

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

URČENÍ TECHNOLOGIE LISOVÁNÍ PLECHOVÉHO DÍLU

NEW TECHNOLOGY OF FORMING METAL SHEET PARTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. Miroslav Blažek

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Jan Zouhar

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Miroslav Blažek

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

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:

Určení technologie lisování plechového dílu

v anglickém jazyce:

New technology of forming metal sheet part

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V práci bude řešena problematika odpružení plechových dílů v daném programu a zpracování výstupu v CAD programu. Součástí práce je rozbor zpracovaných dat ve formě MKP sítě, STL a plošných modelů. U specifikovaného dílu budou určena problematická místa, bude proveden návrh řešení a jeho realizace do konstrukce formy a procesu lisování.

Cíle diplomové práce:

1. Teoretická rešerže
2. Zjištění materiálových dat pro simulaci - provedení trhací zkoušky a určení materiálových charakteristik (R_m , R_p , A).
3. Provedení simulace tažení dílu (sw Autoform, příp. školní software)
4. Skenování dílů pomocí 3D měřicího stroje a následné vyhodnocení odpružení dílu (tvorba programu, vyhodnocení scanů, eliminace odpružení)
5. Určení plánu odladění kritických rozměrů a tolerancí na díle
6. Závěr

Seznam odborné literatury:

FOREJT, M., PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno : Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2006, pp. 1-226.. ISBN 80-214-2374-9,

Autoform workshop manual, Autoform Engineering GmbH, 2009.

TICKOO, Sham., CATIA for Designers, Schererville: CADMIN Technologies. ISBN 1-932709-02-9

LENARD, John G. Metal Forming Science and Practice, Amsterdam : Elsevier, 2002. s. 363. ISBN 0-08-044024-X

WAGONER, R.H. Metal Forming Analysis, Cambridge : Cambridge University Press, 2001. s. 376. ISBN 0-521-64267-1

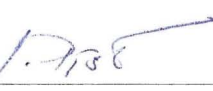
Vedoucí diplomové práce: Ing. Jan Zouhar, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/11.

V Brně, dne 19.11.2010

L.S.




prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá výpočtem a návrhem geometrie funkčních částí nástroje za účelem eliminace odpružení plechového dílu nepravidelného tvaru. V práci je ukázána jedna z možných cest použití FEM simulace procesu a 3D modelování v současné strojírenské společnosti.

Klíčová slova

odpružení, tažení, 3D simulace

ABSTRACT

The Diploma thesis deals with geometry calculation and design tools for the functional parts to eliminate the spring-back of the irregular shaped sheet metal. In this thesis there is shown one of the possible ways for 3D modelling in the recent engineering company.

Key words

spring-back, drawing, 3D simulation

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BLAŽEK, Miroslav. *Určení technologie lisování plechového dílu: Diplomová práce.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. s.85, Ing. Jan Zouhar, PhD.

BLAZEK, Miroslav. *New technology of forming metal sheet parts: Diploma thesis.* Brno: Brno University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, 2011. p. 85 Ing. Jan Zouhar, PhD

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Určení technologie lisování plechového dílu vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

26.5.2011

.....
Bc. Miroslav Blažek

Poděkování

Zde bych chtěl poděkovat vedoucímu práce Ing. Janu Zouharovi, PhD. Dále děkuji firmě PWO Unitools, a.s. převážně Ing. Janu Brimusovi a Ing. Matrinu Slámovi a cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce. Rovněž děkuji svým rodičům za trpělivost a podporu, bez kterých bych to těžko zvládl.

