



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

METODY 3D OHYBU

METHODS OF 3D BENDING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

LUKÁŠ KRÁČMAR

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. EVA PETERKOVÁ, Ph.D.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Lukáš Kráčmar

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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

Metody 3D ohybu

v anglickém jazyce:

Methods of 3D bending

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o vytvoření přehledu moderních metod tváření polotovarů 3D ohybem. V práci by měl být uveden popis těchto metod, moderní výrobní postupy a příklady vyráběných součástí.

Cíle bakalářské práce:

Provedení průzkumu v oblasti tváření a vytvoření přehledu moderních metod tváření polotovarů 3D ohybem. V práci by měl být uveden princip jednotlivých metod, užívané stroje, nástroje a polotovary. Práce by měla dále obsahovat příklady takto vyráběných dílců a obrázkovou dokumentaci.

Seznam odborné literatury:

BANABIC, Dorel. Advanced Methods in Material Forming. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007. ISBN 978-3-540-69844-9.

SAMEK, Radko, Zdeněk LIDMILA a Eva ŠMEHLÍKOVÁ. Speciální technologie tváření: Část II. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-214-4406-5.

TSCHAETSCH, Heinz. Metal Forming Practise: Process - Machines - Tools. New York: Springer Berlin Heidelberg, 2006. ISBN 3-540-33216-2.

LIDMILA, Zdeněk. Teorie a technologie tváření I. 1. vyd. Brno: Vydavatelské oddělení UO, 2008. ISBN 978-80-7231-579-6.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Eva Peterková, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 19.11.2013

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

KRÁČMAR Lukáš: Metody 3D ohybu.

Projekt je vypracovaný v rámci bakalářského studia Strojního inženýrství a zabývá se přehledem moderních metod 3D ohybu součástí. V práci jsou uvedeny jednotlivé metody 3D ohybu, součásti, které se těmito metodami vyrábějí a stroje, na kterých se tyto součásti zhotovují.

Klíčová slova: 3D ohyb, ohýbání plechů, ohýbání trubek, zakružování

ABSTRACT

KRÁČMAR Lukáš: Methods of 3D bending.

The project is developed in the context of a bachelor's degree in Mechanical Engineering and deals with an overview of modern methods of 3D bending part. The paper presents the different methods of 3D bending components that are produced by these methods and machines on which these components produce.

Keywords: 3D bend, plate bending, tube bending, roll bending

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KRÁČMAR, Lukáš. *Metody 3D ohybu*. Brno, 2014. 24 s, CD. Bakalářská 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.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 29.5.2014

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji paní Ing. Evě Peterkové, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

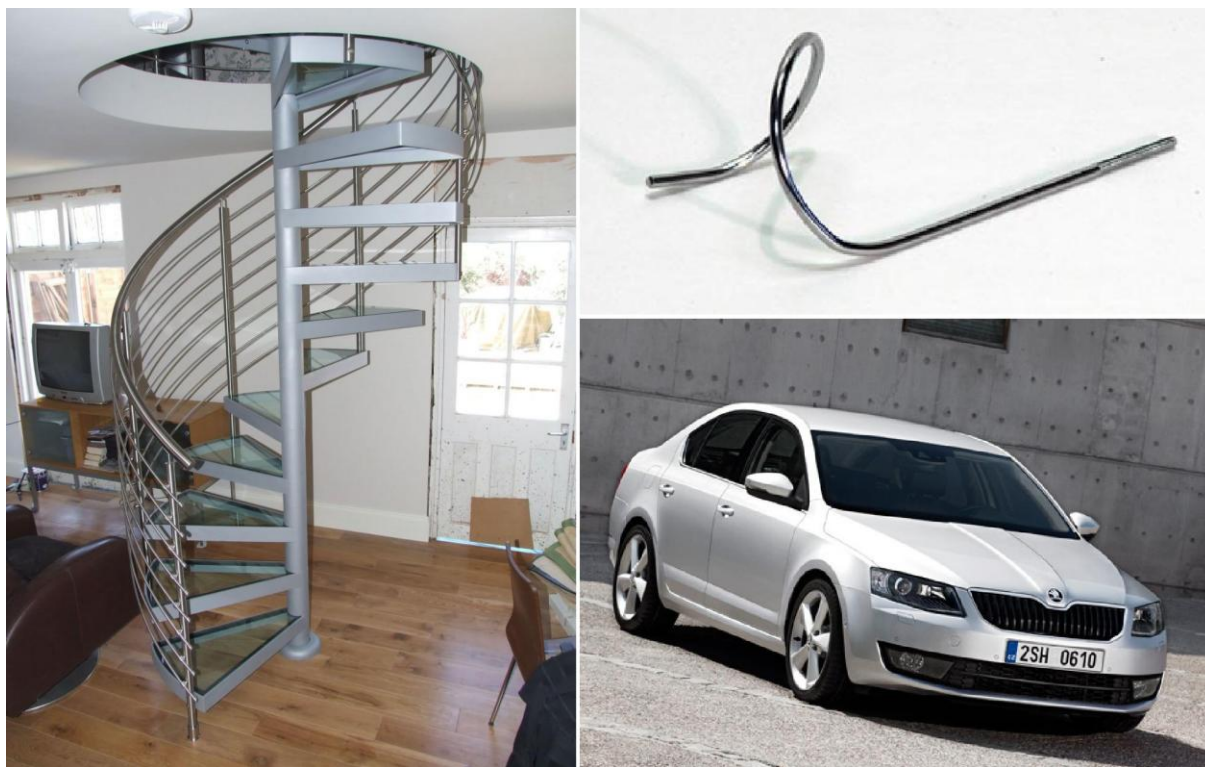
Obsah

	Str.
ÚVOD	9
1 TECHNOLOGIE OHÝBÁNÍ	10
1.1 Princip ohybu	10
1.1.1 Technologičnost ohýbaných součástí	10
1.1.2 Odpružení při ohybu	13
2 METODY 3D OHYBU	14
2.1 3D ohýbání plechů	14
2.1.1 Lisování	14
2.1.2 Hydroforming	15
2.1.3 Vypínání	16
2.1.4 Ohýbání laserem	17
2.1.5 Lemování	18
2.2 3D ohýbání trubek a drátů	19
2.2.1 Zakružování	19
2.2.2 CNC zakružování	20
2.2.3 Flexibilní ohýbání	20
3 SOUČÁSTI VYRÁBĚNÉ 3D OHYBEM	22
4 ZÁVĚR	24
Seznam použitých zdrojů	
Seznam použitých symbolů a zkrat	

ÚVOD [1][2][3][12][23][28]

Ohýbání je metoda tváření, která je hojně využívána napříč různými odvětvími průmyslu. Jedná se o trvalou deformaci materiálu při minimální změně průřezu. Ohýbání lze technologicky rozdělit na ohyb plechů a ohyb trubek, tyčí a drátů.

3D ohybem rozumíme ohyb ve více rovinách. Jedná se tedy u plechů o různé vypouklé součásti a u trubek, tyčí a drátů o různé spirálovité součásti a podobně. Díky 3D ohýbaným součástem mají konstruktéři daleko větší možnosti při navrhování konstrukcí, což se pozitivně projevuje na jejích vlastnostech jako je například váha, aerodynamika nebo úspora prostoru. Oproti 2D ohybu, který lze za pomoci různých nástrojů provádět i ručně, je 3D ohyb velice náročnou technologickou operací, která se většinou provádí na moderních CNC ohýbacích strojích, nebo na lisovacích strojích. Takové součástky je možné najít v přístrojích a strojích od domácích spotřebičů, přes automobilový průmysl, například v podobě karoserie, až po letecký průmysl. 3D ohyb najde své využití i v odvětvích jako je architektura nebo design.



