je oblast, ve které by teoreticky mělo docházet pouze k deformacím menším jako je dovolená tolerance. Oblast nad křivkou je oblast, kdy otvor o daném průměru a na dané tečné vzdálenosti bude již zdeformován příliš. Tento graf lze s poměrně dobře využít v praxi, jelikož v sobě zahrnuje všechny čtyři parametry ovlivňující velikost deformace otvoru a to materiál, tloušťku daného materiálu polohu otvoru od ohybu průměr otvoru. Při obvyklém výpočtu $0,75 \cdot W20 = 15 \text{ mm}$, by jako limitní oblast bez deformace otvorů byla brána vzdálenost 15mm. Ovšem z gradu je patrné, že v závislosti na průměru otvoru je možné je akceptovat blíže.

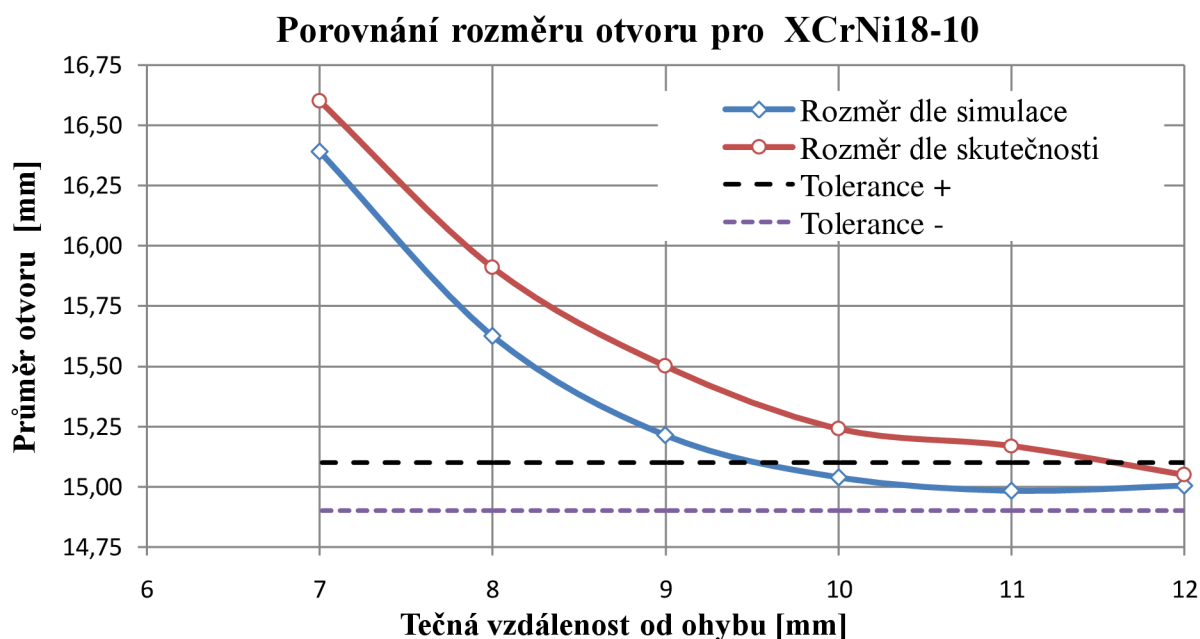
3.6.2 Porovnání experimentu se simulací

Po vyhodnocení všech vzorků je možné porovnat výsledky se simulací. V porovnání výsledků se opět použije pro příklad VZOREK 24 a grafy porovnávající zbylé simulované vzorky jsou v příloze č.14. Kompletní výsledky simulací jsou v elektronické příloze práce. V tab.29 jsou hodnoty rozměrů otvorů v ose x a y spočítané simulací a skutečně naměřené.

Tab.29 Hodnoty pro VZOREK 24 spočítané simulací a skutečně naměřené

VZOREK 24						
SIMULACE						
Průměr otvoru "d" [mm]	15,00					
Tečná vzdálenost od ohybu "a" [mm]	12	11	10	9	8	7
Rozměr v ose y [mm]	15,00	14,98	15,04	15,21	15,63	16,39
Rozměr v ose x [mm]	15,00	15,00	15,00	14,99	14,97	14,97
SKUTEČNOST						
Rozměr v ose y [mm]	15,05	15,17	15,24	15,50	15,91	16,60
Rozměr v ose x [mm]	14,97	15,00	14,97	14,99	14,97	14,97
Tolerance +	15,10	15,10	15,10	15,10	15,10	15,10
Tolerance -	14,90	14,90	14,90	14,90	14,90	14,90

Vzhledem ke skutečnosti, že rozměry v ose x jsou v toleranci, nejsou zahrnuty do grafu na obr.108, který zobrazuje rozdíl v deformaci mezi simulací a naměřenými hodnotami. Stejně tak pro následující grafy jsou vždy použity jen rozměry v ose y.

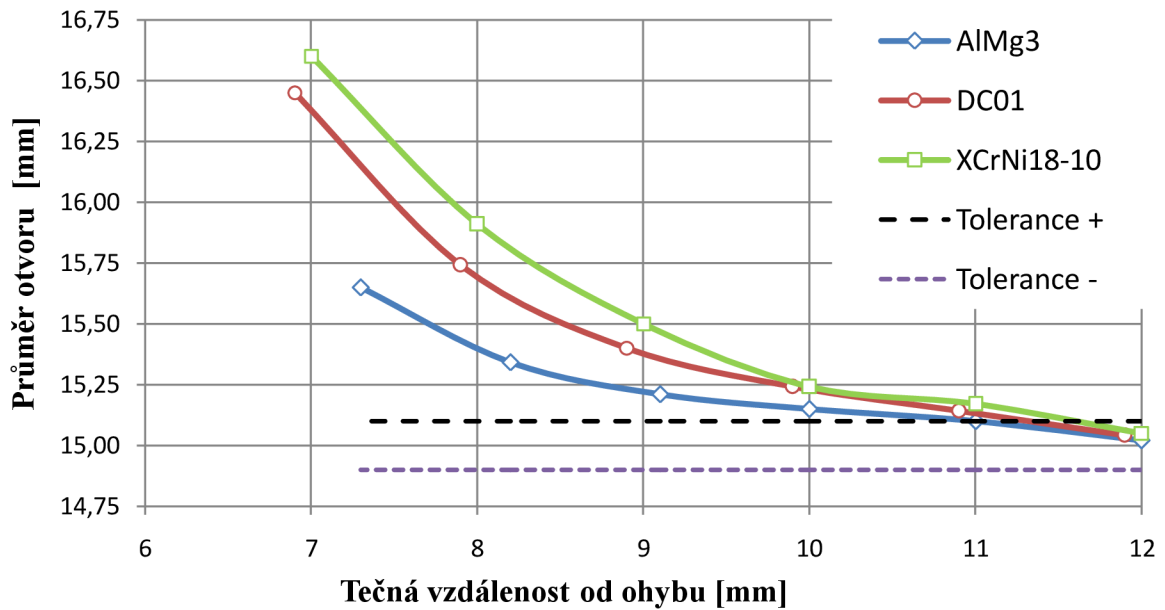


Obr. 106 Porovnání rozměrů otvorů dle simulace a skutečnosti

Z grafu a tabulky je patrné, že simulace provádí alespoň pro tento materiál křivku "hladší" jako reálné měření a že hodnoty deformace na posledním otvoru se liší o 0,2 mm. Nicméně rozdíl mezi vzdáleností, kdy se začne otvor deformovat více jako je dovolená tolerance, je zhruba 2 mm. Toto je poměrně velká odchylka od skutečnosti a kdybychom chtěli simulovat experiment pro jiné otvory nebo tloušťky materiálu, bylo by nutné s touto odchylkou počítat a zohlednit ji ve výsledcích.

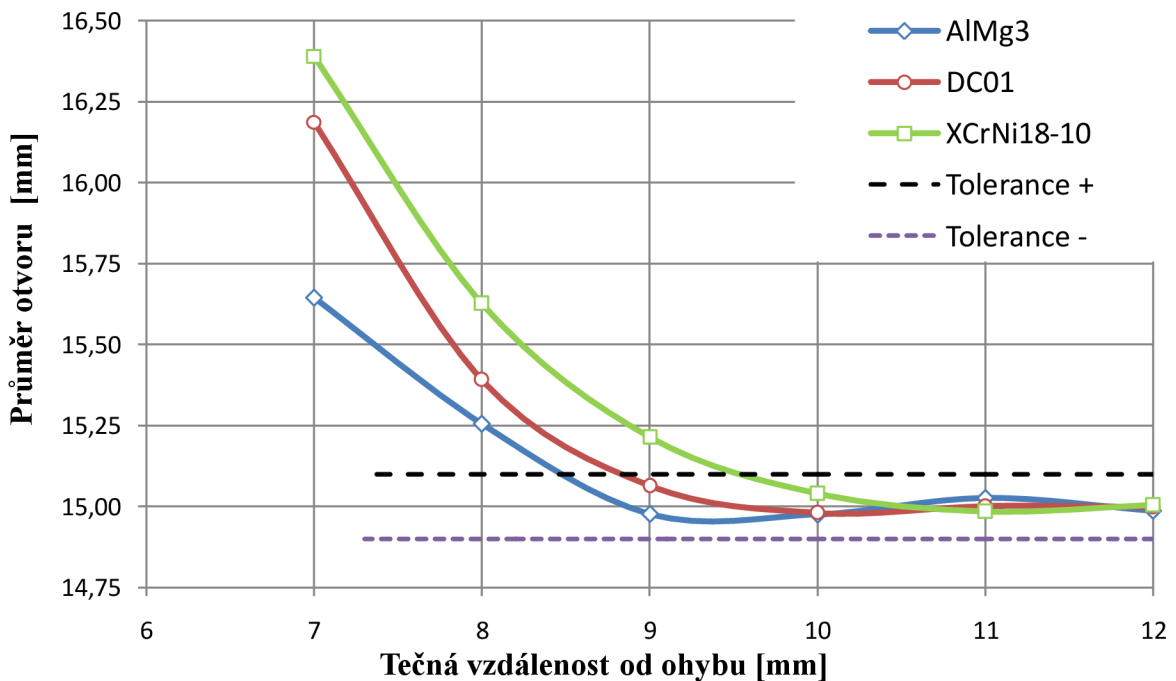
Z hodnot získaných simulací a hodnot skutečných bylo vytvořeno ještě několik porovnávacích grafů. Na obr.109 je graf zobrazující skutečné chování materiálů s tloušťkou $s = 3$ mm a otvorem $d = 15$ mm a na obr.110 s chováním dle simulace. Poslední obr.111 zobrazuje skutečnou deformaci otvoru průměru $d = 15$ mm z různých tloušťek materiálu S235JRG2.

Porovnání deformace dle materiálů - Skutečnost



Obr. 107 Skutečné rozměry otvorů pr.15 mm u různých materiálu tl.3 mm

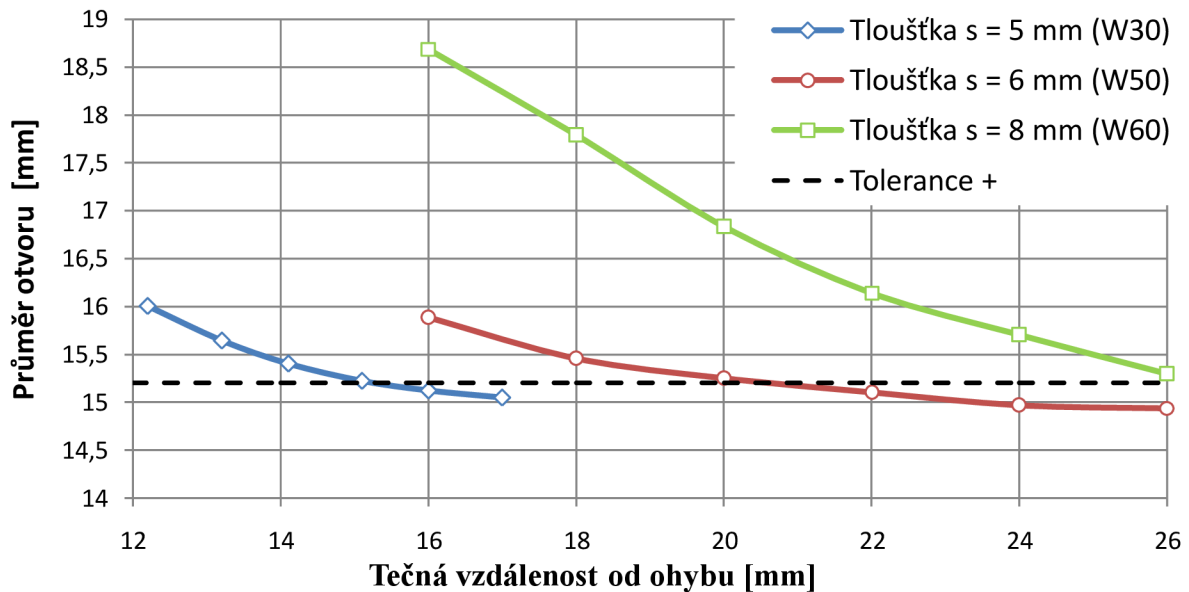
Porovnání deformace otvorů dle materiálů - Simulace



Obr. 108 Simulované rozměry otvorů pr.15 mm u různých materiálu tl.3 mm

Z grafů jak skutečného tak simulovaného je patrné, že při ohýbání vzorků z různých materiálů, dojde u materiálu s největší tažností (zde korozivzdorná ocel) k deformaci otvoru překračující dovolenou toleranci jako první.

Porovnání vlivu tloušťky materiálu pro S235JRG2



Obr. 109 Graf rozměrů otvoru při různých tloušťkách materiálu

U tohoto grafu je vidět, že při stejném otvoru průměru $d = 15$ mm a jeho tečné vzdálenosti od ohybu $a = 16$ mm, bude při zvětšující se velikosti rozšíření matrice zvětšena i velikost deformace otvoru. Vzhledem k tomu že volba matrice pro ohyb vychází z tloušťky ohýbaného plechu, lze konstatovat že graf zobrazuje vliv tloušťky.

3.7 Možnosti kompenzace deformovaných otvorů

Vzhledem k možnostem, kdy je zákazníkem požadováno vytvořit otvor za limitní vzdálenosti, která z experimentu která byla experimentem zjištěna, je nutností si definovat jaké jsou možnosti řešení tohoto problému. Níže budou rozepsáno a prodiskutováno několik možností, jak by bylo možné ohyb vytvořit, aniž by se při ohybu deformoval.

Pro tuto malou studii byl vybrán materiál DC01 tloušťky $s = 3$ mm s otvorem $d = 15$ mm. Z hlavního experimentu byla zjištěna vysoká deformace po ohybu u nejbližšího otvoru, proto jsou následující metody zpracovány pro tento průměr v tečné vzdálenosti od ohybu $a = 7$ mm. Na ohýbání byly použity stejné nástroje jako u hlavního experimentu pro $s = 3$ mm. Výkresy použitých vzorků jsou ve výkresové dokumentaci práce. Pro objektivitu je na obr.112 díl, který je bez použitých kompenzací (dále zvaný "originál") před a po ohybu.