OBSAH

1	ÚVOD.....	8
2	ROZBOR PROBLÉMU	9
2.1	O společnosti PWO Unitools CZ a.s.....	10
2.2	Výrobní strategie.....	12
2.3	Tušírování.....	14
2.4	Ohyb.....	15
2.4.1	Odpružení při ohybu	17
2.4.2	Kombinace ohybu a tahu	19
2.5	Tažení.....	20
2.5.1	Analýza tažení válcového výtažku.....	21
2.5.2	Tažení nerotačních výtažků	22
2.6	Stříhání	23
3	ŘEŠENÍ.....	25
3.1	Softwarové vybavení.....	25
3.1.1	CATIA V5.....	26
3.1.2	AutoForm Incremental a OneStep	28
3.2	Materiál.....	30
3.3	Strojní park	31
3.3.1	Lisovací stroj	31
3.3.2	Měřicí přístroje LabTest a DEA Global Status	32
3.4	Geometrie tažníku a tažnice.....	35
3.5	Výpočet přístřihu	39
3.6	Simulace tažení.....	41
3.6.1	Příprava simulace	41
3.6.2	Materiálové data pro AutoForm	44
3.6.3	Výsledky simulace.....	45
3.7	Posouzení odpružení simulace stříhu a tahu	48
3.8	Odladění odpružení	49
3.9	Kontrola 3D měřením.....	52
4	ZÁVĚR	54
	POUŽITÁ LITERATURA.....	55
	SEZNAM OBRÁZKŮ	57
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	59
	SEZNAM PŘÍLOH.....	60

1 Úvod

Už od počátku je strojírenství jedno z důležitých odvětví průmyslu. Slouží jako relativní ukazatel vyspělosti daného státu, proto se rozvinuté společnosti snaží tento směr zdokonalovat a vytvářet tak základ pro stabilní chod celé ekonomiky. Konkurence a technologický rozvoj posunuje strojírenství mílovými kroky kupředu. Nové inovativní přístupy, zlepšování charakteristik materiálů i výrazné zrychlování počítačové techniky napomáhají ke splnění čím dál náročnějších požadavků. Mezi nejvýznamnější odvětví blízce související se strojírenstvím patří automobilový průmysl, který je neustále se rozvíjející díky tvrdému konkurenčnímu boji. Nutností k udržení mezi špičkou automobilek je znalost nejnovějších technologií v oblastech materiálového inženýrství, svařování, konstrukce a dalších.

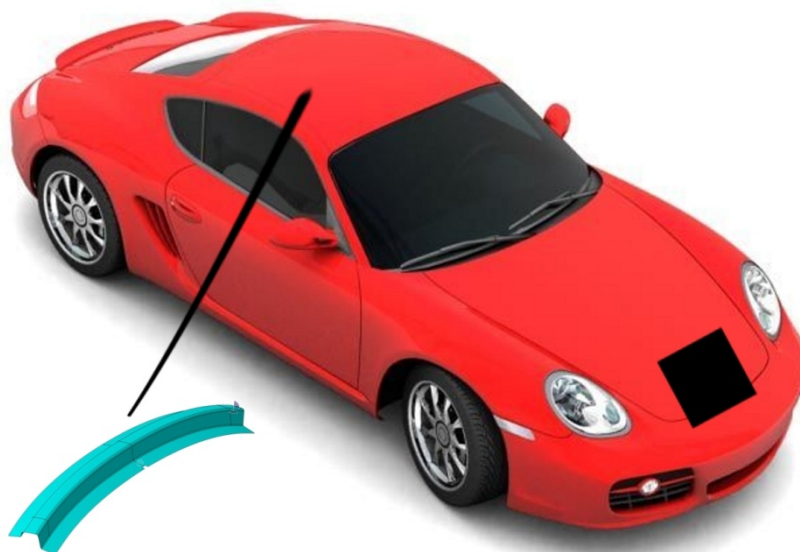
Výroba novodobých vozidel sestává z mnoha technologických úkonů, mezi něž patří také lisování konstrukčních dílů z plechu. Jedna z firem, která by chtěla dostát požávkám zákazníka a udržet si významné místo v oblasti návrhu a výroby lisovacích nástrojů, je PWO Unitools a.s. Společnost nabízí komplexní služby vývoje, konstrukce, výroby nástrojů, produkci plechových výlisků, jejich následnou montáž ve formě menších či větších sestav a to vše převážně pro automobilový průmysl. S pomocí moderních systémů pro simulaci tváření drží krok s elitními vývojářskými a konstrukčními centry po celém světě. Tato práce řeší návrh technologie pro eliminaci odpružení nepravidelného tvaru plechového výlisku právě s touto firmou.