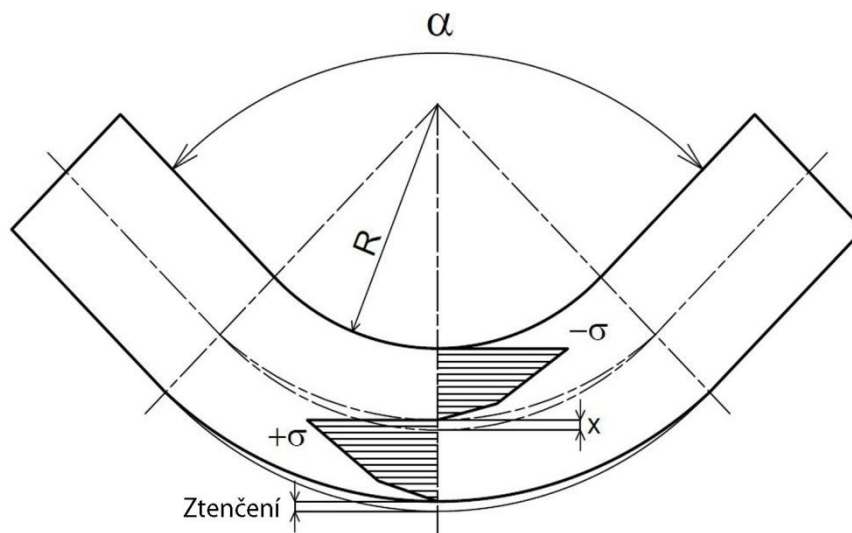
Obr. 1 Příklady 3D ohýbaných součástí [12][23][28]

1 TECHNOLOGIE OHÝBÁNÍ [2][3]

Ohýbání je ve strojírenské výrobě běžnou a velice používanou technologickou operací. Jako výchozí polotovary pro výrobu ohýbaných součástí jsou nejčastěji plechy, dráty, tyče nebo trubky. Většinou se materiály ohýbají za studena, materiály tvrdé, křehké apod. se ohýbají za tepla. Požadovaného tvaru je pak dosaženo jedním nebo i více ohyby za pomoci nástrojů (ruční ohýbání) nebo strojních ohýbaček. Ohyb lze pak uskutečnit v jedné či více rovinách. Ohýbání ve více rovinách, neboli prostorový ohyb, je prováděno převážně strojně a to z důvodu náročnosti operace. Mnohem náročnější je i následná kontrola geometrie takových dílců.

1.1 PRINCIP OHYBU [2][3]

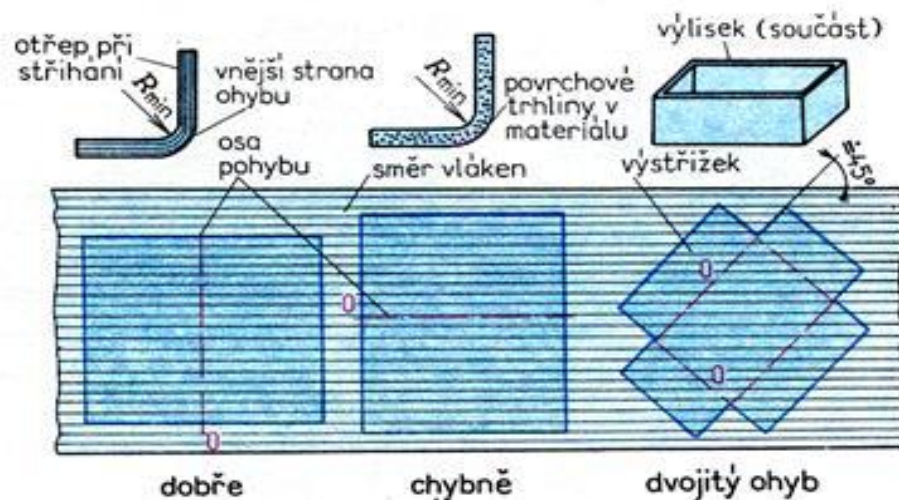
Při deformování materiálu ohybem dochází k deformaci vnitřních vláken materiálu a to tak, že vlákna na vnitřní straně ohybu jsou stlačována a na vnější straně natahována. Prakticky se jedná o trvalou deformaci materiálu realizovanou prostřednictvím vnějších ohybových momentů M_o vyvozených ohybovou silou. Současně s touto deformací vzniká v materiálu vnitřní napětí, jehož velikost se mění od povrchu směrem ke středu tloušťky polotovaru. Maximální hodnoty deformace a napětí jsou v krajních vláknech materiálu a postupně směrem k střední ose polotovaru se zmenšují. V místě nulové hodnoty napětí a deformace prochází tzv. neutrální osa, kde se mění charakter zatěžení. Nad neutrální osou se jedná o tahové zatěžení, pod neutrální osou o tlakové zatěžení. Neutrální osa si zachovává svou délku. Na počátku procesu je neutrální osa přesně uprostřed průřezu. Při ohybu se pak posouvá směrem k vnitřní straně ohybu a to pouze v ohýbané části. Největší vliv na posuv „ x “ neutrální osy ze středu průřezu k vnitřní straně má poloměr ohybu „ R “. Při velkém poloměru ohybu je posun neutrální osy takřka zanedbatelný, s nižším poloměrem se pak posun osy zvětšuje. Výše popsaným způsobem pak můžeme materiál buď ohýbat, nebo také rovnat. Průběh napětí a posun neutrální osy je znázorněn na obrázku 1.1.



Obr. 1.1 Průběh napětí při ohybu [2]

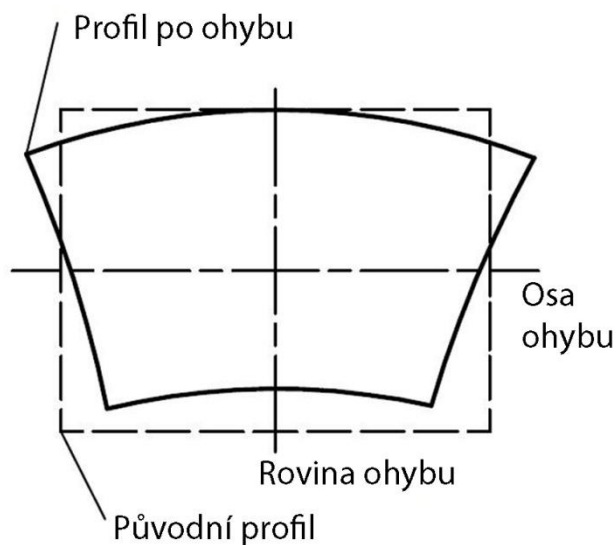
1.1.1 Technologičnost ohýbaných součástí [2][3][13]

Při ohýbání se setkáme i se vznikem mnoha defektů. Nejčastěji se setkáme se vznikem trhlin na vnější straně ohybu. Proto je potřeba správně vypočítat kritický poloměr ohybu kdy dojde k poškození materiálu a také zajistit, aby osa ohybu byla kolmá ke směru vláken materiálu. U dvojitého ohybu pak mají být vlákna k ose kolem 45° , jako na obrázku 1.2.