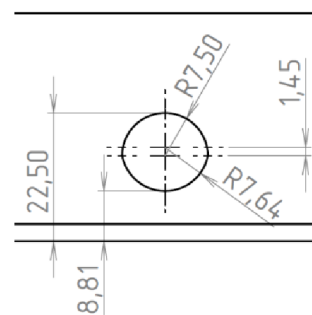
PŘED OHYBEM

VNITŘNÍ STRANA

VNĚJŠÍ STRANA

Obr. 110 Originální vzorek TE_3 před a po ohybu

- Kompensace "Zkrácením otvoru" (Pokus) - je pokusná metoda, která využívá výsledků z hlavního experimentu. V experimentu bylo zjištěno natažení otvoru originálního vzorku na délku 16,45 mm. Z hlavního experimentu včetně simulací je patrná deformace všech studovaných otvorů pouze ve spodní polovině, tedy polovině blíže k hraně ohybu. Byl zkonstruován otvor zachovávající si horní polovinu okraje na původním místě a spodní část byla zmenšena o rozdíl mezi deformací otvoru z originálu (16,45 mm) a požadovaného rozměru (15,00 mm). Zakótovaný tvar otvoru je na obr.113. Na obr.114 je vzorek v rozvinutém tvaru před a po ohybu.



Obr. 111 Geometrie upraveného vzorku



PŘED OHYBEM

VNITŘNÍ STRANA

VNĚJŠÍ STRANA

Obr. 112 Vzorek TE_5 před a po ohybu

Jak je patrné z geometrie na obr.113 a reálných fotek, při ohybu s takovou kompenzací se otvor "nenatáhne" do tvaru tak, aby vytvořil požadovaný rozměr 15,00 mm. Způsobeno je to geometrií, jelikož je otvor zmenšen o výsledek pokusu, kdy byla hrana otvoru vzdálena $a = 7$ mm od ohybu, v tomto případě je již při konstrukci otvor na vzdálenosti $a = 8,81$ mm od ohybu, tedy nedojde k původní velikosti deformace. Musela by být vytvořena studie, která správnou velikost kompenzace propočítala, a navíc by otvor musel vypálen 3D laserem, který by daný otvor vypálil včetně vnitřní kompenzace.

- Gravír + vrtání po ohybu - je možnost které je dobré využít, pokud se jedná o malé průměry otvoru ve výrobkách o tloušťce např. $s \geq 5$ mm. Nejprve je pomocí laseru pomocí tzv. "gravírování" na výrobek označen střed otvoru, součást je ohnuta bez otvoru a následně je otvor vyvrtán, případně vyhrubován na požadovaný rozměr. Na obr.115 je znázorněn postup při výrobě během této varianty tvorby otvoru.



PŘED OHYBEM

GRAVÍR PO OHYBU

VRTÁNÍ $d=15$ mm

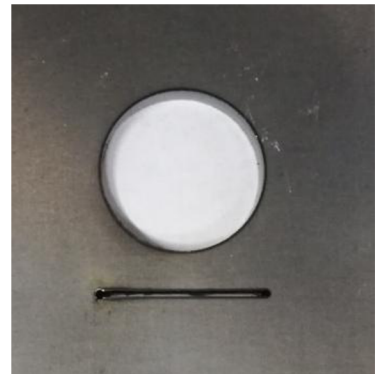
Obr. 113 Vzorek TE_1

Vzhledem ke špatné volbě vrtáku a nemožnosti pevného upnutí výrobku je výsledný produkt nepoužitelný pro další měření. Tento vzorek je po vrtání na obr.116. Nicméně tato zásadní vada ukazuje, že možnost není vhodná pro tvorbu otvorů větších jako tloušťka plechu. Navíc, pokud by součást nebylo možné pevně upnout (např. velké výrobky) a otvor by musel být vrtán ruční vrtačkou geometrie otvoru by nemusela dosáhnout potřebných tolerancí dle výkresu.



Obr. 114 Otvor v TE_1 po vrtání

- Průřez + svaření a broušení - je v praxi velice užitečná metoda, jak vytvořit otvor blízko ohybu, který nebude zdeformován. Principem je vytvoření malé drážky obvykle s $R = 0,1 \cdot s$ pod otvorem a v ose budoucího ohybu, což je zobrazeno na obr.117. Při ohybu se drážka rozevře a nedojde k žádné deformaci na otvoru. Následně se podle požadavků zákazníka může "vyboulená" drážka pouze zabrousit, nebo je možné (například z důvodu pohledové strany výrobku) drážku vyvařit a následně zabrousit (viz obr.118).



Obr. 115 Podřezání otvoru



PO OHYBU



PO SVAŘENÍ



PO PŘEBROUŠENÍ

Obr. 116 Vzorek TE_2 po daných operacích

Tato metoda se v praxi využívá velice často, protože je rychlá a zcela se zabrání deformaci otvoru i u tlustých plechů. Ovšem je nutné, aby byly technologie svařování a broušení ve firmě dostupné. Nevýhodou u této kompenzace problém se svařováním a broušením tenkých plechů například tloušťky $s = 0,5$ nebo 1 mm a také tepelným ovlivněním v místě svaření. Nutná je také komunikace se zákazníkem před výrobou dílu, ve kterém by tento zásah byl. Muže se totiž jednat o nosné díly dimenzované bez svaření a zákazník nemusí souhlasit s touto alternativou výroby.

- Použití speciálního nástroje ROLLBEND - je asi nejlepší možností jak, zajistit přesný ohyb bez deformace otvoru a otlaků. Tento nástroj byl blíže popsán v kapitole 2.7.3. Na ROLLBENDu je možné dle katalogu Trumpf ohýbat plechy tloušťky $s = 0,5 - 6$ mm dle typu. Dále firma nabízí nástroje zvané WINGBEND, které mají oproti ROLLBENDu ploché válečky rozšířené o "křídélko" je možné je použít na ohyb plechu tloušťky až $s = 6,5$ mm. Vzorek pro ohyb na ROLLBENDu měl stejný rozvin a umístění otvoru

jako u originálního vzorku. Ohýbání na tomto nástroji a výsledek po ohybu je na obr.119.



Obr. 117 Ohyb vzorku TE_4 na ROLLBENDu

Jak je patrné z obrázku, díky nástroji není způsoben ani otlak, ani deformace otvoru. Tato varianta je ze všech možných variant nejlepší možností, protože otvor může být téměř u hrany ohybu a stále si drží svůj tvar a při konstrukci se poloha otvoru vůči hraně nemusí řešit až do tečné vzdálenosti $a = R_o$. Nevýhodou tohoto typů nástrojů je nemožnost ohýbat na nich tlustší plechy jako 6,5 mm a jejich až 6 krát vyšší pořizovací cena oproti obyčejným matricím.

Vzhledem k tomu, že každá z uvedených metod (výjma pokusné) má své klady a zápory, je vždy nutné konzultovat tvorbu těchto otvorů s požadavkem zákazníka. Dále mohou být použity kombinace těchto metod stylem, že pro materiály tloušťky $s \leq 6,5$ mm je použito ohýbání na ROLLBENDu a na materiálu větší tloušťky je použito podřezání se svařením a prebroušením, popřípadě v některých případech stále zůstává možnost přemístit otvor při konstrukci dále od ohybu.

V tab. 30 je uveden souhrn výsledků. Rozměr byl měřen 5 krát ve směru kolmo na ohyb (osa y) jako u hlavního experimentu a následně byly tyto hodnoty zprůměrovány. Tolerance byla stanovena stejná jako u předchozích experimentů pro tl.3 mm.

Tab.30 Porovnání rozměrů z jednotlivých metod

Hodnoty jsou udávány v milimetrech					
Průměr otvoru "d"	15,00				
Způsob kompenzace	Originál	Podřezání	Vrtání	Pokus	ROLLBEND
Tečná vzdálenost od ohybu "a"	7	7	7	8,81	7
Průměr rozměru kolmo na ohyb	16,59	14,96	-	14,02	15,09
tolerance -	14,90	14,90	14,90	14,90	14,90
tolerance +	15,10	15,10	15,10	15,10	15,10

Jak je vidět z tabulky, k dodržení požadované tolerance rozměru dojde pouze při použití metod s podřezáním a svařením, nebo za pomoci ROLLBENDu. Proto bude výpočet technicko ekonomického zhodnocení v následující kapitole směřován na tyto dvě možnosti výroby.

4 TECHNICKO EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Vzhledem k experimentální povaze diplomové práce bude zpracováno technicko ekonomické hodnocení zaměřené na posouzení dvou variant kompenzace deformování otvorů, které vyšly nejlépe v předchozí kapitole. Bude tedy uvažována modifikovaná kompenzace pomocí PODŘEZÁNÍ, a to taková, že nebude docházet ke svařování, ale jen podřezání při vypalování výrobku na laseru před ohybem a následné broušení po ohybu. Druhou variantou je použití nástroje ROLLBEND.

Pro výpočty je uvažován problém, kdy se na výrobku deformují otvory blízko ohybu. Výrobky jsou ohnuty s podřezáním a následně je "vybroušení" přebroušeno. Tento proces zabírá v průběhu jednoho měsíce $T_B = 150 \text{ h} \cdot \text{měs}^{-1}$. Navrhuje se pořízení speciálního nástroje ROLLBEND, který by tuto operaci po ohybu součásti odstranil. Pro výpočet nebudou zahrnuty režijní náklady nebo náklady na provoz strojů pro přepravu, popřípadě náklady na opravy. Uvažovány budou pouze cena za hodinu operaci broušení a náklady na nástroj.

4.1 Technické zhodnocení [70]

Pro výrobu součástí po ohybu je nutný jejich transport na jiné pracoviště. Následně je potřeba mít k dispozici pracoviště, kde se za pomoci ruční brusky následně provede zabroušení součásti.

Navrhovaná varianta pořízení nového nástroje počítá s pořízením nástroje ROLLBEND od firmy Trumpf s celkovou délkou 1 460 mm. Vzhledem k nutnosti pořídit pro výrobu výrobku přesnou délku nástroje, jsou tyto nástroje pořízeny z dělených částí, a to 500, 300, 100, 35, 25 mm. Součást je tvořena materiálem tloušťky $s = 3 \text{ mm}$ a pro tuto tloušťku je vhodná matrice s označením RB 500 a je na obr.120.



Obr. 118 Nástroj Trumpf RB 500 [70]

4.2 Ekonomické zhodnocení

Pro posouzení z ekonomické stránky věci byly ve firmě získány informace o časech a cenách, jenž budou použity pro toto ekonomické zhodnocení:

- náklady na broušení udávané zákazníkům je $N_B = 400 \text{ Kč} \cdot \text{h}^{-1}$,
- čas spotřebovaný broušením součásti za měsíc $T_B = 150 \text{ h} \cdot \text{měs}^{-1}$,
- Celkové Náklady pro nákup RB 500 jdou dle tab.31 $N_{RC} = 211\,950 \text{ Kč}$.

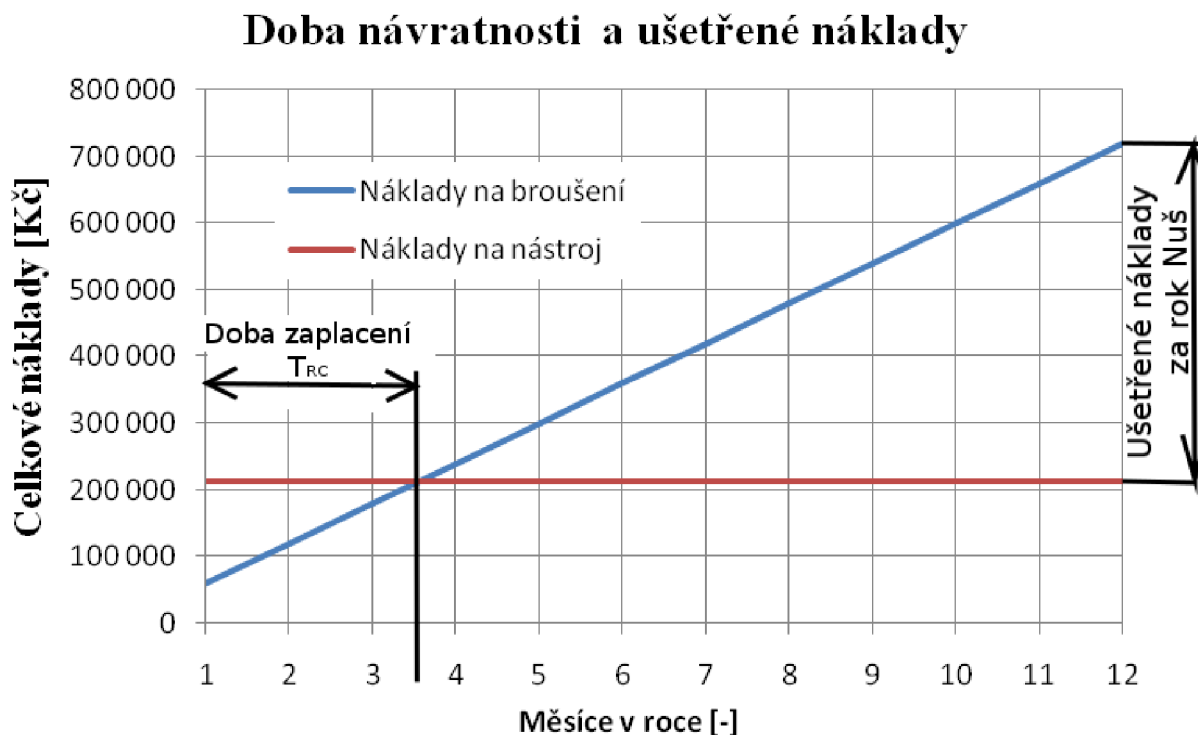
Tab.31 Náklady na nákup nástroje RB 500 (při kurzu 1 Euro = 27 Kč)

Označení	Délka	Počet kusů	Cena celkem	Cena celkem
L_{Ri}	[mm]	[ks]	[EURO]	[Kč]
L_{R1}	500	2	2000	108000
L_{R2}	300	1	2500	67500
L_{R3}	100	1	450	12150
L_{R4}	35	1	450	12150
L_{R5}	25	1	450	12150
CELKEM	1 460	6	7850	211950

Měsíční náklady N_{MB} [$\text{Kč} \cdot \text{měs}^{-1}$] na broušení součásti se spočítají dle následujícího vzorce:

$$N_{MB} = N_B \cdot T_B = 400 \cdot 150 = 60\,000 \text{ Kč} \cdot \text{měs}^{-1} \quad (4.1)$$

Pro vyhodnocení je na obr.121 vytvořen diagram zobrazující dobu zaplacení nástrojů při vynechání operace broušení a také ušetřené náklady v období jednoho roku.