2 Rozbor problému

Firma PWO Unitools CZ a.s. disponuje velkým rozsahem zakázek rozličných tvarů a velikostí a poskytla možnost vlastního návrhu řešení nepravidelného dílu. Tato práce se zabývá převážně odpružením po lisování, proto byla vybrána součást, která je výrazně prohnutá a předpokládá se změna tvaru po provedení tažného procesu.

Přesné rozměry, tloušťku a veškeré geometrické nelinearity společnost dodala ve formě 3D geometrie, která je v dnešní době nedílnou součástí většiny strojírenských objednávek, kde se požaduje daná geometrie v rozsahu tolerancí povolených zákazníkem.

Součást nepravidelného tvaru slouží jako výztuha horní části karoserie nejmenovaného automobilu. Přesná poloha, ukotvení a způsob montáže podléhá pod přísné utajení před konkurencí, proto se dalším detailům tato práce bude vyhýbat, veškeré údaje pochází z elektronických podkladů od automobilky. Orientační umístění pro představu je na Obr. 2.1 (vozidlo na obrázku je jenom čistě informativní, nejedná se o konkrétní model).



Obr. 2.1 Přibližné umístění zadané součásti

2.1 O společnosti PWO Unitools CZ a.s.

V roce 1992 byla založena společnost – Unitools s.r.o. Roku 1993 začala výroba nástrojů pro plechové a plastové díly do 2,5 tun. Dva roky na to se založila divize pro lisování plechových výlisků. Roku 1998 se firma stala akciovou společností. V roce 2001 se výrobní hala rozšířila pro výrobu nástrojů do 12 tun. Roku 2006 se začaly vyrábět výlisky pro automobilový průmysl a změnil se obchodní název na PWO Unitools CZ a.s. (dále jen Unitools). [1]

Společnost nabízí komplexní služby vývoje, konstrukce, výroby nástrojů a výroby výlisků z plechu pro automobilky. Největší podíl produkce je směřován do Německa, Norska, Slovenska aj. Unitools se chce stát dominantním výrobcem nástrojů a významným dodavatelem plechových výlisků pro automobilový průmysl.



Obr. 2.2 Areál společnosti [1]

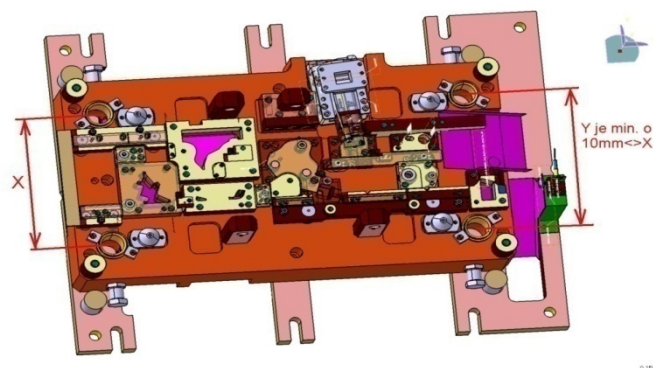
Společnost se řídí výrobním systémem tzv. „štíhlé výroby“. Systém vznikl v Japonsku jako reakce na existující situaci na trhu automobilů. Dlouhodobou spoluprací mezi manažery, dodavateli, výrobními pracovníky a zákazníky se stanovily základy pro vytváření a implementaci podobných výrobních systémů. Hlavní myšlenkou této strategie je absolutní eliminace plýtvání a zlepšování výrobních procesů po malých krocích bez vysokých nákladů a investic. Systém se snaží dosáhnout toho, aby výrobky a služby byly dodávány co nejvýhodněji, v přesně požadovaném termínu a v přesném množství. Plýtváním se uvažuje to, co nepřidává výrobku žádnou hodnotu a co zákazník nezaplatí. Tradiční systém se zaměřuje pouze na úspory v časech hodnotu přidávajících, které bývají procentuálně méně zastoupeny v celkovém výrobním čase. Mezi časy nepřidávající hodnotu patří například transport a manipulace, čekání mezi