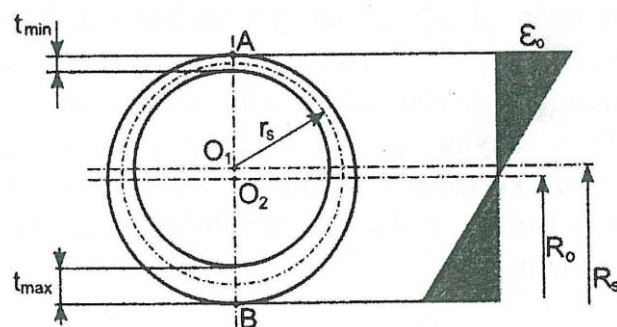
Obr. 1.2 Průběh vláken [13]

Pro deformace plechů je nutné rozdělení na deformaci širokých pásů a deformaci úzkých pásů plechu. U obou případů dochází ke změně průřezu v místě ohybu. Vlivem tlakových sil na vnitřní straně ohybu a tahových sil na vnější straně ohybu dochází k přesunutí materiálu, což má za následek ztenčení průřezu v místě ohybu a posunutí neutrální osy. U úzkých pásů plechu dochází také k přetvoření v příčném směru. Působením tlakových sil na vnitřní straně ohybu dochází k hromadění materiálu, což má za následek rozšiřování polotovaru v příčném směru. Na vnější straně ohybu dochází naopak k úbytku materiálu a následnému ztenčení v příčném směru. Příčnou deformaci zachycuje obrázek 1.3. U širokých pásů k této deformaci nedochází, protože proti deformacím v příčném směru působí odpor materiálu velké šířky vzhledem k jeho malé tloušťce.



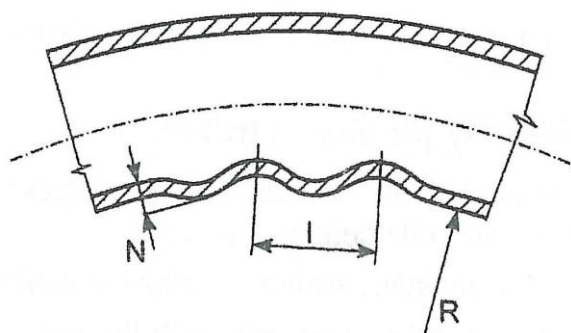
Obr. 1.3 Příčná deformace [13]

Zejména pro ohýbání trubek pak dochází k defektům, jako je ztenčení stěny v oblasti vnějšího poloměru ohybu, zvlnění stěny v oblasti vnitřního poloměru ohybu nebo zploštění kruhového průřezu. Při ohybu trubky dochází k přesunu materiálu z horní tahové oblasti do dolní tlakové oblasti. Což má za následek ztenčování stěny (obrázek 1.4). Tomuto jevu není možné úplně zamezit ani v případě použití výplní.



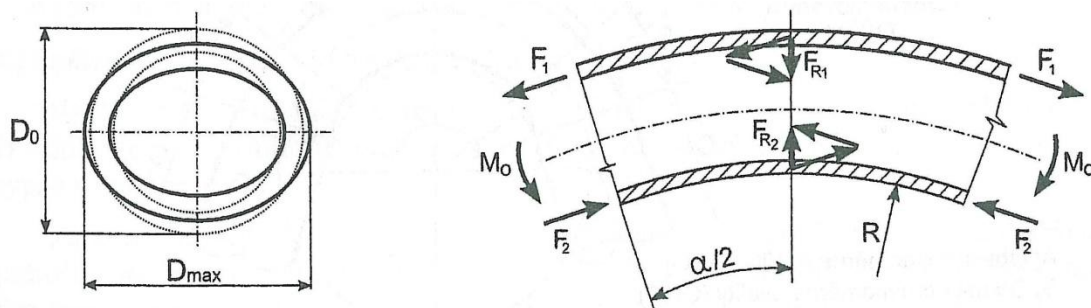
Obr. 1.4 Ztenčení stěny [3]

Dolní stěna je zatěžována tlakem a při zvlnění stěny dochází ke ztrátě stability této stěny, jako na obrázku 1.5. U dílců, které jsou v provozu vystaveny extrémním změnám tlaků nebo vibracím nejsou vlny žádoucí. Pro běžné dílce pak normy uvádějí dle funkce přípustný počet vln, jejich rozteč a výšku.



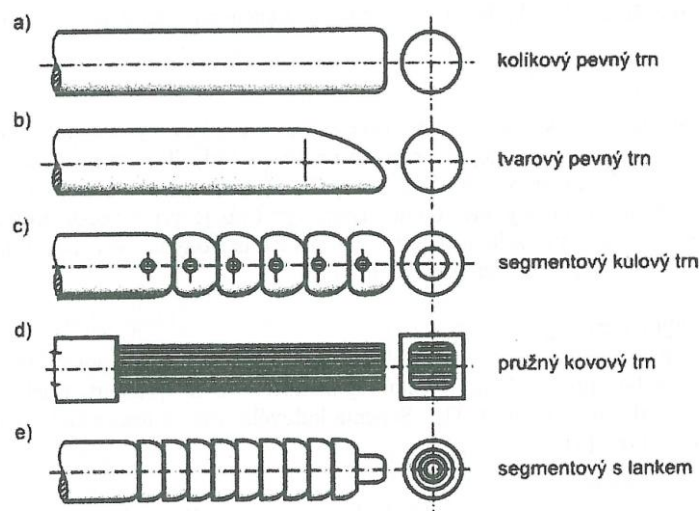
Obr. 1.5 Tvoření vln [3]

Ovalita je důsledkem vnějšího ohybového momentu, který má za následek vznik tahového a tlakového napětí. Těmto napětím odpovídají vnitřní tahové „ F_1 “ a tlakové „ F_2 “ síly. Ke vzniku ovality také přispívá opěrný tlak od ohybníku a ohýbací matrice. Vznik ovality je znázorněn na obrázku 1.6.



Obr. 1.6 Ovalita a zatížení ohnutého úseku [3]

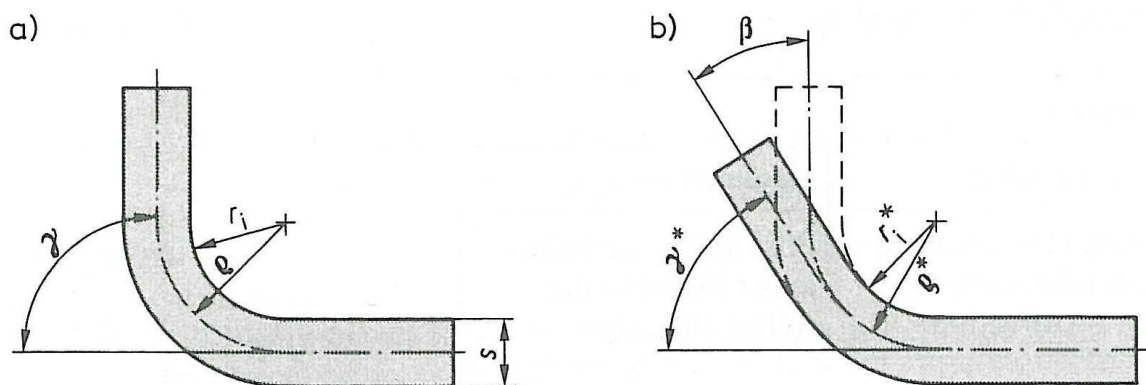
Vznik defektů lze u trubek do jisté míry potlačit použitím vhodných výplní pro stabilizaci kruhového průřezu. Tyto výplně bývají tuhé, tekuté, elastické, mechanické nebo sypké. Další možností je užití kovových stabilizačních trnů. Přehled stabilizačních trnů je na obrázku 1.7. Trny se vyrábějí ve třech základních typech. Pevné, pružné a segmentové. U pevných trnů je stěna trubky během ohýbání přetahována přes konec trnu. Pružné a segmentové trny jsou ohýbány spolu s polotovarem.