Obr. 119 Graf návratnosti a úspor

Pro výpočet návratnosti investice do nových nástrojů při předpokladu stálé produkce dílů během jednoho roku je následující vztah:

$$T_{RC} = \frac{N_{RC}}{N_{MB}} = \frac{211\,950}{60\,000} = 3,53 \text{ měsíců} , \text{ respektive } 3 \text{ měsíce a } 15 \text{ dní} \quad (4.2)$$

Ušetřené náklady za rok při používání nových nástrojů se stanoví dle vztahu:

$$N_{Uš} = (12 \cdot N_{MB}) - N_{RC} = (12 \cdot 60\,000) - 211\,950 = 508\,050 \text{ Kč} \cdot \text{rok}^{-1} \quad (4.3)$$

Vzhledem k podstatné úspoře na technologii broušení za rok, je rozhodně doporučeno nástroje ROLLBEND pořídit. Musí být ovšem předpoklad, že výrobky budou vyráběny po celý rok ve stejném nebo vyšším počtu. Výhodou je využití nástrojů i pro ohyb jiných součástí, které by jako další operaci potřebovaly kvůli deformaci otvorů broušení nebo svařování s broušením.

5 ZÁVĚRY

Pro studii deformace otvorů v limitním prostoru ohybu byl vypracován experiment pro čtyři druhy materiálu a to DC01, AlMg3, XCrNi18-10 a S235JRG2. Po definování a ověření parametrů technologičnosti pro ohyb a pálení otvorů pomocí CO2 laseru, byly pomocí technických výpočtů stanoveny nástroje pro ohýbání. V první fázi experimentu byly zkonstruovány vzorky obsahující více otvorů, aby bylo zjištěno v jakých vzdálenostech se nachází limitní prostor a kde se otvory již deformují. Následně pomocí údajů z této počáteční fáze bylo zkonstruováno 44ks vzorků z různých materiálů, zahrnující různé tloušťky a různé průměry otvorů. Dle vypočítané síly $F_v = 968,2$ kN pro ohyb nejdelšího vzorku z materiálu o největší tloušťce $s = 8$ mm, byl zvolen pro ohyb ohraňovací lis od firmy Trumpf TruBend 5170 s lisovací silou 1 700 kN a následně ohnuty vzorky na experiment.

Byly probrány možnosti měření zdeformovaných vzorků a následně vybrána metoda měření digitálním posuvným měřidlem. Definovali se tolerance pro deformaci otvorů v materiálech o tloušťce $s \leq 3$ mm na $\pm 0,1$ mm a pro materiály $s \geq 5$ mm tolerance $\pm 0,2$ mm. Pomocí první fáze experimentu a následně i podle provedených simulací bylo zjištěno, že rozměr otvorů na vnitřní straně, kde působí tlakové napětí se deformuje až ve větší blízkosti k ohybu oproti vnějším rozměrům otvorů. Proto byl experiment dále zaměřen na měření a porovnávání deformace otvorů z vnější strany. Otvory byly měřeny vždy pětkrát v jednom směru a následně zprůměrovány, aby se předešlo chybám v měření. Měření byla prováděna kolmo na osu ohybu (osa y) a rovnoběžně s touto osou (osa x). Vzhledem k prakticky nulové deformaci v ose x téměř u všech vzorků nebylo s těmito hodnotami dále pracováno.

Výjimku tvořily vzorky z tlouštěk $s = 2$ mm, u kterých nastávala deformace na vnitřní straně dříve jako na straně vnější. Toto nebylo v práci probíráno, ale výsledky kompletních měření jsou elektronické příloze práce. Vzhledem k tomu, tyto případy nastaly pouze při ohýbání této tloušťky, je možné se domnívat, že to bylo ovlivněno příslušnou maticí.

Z limitních hodnot deformace otvorů pro jednotlivé vzorky byly stanoveny finální grafy, do kterých byly započteny všechny hlavní parametry odpovídající za tyto deformace. Experiment dotvrdil že vliv na deformaci má matrice na které je ohýbáno (respektive tloušťka materiálu), poloha otvoru od hrany ohybu, tvárnost materiálu a také průměr otvoru. Získané hodnoty byly pro tyto finální grafy proloženy mocninnou extrapolovanou křivkou "spojnice trendu", ovšem vzhledem k malému počtu bodů pro proložení by bylo vhodné vytvořit navazující a potvrzující experimenty pro ověření správnosti křivky.

Nakonec byly zpracovány možnosti kompenzace deformování otvorů v limitním prostoru hrany pomocí několika obvyklých metod a jedné pokusné. Z těchto metod vyhověly dvě metody. Prvním je podřezání otvoru drážkou v budoucí ose ohybu, díky čemuž drážka ochrání otvor před deformací a následně je svařena a zabroušena do původního poloměru. Druhá je použití speciálního nástroje ROLLBEND, který má výhodu tvorby ohybů bez otlaků a otvory si drží svůj tvar až do velmi malých vzdáleností od ohybu. Tyto dvě metody byly v modifikované formě následně použity k výpočtu provedeného v technicko-ekonomickém zhodnocení. Obecně je vhodné kombinovat tyto dvě metody, protože nástroje ROLLBEND jsou použitelné pouze do tloušťky plechů $s = 6,5$ mm a pro větší tloušťky využít metodu podřezání otvoru.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [71]

1. PITERKA, Miloslav. *Výroba držáku válce technologii přesného střihání*. Brno, 2015. 45s, 7výkresů, 7 příloh, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Jan Řiháček.
2. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
3. DVOŘÁK, Milan, František GAOJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: Plošné a objemové tváření*. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství cerm, 2007, 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
4. Sheet Metal Bending Parts. In: *Various* [online]. © 2018 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://www.various.co.in/sheet-metal-bending-parts/>
5. Technologické centrum. In: *Technologické centrum* [online]. Brno, © 2017 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://www.tech-centrum.cz/cil-spolecnosti>
6. TRUMPF LASERdurAbkantwerkzeuge TRUMPF Winkelsenzor ACB: Werkzeugatalog. In: *Merath* [online]. 2005 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: http://infoportal.merath.com/PDF/Trumpf_abk_katalog.pdf
7. BŘEZINA, Richard a Jiří PETRUŽELKA. *Úvod do tváření II*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2002, 114 s. ISBN 80-248-0068-3.
8. BĚHOUNEK, Martin. *Výroba výměníku krbové vložky*. Brno, 2016. 60s, 2 výkresy, 7 příloh, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
9. HÁJEK Pavel: *Výroba krytu*. Brno, 2014. 95 s., CD. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.
10. *Metal Forming Handbook*. Berlin: Springer-Verlag, 1998, 563 s. ISBN 3-540-61185-1. Dostupné také z: <http://staff.uny.ac.id/sites/default/files/pendidikan/aan-ardian-mpd/3c-handbook-metal-forming.pdf>
11. GLENN, Mitchell. Chapter 3 Blanking Die Designing [přednáška], In: *Slideplayer* [online], 2016 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://slideplayer.com/slide/5878798/>
12. Trumpf. *Trumpf* [online]. ©2018 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/en_INT/products/machines-systems/punching-machines/trupunch-1000-s19/
13. Patronic. In: *Patronic* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <https://www.pantronic.no/stansemaskin/>

14. Waterjet. *Waterjet* [online]. c2010 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://www.waterjet.org.pl/podstawy.html>
15. WJW Waterjet. *WJW Waterjet: Plasma fine cutting* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <https://www.wjw.de/production/fineplasmacutting.html>
16. PLASMACZ: Nejen hutní materiál. *PLASMACZ: Plasma přednosti a nevýhody* [online]. Tábor [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://www.plazmacz.cz/plazma-prednosti-a-nevyhody/>
17. BAILEY, Tom. Laying Groundwork for Great Laser Cutting:: Start with the Slats. *Fabrication metal working* [online]. 2018, 11 December 2017 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://www.fabricatingandmetalworking.com/2017/12/laying-groundwork-for-great-laser-cutting-start-with-the-slats/>
18. LENFELD, Petr. *Technologie II: Tváření kovu a zpracování plastů* [online]. Liberec [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/obsah_kovy.htm
19. Strojírenství: Vše co student potřebuje vědět. *Elektromagnetické tváření* [online]. ©2018 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://strojirenstvi.studentske.cz/2008/10/elektromagnetick-tven.html>
20. LIPKA, Ondřej. *Výroba držáku antény sdruženým nástrojem*. Brno, 2015. 60s, 7 výkresů, 8 příloh, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Eva Peterková, Ph.D.
21. Ohýbačka: Ruční ohýbačka plechu HSBM 1020-10 HS. In: *Heavytech: Strojní vybavení, autotechnika* [online]. 2018 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://www.naradi-pro.cz/rucni-ohybacka-plechu-hsbm-1020-10-hs>
22. Automatizace a robotizace výroby: Salvagnini. *Sp-tech: Speciální technologie zpracování plechu* [online]. ©2018 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://www.sp-tech.cz/produkty/salvagnini/ohybaci-centrum/>
23. FERRUM. In: *Ferrum: CNC Ohraňovací lis* [online]. 2018 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <https://www.ferrum-mb.cz/cnc-ohrnovaci-lis/>
24. Akademie tváření: Ohýbání. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2010 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: http://www.mmspektrum.com/content/100716_Akademie_tva%C5%99eni_oh%C3%BDb%C3%A1n%C3%AD%281%29.pdf
25. ČSN 22 6001. *Názvoslovní technologie tváření kovů*. 1968.
26. MORAVEC, Jiří. *Výroba pantu*. Brno, 2011. 62 s., CD. FSI VUT v Brn, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kov a plast. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
27. *ICME* [online]. In: . 2014 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: https://icme.hpc.msstate.edu/mediawiki/images/c/cc/ZEK100_5.jpg
28. ALTAN, Taylan. a A. Erman. *TEKKAYA. Sheet metal forming: processes and applications*. Materials Park, Oh: ASM International, c2012. ISBN 978-1-61503-844-2.

29. CHLADEK, Martin. *Výroba jezdce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů, 2013. 66 s. 9 výkresů. 15 příloh. CD. Vedoucí diplomové práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
30. Stainless Steel bending key point and its spring back problems. *MachineMFG* [online]. c2018 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: <https://www.machinemfg.com/stainless-steel-bending-springback/>
31. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Brno: VUT Brno, 1992, 186 s. ISBN 80- 214-0401-9.
32. Presbrakes. In: *Bystronic: Products* [online]. ©2017 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: <http://www.bystronic.com/en/products/pressbrakes/>
33. Ohýbání. *Bystronics Czech Republic* [online]. Brno, 2012 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: http://www.bystronic.cz/cs/produkty/ohranovaci_lisy/
34. Ohraňovací zařízení. In: *Bystronic: Ohraňovací lisy* [online]. ©2017 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: https://www.bystronic.cz/cs/produkty/ohranovaci_lisy/press-brake-tools.php
35. Wila Press Brake Productivity Catalog 2012. *Wila Press Brake Productivity site* [online]. 2012 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: <https://www.wila.nl/images1/wila/data/catalogs-html/WILA-Catalog-GB/70/index.html#zoom=z>
37. Wila Trumpf Style. In: *MATE: Precision tooling* [online]. USA, ©2018 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: <https://www.mate.com/products/press-brake-tooling/wila-trumpf-style/#fndtn-tab2>
38. FREMUNT, Přemysl a Tomáš PODRÁBSKÝ. *Konstrukční oceli*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1996. ISBN 80-858-6795-8.
39. SUE, Roberts. New Takes on Press Brake Tooling: How OEMs are changing tooling and setup for today's shop. In: *Canadian metalworking* [online]. 2017, 19. January 2017 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: <https://www.canadianmetalworking.com/article/fabricating/new-takes-on-press-brake-tooling>
40. Ohýbací nástroje: Ohýbání pomocí RollBend. In: *Trumpf* [online]. ©2018 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/cs_CZ/produkty/servis/servis-stroje-systemy-laser/nastroje/ohybeci-nastroje/
41. MIDDLESBROKS, Jeff, John WALLER a Steve BROWN. Print Friendly and PDF Where is your press brake tooling?: Solid organization provides the foundation for improvement in bending. In: *The fabricator* [online]. The Fabricator, 2014, 30. October 2014 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: <https://www.thefabricator.com/article/bending/where-is-your-press-brake-tooling>
42. VOLEJNÍČEK, M. *Rešerše ohraňovacích lisů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 46 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Pavlík, Ph.D.
43. IBend B Series. In: *MVD Czech Metalforming* [online]. [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: <https://www.mvdczech.cz/ibend-ohranovaci-lisy/ibend-b-series/>
44. Hand press brake. In: *Sterling: Machinery exchange* [online]. ©2009 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: http://blog.sterlingmachinery.com/wp-content/uploads/2013/10/a2959_1.jpg

45. MECHANICAL PRESS BRAKE MACHINE. In: *Jsp machinery* [online]. ©2016 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: <http://www.jspmachinery.com/our-products/press-brake/>
46. OptiFlex. In: *Ursviken* [online]. ©2018 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: <http://ursviken.com/products/press-brakes/optiflex/>
47. Press brakes. *JMT: Strong on service* [online]. USA, ©2018 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: <http://jmtusa.com/press-brakes/>
48. The ultimate Guide to pressbrake (2018 Updated). In: *MachineMfg* [online]. 2018 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: <https://www.machinemfg.com/press-brake-ultimate-guide/>
49. KÖRBER, Vladimír a Jan ŠANOVEC. Aktivní měření úhlů při ohýbání: Snímání úhlů. *MMspektrum* [online]. 2012, 17.10.2012, (10), 36 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: [https://www.mmspektrum.com/clanek/aktivni-mereni-uhlu-pri-ohybani.html%20udd\)%20obrazek%20prisma%20mereni%20uhlu%20-%20file:/D:/VUT/ING/DIPLOMKA/n%C4%9Bjak%C3%A9%20materialy/katalog_gasp arini_x_press_cz-902.pdf.html](https://www.mmspektrum.com/clanek/aktivni-mereni-uhlu-pri-ohybani.html%20udd)%20obrazek%20prisma%20mereni%20uhlu%20-%20file:/D:/VUT/ING/DIPLOMKA/n%C4%9Bjak%C3%A9%20materialy/katalog_gasp arini_x_press_cz-902.pdf.html)
50. The HD machine with HD options. In: *Safan Darley* [online]. [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: <https://safandarley.com/uk/products/hydraulic-press-brakes/h-brake-hd-500-1250t>
51. TruBend Series 8000. In: *Trumpf* [online]. 2018 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/en_CN/products/machines-systems/bending-machines/trubend-series-8000/
52. SPAIN, Mike. An overview of press brake safeguarding: The emergence of new laser-based camera vision systems changes how fabricators can approach safety at the point of operation. In: *The Fabricator* [online]. 2017, 28 NOVEMBER, 2017 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: <https://www.thefabricator.com/article/bending/an-overview-of-press-brake-safeguarding>
53. Handbook for sheet Metal parts Bending design. In: *MachineMfg* [online]. c2018 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: <https://www.machinemfg.com/sheet-metal-parts-bending-design/>
54. TATÍČEK, František, Martin OUŠKA a Lukáš TURZA. Akademie tváření:: Technologičnost konstrukce při ohýbání. *MMspektrum* [online]. 2012, 11. dubna 2012, (4), 84 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-technologicnost-konstrukce-pri-ohybani.html>
55. STANĚK, Vít. *Materiálový list DC01* [online]. 22. Února 2018 11:32; [cit.2018-05-25]. Osobní komunikace.
56. STANĚK, Vít. *424413* [online]. 22. Února 2018 11:35; [cit.2018-05-25]. Osobní komunikace.
57. STANĚK, Vít. *17240* [online]. 22. Února 2018 11:36; [cit.2018-05-25]. Osobní komunikace.
58. STANĚK, Vít. *1-0038* [online]. 26. Února 2018 8:37; [cit.2018-05-25]. Osobní komunikace.
59. Pásová ocel. In: *Pásová ocel* [online]. Karlštejn: Pásová ocel, 2013 [cit. 2018-03-21]. Dostupné z: <http://www.pasovaocel.cz/vyro.htm>