operacemi, zbytečné pohyby, seřizování apod. Mezi ztráty lze také zahrnout přebytečné zásoby a nadvýrobu, chyby a zmetky nebo přílišnou neefektivní složitost návrhu a práce. Cílem firmy Unitools tedy není pracovat tvrději, ale inteligentněji, což v praxi znamená například, že se dává přednost zabraňování vzniku vad před jejím odhalováním.

Základem pro trvalé zlepšování výrobního systému je metoda „5S“. Pochází opět z Japonska a je to zkratka pro „seiri, seizon, seiso, seiketsu, shitsuke“, v překladu „separace, systematizace, stálé čištění, standardizace, sebedisciplína“ a popisuje pět zásadních kroků pro správu a vizualizaci pracovního místa.

Separace je v podstatě identifikace, co je na pracovišti nutné a co zbytečné, vytipování nepotřebných věcí a postupné vyřazení nebo eventuálně sešrotování. Systematizace pak řeší uložení výrobků, materiálů, vybavení, nářadí atd., aby vše mělo své místo a zabránilo se složitému hledání. Všechna místa pak musí být označeny, aby stačil jeden pohled ke zjištění, že něco chybí nebo je chybně uloženo. Stálé čištění, kontrola a pravidelná údržba mají zabránit zjevným problémům na pracovišti. Znečištění může nepříznivě ovlivnit výkonnost strojů. Standardizace zajišťuje zavedením určitých pravidel, aby předchozí tři kroky nebyly zbytečné a situace se nedostala do původního stavu. Sebedisciplína každého pracovníka pak dbá nad splněním všech úkolů, popřípadě upozornění opaku.