Obr. 1.7 Přehled kovových stabilizačních trnů [3]

1.1.2 Odpružení při ohybu [4]

Dalším problémem, který s sebou přináší ohýbání, je odpružení materiálu po uvolnění. Odpružení je znázorněno na obrázku 1.8. Je způsobeno elastickou deformací materiálu, která nastává před dosažením meze pevnosti materiálu a tato deformace je vratná. Po překročení meze pevnosti pak působí jak elastická, tak plastická (nevratná) deformace. Po uvolnění zůstává tzv. zbytková křivost a stává se konečným zakřivením v ohybu. Pro správné provedení ohybu je potřeba odpružení určit předem. To je možné na základě tabulek a diagramů, přesněji pak výpočtem.



Obr. 1.8 Odpružení (a - před, b - po uvolnění) [4]

2 METODY 3D OHYBU

3D ohýbání je v dnešní době na vzestupu, protože umožňuje velké možnosti tvarování výsledné součásti malých i velkých rozměrů. Technologicky se ohýbání rozděluje do dvou skupin:

- Ohýbání plechů
- Ohýbání trubek, profilů a drátů

2.1 3D OHÝBÁNÍ PLECHŮ

3D ohýbání plechů je nejčastěji prováděno na strojních lisech. Alternativním řešením je například hydroforming, který je jako metoda ohýbání na vzestupu. Pro velké vypouklé součásti se hodí technologie vypínání. Velice zajímavá metoda 3D ohybu je ohýbání laserem. Lemování okrajů součástí dutými a vypouklými lemy je další metodou 3D ohýbání.

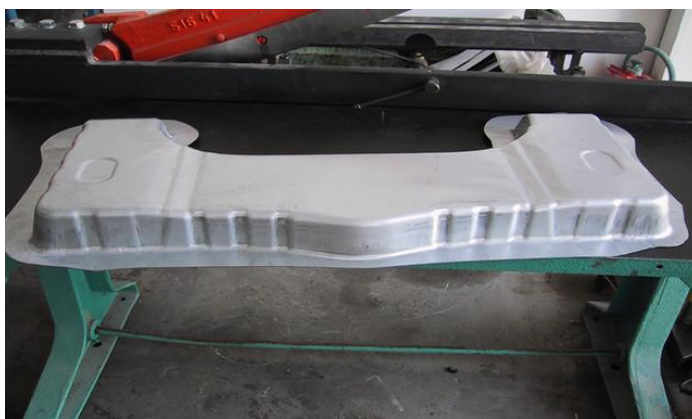
2.1.1 Lisování [5][6][16][19][20][24]

Lisování je proces, kdy je výsledný tvar součásti získán stlačením polotovaru mezi dvě části matrice, které na sebe přesně dosedají. Na obrázku 2.2 je příklad zhotovené součásti pomocí matrice, která je na obrázku 2.1. Získání výsledného tvaru je pak většinou dosaženo kombinací prostorového ohýbání a tažení. Celý proces výroby na lisovacím stroji bývá kombinací několika kroků podle požadavků konkrétního výrobku. Může zde být zařazeno například děrování, stříhání či ražení.



Obr. 2.1 Matrice [19]

Lisy jsou děleny podle způsobu pohonu na mechanické a hydraulické. Většina mechanických lisů má motory poháněné setrvačníky, které působí jako úložiště energie, která je následně převedena na pohyb beranu. Mechanické lisy pracují na vyšších rychlostech než hydraulické a jsou tak efektivnější. Naproti tomu hydraulické lisy jsou poháněny tlakem v hydraulických válcích. Řízení tlaku ve válcích tedy



Obr. 2.2 Výlisek [19]

umožňuje řízení síly vyvíjené beranem přes horní matrici na polotovar a dolní matrici.

Pro běžný způsob lisování plátí, že matrice je pevný nástroj vyrobený na míru každému odlišnému dílu. Můžeme se však setkat i se zvláštními typy CNC lisů, jako na obrázku 2.3, které disponují tvarovatelným ohybníkem. Dolní i horní část je rozdělena do několika malých plošek, které je možno vysouvat a zasouvat podle potřeby výsledného tvaru. Tímto způsobem lze vyrábět různé vypouklé součásti (obrázek 2.4), ne však žádné složitější tvary. Používá se pro stavbu lodí.



Obr. 2.3 CNC lis [20]

Lisování je hojně používaný způsob tváření právě pro svou vysokou výrobní rychlost. Hodí se tak pro velké série výrobků. Výhodou je, že tímto způsobem lze vyrobit široké spektrum výrobků. Proto se s lisovanými součástmi setkáváme prakticky v každém odvětví průmyslu. Od součástek v domácích spotřebičích až po součásti automobilů.



Obr 2.4 Lisovaná součást [24]

2.1.2 Hydroforming [15][21]

Hydroforming je metoda tváření, která je v poslední době hojně rozšířená. Je hojně využívána jak pro tvarování profilů, tak tvarování plechů. V principu se jedná o velice podobnou metodu jako u lisování, o kterém bylo zmíněno v předchozí kapitole. Často jde o kombinaci ohýbání a tažení. Pro tvarování plechů je jedna z pevných matic však nahrazena

hydraulickým tlakem. Kapalina je potom buď tlakem tlačena na polotovar, který je tak formován o matrici, nebo je i s matricí beranem tlačěn do kapaliny a tím se v kapalině vytváří protitlak. Výhodou je, že kapalina tlačí na součást vždy v kolmém směru a tím dosahuje lepších přesností součástí. Dále nabízí zvýšené možnosti pro design výrobku a vyšší pevnost na stranách výrobku. Hydroforming se hojně využívá v automobilovém průmyslu například pro výrobu kapoty, která je na obrázku 2.5, dveří či víka kufru. Je však vhodný spíše pro menší výrobní série například sportovních vozů.



Obr. 2.5 Výlisek zhotovený metodou hydroforming [21]

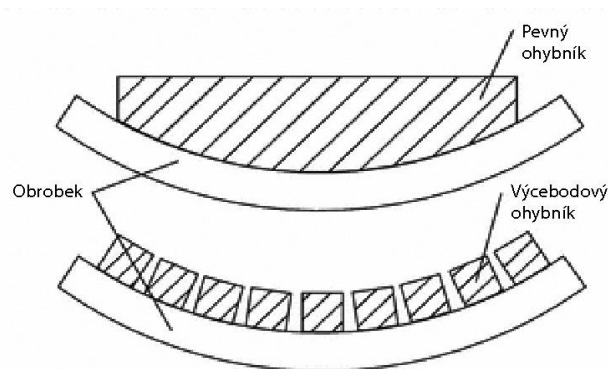
2.1.3 Vypínání [3][11][22]

Vypínání je technologie, při které je plech ohýbán za pomoci tahové síly. Polotovar je upnut do čelistí a následně natažen na ohybník, který tak udává konečný tvar součásti. Při vypínání plechů je pak polotovar upnut mezi sérii čelistí na každé straně (obrázek 2.6), které před natažením polotovaru na ohybník vypínají polotovar na hodnotu meze kluzu a mohou se přizpůsobivě ohýbat vzhledem k požadovanému tvaru součásti. Přídavné tahové napětí způsobí, že polotovar je namáhán tahem v celém průřezu, což se velmi pozitivně projeví na odpružení ohybu.