60. Značka ocelí DIN - EN - ČSN. In: *Salzgitter: Manesman stahlhandel* [online]. [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: <http://www.salzgitter.cz/index.php?page=33>
61. NEREZOVÁ OCEL 1.4301. In: *INOX* [online]. c2018 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: <http://www.inoxspol.cz/nerezova-ocel-14301.html>
62. Výrobní program:: ocel nerezová. In: *Pásová ocel* [online]. [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: http://www.pasovaocel.cz/vyro_ner.htm
63. Hliník AlMg3: ČSN 424413. In: *PROAL* [online]. c2009 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: <http://www.proal.cz/info/424413.htm>
64. BERKA, Pavel. EN AW-5754 H114 (AlMg3 W19), EN AW-5754 H12/H22 (AlMg3 F22/G22). In: *Alunet: Hliníkové profily na míru* [online]. ©2018 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: <http://www.alunet.cz/ENAW-5754>
65. Bystronic ByAutonom 3015. In: *Technologické centrum: Expert v technologii řezání laserem* [online]. Brno, 2017 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: <http://www.tech-centrum.cz/expert-v-technologie-rezani-laserem>
66. Trumpf Trubend 5170. In: *Technologické centrum: CNC ohýbání - Vysoká přesnost a kvalita ohybu* [online]. Brno, 2017 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: <http://www.tech-centrum.cz/cnc-ohybani-vysoka-presnost-a-kvalita-ohybu>
67. GOM ATOS Triple Scan. In: *Caprute3D* [online]. ©2019 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: <http://www.capture3d.com/3d-metrology-solutions/3d-scanners/atos-triple-scan>
68. FaroArm Prime. In: *FARO* [online]. ©2014 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: <http://blog-uk.faro.com/2012/07/faroarm-prime-%E2%80%93-the-flexible-and-accurate-solution-on-the-market/>
69. 2.2.1 Posuvná měřidla. In: *Projekt: Inovace oboru Mechatronik pro Zlínský kraj: Registrační číslo:CZ.1.07/1.1.08/03.0009* [online]. s. 8 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: <https://coptkm.cz/portal/reposit.php?action=0&id=29782&revision=-1&instance=2>
70. WEISS, J. *Fyzikální stárnutí polypropylénu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2011. 52 s. Vedoucí diplomové práce RNDr. Jiří Tocháček, CSc.
71. RB 500. In: *Trumpf Tool catalog* [online]. 2013 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: <http://www.trumpf.ro/wordpress/wp-content/uploads/catalog-scule-de-intoit.pdf>
72. CITACE PRO. *Generátor citací* [online]. 2013 [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Jednotka	Legenda
a	mm	Tečná vzdálenost otvoru od ohybu
A ₅	%	Tažnost měřená na 50 mm vzdálenosti
A ₈₀	%	Tažnost měřená na 80 mm vzdálenosti
A _{ov}	J	Ohybová práce
b	mm	Šířka materiálu
b ₁	mm	Šířka ohnutého materiálu
BPD	mm	Nejnižší poloha razníku při ohybu
b _r	mm	Minimální délka ramena ohybu
c _{min}	-	Součinitel dle materiálu, pro výpočet minimálního poloměru
CNC		Computer numerical control
ČSN		Česká státní norma
d	mm	Zkonstruovaný průměr otvoru
E	MPa	Modul pružnosti v tahu
f	-	Třecí koeficient
F _U	N	Ohýbací síla pro ohyb do tvaru "U"
F _V	N	Ohýbací síla pro ohyb do tvaru "V"
HB		Tvrдость podle Brinella
h _o	mm	Zdvih , hloubka průniku razníku do materiálu
HRC		Tvrдость podle Rockwella
HV		Tvrдость podle Vickerse
K	-	Poměr α_1/α_2 pro orientační určování odpružení
k ₁	-	Koeficient průběhu FV
KCU 3	J . cm ⁻²	Vrubová houževnatost
KV	J	Nárazová práce
k _{β}	-	Součinitel určující polohu NP, v závislosti na poměru Ro/s
L _C	mm	Celková rozvinutá délka výrobku
L _{CPr}	mm	Rozvin součásti spočítaný programem
l _h	mm	Vzdálenost přímého úseku plechu mezi nástroji
l _i	mm	Přímách délka
l _o	mm	Délka ohnutého úseku v NP
l _u	mm	Vzdálenost středu poloměru ohybnice a ohybníku
MCP	mm	Bod uchopení
M _o	N.m	Ohybový moment
N _B	Kč . h ⁻¹	Náklady na broušení za hodinu
N _{MB}	Kč . měs ⁻¹	Měsíční náklady na broušení
NP		Neutrální plocha
N _{RC}	Kč	Náklady na pořízení nástroje ROLLBEND
N _{uš}	Kč . rok ⁻¹	Ušetřené náklady za rok při pořízení ROLLBEND
R ₁	mm	Vnitřní poloměr výrobku při zatížení
R ₂	mm	Vnitřní poloměr výrobku po odtížení
R _{2min}	mm	Vnější poloměr ohybu
R _a	μm	Střední aritmetická úchylka profilu povrchu
R _e	Mpa	Mez na mezi kluzu
r _m	mm	poloměr hrany dutiny v matici

Označení	Jednotka	Legenda
R_o	mm	Vnitřní poloměr ohybu
R_{o1}	mm	Zvolený poloměr razníku 1 mm
R_{o4}	mm	Zvolený poloměr razníku 4 mm
$R_{o\max}$	mm	Maximální poloměr ohybu
$R_{o\min}$	mm	Minimální poloměr ohybu
$R_{p0,2}$	mm	Mez kluzu při 0,2 přetvoření
s	mm	Tloušťka materiálu
s_1	mm	Tloušťka ohnutého materiálu
SCP	mm	Poloha bezpečné vzdálenosti od materiálu
T_B	h . měs ⁻¹	Čas operace broušení za měsíc
TDP	mm	Maximální poloha beranu
T_{RC}	měsíce	Doba splacení nástroje ROLLBEND
v_o	mm	Vúle mezi ohybníkem a ohybnicí
W	mm	Rozevření matrice
x	-	součinitel posunutí neutrální plochy
z_r	-	Součinitel rozšíření původního materiálu
z_z	-	Součinitel ztenčení

Označení	Jednotka	Legenda
α	°	Úhel ohybu
α_1	°	Úhel ohybu před odpružením
α_2	°	Úhel ohybu po odpružení
β	°	Úhel odpružení
γ	°	Úhel ohnutého úseku
ϵ	-	Poměrná deformace
$\epsilon_{1;2;3}$	-	Směry přetvoření v materiálu
$\epsilon_{t\max}$	-	Maximální trvalá poměrná deformace
θ	°	Úhel podbroušení ohybníku
ρ	mm	Poloměr neutrální plochy
$\sigma_{1;2;3}$	MPa	Směry napětí v materiálu
σ_k	MPa	Napětí na mezi kluzu materiálu
σ_{sk}	MPa	Skutečné napětí
σ_{sm}	MPa	Smluvní napětí

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklady výrobků ohýbaných na ohraňovacím lise [0ab].....	- 10 -
Obr. 2 Logo firmy [1A].....	- 11 -
Obr. 3 Výrobek s nedeformovanými otvory	- 11 -
Obr. 4 Deformace otvoru v blízkosti	- 11 -
Obr. 5 Obecný tvar vzorků pro studii	- 12 -
Obr. 6 Postupové stříhání [g].....	- 12 -
Obr. 7 Přesné stříhání	- 12 -
Obr. 8 Děrování plechu [ii]	- 13 -
Obr. 9 Řezání vodním paprskem s abrazivem [gg].....	- 13 -
Obr. 10 Řezání plasmou [j]	- 13 -
Obr. 11 Řezání laserem	- 14 -
Obr. 12 Elektromagnetické tváření [l].....	- 14 -
Obr. 13 Ohýbací nástroj [m]	- 14 -
Obr. 14 Ohýbačka firmy Merallkraft [mm].....	- 15 -
Obr. 15 Výrobek v automatickém ohýbacím centru [nn].....	- 15 -
Obr. 16 Ohyb na ohraňovacím lisu [o]	- 16 -
Obr. 17 Schémata druhu ohýbání [2].....	- 17 -
Obr. 18 Schéma ohýbání [1].....	- 17 -
Obr. 19 Trhlina na vnější straně ohybu [q]	- 18 -
Obr. 20 Schéma napjatosti a deformace při ohybu tyčí a širokých pásů [2].....	- 18 -
Obr. 21 Rozložení napětí v jednotlivých fázích ohybu [2]	- 19 -
Obr. 22 Graf součinitele ztenčení (z_z) měkké oceli.....	- 19 -
Obr. 23 Schéma odpružení [r]	- 20 -
Obr. 24 Schéma V-ohybu a U-ohybu [rr].....	- 21 -
Obr. 25 Diagram k určení odpružení pro velké poloměry ohybu [1].....	- 22 -
Obr. 26 Způsoby odstranění výrazného odpružení [2].....	- 22 -
Obr. 27 Deformační schéma ohybu	- 23 -
Obr. 28 Ohýbání osamělou silou [2]	- 24 -
Obr. 29 Umístění plechu [t]	- 25 -
Obr. 30 Upnutí plechu [t]	- 25 -
Obr. 31 Ohraňování [t].....	- 25 -
Obr. 32 Zdvih beranu [t].....	- 26 -
Obr. 33 Volné ohýbání [tt].....	- 26 -
Obr. 34 Tříbodový ohyb [t]	- 26 -
Obr. 35 Ohyb s.....	- 27 -
Obr. 36 Ohyb s přeložením [ta]	- 27 -
Obr. 37 Základní popis razníku [tb].....	- 28 -
Obr. 38 Další druhy razníků (firma Trumpf) [tb]	- 28 -
Obr. 39 Základní popis matrice [tc].....	- 28 -
Obr. 40 Čtyř-dutinová matrice [ta]	- 29 -
Obr. 41 Otlak	- 29 -
Obr. 42 Výrobek ohnutý na nástroje ROLLBEND [tcc].....	- 29 -
Obr. 43 Ohyb na ROLLBEND [td].....	- 29 -
Obr. 44 Zakalení funkčních.....	- 30 -
Obr. 45 Rozdělení sady ohybníků [bbb]	- 30 -
Obr. 46 Bezpečnostní pojistka [ta].....	- 31 -

Obr. 47	Hydraulické upínání razníku [ta]	- 31 -
Obr. 48	Upnutí pomocí svorek [ta]	- 31 -
Obr. 49	Nástroje v šuplících [uu]	- 31 -
Obr. 50	Nástroje ve skříní	- 31 -
Obr. 51	Základní popis ohraňovacího lisu [s]	- 32 -
Obr. 52	Ruční	- 32 -
Obr. 53	Mechanický ohraňovací lis [sa]	- 33 -
Obr. 54	Elektrický pohon	- 33 -
Obr. 55	Hydraulický ohraňovací lis [sc]	- 33 -
Obr. 56	Tvary dorazů [ua]	- 34 -
Obr. 57	Možnosti pohybu dorazů [ua]	- 34 -
Obr. 58	Znázornění prohnutí beranu [uub]	- 34 -
Obr. 59	Klínový bombíruing [ua]	- 35 -
Obr. 60	Mechanické snímání úhlu v matici [udd]	- 35 -
Obr. 61	Mechanické snímání úhlu razníkem [ud]	- 35 -
Obr. 62	Snímání úhlu ohybu	- 35 -
Obr. 63	Světelné závory [uii]	- 36 -
Obr. 64	Piktogramy nebezpečí [uiii]	- 36 -
Obr. 65	Bezpečnostní laser [ui]	- 36 -
Obr. 66	Ovládací panel [ua]	- 36 -
Obr. 67	Umístění výrobku na plech [ya]	- 37 -
Obr. 68	Minimální rameno ohybu [y]	- 37 -
Obr. 69	Minimální vzdálenost otvoru [y]	- 37 -
Obr. 70	Tvar vzorků	- 38 -
Obr. 71	Zapečení materiálu	- 38 -
Obr. 72	Nezdeformované otvory počátečním návrhu	- 42 -
Obr. 73	Množství otvorů v počátečním návrhu	- 42 -
Obr. 74	Postup konstrukce vzorků	- 43 -
Obr. 75	Rozměry VZOREK 1	- 45 -
Obr. 76	Laser Bystronic ByAutonom 3015 [zb]	- 45 -
Obr. 77	Ohraňovací lis Trumpf TruBend 5170 [za]	- 46 -
Obr. 78	Razník Trumpf OW203/S [tb]	- 47 -
Obr. 79	Razník Trumpf OW200/K [tb]	- 47 -
Obr. 80	Matrice Trumpf EV023/S 86° [tb]	- 47 -
Obr. 81	Scanování pomocí	- 48 -
Obr. 82	FaroArm [zd]	- 48 -
Obr. 83	Digitální posuvné měřidlo	- 48 -
Obr. 84	Univerzální úhломěr	- 49 -
Obr. 85	Ohyb vzorku	- 49 -
Obr. 86	Založení a doražená vzorku	- 49 -
Obr. 87	Příprava nástrojů	- 49 -
Obr. 88	Razník v poloze po ohybu	- 50 -
Obr. 89	Ověření 90° úhelníkem	- 50 -
Obr. 90	Vzorky před ohybem	- 50 -
Obr. 91	Vzorky po ohybu	- 50 -
Obr. 92	Vzorky z tloušťky 5mm - vnější strana po ohybu	- 50 -
Obr. 93	Vzorky tloušťky 5mm - vnitřní strana po ohybu	- 51 -
Obr. 94	Model sestavy pro simulaci	- 51 -