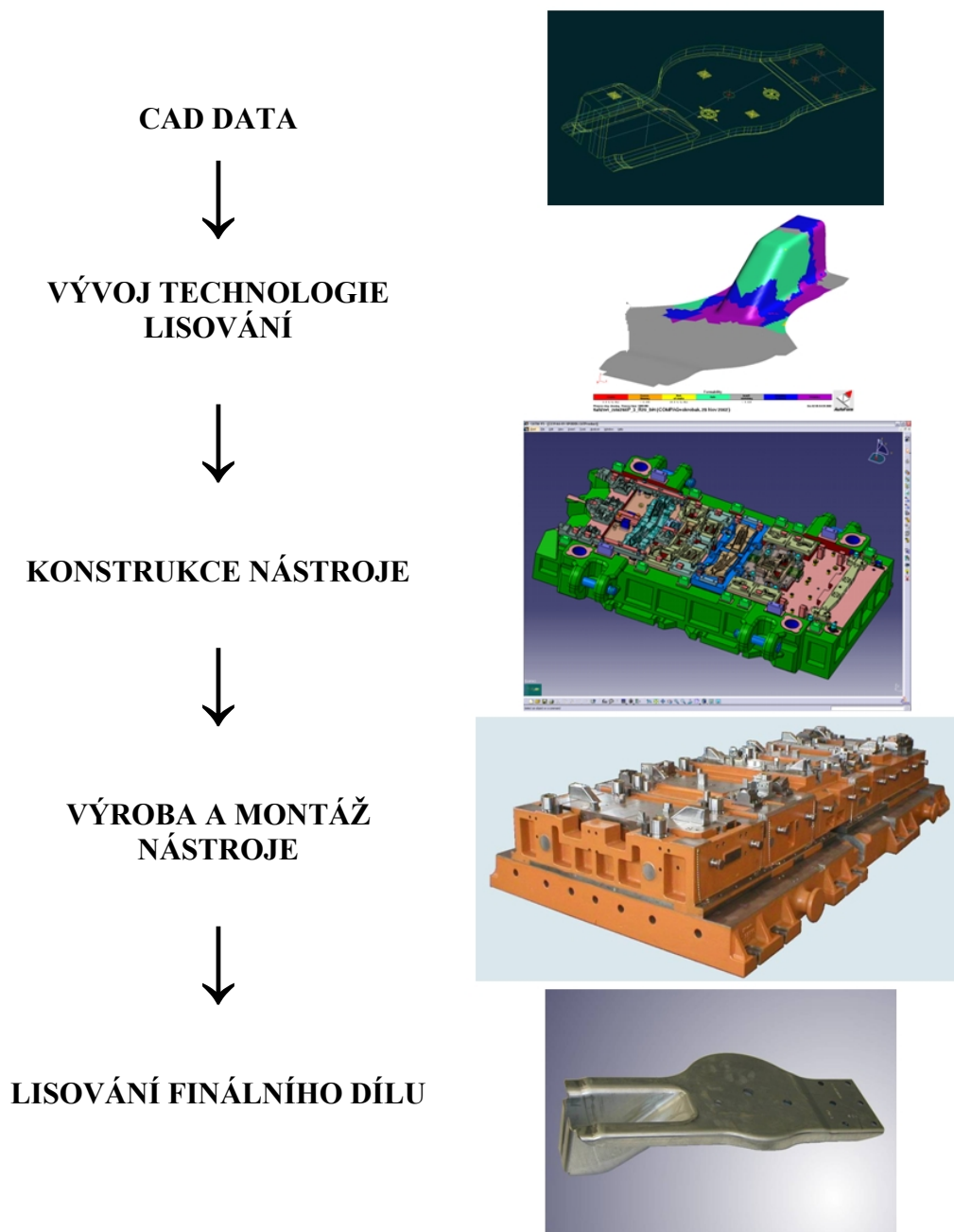
Výrobní strategie Unitoolsu využívá jednu ze známých pomůcek zabránění špatného smontování dílců, a to metodu „poka-yoke“. Jde vlastně o jednoznačné stanovení dvou nebo více do sebe zapadajících částí montážního celku. Častokrát pomůže vyhnout se nezaviněným chybám, ke kterým dochází díky chybám lidského faktoru. Například rozteč dvou vodících sloupků u lisovacího nástroje se liší od rozteče dvou protilehlých, tím se zaručí jednoznačné usazení (Obr. 2.3). [1]



Obr. 2.3 Použití metody „poka-yoke“

2.2 Výrobní strategie

Každý výrobní proces musí mít dostačující logistickou strategii, aby dokázal splňovat požadavky kladené zákazníkem, konkurencí či trhem. Společnost Unitools se drží jednoduchého modelu, který jde od zákazníka, přes vývoj, konstrukci, výrobu a montáž nástroje až po samotnou výrobu lisovaného plechového dílce (Obr. 2.4)