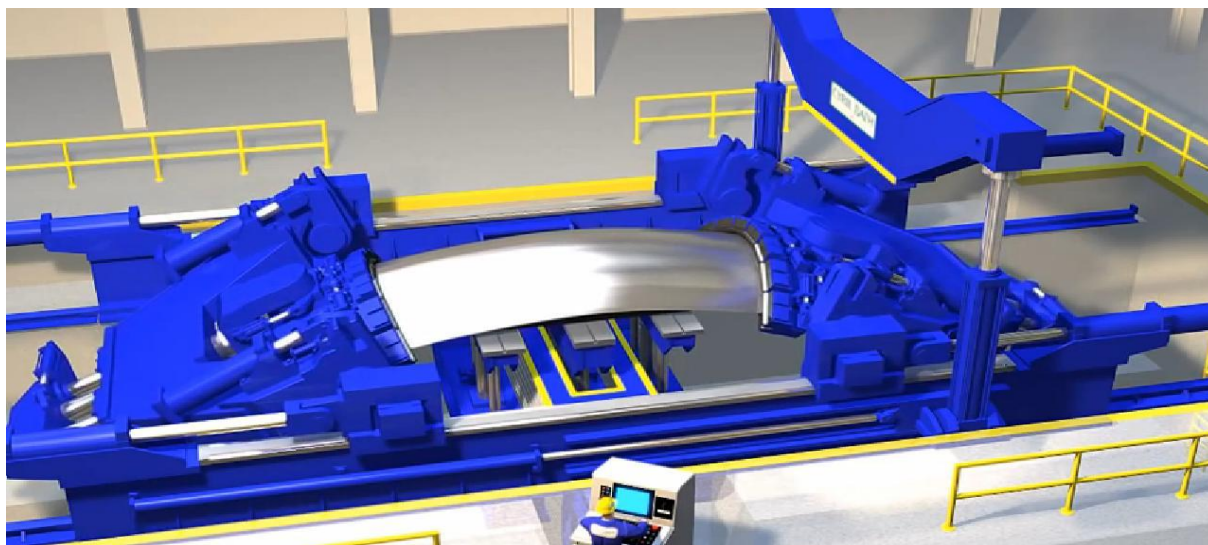
Obr. 2.6 Čelisti vypínacího stroje [22]

Jak již bylo řečeno, velice důležitou, ne-li nejdůležitější součástí vypínacího stroje je ohybník, který formuje výsledný tvar ohybu. Ohybník pak může být buď pevný, nebo vícebodový. Vypínání na pevný ohybník je klasická metoda vypínání a je určen pro výrobu jednoho konkrétního výrobku. Naproti tomu vícebodové vypínání umožňuje ohybník přizpůsobit libovolně podle potřeby. Jedná se o několik naklonitelných destiček, které se podle potřeby vysouvají či zasouvají a společně potom tvoří požadovaný profil. Na obrázku 2.7 je schéma pevného a vícebodového ohybníku.



Obr. 2.7 Pevný a vícebodový ohybník [11]

Vypínání se tedy nejvíce hodí pro výrobu různých vypouklých dílů například u dopravních prostředků. Hojně využívaná je tato technologie například v letectví k výrobě plátů na povrch letadel a podobně. Díky malému zpětnému odpružení je pak dosaženo vysoké přesnosti. Proces vypínání je na obrázku 2.8.



Obr. 2.8 Vypínání [22]

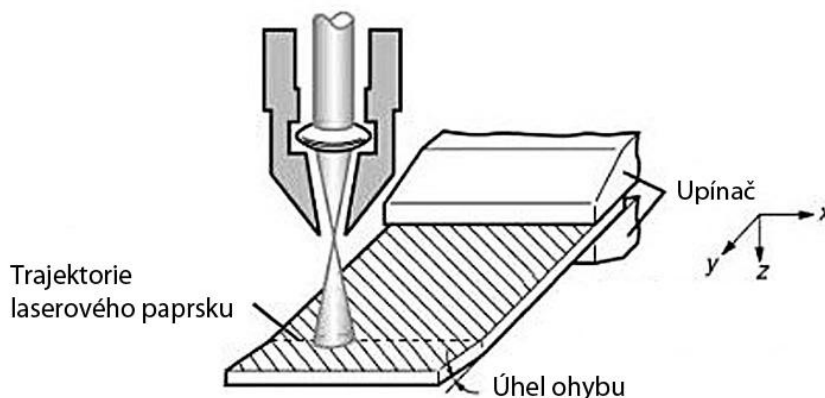
2.1.4 Ohýbání laserem [3][14][27]

Ohýbání laserem je netradiční proces tváření, kde se nevyužívá pevných nástrojů a vnějších sil, a tak je možné zvýšit flexibilitu procesu. Princip spočívá ve využití laserového paprsku k lokálnímu ohřevu materiálu. Tepelně zasažená oblast pak vykazuje tepelně indukované napětí v tlaku v důsledku omezení tepelné roztažnosti vlivem okolního materiálu. Chladnoucí materiál v zasažené oblasti pak způsobí zkracování vláken a tím pádem i ohyb materiálu. Při prostorovém ohýbání plechů je nutné, aby byl laser pohybován



Obr. 2.9 Výrobek ohýbaný laserem [27]

CNC systémem. Klíčové pro celý proces je pak správné nastavení velikosti a intenzity laserového paprsku a dráhy, po které stroj paprskem po polotovaru pohybuje. Princip je znázorněný na obrázku 2.10, příklad výrobku na obrázku 2.9.



Obr. 2.10 Ohyb laserem [14]

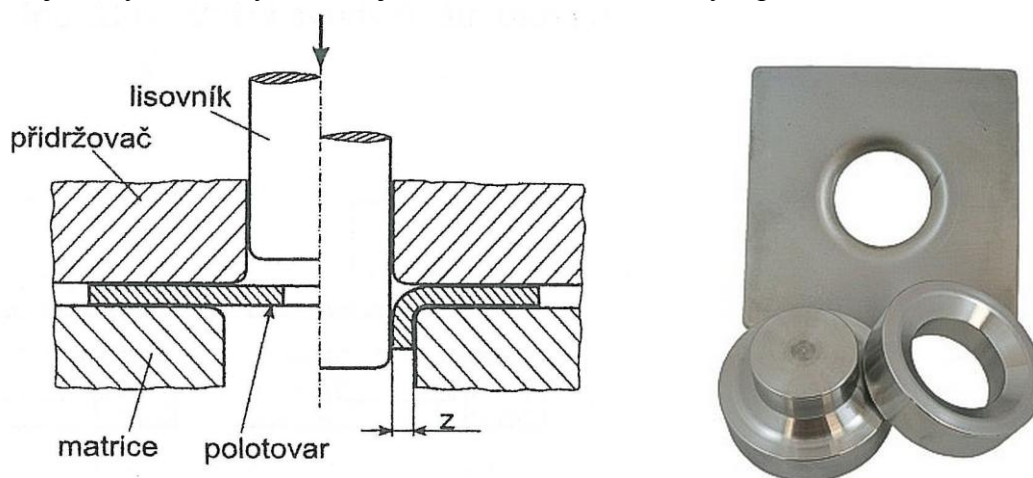
2.1.5 Lemování [2][3][9]

Technologie lemování je pro prostorový ohyb rozdělena do dvou kategorií:

- Uzavřený (dutý) lem, kruhové a nekruhové otvory
- Otevřený (vypuklý) lem, většinou obvody u dílců z plechu

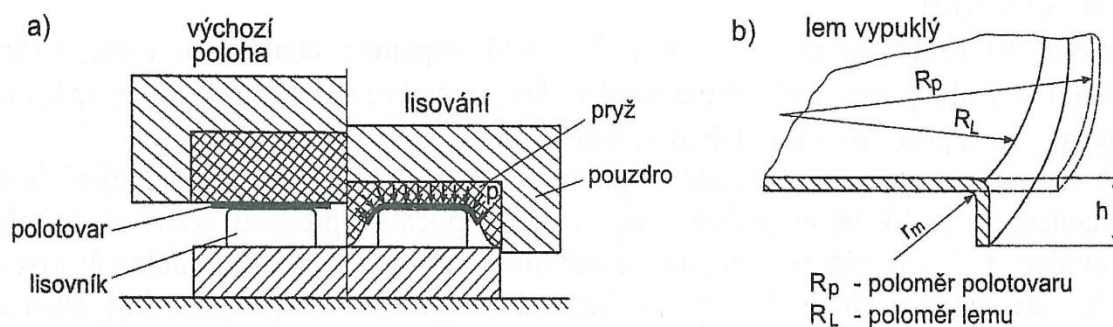
Lemy zvyšují vzpěrnou stabilitu stěn a zároveň kvadratický moment průřezu. Často se jedná o odlehčovací otvory, kde je využito snížení hmotnosti při zachování pevnostních charakteristik. Ty pak dále usnadňují instalaci elektro a hydrosystémů atd. Lemy otvorů mohou být opatřeny závitem za účelem šroubového spoje. Lemy na obvodech dílců dále umožňují spojování nýtováním či bodovým svařováním.

Lemování otvorů (obrázek 2.11) se z pravidla provádí na lisech s pevným nástrojem. Je doprovázeno vznikem tahové síly podél hrany lemu. V důsledku toho se tloušťka plechu zmenšuje a může dojít i ke vzniku trhlin. Matrice má zaoblenou hranu a může být použit i přidržovač, který udržuje rovinu plechu. Takový lem může být proveden v různých tvarových variantách, které jsou ovlivněny čelem lisovníku a mezerou mezi lisovníkem a matricí. Pevný nástroj lze využít i k výrobě vnějších lemů s relativně malým poloměrem obvodové křivky.



Obr. 2.11 Lemování otvorů [3][9]

Lemování nepevným nástrojem se nejvíce hodí na lemování okrajů obrobku, kde je největším problémem přebytek materiálu a s ním spojené tvoření vln na lemu. Lisovnicí je zde elastomer (pryž, polyuretan) uložený v pouzdře. Při stlačení lisu elastomer obtéká obrobek a ten je tak tlačěn na lisovnick, podle kterého je lem vytvarován. Jako zdroj tlaku může být použita i kapalina působící přes elastomerovou desku, což je varianta hydroformingu. Lemování okrajů nepevným nástrojem je znázorněno na obrázku 2.12.



Obr. 2.12 Lemování okrajů [3]

2.2 3D OHÝBÁNÍ TRUBEK A DRÁTŮ

3D Ohýbání trubek a drátů se z pravidla provádí na zakružovacích stojích. Je možné využít běžné zakružovací stroje nebo CNC ohýbací stroje pro ohyb trubek a drátů. Dále se nabízí moderní metoda flexibilního ohýbání.

2.2.1 Zakružování [1][3][10]

Metoda zakružování je jedna z nejvíce používaných metod ohýbání profilů pro její velkou flexibilitu a relativně nízkou cenu strojů. Metoda je vhodná pro profily a trubky, které mají jen jeden poloměr ohybu. Je vhodná pro tlustostěnné trubky větších průměrů. Pro zakružování jsou nejčastěji použity tříválcové zakružovačky. Výhodou je, že pro libovolný poloměr ohybu stačí nastavení polohy jen jednoho válce v jedné ose. Protahením profilu v zakružovačce tak vzniká kruhový ohyb po celé délce profilu. Ne na všech běžných zakružovačkách je možné dosáhnout 3D ohybu. Některé však mají pomocné nastavitelné vodící válce, které umožňují výrobu šroubovic a spirálovitých součástí s relativně malou roztečí. Vodící válec je umístěn za trojicí zakružovacích válců a jeho posuvem je možné nastavit stoupání. Příklad malé zakružovačky je na obrázku 2.13.



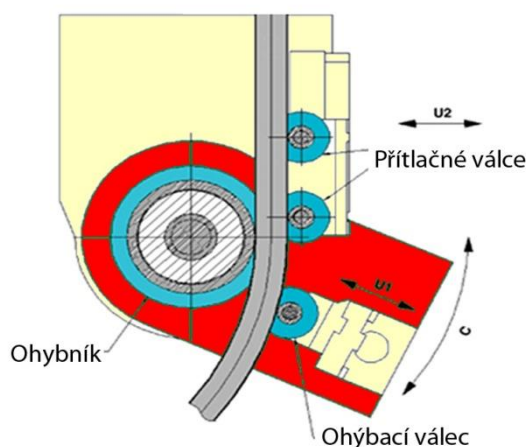
Obr. 2.13 Zakružování [10]

2.2.2 CNC Zakružování [7][26]

CNC Zakružování je stejně jako běžné zakružování metoda, kdy se mezi profilovými válci nebo kladkami, jejichž poloha udává poloměr ohybu, protáhne trubka nebo drát. Rozdíl je v uspořádání nástroje a v zajištění pohybu polotovaru. Tato metoda je využívána jako součást univerzálních CNC ohýbaček, kde je polotovar upnut do posunovače, který zajišťuje pohyb polotovaru jeho tlačení. Zatímco při běžném zakružování je pohyb zajištěn rotujícími válci. Posunovač může mezi jednotlivými ohyby měnit roviny ohybu tím, že se otáčí kolem své osy. Při 3D zakružování pak protlačuje polotovar skrz válce a zároveň se otáčí kolem své osy. Tímto způsobem lze prostorově ohýbat trubky a dráty kruhového průřezu. Na obrázku 2.15 je znázorněno schematické uspořádání nástroje, na obrázku 2.14 je univerzální CNC ohýbačka s možností CNC zakružování.



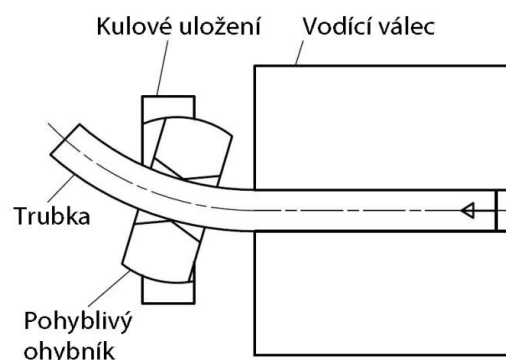
Obr. 2.14 CNC zakružování [7]



Obr. 2.15 Uspořádání zakružovacího nástroje na CNC stroji [26]

2.2.3 Flexibilní ohýbání [1][3][18]

Způsob ohybu u flexibilního ohýbání (obrázek 2.16) spočívá v tom, že polotovar je upnut do posunovače, který ho posouvá skrz pevný vodící válec a pohyblivý ohybník. Poloměr a úhel ohybu je řízen vzdáleností a nakloněním pohyblivého ohybníku od pevného vodícího válce. Výhodou je, že tímto způsobem lze vyrábět součásti bez přímých částí mezi jednotlivými ohyby a velice jednoduše natočením nebo posunutím ohybníku vytvářet složité prostorové ohyby a měnit poloměr a úhel ohýbání během jednoho



Obr. 2.16 Schéma flexibilního ohýbání [3]

ohybu. Metoda je vhodná jak pro trubky, tak profily různých tvarů. Nevýhodou je, že pro každý takový tvar a průměr je potřeba jiný ohýbník. Dále je délka polotovaru omezena délkou upínacího stolu a nezanedbatelné jsou i vysoké náklady na pořízení takového stroje, jako je například Nissin na obrázku 2.17.