Obr. 96 Smluvní tahový diagram pro korozivzdornou oce XCrNi18-10 - kolmo na vlákna.....	- 52 -
Obr. 95 Geometrie vzorku na tahovou zkoušku [zf]	- 51 -
Obr. 97 Smluvní tahový diagram pro korozivzdornou oce XCrNi18-10 - rovnoběžně s vlákny.....	- 52 -
Obr. 98 Tuhoplastický model pro materiál XCrNi18-10	- 53 -
Obr. 99 Ukázka vzorků po provedení tahové zkoušky	- 53 -
Obr. 101 Simulace ohybu dílu VZOREK 24.....	- 54 -
Obr. 100 Vzhled sítě na vzorku před simulovaným ohybem	- 54 -
Obr. 102 Detail otvorů 3 a 4 z vnitřní strany	- 54 -
Obr. 103 Detail otvorů 2 a 3 z vnější strany.....	- 54 -
Obr. 104 Tři nejvíce deformované otvory ve skutečném Vzorku 24.....	- 55 -
Obr. 105 Měření osy y.....	- 55 -
Obr. 106 Graf průměru otvoru v závislosti na jeho poloze.....	- 56 -
Obr. 107 Finální graf pro materiál XCrNi18-10 z tl.3.....	- 57 -
Obr. 108 Porovnání rozměrů otvorů dle simulace a skutečnosti	- 58 -
Obr. 109 Skutečné rozměry otvorů pr.15 mm u různých materiálu tl.3 mm	- 59 -
Obr. 110 Simulované rozměry otvorů pr.15 mm u různých materiálu tl.3 mm.....	- 59 -
Obr. 111 Graf rozměrů otvoru při různých tloušťkách materiálu	- 60 -
Obr. 112 Originální vzorek TE_3 před a po ohybu	- 60 -
Obr. 113 Geometrie upraveného vzorku	- 61 -
Obr. 114 Vzorek TE_5 před a po ohybu	- 61 -
Obr. 115 Vzorek TE_1.....	- 61 -
Obr. 116 Otvor v TE_1 po vrtání	- 62 -
Obr. 117 Podřezání otvoru	- 62 -
Obr. 118 Vzorek TE_2 po daných operacích.....	- 62 -
Obr. 119 Ohyb vzorku TE_4 na ROLLBENDu	- 63 -
Obr. 120 Nástroj Trumpf RB 500 [zg]	- 64 -
Obr. 121 Graf návratnosti a úspor	- 65 -

SEZNAM PŘÍLOH

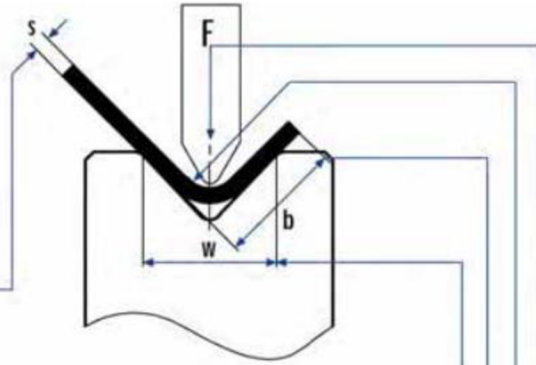
- Příloha 1 - Tabulka minimálních ramen
- Příloha 2 - Příklady ohraňovacích operací na speciálních nástrojích
- Příloha 2 - Příklad diagramu pro nástroj OW200/K
- Příloha 4 - Materiálový list oceli DC01
- Příloha 5 - Materiálový list oceli S235JRG2
- Příloha 6 - Materiálový list oceli X5CrNi18-10
- Příloha 7 - Materiálový list slitiny AlMg3
- Příloha 8 - Seznam vzorků
- Příloha 9 - Všechny použité matrice pro ohýbání při experimentu
- Příloha 10 - Obrázky deformovaných otvorů
- Příloha 11 - Hydraulický zkušební stroj ZD40 /400kN/
- Příloha 12 - Výsledky simulace pro ostatní vzorky
- Příloha 13 - Výsledky měření dalších vzorků a jejich finální graf
- Příloha 14 - Grafy porovnávající simulaci se skutečným měřením

SEZNAM VÝKRESŮ

- C_TL_W30_PR8_0 - Výkres návrhu vzorku z počáteční fáze experimentu
- C_TL5_W30_PR5 - Výkres vzorku 1
- C_TL5_W30_PR8 - Výkres vzorku 2
- D_TL3_W20_PR15 - Výkres vzorku 8
- H_TL5_W30_PR5 - Výkres vzorku 17
- N_TL3_W20_PR15 - Výkres vzorku 24
- N_TL5_W30_PR5 - Výkres vzorku 13
- TE_1 - Výkres vzorku s gravírem
- TE_2 - Výkres vzorku s podřezáním
- TE_3 - Výkres vzorku s bez úpravy
- TE_4 - Výkres vzorku s na Rollbend
- TE_5 - Výkres vzorku s pokusnou konstrukcí otvoru

Erforderliche Presskraft für 90° Freibiegen

Material: 400 N/mm², STAHL



	6	8	10	12	16	20	24	30	40	50	60	70	80	90	100	120	w	b	Ri
4.5	6	7.5	9	12	15	18	22.5	30	37.5	45	52.5	60	67.5	75	90				
1	1.3	1.6	1.9	2.6	3.2	3.8	4.8	6.4	8	9.6	11	13	14	16	19				
0.75	52	39	31	26															
1	93	70	56	47	35														
1.25	145	109	87	73	55	44													
1.5	209	157	126	105	79	63													
1.75		214	171	143	107	86	71												
2			223	186	140	112	93												
2.5				291	218	175	145	116											
3					314	251	209	168	126										
3.5					428	342	285	228	171	137									
4						447	372	298	223	179	149								
4.5						566	471	377	283	226	189	162							
5								466	349	279	233	200	175						
6								670	503	402	335	287	251	223					
7									684	547	456	391	342	304	274				
8										715	596	511	447	397	358	298			
10											798	698	621	559	466				
12												1005	894	804	670				

F in kN
S, w, b, Ri in mm

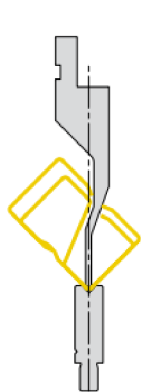
 = optimale Gesenkweite

Material: 700 N/mm², NIRO

	6	8	10	12	16	20	24	30	40	50	60	70	80	90	100	120	w	b	Ri
4.5	6	7.5	9	12	15	18	22.5	30	37.5	45	52.5	60	67.5	75	90				
1	1.3	1.6	1.9	2.6	3.2	3.8	4.8	6.4	8	9.6	11	13	14	16	19				
0.75	87	65	52	44															
1	155	116	93	78	58														
1.25	242	182	145	121	91	73													
1.5	349	262	209	175	131	105													
1.75		356	285	238	178	143	119												
2			372	310	233	186	155												
2.5				485	364	291	242	194											
3					524	419	349	279	209										
3.5						570	475	380	285	228									
4							621	497	372	298	248								
4.5								628	471	377	314	269							
5									582	466	388	333	291						
6									838	670	559	479	419						
7										912	760	652	570	507					
8											993	851	745	662	596				
10												1330	1164	1034	931	776			
12													1675	1490	1340	1118			

F in kN
S, w, b, Ri in mm

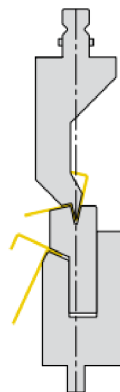
 = optimale Gesenkweite



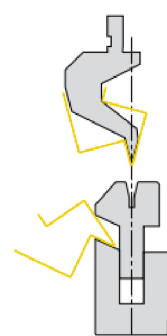
1. Horní nástroj a matrice pro téměř uzavřený speciální profil



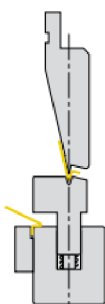
2. Horní nástroj a matrice pro speciální profil



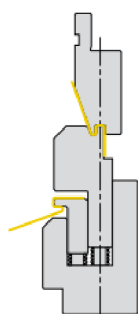
3. Přehyb a lemovací nástroj s odpruženou maticí



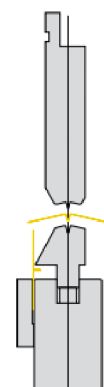
4. Přehyb a lemovací nástroj s odpruženou maticí



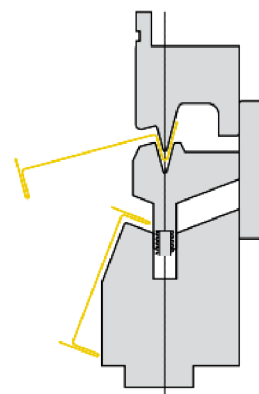
5. Přehyb a lemovací nástroj s odpruženou maticí a jisticí lištou



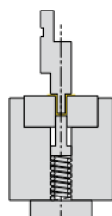
6. Přehyb a lemovací nástroj s odpruženou tvářecí maticí a přidržovací lištou



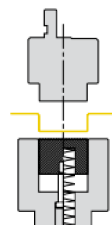
7. Lemovací nástroj s odpruženou spodní částí a přidržovací lištou



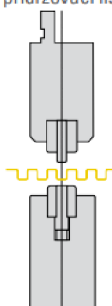
8. Lemovací nástroj s odpruženou maticí a zadním dorazem



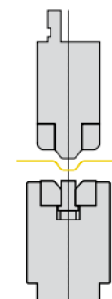
13. Cylindrický ohraňovací nástroj s ocelovými proužky a s pružinovým vyhazovačem



14. Nástroj pro cylindrický profil s pružinovým vyhazovačem



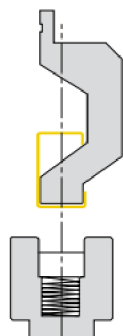
15. Nástroj pro cylindrické profily jdoucí přímo po sobě



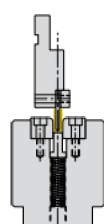
16. Nástroj pro ohýbání trapézu s pružinovým vyhazovačem



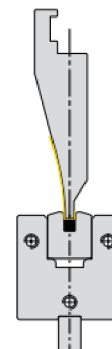
9. Přehyb a zalemování svorky tvaru "C" na tři zdvihy



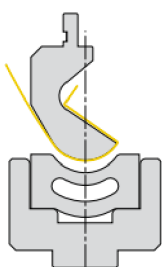
10. Nástroj pro "U" potažmo "C" profil na dva zdvihy s odpruženým vyhazovačem



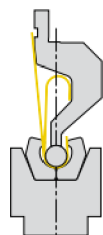
11. Nástroj pro "U" profil s ocelovými proužky a odpruženým vyhazovačem v matici, výměnnými noži (díly podléhající opotřebení lze vyměnit)



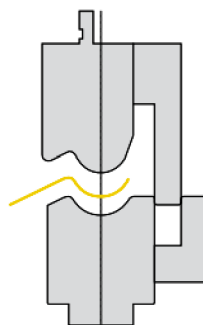
12. Nástroj pro "U" profil s PU-vložkou a zpětným tlakem formující podle horního nástroje



21. Rádiusový nástroj ohýbající do PU-vložky



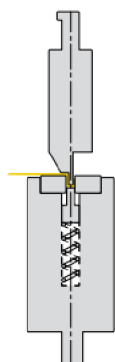
22. Rádiusový tvářecí nástroj s čelistmi pro přehnutí



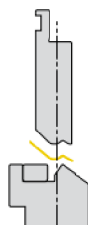
23. Rádiusový tvářecí nástroj s dalším ohybem a zadním dorazem



24. Dvojitý rádiusový tvářecí nástroj



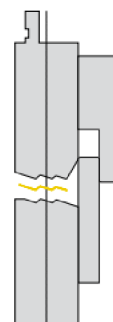
29. Tvářecí nástroj pro spony s pružinovým vyhadzovačem a ohýbacími proužky



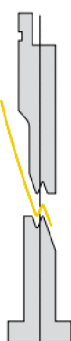
30. Tvářecí nástroj s nastavitelnou lištou v matici



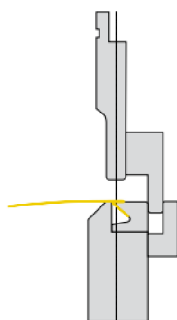
31. Tvářecí nástroj s nastavitelnými čelistmi na horním nástroji



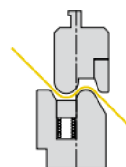
32. Tvářecí nástroj pro dva "Z" ohyby se zadním dorazem