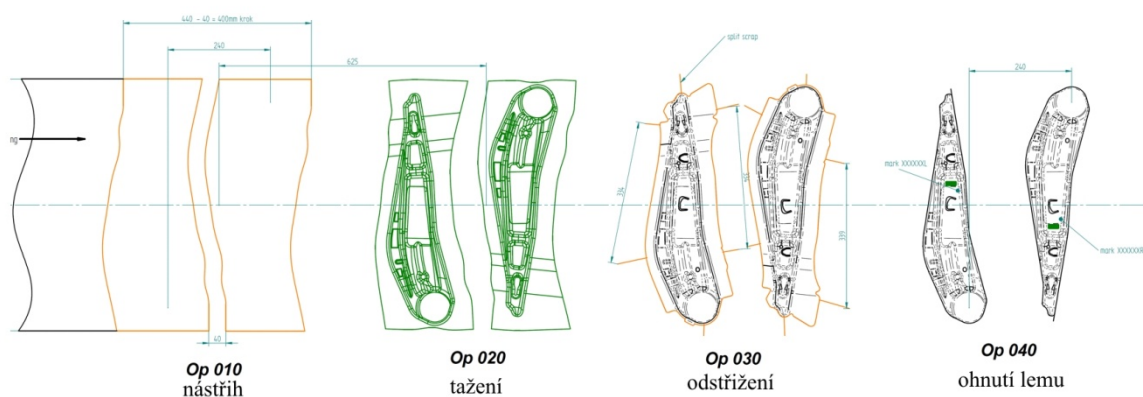


Obr. 2.4 Schéma výrobní strategie společnosti Unitools

V prvním kroku poptávky zákazník předá vývojovému oddělení potřebné informace - 3D model dílu, 2D výkresovou dokumentaci, údaje o procesu obsahující počet výlisků, termínový plán, normy a standardy. Může si také určit parametry sériového lisu, na jakém se součástky budou vyrábět (síla stroje, rozměry stolu), a druh nástroje (postupový, transferový nebo s ručním zakládáním). Oddělení vývoje tak zpočátku zpracuje technologii lisování, „onestepovou“ simulací upozorní na možné problémy při tažení, vypočítá přibližnou spotřebu materiálu a stanoví cenovou relaci nástroje či výlisku. Zpětně se dohodne se zákazníkem, zdali vše vyhovuje, popřípadě se detaily vyladí k oboustranné spokojenosti a projekt „start“ může začít.

V sekci vývoje je k dispozici několik pracovních stanic vybavených nejnovějšími počítači, ke čtyřem je zakoupena licence softwaru CATIA v5 (kapitola 3.1.1), ke třem EUCLID, k jednomu AutoForm Incremental a AutoForm OneStep (kapitola 3.1.2).

Po kontrole geometrických dat od klienta se vývojoví specialisti pustí do navrhování podrobné technologie lisování, která obsahuje sled jednotlivých operací, např. odstřížení, tažení, ohýbání, děrování, stříhání, kalibrování atd.



Obr. 2.5 Ukázka technologického postupu lisování

Následuje tvorba ploch a kontur jednotlivých operací za účelem simulace procesu tváření. Podrobnější postup je ukázán na konkrétní součásti v kap. 3.3.2.

Simulace má za úkol prověřit správnost zvolené technologie, odladit nedostatky a optimalizovat tvar dílu dané operace. Nahrazuje tak mnohem nákladnější metodu experimentu. Systém Autoform Incremental umožňuje několik analýz, např. ztenčení, zvlnění, odpružení, porušení nebo bezpečnost tváření. S výsledky lze relativně snadno pracovat a postupnou optimalizací se tak nejlépe dosáhne požadované geometrie.

Modul Autoform Incremental slouží mimo jiné ke stanovení obřezákové kontury v rozvinutém mezi stavu. Vyplatí se to zejména tam, kde se součást po jedné tažné operaci dále táhne nebo ohýbá (např. kontura z třetí operace na Obr. 2.5). Jednoduché

ovládání, rychlý výpočet a šetření materiálem vedou k velkým úsporám celkových nákladů, přičemž spolehlivost tohoto modulu dosahuje až 95%.

Kompletní, simulací optimalizované technologické plochy a kontury jednotlivých kroků procesu směřují do oddělení konstrukce. Patnáct pracovních stanic se softwarem CATIA V5 a šest se SOLIDEDGE jsou základnou pro pružnou spolupráci při modelování nástrojů. Interaktivní přenos dat mezi CATIÍ a Excelem napomáhá ke značnému usnadnění práce. Definice struktury startovací plochy, parametry součástek, bezvýkresová dokumentace a katalog normálí jsou jedny z mnoha výhod. Vizuální a kolizní kontroly mohou eliminovat špatné vazbení dílů v sestavách a předejít tak drahým opravám při výrobě. Ve firmě Unitools použití nástrojů CATIA V5 zkrátilo čas na konstrukci nástroje až o 50%.