Obr. 2.17 Flexibilní Ohýbání [18]

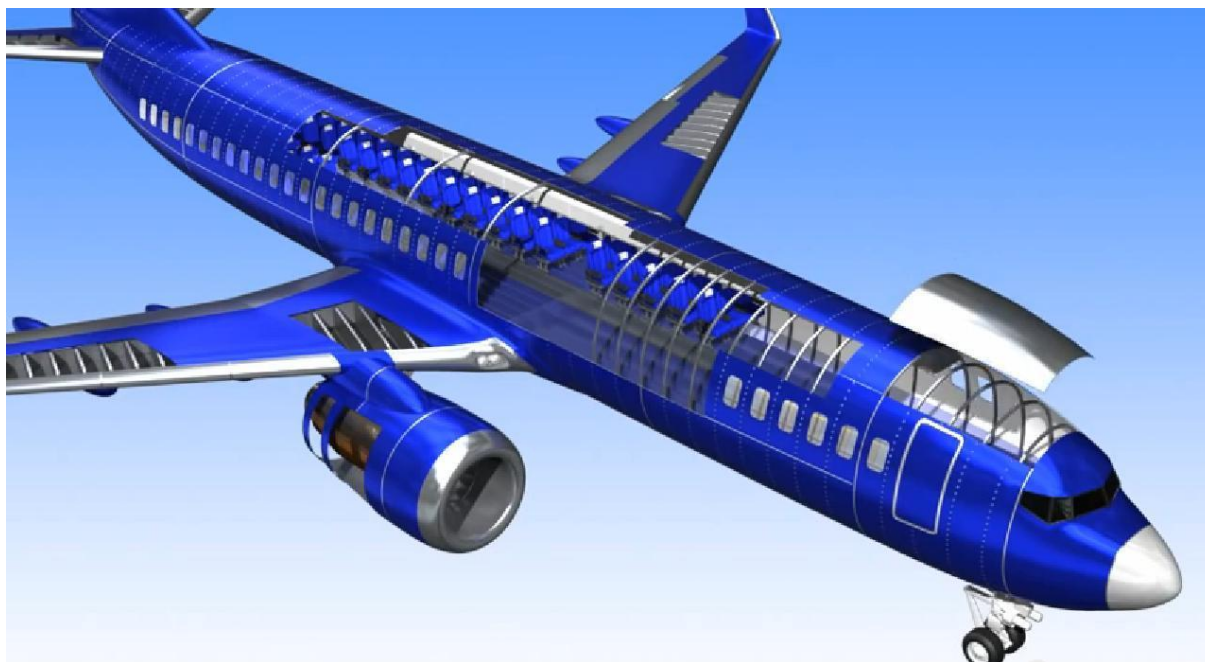
3 SOUČÁSTI VYRÁBĚNÉ 3D OHYBEM [8][17][22][25][28]

Na obrázku 3.1 je blatník určený pro automobil Škoda Rapid. Jedná se výlisek z nové plně automatické servomechanické lisovací linky PXL, která byla v roce 2013 otevřena v hlavním závodě automobilky Škoda v Mladé Boleslavi. Dokáže vyrobit kolem 4,4 miliónů dílů ročně, včetně dílů karoserie.



Obr. 3.1 Blatník automobilu Škoda Rapid [25]

Obrázek 3.2 zachycuje model plátu letadla od společnosti Cyril Bath, která používá technologii vypínání plechů k výrobě plátů pro dopravní letadla. Vypínání je běžným způsobem k výrobě takových dílců v leteckém průmyslu.



Obr. 3.2 Dílce letadla vyráběné technologií vypínání [22]

Na obrázku 3.3 je pružina z airsoftové zbraně. Takové pružiny se vyrábí na strojích určených k výrobě pružin, které využívají metodu zakružování.



Obr. 3.3 Airsoftová pružina [8]

Metodou CNC zakružování vyrábí firma Marshall některé složité lékařské nástroje, které jsou na obrázku 3.4.



Obr 3.4 Lékařské nástroje [28]

Ohýbané součásti pro židli a lampu na obrázku 3.5 byly vyráběny metodou flexibilního ohýbání na ohýbacím stroji od společnosti Nissin, který je na obrázku 2.16 v předchozí kapitole. Protože stroj umožňuje výrobu velice složitých ohybů, je vhodný i pro výrobu různých designových prvků.



Obr. 3.5 Výrobky ze součástí zhotovených flexibilním ohýbáním [17]

4 ZÁVĚR

3D ohýbání je běžnou technologickou operací, která nachází široké uplatnění při výrobě součástí od kuchyňských spotřebičů po letecký průmysl. Díky těmto součástem lze vyrábět lehčí, efektivnější nebo i aerodynamičtější konstrukce.

Pro prostorové ohýbání plechů se nabízí několik způsobů. Nejvíce využívanou metodou je zřejmě metoda lisování plechů. Mezi nesporné výhody této metody patří velká výrobní rychlost a možnost kombinovat ohýbání s dalšími tvářecími technologiemi jako je tažení, děrování, ražení, nebo lemování. Lisované součásti se mimo jiné hojně využívají v automobilovém průmyslu k výrobě karoserií a podobně. Zajímavostí je CNC lis s tvarovatelným ohybníkem, který najde uplatnění například v loděřství. Technologicky podobnou metodou jako lisování je hydroforming. Tlak pevného ohybníku zde nahrazuje tlak kapaliny. Hydroforming je však náročnější, rychlost výroby pomalejší a skutečných výhod v podobě pevnosti stěn dosahuje spíše při tažení. Dále lze plechy ohýbat vypínáním. Výhodou je eliminace odpružení a metoda se využívá například v letectví. Můžeme také využít pevný nebo tvarovatelný ohybník. Pro posílení vzpěrné stability na okrajích součástí a děr je vhodná technologie lemování. Poněkud netypickou metodou je ohýbání laserem, protože nevyužívá tuhých ohybníků ale tepelné roztažnosti materiálu. Bohužel je velice obtížné nastavení dráhy a intenzity paprsku a proto nemá 3D ohyb laserem velké uplatnění.

Ohýbání trubek, tyčí a drátů se provádí za pomoci tří a čtyřválcových zakružovaček. Běžné zakružování je vhodné pro kusovou i sériovou výrobu, ale nelze vyrábět žádné složité tvary. Vystačit si musíme s výrobou šroubovic a spirál. Mezi takto vyrobené součásti patří různé druhy pružin nebo některé topné spirály. CNC zakružování nabízí daleko větší možnosti ohýbání. Prostorového ohybu je dosaženo protlačením polotovaru přes válce a zároveň otáčením kolem své osy. Změnami rychlosti je možné v průběhu ohybu měnit jeho charakter. Nejmodernější metodou pro 3D ohyb trubek a drátů je flexibilní ohýbání. Touto metodou lze ohýbat profily téměř libovolně, a proto najde mimo jiné uplatnění i při výrobě složitých designových prvků. Tyto stroje jsou ale velice drahé a pro každý profil je potřeba vlastní ohybník.