41a. 1/2 Speciální "Z" nástroj s přípravou pro lemování



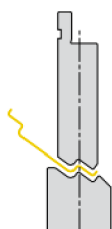
41b. 2/2 Nástroj pro lemování s dorazem



42. Nastavitelný "Z" nástroj s pružinovým vyhadzovačem



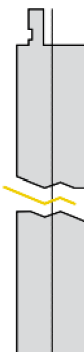
43. "Z" nástroj pro vícenásobné ohyby



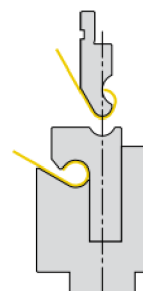
44. "Z" nástroj s dalším kratším lemem



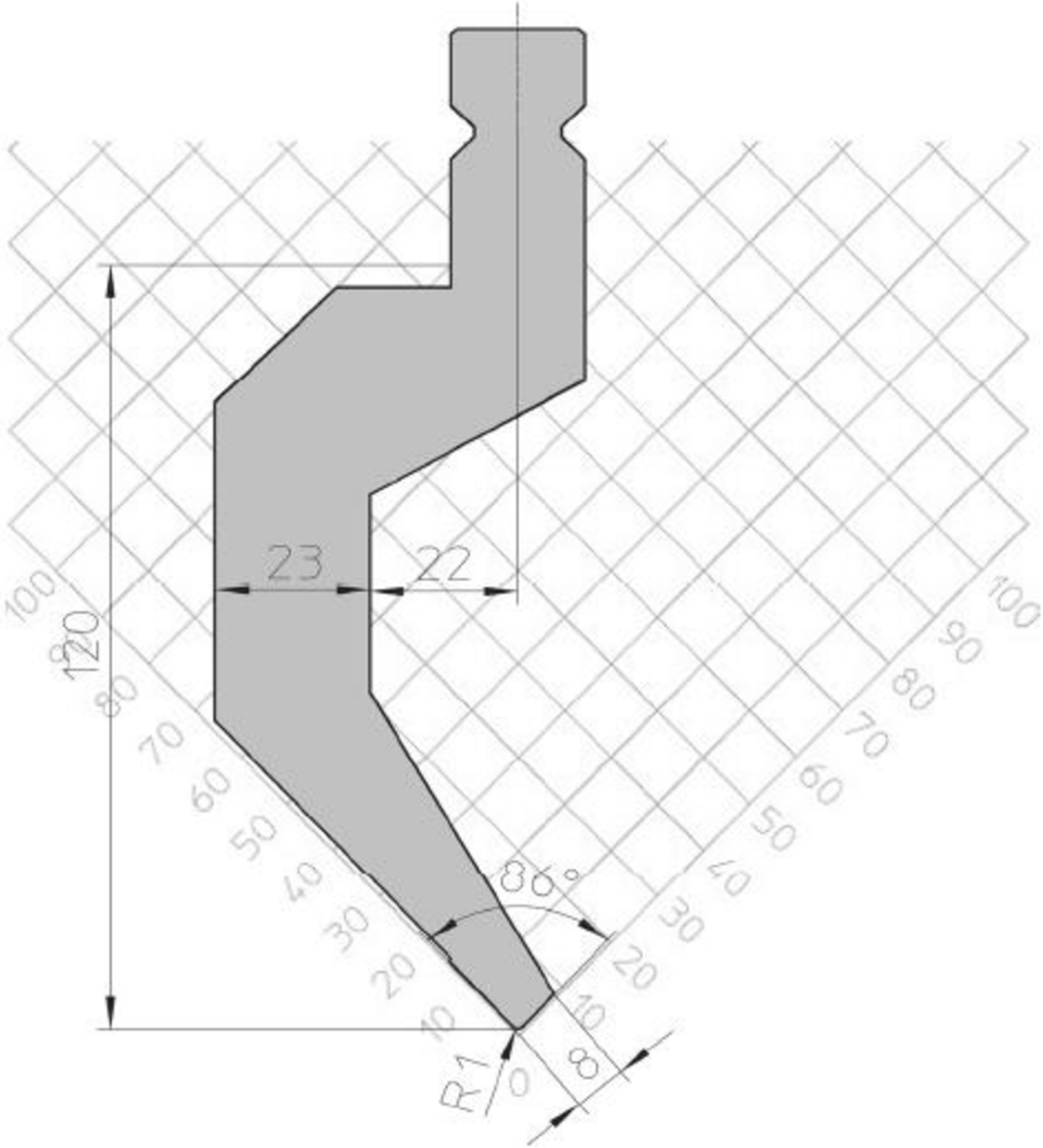
45. Speciální "Z" nástroj



46. Speciální "Z" nástroj



47. Nástroj pro pant



1.0330 Číselné označení		Nelegovaná jakostní hlubokotažná ocel				DC01 ³⁾ Značka			
Chemické složení [hm. %]⁴⁾									
C ⁶⁾	Si	Mn ⁶⁾	P	S					
max 0,12	–	max 0,60	max 0,045	max 0,045					
Normy EN									
[1] 10130 + A1 [2] 10139 [3] 10152 [4] 10271									
Mechanické vlastnosti¹⁾²⁾									
Norma EN	[1]		[3]			[4]			
Rozměr t [mm] ⁵⁾			0,35–3,00						
Stav	–		+ZE			+ZN			
Mez kluzu R _{el} nebo R _{p0,2} [MPa]	max 280		max 280			max 280			
Mez pevnosti R _m [MPa]	270–410		270–410			270–410			
Ťažnost A ₉₀ [%] min	28		28			28			
Součinitel plastické anizotropie r ₉₀ min	–		–			–			
Exponent deformačního zpevnění n ₉₀ min	–		–			–			
Norma EN			[2]						
Rozměr t [mm] ⁵⁾			≤ 10						
Stav	žíhaný (+A)	lehce převál- covaný (+LC) ⁷⁾	zpevněný za studena						
			C290	C340	C390	C440	C490	C590	C690
Mez kluzu R _{el} nebo R _{p0,2} [MPa]	–	max 280	200–380	min 250	min 310	min 360	min 420	min 520	min 630
Mez pevnosti R _m [MPa]	270–390	270–410	290–430	340–490	390–540	440–590	490–640	590–740	min 690
Ťažnost A ₉₀ [%] min	28	28	18	–	–	–	–	–	–
Ťažnost A ₅₀ [%] min	30	30	20	–	–	–	–	–	–
Součinitel plastické anizotropie r ₉₀ min	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Exponent deformačního zpevnění n ₉₀ min	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Tvrdoost HV	max 105	max 115	95–125	105–155	117–172	135–185	155–200	185–225	min 215
Ostatní vlastnosti									
Způsob desoxidace – podle volby výrobce									
Použití									
Pro tváření za studena, vhodná k žárovému pokovování nebo pokovování ponorem (podle [1], [2]), elektrolytickému pokovování (podle [1], [3] a [4]) a nanášení organických a jiných povlaků (podle [1] a [2]).									
Porovnání se zahraničními materiály									
EURO		Česká republika			Německo				
FeP01	EN 10130	11 321	ČSN 41 1321		St12	DIN 1623-1			
Francie		Velká Británie			Itálie				
C	NF A36-301	CR4	BS 1449-1		FeP01	UNI 5866			
ISO		USA			Rusko				
CR1	ISO 3574	1008	ASTM A29		02	GOST R52246			
Japonsko		Čína			–				
CR1	JIS G3141	LT02	GB T5065		–	–			
Poznámky									
1) Hodnoty, s výjimkou normy [2], platí pouze pro výrobky převálcované za studena.									
2) U tlouštěk od 0,5 do 0,7 mm se dovozuje min. hodnota ťažnosti o 2 % nižší a max. hodnota meze kluzu o 20 MPa vyšší.									
U tlouštěk < 0,5 mm se dovozuje min. hodnota ťažnosti o 4 % nižší a max. hodnota meze kluzu o 40 MPa vyšší.									
3) Doba bez vzniku deformačních čar 3 měsíce. Pro konstrukční účely lze počítat s min. hodnotou meze kluzu 140 MPa ve stavu +A nebo +LC.									
4) Ocel může být dodávána legovaná (např. B nebo Ti), pokud nebylo při objednávání dohodnuto jinak.									
5) U povlakovaných výrobků se tloušťkou rozumí celková tloušťka po povlakování.									
6) Podle normy [2] může být pro stav C690 obsah C a Mn zvýšen.									
7) Nižší uvedené hodnoty platí pouze pro povrch MA. Pro povrchy MB a MC, je R _{el} nebo R _{p0,2} = max 300 MPa, R _m = 290–430 MPa, A ₉₀ = min 26 %, A ₅₀ = min 28 % a HV = max 120.									

WNr. (číslo materiálu) 1.0038		Základní ocel			OCEL Kurzname (značka) S235JRG2	
Chemické složení [hm. %] v tavebním vzorku						
C ¹⁾	Mn	P	S	N ²⁾³⁾		
max 0,17	max 1,40	max 0,045	max 0,045	max 0,009		
Chemické složení [hm. %] ve výrobku						
C ⁴⁾	Mn	P	S	N ³⁾⁶⁾		
max 0,19	max 1,50	max 0,055	max 0,055	max 0,011		
Normy DIN						
[1] DIN EN 10025-94 – výrobky válcované za tepla z nelegovaných konstrukčních ocelí						
[2] DIN 17100 – výrobky válcované za tepla z nelegovaných konstrukčních ocelí – ozn. RSt 37-2						
[3] DIN 1615 – svařované trubky z nelegovaných ocelí bez zvláštních požadavků						
[4] DIN 5512/1 – materiály pro kolejová vozidla – oceli obvyklých jakostí						
Mechanické vlastnosti						
Rozměr t, d [mm]	< 3		3–16	16–40	40–100	
Stav	tepelně nezpracovaný					
Mez kluzu R _{eH} [MPa] min	235		225		215	
Mez pevnosti R _m [MPa]	360–510		340–470			
Tažnost A ₅ [%]	podél min	21		26		24
	napříč min	19		24		22
Nárazová práce KV [J] min	–			27		
Tvrdość HB	–					
Rozměr t, d [mm]	100–150		150–200	200–250		
Stav	tepelně nezpracovaný					
Mez kluzu R _{eH} [MPa] min	195		185	175		
Mez pevnosti R _m [MPa]	340–470		320–470			
Tažnost A ₅ [%]	podél min	22		21		
	napříč min	22		21		
Nárazová práce KV [J] min	27			23		
Tvrdość HB	–					
Fyzikální vlastnosti						
Hustota ρ [kg . m ⁻³]	7 850					
Technologické údaje						
SVARITELNOST						
vhodná ke svařování						
uhlíkový ekvivalent $C_{EV} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$						
C _{EV} ≤ 0,35 pro t ≤ 40 mm						
C _{EV} ≤ 0,38 pro t = 41–150 mm						
C _{EV} ≤ 0,40 pro t = 151–250 mm						
Použití						
Součásti konstrukcí a strojů středních tlouštěk tavně svařované, namáhané staticky i dynamicky.						
Ostatní vlastnosti						
Desoxidace: uklidněná						

Porovnání se zahraničními materiály					
ISO		EURO		Česká republika	
–	–	S235JRG2 Fe360B Fe37B1FU	EN 10025-93 EN 25-72 EN 30-69	11 375	ČSN 41 1375
Francie		Velká Británie		Rusko	
S235JRG2 E24-3	NF EN 10025-94 NF A35-501-86	S235JRG2 37/23 HR, HS, CR, CS HFW 3 HFS 3 40B	BS EN 10025-94 BS 1449/1-91 BS 6323/2-82 BS 6323/3-82 BS 4360-80	St3ps St3sp S245	GOST 380-88 GOST 380-88 GOST 27772-88
USA		Japonsko		Kanada	
Gr. 36 Gr. 30 Gr. 33 Gr. 40 Gr. C	ASTM A570 ASTM A570 ASTM A570 ASTM A570 ASTM A283	SS 330	JIS G3101-87	–	–
Itálie		Rakousko		Švédsko	
S235JRG2 Fe360BFN	UNI EN 10025-94 UNI 7070-82	RSt 360B St37T St37TE	ÖNORM M3116 ÖNORM M3115 ÖNORM M31115	1312	SS 141312
Polsko		Maďarsko		Norsko	
St3S St3V St3VX St3W	PN H-84020-88 PN H-84020-88 PN H-84020-88 PN H-84020-88	Fe235B/FN A38B	MSZ 500-89 MSZ 500	S235JRG2 12123	NS EN 10025-93 NS 12101
Finsko		Švýcarsko		Španělsko	
–	–	–	–	AE235BFN	UNE 36080-90
Bulharsko		Čína		Jugoslávie	
BSt3ps BSt3sp WSt3ps WSt3sp	BDS 2592-71 BDS 2592-71 BDS 2592-71 BDS 2592-71	Q235A Q235B Q235A-b Q235B-b Q235B-Z	GB 700-88 GB 700-88 GB 701-91 GB 701-91 GB 701-91	Č.0361 Č.0361	JUS C.B0.500-89 JUS C.B5.050-82
Rumunsko		Slovenská republika		–	
OL37.2	STAS 500/2-88	11 375	STN 41 1375	–	

Poznámky

- 1) pro tloušťky $t > 40$ mm je C = max 0,20 %
- 2) udaná hodnota může být překročena, jestliže překročení o 0,001 % N odpovídá podkročení obsahu P o 0,005 %, obsah N nesmí však přestoupit 0,012 % v tavebním vzorku
- 3) max hodnota obsahu N neplatí, jestliže je v oceli min 0,020 % Al nebo dostatečné množství jiných, dusík vázajících, prvků
- 4) pro tloušťky $t > 40$ mm je C = max 0,23 %
- 5) udaná hodnota může být překročena, jestliže překročení o 0,001 % N odpovídá podkročení obsahu P o 0,005 %, obsah N nesmí však přestoupit 0,014 % ve výrobku

ČSN 41 7240 STN 41 7240		Korozivzdorná austenická Cr-Ni ocel					17 240 Značka		
Chemické složení [hm. %]									
C	Mn	Si	Cr ¹⁾	Ni	P	S			
max 0,07	max 2,00	max 1,00	17,0–20,0	9,00–11,5	max 0,045	max 0,030			
Dovolené úchytky chemického složení hotového výrobku									
+0,01	+0,15	+0,05	+0,5 –0,3	+0,5 –0,3	–	–			
Polotovary									
[1] tyče tvářené za tepla [2] plechy [3] trubky bezešvé tvářené za tepla			[4] tlusté plechy [5] trubky bezešvé tvářené za studena						
Mechanické vlastnosti									
Polotovary		[1]			[2]				
Rozměr t, d [mm]		≤ 60	>60–100	>100–150	≤ 10	>10–30			
Stav		.4 ²⁾			.4 ²⁾				
Mez kluzu R _{p0,2} [MPa] min		185			185				
Mez kluzu R _{1,0} [MPa] min		225			225				
Mez pevnosti R _m [MPa]		490–685			490–685				
Tažnost A ₅ [%] min		50	45	40	37	34			
Vrubová houževnatost KCU 3 [J.cm ⁻²] min	podél	196	137	98	–	137 ³⁾			
	napříč	–	98	68	–	98 ³⁾			
Modul pružnosti E [GPa]		199							
Polotovary		[3]		[5]		[4]			
Rozměr t, d [mm]		≤ 89		≤ 80		30–80			
Stav		.4 ²⁾		.4 ²⁾		.4 ²⁾			
Mez kluzu R _{p0,2} [MPa] min		185		185		185			
Mez kluzu R _{1,0} [MPa] min		225		225		225			
Mez pevnosti R _m [MPa]		490–735		490–685		490–685			
Tažnost A ₅ [%]	podél min	40		–		–			
	napříč min	–		–		37			
Vrubová houževnatost KCU 3 [J.cm ⁻²]	podél	–		–		135			
	napříč	–		–		100			
Vrubová houževnatost KCV ⁻¹⁹⁶ [J.cm ⁻²]	podél	–		–		90			
	napříč	–		–		60			
Modul pružnosti E [GPa] za zvýšených teplot		100 °C	200 °C	300 °C	400 °C	500 °C			
		194	186	179	172	164			
Teplota [°C]		50	100	150	200	250	300	350	400
Mez kluzu R _{p0,2} [MPa] min za zvýšených teplot		177	157	142	127	118	109	103	98
Mez kluzu R _{p1,0} [MPa] min za zvýšených teplot		211	191	172	157	147	137	132	127

Fyzikální vlastnosti								
Hustota ρ [kg . m ⁻³]	Měrná tepelná kapacita c_p [J . kg ⁻¹ . K ⁻¹]	Teplotní součinitel roztažnosti α [K ⁻¹]			Tepelná vodivost λ_t [W . m ⁻¹ K ⁻¹]		Měrný elektrický odpor ρ [Ω . m]	
7 900	500	16.10 ⁻⁶			14,7		730.10 ⁻⁹	
Odolnost proti degradačním procesům								
ODOLNOST PROTI PLOŠNÉ KOROZI odolnost proti plošné korozi – odolává kyselině dusičné, slabým roztokům organických kyselin; odolnost proti korozi lze zvýšit leštěním; tvářením za studena se korozivzdornost mírně snižuje odolnost proti mezikrystalové korozi – ve srovnání s ocelí 17 241 odolává lépe; při aplikaci svaru v silném korozním prostředí, nutno přežít celou součást s následujícím ochlazením na vzduchu								
ODOLNOST PROTI OXIDACI ZA ZVÝŠENÝCH TEPLOT na vzduchu do 850°C v oxidačním sirmém prostředí (obsahujícím SO ₂) do 750°C v redukčním sirmém prostředí (obsahujícím H ₂ S) do 600°C v páře do 750°C ve směsných plynech do 550°C								
ODOLNOST PROTI TEČENÍ Mez pevnosti při tečení v tahu R_{mT} [MPa] (střední hodnoty)								
Teplota [°C]	560	580	600	620	640	660	680	700
$R_{mT}/10^4$	164	142	122	104	87	73	61	48
$R_{mT}/3 \cdot 10^4$	135	115	96	80	67	55	44	(35)
$R_{mT}/5 \cdot 10^4$	123	103	85	72	58	47	(36)	(27)
$R_{mT}/10^5$	105	89	74	61	50	(40)	(30)	(23)
Technologické údaje								
TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ rozpuštěcí žhání 1 020–1 080 °C ochlazovat podle tloušťky na vzduchu nebo ve vodě žhání ke snížení prnutí 850-950 °C ochlazovat na vzduchu								
TVAŘITELNOST teploty tváření 1 150–850 °C ochlazovat na vzduchu								
SVAŘITELNOST zaručená doporučené přídatné materiály – elektroda VÚZ-A3F								
OBROBITELNOST soustružení, hoblování frézování, vrtání [1] [2] .4 9b 9b								
TECHNOLOGICKÉ ZKOUŠKY zkouška hloubením podle Erichsena na 1 mm plechu h = 13 mm								
Použití								
Austenitická, svařitelná, nestabilizovaná, korozivzdorná ocel vhodná pro chemická zařízení včetně tlakových nádob. Vhodná pro prostředí oxidační povahy, pro silné anorganické kyseliny jen při velmi nízkých koncentracích a v oblasti normálních teplot. Lze ji použít též pro prostředí vyžadující vysokou čistotu produktu (farmaceutický a potravinářský průmysl). Lze také použít na součásti chladírenských zařízení mimo použití solanky.								
Ostatní vlastnosti								
Druh oceli podle způsobu výroby		Barevné značení podle ČSN 42 0010			Třída odpadu podle ČSN 42 0030			
elektroocel		červená–černá–zelená			026			