Kompletní návrh s veškerou dokumentací převezme dílna, rozdělí nástroje s ohledem na technologii lisování a začne na obráběcích strojích vyrábět jednotlivé díly nástrojů. Důležité tvarové plochy projdou tzv. tušírováním (kap 2.3). S ohledem na používání stále pevnějších a tvrdších materiálů plechu je nezbytně nutné se zabývat vyššími nároky na materiály nástrojů a jejich mechanické opotřebení. Správně zvolené povlakování prodlužuje životnost nástroje, brání částečně tepelnému přenosu do činných dílů při tváření a zlepšuje kluzné vlastnosti. Nejčastěji se využívá vysoce tvrdý keramický povlak TiCN, tvoří vrstvu řádově v mikrometrech (asi 1-7 μm). [1]

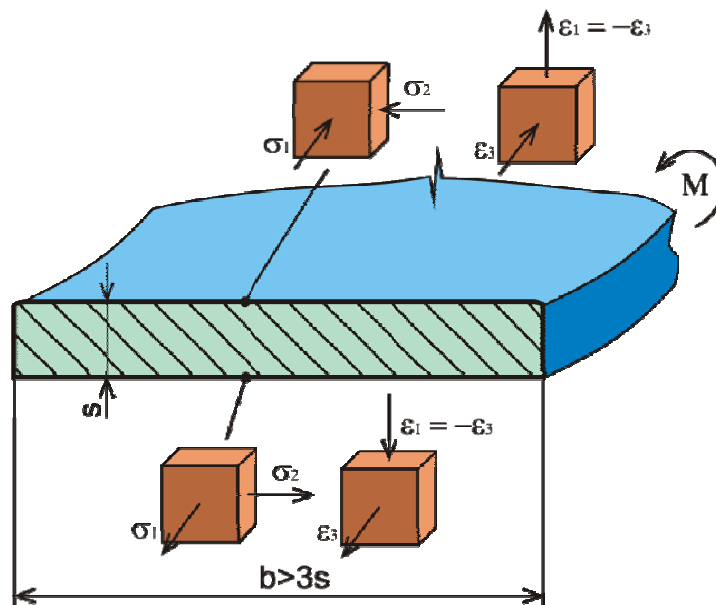
2.3 Tušírování

Kvůli stabilizaci procesu, kvalitě a přesnosti výlisku se využívá tušírování, Je to v podstatě slicování tvarových nebo rovinných ploch nástrojů broušením případně leštěním. Vzájemný dotyk ploch se určuje otiskem jedné části na druhou. Nerovnosti po broušení se eliminují opakovaným obrušováním a vypracováním. Tušírování tahu se skládá ze dvou samostatných operací, tušírování přidržení a tvaru. V prvním případě se určuje dosedání přidržovače na tažnici. Slouží k tomu, aby byl výlisek rovnoměrně a stejnou silou přidržen v počáteční fázi tažení. Nesmí dojít ke zvlnění při malé síle a k trhání při velké síle. V druhém případě se zjišťuje slicování tažníku na tažnici. Tvary se tušírují proto, aby byl výlisek dobře dotažený a doražením ploch dobře zafixovaný ve své tvarové poloze.

Proces výroby dílu sestává z několika operací. Nejprve dochází k ohybu rovného plechu mezi přidržovačem a horní matricí podle základního profilu dílu, ke kterému musí ohnutý plech dosednout přesně, poněvadž proces pokračuje tažením. Tažení bude provedeno s přidržovačem, aby nedošlo k zvlnění hran a bylo dosaženo co největšího přetvoření materiálu, eliminující proces odpružení. V konečné fázi přichází na řadu stříhání. Všechny tyto elementární úkony jsou popsány v následujících částech.