3D ohýbání plechů má zejména v automobilovém průmyslu značné zastoupení a to převážně v podobě lisování. Jedná se stále o rostoucí trh a lisování je velice efektivní technologickou metodou a proto se dá předpokládat, že tato metoda bude nadále klíčovou metodou pro formování různých plechových součástí. I 3D ohýbání trubek, tyčí a drátů má stále zastoupení například ve výrobě pružin, topných spirál a podobně. Potenciál ale vykazuje flexibilní ohýbání, které je schopné vyrobit téměř libovolnou součást.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. BANABIC, Dorel. *Advanced Methods in Material Forming*. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007. ISBN 978-3-540-69844-9.
2. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: Plošné a objemové tváření*. 5. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4747-9.
3. SAMEK, Radko, Zdenek LIDMILA a Eva ŠMEHLÍKOVÁ. *Speciální technologie tváření: Část II*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-214-4406-5.
4. TSCHAETSCH, Heinz. *Metal Forming Practise: Process - Machines - Tools*. New York: Springer Berlin Heidelberg, 2006. ISBN 3-540-33216-2.
5. *3D NC plate bending machines Seller, Supplier, Exporter, Manufacturer, Factory* [online]. 2014 [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: http://www.fuzing.com/vli/003999a4c302/3_D-NC-plate-bending-machines
6. *About Metal Stampings* [online]. 2014 [cit. 2014-04-10]. Dostupné z: <http://www.thomasnet.com/about/metal-stampings-78560109.html>
7. *ACME ENGINEERING SDN BHD* [online]. 2012 [cit. 2014-05-01]. Dostupné z: <http://www.acmecom.com/?act=viewProd&cat=89&productId=70>
8. *Airsoft & bull; Pružina - Airsoftpedie* [online]. 2007 [cit. 2014-05-25]. Dostupné z: <http://airsoftpedie.diverzanti.cz/airsoft/Pru%C5%BEina>
9. *DD1002, JMR, Large Dimple Die Set* [online]. [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: http://www.trick-tools.com/JMR_Dimple_Die_Set_Large_Sizes_2_pieces_DD1002_2050#.U2iWxYF_vnM
10. *Eagle Bending Machines CP Series Michfab Machinery* [online]. [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: <http://www.michfab.com/index.php/tube-benders/eagle-bending-machines-cp-series/>
11. *Flexible 3D stretch-bending technology for aluminum profile - Springer* [online]. 2014 [cit. 2014-05-25]. Dostupné z: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00170-013-5590-9#page-1>
12. *Interior: Houses With Spiral Staircases | Sniqi.com* [online]. 2013 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://sniqi.com/magnificent-modern-spiral-stairs-design-inspirations/terrific-glass-spiral-staircase-with-fancy-brown-leather-sofa-also-wooden-parquete-floor/>
13. *Katedra tváření kovů a plastů - Skripta* [online]. [cit. 2014-03-15]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm
14. *Laser Forming :: Total Materia Article* [online]. 2009 [cit. 2014-05-16]. Dostupné z: <http://www.keytometals.com/page.aspx?ID=CheckArticle&site=kts&NM=260>
15. *Liquid curves - TheFabricator.com* [online]. 2014 [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: <http://www.thefabricator.com/article/hydroforming/liquid-curves>

16. *Metal-Stamping Process - Forming Basics - MetalFormingFacts* [online]. 2011 [cit. 2014-04-10]. Dostupné z: <http://www.metalformingfacts.com/forming-basics/metal-stamping-presses-operations.html>
17. *NISSIN* [online]. 2004 [cit. 2014-05-25]. Dostupné z: <http://www.nissin-precision.com/english/sindex.html>
18. *Nissin Tube Bender Delivers Bending Capabilities Unmatched by Conventional Tube Bending | Sharpe Products* [online]. 2011 [cit. 2014-05-01]. Dostupné z: <http://pipebending.wordpress.com/2011/07/01/nissin-tube-bender-delivers-bending-capabilities-unmatched-by-conventional-tube-bending/>
19. *Prototypové nástroje | FORMKOV spol. s r.o.* [online]. 2014 [cit. 2014-04-10]. Dostupné z: <http://www.formkov.cz/prototypove-nastroje>
20. *Sell 3D CNC plate bending machine for shipbuilding - Surele Machinery Group* [online]. 2014 [cit. 2014-05-21]. Dostupné z: http://surelejiao.en.ec21.com/offer_detail/Sell_3D_CNC_plate_bending--8546493.html?gubun=S
21. *Sheet hydroforming - SAE International* [online]. 2014 [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: <http://articles.sae.org/5821/>
22. *Sheet Stretch Forming Overview* [online]. [cit. 2014-04-09]. Dostupné z: <http://www.cyrilbath.com/stretchforming/sheet-stretch-forming.html>
23. *Škoda Octavia III nabídne celkem pět motorů v osmi výkonových verzích | auto.cz* [online]. 2012 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/skoda-octavia-iii-nabidne-celkem-pet-motoru-osmi-vykonovych-verzich-72053>
24. *Skwb2500 3d Cnc Plate Bending Machine in Taian, Shandong, China - Surele* [online]. [cit. 2014-05-21]. Dostupné z: <http://www.tradeindia.com/fp744793/Skwb2500-3d-Cnc-Plate-Bending-Machine.html>
25. *Škoda Auto rozjela provoz servomechanické lisovací linky PXL - MBnoviny - víme, co se na Mladoboleslavsku děje* [online]. 2013 [cit. 2014-05-24]. Dostupné z: <http://www.mbnoviny.cz/clanky/skoda-auto-rozjela-provoz-servomechanicke-lisovaci-linky-pxl/>
26. *Tube Bending Process - Roll Bending* [online]. [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: <http://www.navkasfittings.com/rollbending.html>
27. *View Submissions : New Craft - Future Voices | International Conference* [online]. 2006 [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: <http://www.newcraftfuturevoices.com/module/view-submissions/abstract/207/>
28. *Wire EDM | CNC Swiss Screw Machine* [online]. 2012 [cit. 2014-05-25]. Dostupné z: http://www.marshallmfg.com/parts_show/index.php

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
D_0	Původní průměr trubky	[mm]
$D_{\max}$	Velký průměr zploštělé trubky	[mm]
F_1	Tahová síla	[N]
F_2	Tlaková síla	[N]
F_{R1}	Radiální síla	[N]
F_{R2}	Radiální síla	[N]
g	Poloměr k neutrální ose před odpružením	[mm]
g^*	Poloměr k neutrální ose po odpružení	[mm]
I	Rozteč vln	[mm]
M_0	Ohybový moment	[Nm]
N	Výška vln	[mm]
R	Poloměr ohybu	[mm]
R_O	Vzdálenost k ose	[mm]
R_S	Vzdálenost k ose při ztenčení stěny	[mm]
r_i	Poloměr ohybu před odpružením	[mm]
r_i^*	Poloměr ohybu po odpružení	[mm]
r_S	Poloměr trubky při ztenčení stěny	[mm]
s	Tloušťka plechu	[mm]
$t_{\max}$	Maximální tloušťka stěny	[mm]
$t_{\min}$	Minimální tloušťka stěny	[mm]
α	Úhel ohybu	[°]
β	Úhel odpružení	[°]
γ	Ohybový úhel	[°]
γ^*	Ohybový úhel po odpružení	[°]
ε_0	Přetvoření	[-]
σ	Napětí	[MPa]