Porovnání se zahraničními materiály					
ISO		EURO		Německo	
X5CrNi18-9E X5CrNi18-9	ISO 4954-93 ISO 6931/2-05	X5CrNi18-10 X5CrNi18-10	EN 10088/1-3-05 EN 10028/7-07	X5CrNi18-10	DIN 17456-85
Francie		Velká Británie		Rusko	
Z6CNT18-09	NF A35-559-93	304S31 304S15	BS 1501/3-90 BS 1554-90	08Ch18N10	GOST 5632-72
USA		Japonsko		Kanada	
Type 304 Type 304F	ASTM A276-90 ASTM A182	SUS304 SUSF304 SUS 304TKA	JIS G3448-04 JIS G3214-91 JIS G3446-04	–	–
Itálie		Rakousko		Švédsko	
X5CrNi 18-10 X5CrNi18-10KT X5CrNi18-10KG X5CrNi18-10 KW	UNI 6904-71 UNI 7660-77 UNI 7660-77 UNI 7660-77	X5CrNi1810S X5CrNi1810KKW	ÖNORM M3210-86 ÖNORM M3121-91	2333-02 2332	SS142333 SS142332
Polsko		Maďarsko		Norsko	
OH18N9	PN H86020-71	K033	MSZ 4360-87	14350 14355 14360	NS 14350 NS 14355 NS 14360
Finsko		Švýcarsko		Španělsko	
X4CrNi189	SFS 725	–	–	X5CrNi18 10	UNE 36-087-89
Austrálie		Čína		Rumunsko	
304	AS 1449-07	Ocr18Ni9	GB 4239-91	5NiCr180	STAS 3583-87
Bulharsko		Brazílie		–	
OCh18N10	BDS 6738-72	E 304 V-304	Br. 400 Br. 800	–	–
Poznámky					
1) Po dohodě možno dodat ocel s obsahem Cr = 18,0 – 20,0 %.					
2) Pro rozpouštěcím žihání.					
3) Vrubová houževnatost platí pro plechy tloušťky ≥ 12 mm, pro menší tloušťky je nutno min. hodnoty dohodnout.					
Normy EN přejímají následující země: Belgie, Bulharsko, Česká republika, Dánsko, Estonsko, Finsko, Francie, Irsko, Island, Itálie, Kypr, Litva, Lotyšsko, Lucembursko, Maďarsko, Malta, Německo, Nizozemsko, Norsko, Polsko, Portugalsko, Rakousko, Rumunsko, Řecko, Slovensko, Slovinsko, Spojené království, Španělsko, Švédsko a Švýcarsko.					
Tažnost A_5 [%]		min 4		min 18	min 4
Tvrdost HB 2,5/62,5/30		min 70		inf. 45	min 70
Modul pružnosti E [GPa]		inf. 70		inf. 65	inf. 70
Fyzikální vlastnosti					
Hustota	Měrná tepelná kapacita	Tepelní součinitel roztažnosti	Tepelná vodivost	Konduktivita	
ρ [kg . m ⁻³]	c_p [J . kg ⁻¹ . K ⁻¹]	α [K ⁻¹]	λ_t [W . m ⁻¹ . K ⁻¹]	λ_a [MS . m ⁻¹]	
2 650	905	24.10 ⁻⁶ (20–200 °C)	126–167	18–20	

ČSN 42 4413		Slitina hliníku tvářená							SLITINA		
STN 42 4413		pro všeobecné účely							AlMg3		
Chemické složení [hm. %]											
Mg	Mn	Si	Fe	Ti	Zn	Cu	Cr	Fe+Si	ostatní jednotl.	celkem	Al
2,5–4,0	0,05–0,4	max 0,5	max 0,4	max 0,2	max 0,2	max 0,1	max 0,05	max 0,6	max 0,1	max 1,1	zbytek
Polotovary											
[1] plechy, pásy, pruhy válcované za studena											
[2] tyče kruhové, čtvercové, ploché a šestihranné lisované za tepla											
[3] tyče kruhové, čtvercové, ploché a šestihranné tažené za studena											
[4] trubky kruhové tažené za studena											
Mechanické vlastnosti											
Polotovary	[1]		[1]		[2]		[3]				
Rozměr t, d [mm]	t = 0,2–10,0		t = 0,2–6,0		ČSN 42 7510–30		ČSN 42 7610–30				
Stav	měkký		tvrdý		tvářený		měkký				
Mez kluzu R_p 0,2 [MPa]	min 80		min 185		min 80		min 70				
Mez pevnosti R_m [MPa]	190–240		min 270		min 170		150–230				
Tažnost A_5 [%]	min 18		min 4		min 17		min 18				
Tvrdość HB 2,5/62,5/30	45–60		70–85		min 45		inf. 45				
Modul pružnosti E [GPa]	inf. 65		inf 70		inf 66		inf. 65				
Polotovary	[3]		[4]		[4]						
Rozměr t, d [mm]	d = 12–25		ČSN 42 7710		d = 6–80, t < 4						
Stav	tvrdý		měkký		tvrdý						
Mez kluzu R_p 0,2 [MPa]	min 170		–		min 170						
Mez pevnosti R_m [MPa]	min 260		160–240		min 260						

Technologické údaje					
TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ					
žhánání na měkko	360 °C	1,5–6 h/ochlazovat na vzduchu			
TVAŘITELNOST					
velmi dobrá při lisování za tepla (460–340 °C) teploty tavení 600–650 °C					
SVAŘITELNOST A PÁJITELNOST					
velmi dobrá (koef. svar. spoje nad 0,85) při svařování plamenem (příd. materiál AlMg3; tavidlo nutné) a všemi běžnými technologiemi (uhlík. elektrodou, TIG, MIG, bodové odporové svař.); přídatnými materiály jsou slitiny AlMg3 či AlMg5; dobré svařitelnosti se dosáhne přidáním AlSi5; předehřev 100–300 °C závisí na tloušťce výrobku					
měkké pájení zinkovými pájkami jen pomocí ultrazvuku; tvrdé pájení pod tavidlem pájkou AlSi12 s dokonalou smáčivostí					
OBROBITELNOST					
tvrdost HB max	60	85	ČSN 42 4313		
třída obrobitelnosti	12d	11d	10d		
koef. obrobitelnosti k_v	1,59	1,26	1,00		
Použití					
Na středně manahané konstrukce, které mají odolávat korozi a případně být dobře lešitelné (vozidla, námořní plavidla, zařízení v potravinářském a chemickém průmyslu, vnější i vnitřní architektura).					
Ostatní vlastnosti					
Barevné značení podle ČSN 42 1407			Třída odpadu podle ČSN 42 1331		
základní – žlutá	vedlejší – modrá		813		
Porovnání se zahraničními materiály					
<i>ISO</i>		<i>EURO</i>		<i>Německo</i>	
AlMg3,5(A)	ISO 209-1	AW-AlMg3,5Mn0,3	EN 573-3	AlMg2,7Mn	DIN 1725 T.1
AlMg3Mn	ISO 209-1	AW-AlMg3Mn	EN 573-3	AlMg3	DIN 1725 T.1
AlMg3	ISO 209-1	AW-AlMg3	EN 573-3		
AlMg3,5	ISO 209-1	AW-AlMg3,5(A)	EN 573-3		
<i>Francie</i>		<i>Velká Británie</i>		<i>Rusko</i>	
5754	NF A50-451	5454	BS 1470	AMg3	GOST 4784-74
5154A	NF A50-403	5154A	BS 1474		
5154	NF A50-451				
<i>USA</i>		<i>Japonsko</i>		<i>Kanada</i>	
A95454	ASTM B209M	5154	JIS H4000	5454	CSA HA.4
A95154	ASTM B209M	5454	JIS H4000		
<i>Itálie</i>		<i>Rakousko</i>		<i>Španělsko</i>	
P-AlMg2,7Mn	UNI 7789	AlMg3	ÖNORM M3430	Al-3MgMn	UNE 38345
P-AlMg3,5-Ma	UNI 9803			Al-3,5Mg	UNE 38421
P-AlMg3,5	UNI 3575			Al-3Mg	UNE 38339
<i>Polsko</i>		<i>Maďarsko</i>		<i>Norsko</i>	
AlMg3	PN H88026	AlMg3	MSZ 3714/1	AlMg3	NS 17211
<i>Finsko</i>		<i>Švýcarsko</i>		<i>Švédsko</i>	
AlMg3	SFS 2588	AlMg3	SN 210900	AlMg3	SS 144125

Příloha 8 - Seznam vzorků

(1/1)

MATERIÁL	s	Název výkresu	Průměr otvoru [do]	Číslo výkresu
	[mm]	[-]	[mm]	[-]
S235JRG2	8	VZOREK 41	8	C_TL8_W60_PR8
		VZOREK 42	10	C_TL8_W60_PR10
		VZOREK 43	15	C_TL8_W60_PR15
		VZOREK 44	20	C_TL8_W60_PR20
S235JRG2	6	VZOREK 37	8	C_TL6_W50_PR8
		VZOREK 38	10	C_TL6_W50_PR10
		VZOREK 39	15	C_TL6_W50_PR15
		VZOREK 40	20	C_TL6_W50_PR20
S235JRG2	5	VZOREK 1	5	C_TL5_W30_PR5
		VZOREK 2	8	C_TL5_W30_PR8
		VZOREK 3	10	C_TL5_W30_PR10
		VZOREK 4	15	C_TL5_W30_PR15
X5CrNi18-10	5	VZOREK 13	5	N_TL5_W30_PR5
		VZOREK 14	8	N_TL5_W30_PR8
		VZOREK 15	10	N_TL5_W30_PR10
		VZOREK 16	15	N_TL5_W30_PR15
AlMg3	5	VZOREK 17	5	H_TL5_W30_PR5
		VZOREK 18	8	H_TL5_W30_PR8
		VZOREK 19	10	H_TL5_W30_PR10
		VZOREK 20	15	H_TL5_W30_PR15
DC01	3	VZOREK 5	5	D_TL3_W20_PR5
		VZOREK 6	8	D_TL3_W20_PR8
		VZOREK 7	10	D_TL3_W20_PR10
		VZOREK 8	15	D_TL3_W20_PR15
X5CrNi18-10	3	VZOREK 21	5	N_TL3_W20_PR5
		VZOREK 22	8	N_TL3_W20_PR8
		VZOREK 23	10	N_TL3_W20_PR10
		VZOREK 24	15	N_TL3_W20_PR15
AlMg3	3	VZOREK 25	5	H_TL3_W20_PR5
		VZOREK 26	8	H_TL3_W20_PR8
		VZOREK 27	10	H_TL3_W20_PR10
		VZOREK 28	15	H_TL3_W20_PR15
DC01	2	VZOREK 9	5	D_TL2_W12_PR5
		VZOREK 10	8	D_TL2_W12_PR8
		VZOREK 11	10	D_TL2_W12_PR10
		VZOREK 12	15	D_TL2_W12_PR15
X5CrNi18-10	2	VZOREK 29	5	N_TL2_W12_PR5
		VZOREK 30	8	N_TL2_W12_PR8
		VZOREK 31	10	N_TL2_W12_PR10
		VZOREK 32	15	N_TL2_W12_PR15
AlMg3	2	VZOREK 33	5	H_TL2_W12_PR5
		VZOREK 34	8	H_TL2_W12_PR8
		VZOREK 35	10	H_TL2_W12_PR10
		VZOREK 36	15	H_TL2_W12_PR15

Matrice		Lieferzeit: ab Lager				
Nur noch lagerhaltig bis Ende 2005 (Alternativmodell: 84° Matrice)	42 Cr Mo 4 1080 – 1180 N/mm ²		EV023/S 86°	12	Gesenkweite	
	400 kN/m		86°	Winkel		
	21,1 kg/m		100	Höhe (mm)		
	60 – 62 HRC		Variante B		Mat.Nr.	Preis
	8,2 mm		Länge 4050	0843887	-	EUR
			Länge 3050	0842416	-	EUR
	Länge 2550	0843886	-	EUR		
	Länge 2050	0843885	-	EUR		
	Länge 1250	0832448	-	EUR		
	Variante A					
	Länge 4050	0843884	-	EUR		
	Länge 3050	0843883	-	EUR		
	Länge 2550	0843882	-	EUR		
	Länge 2050	0843881	-	EUR		
	Länge 1250	0843880	-	EUR		
	Satz					
	250	0832447	-	EUR		
	Einzel					
	500	0832446	-	EUR		
	300	0832445	-	EUR		
	200	0832444	-	EUR		
	100	0832443	-	EUR		
	50	0832442	-	EUR		
	45	0832441	-	EUR		
	40	0832440	-	EUR		
	35	0832439	-	EUR		
	30	0832438	-	EUR		
	25	0832437	-	EUR		






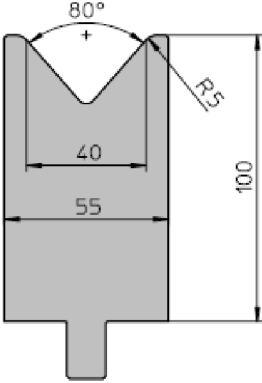
Längen in [mm]






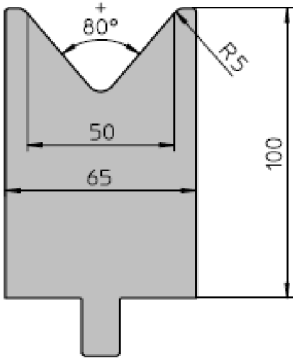
Matrice		Lieferzeit: ab Lager				
Nur noch lagerhaltig bis Ende 2005 (Alternativmodell: 84° Matrice)	42 Cr Mo 4 1080 – 1180 N/mm ²		EV W20/84°	20	Gesenkweite	
	700 kN/m		84°	Winkel		
	24,6 kg/m		100	Höhe (mm)		
	60 – 62 HRC		Variante B		Mat.Nr.	Preis
	14,5 mm		Länge 4050	0857561	-	EUR
			Länge 3050	0861420	-	EUR
	Länge 2550	0861870	-	EUR		
	Länge 2050	0861869	-	EUR		
	Länge 1250	0860323	-	EUR		
	Variante A					
	Länge 4050	0861868	-	EUR		
	Länge 3050	0861867	-	EUR		
	Länge 2550	0861866	-	EUR		
	Länge 2050	0861865	-	EUR		
	Länge 1250	0861864	-	EUR		
	Satz					
	250	0857560	-	EUR		
	Einzel					
	500	0857559	-	EUR		
	300	0857558	-	EUR		
	200	0857557	-	EUR		
	100	0857550	-	EUR		
	50	0857556	-	EUR		
	45	0857555	-	EUR		
	40	0857554	-	EUR		
	35	0857553	-	EUR		
	30	0857552	-	EUR		
	25	0857551	-	EUR		

Lieferzeit: ab Lager

Matrice		Lieferzeit: ab Lager				
Nur noch lagerhaltig bis Ende 2005 (Alternativmodell: 80° Matrice)	42 Cr Mo 4 1080 – 1180 N/mm ²		EV027 86°	30	Gesenkweite	
	750 kN/m		86°	Winkel		
	35,2 kg/m		100	Höhe (mm)		
	60 – 62 HRC		Variante B		Mat.Nr.	Preis
	21,3 mm		Länge 4050	0824438	-	EUR
			Länge 3050	0824437	-	EUR
	Länge 2550	0835273	-	EUR		
	Länge 2050	0824436	-	EUR		
	Länge 1250	0825855	-	EUR		
	Variante A					
	Länge 4050	0824435	-	EUR		
	Länge 3050	0824434	-	EUR		
	Länge 2550	0835272	-	EUR		
	Länge 2050	0824433	-	EUR		
	Länge 1250	0825854	-	EUR		
	Satz					
	250	0824432	-	EUR		
	Einzel					
	500	0824431	-	EUR		
	300	0824430	-	EUR		
	200	0824429	-	EUR		
	100	0824428	-	EUR		
	50	0824427	-	EUR		
	45	0824426	-	EUR		
	40	0824425	-	EUR		
	35	0824424	-	EUR		
	30	0824423	-	EUR		
	25	0824422	-	EUR		

Längen in [mm]

Matrice		Lieferzeit: ab Lager				
 42 Cr Mo 4 1080 – 1180 N/mm ²  1200 kN/m  40,9 kg/m  60 – 62 HRC  28 mm		EV W40/80°		40	Gesenkweite	
				80°	Winkel	
				100	Höhe (mm)	
				Variante B	Mat.Nr.	Preis
				Länge 4050	0867596	- EUR
				Länge 3050	0862703	- EUR
				Länge 2550	0868663	- EUR
				Länge 2050	0861605	- EUR
				Länge 1250	0868581	- EUR
				Variante A		
		Länge 4050	0870711	- EUR		
		Länge 3050	0870710	- EUR		
		Länge 2550	0870709	- EUR		
		Länge 2050	0870708	- EUR		
		Länge 1250	0870707	- EUR		
		Satz				
		250	0861604	- EUR		
		Einzel				
		500	0861603	- EUR		
		300	0861602	- EUR		
		200	0861601	- EUR		
		100	0861594	- EUR		
		50	0861600	- EUR		
		45	0861599	- EUR		
		40	0861598	- EUR		
		35	0861597	- EUR		
		30	0861596	- EUR		
		25	0861595	- EUR		

Matrice		Lieferzeit: ab Lager				
 42 Cr Mo 4 1080 – 1180 N/mm ²  1500 kN/m  46,5 kg/m  60 – 62 HRC  37,5 mm		EV W50/80°		50	Gesenkweite	
				80°	Winkel	
				100	Höhe (mm)	
				Variante B	Mat.Nr.	Preis
				Länge 4050	0866949	- EUR
				Länge 3050	0862774	- EUR
				Länge 2550	0870717	- EUR
				Länge 2050	0863205	- EUR
				Länge 1250	0870716	- EUR
				Variante A		
		Länge 4050	0870715	- EUR		
		Länge 3050	0866409	- EUR		
		Länge 2550	0870714	- EUR		
		Länge 2050	0870713	- EUR		
		Länge 1250	0870712	- EUR		
		Satz				
		250	0862773	- EUR		
		Einzel				
		500	0862772	- EUR		
		300	0862771	- EUR		
		200	0862770	- EUR		
		100	0862763	- EUR		
		50	0862769	- EUR		
		45	0862768	- EUR		
		40	0862767	- EUR		
		35	0862766	- EUR		
		30	0862765	- EUR		
		25	0862764	- EUR		

Längen in [mm]



Stroj umožňuje provádět tahové, tlakové a ohybové zkoušky materiálů do 400 kN s řízením rychlosti zatěžování a programovým zpracováním zkoušek. Je vybaven vestavěným inkrementálním délkovým snímačem polohy příčnicku s rozlišením 0,01 mm a snímačem síly s řídicí jednotkou EDC 60.

Řídicí jednotka EDC 60 je vysoce precizní elektronické zařízení speciálně konstruované pro řízení servo-hydraulických zkušebních strojů. Je vyráběna speciálně pro aplikace řízení zkušebních strojů a využívají ji přední evropské výrobci universálních zkušebních strojů. Jednotka je opatřena programem pro zkoušky kovů s možností provádět zkoušky bez PC u jednoduchých aplikací bez použití průtahoměru.

Technické parametry:

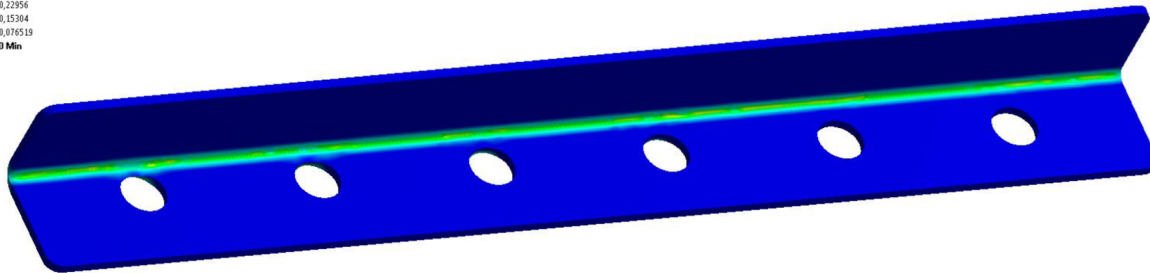
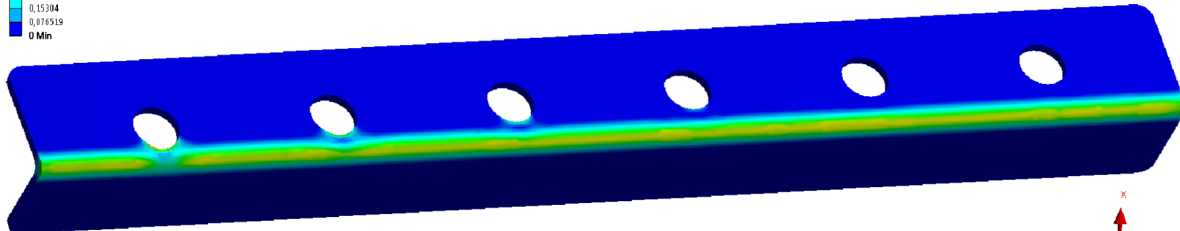
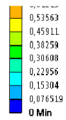
- Výrobce: HBM /SRN/
- Měřicí rozsah: 8 ÷ 400 kN
- Chyba měření síly: $\pm 1/100$ jmenovitého rozsahu síly, tj. $\pm 1 \%$ odpovídá třídě přesnosti 1
- Měřicí rozsah měření dráhy: 0 ÷ 280 mm
- Chyba měření dráhy: $\pm 0,01$ mm
- sériové rozhraní RS 232 pro komunikaci s podřazeným PC
- COM1 pro PC s FIFO s maximální rychlostí 115 KB
- inkrementální vstup pro napojení snímače dráhy

Počítač je vybaven programem M-TEST v.1.7 pro tahovou, tlakovou a ohybovou zkoušku kovových materiálů dle EN 10001-2 s vyhodnocením výsledků, grafickým zpracováním.

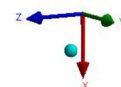
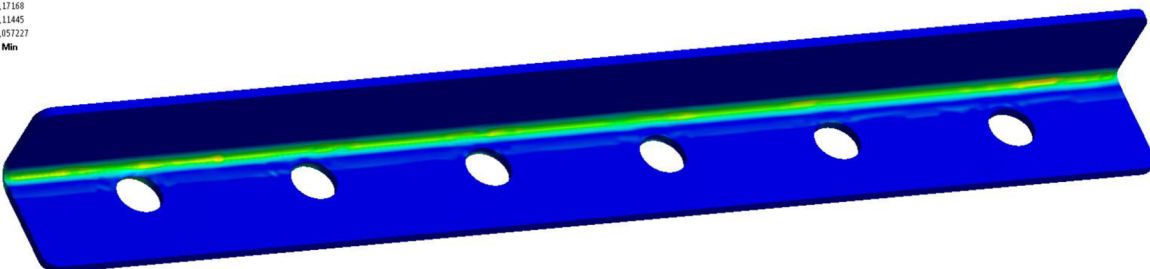
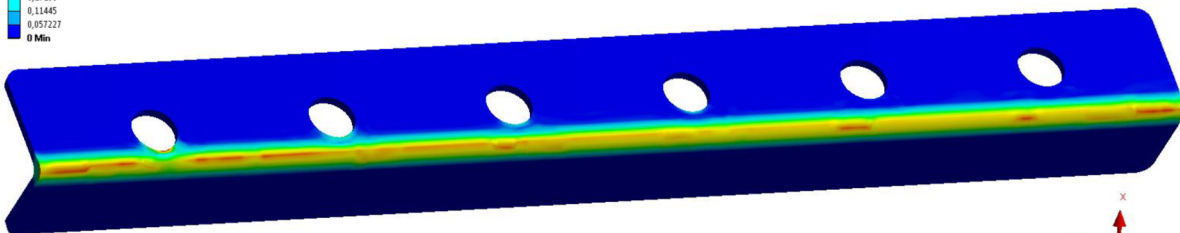


Řídicí jednotka EDC 60

SIMULACE						
Vzorek 8						
Průměr otvoru "d"	15,00					
Tečná vzdálenost od ohybu	12	11	10	9	8	7
Vnější kolmo na ohyb	15,00	15,00	14,98	15,06	15,39	16,19

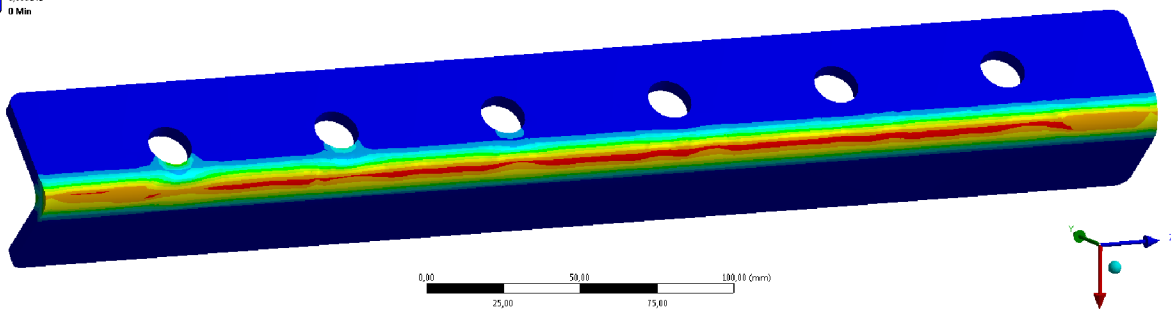


SIMULACE						
Vzorek 28						
Průměr otvoru "d"	15,00					
Tečná vzdálenost od ohybu	12	11	10	9	8	7
Vnější kolmo na ohyb	14,99	15,03	14,98	14,98	15,25	15,65

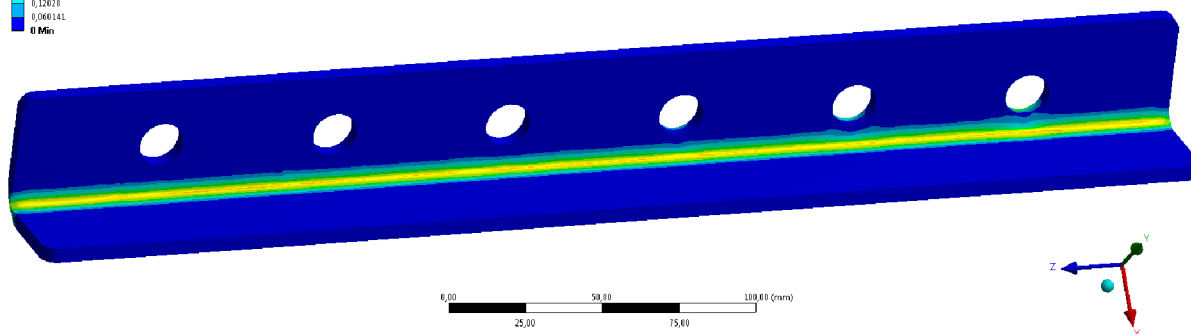


SIMULACE						
Vzorek 4						
Průměr otvoru "d"	15,00					
Tečná vzdálenost od ohybu	17	16	15	14	13	12
Vnější kolmo na ohyb	15,01	15,03	15,06	15,08	15,13	15,29

0,12020
0,000141
0 Min



0,18042
0,12010
0,000141
0 Min



Vzorek 1						
Průměr otvoru "d"	5,00					
Tečná vzdálenost od ohybu	17	16	15	14	13	12
Vnější kolmo na ohyb	5,02	5,11	5,17	5,25	5,48	5,75
Vnější II na ohyb	5,02	5,05	4,92	5,05	5,12	5,04
Vzorek 2						
Průměr otvoru "d"	8,00					
Tečná vzdálenost od ohybu	16	15	14	12,9	11,8	10,7
Vnější kolmo na ohyb	8,03	8,12	8,26	8,46	8,81	9,32
Vnější II na ohyb	8,03	8,09	8,10	8,13	8,14	8,15
Vzorek 3						
Průměr otvoru "d"	10,00					
Tečná vzdálenost od ohybu	16,9	16	15	14	13	11,8
Vnější kolmo na ohyb	9,99	10,05	10,14	10,20	10,47	10,80
Vnější II na ohyb	9,90	9,92	9,94	9,99	10,01	10,06
Vzorek 4						
Průměr otvoru "d"	15,00					
Tečná vzdálenost od ohybu	16,9	15,9	14,9	13,9	12,9	11,9
Vnější kolmo na ohyb	15,05	15,12	15,22	15,40	15,65	16,00
Vnější II na ohyb	15,12	15,12	15,11	15,11	15,08	15,08

Závislost $a=f(d)$ pro S235JRG2, tl. 5mm, W30