2.4 Ohyb

Ohýbání je velmi používaná technologická operace ve strojírenské výrobě, je to proces tváření materiálu, při němž se těleso působením síly buď ohýbá, nebo rovná. Ohýbáním se mění poloměr zakřivení, který se může zmenšovat, dochází k ohýbání, nebo zvětšovat, dochází k narovnání. Mezní hodnota přetvoření za studena R_{\min} je hranicí, kdy nedojde v krajních vláknech k překročení meze pevnosti v tahu, naopak hodnota R_{\max} stanovuje mez, kdy ve vnějších vláknech dojde k plastickému přetvoření. Při ohybu vznikají nehomogenní plastická přetvoření v místech maximálního ohybového momentu. Požadovaný tvar se získá u většiny součástí z plechů, drátů a tyčí i několika ohyby a kombinací s dalšími úkony, např. ohýbání a tažení, ohýbání a stlačování apod. [2][3][4]

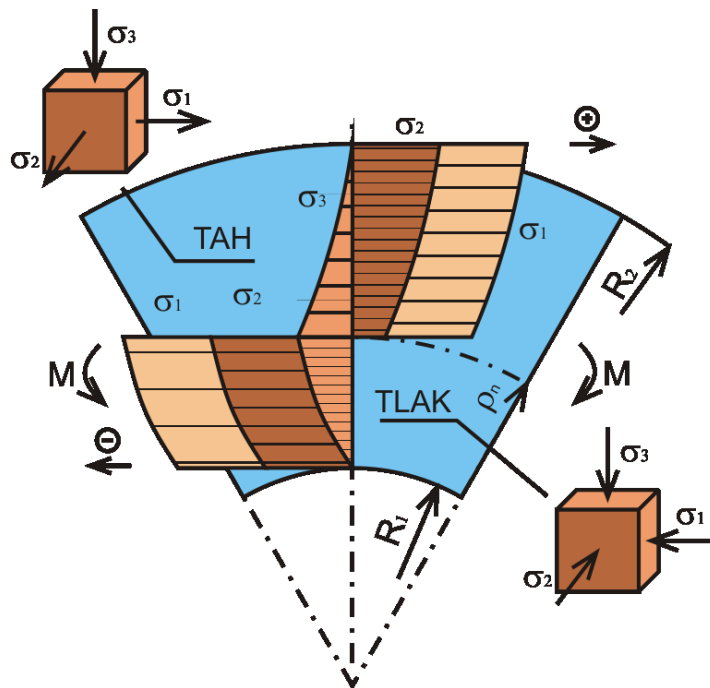


Obr. 2.6 Schéma napjatosti a přetvoření při prostém ohybu širokých pásů [2]

Elementární rozbor procesu ohýbání lze posoudit ze dvou jednoduchých případů, ohybu tyčí a pásů. Jelikož tato práce pojednává zpracování plošného dílce, první část není důležitá. Další rozbor se bude zabývat ohybem širokých pásů (Obr. 2.6). Řešení pro široké pásy lze provést za podmínky podstatně větší šířky než tloušťky plech $b \gg s$. Proveďte se zjednodušení, kdy se šířka pásu nemění, deformace ve směru šířky je nulová, a materiál pásu je ideálně tuhoplastický, tj. $\varepsilon_{el} = 0$, $\sigma_k = konst.$ Dle skript [2] je poloměr neutrální osy

$$\rho_n = \sqrt{R_1 R_2}$$

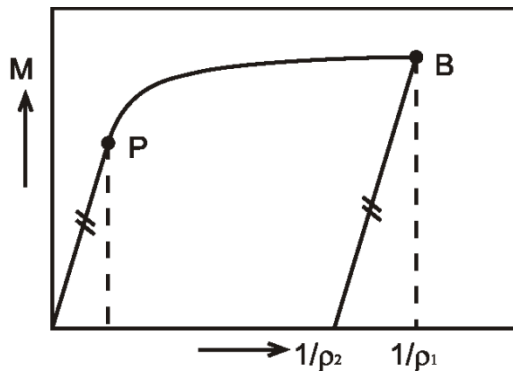
To znamená, že je geometrickým průměrem vnitřního a vnějšího poloměru ohýbaného pásu. S rostoucím zakřivením se neutrální osa, plocha, přesunuje směrem ze středu k vnitřnímu povrchu ohýbaného pásu, protože geometrický průměr je vždy menší než pouhý aritmetický střed (Obr. 2.7).



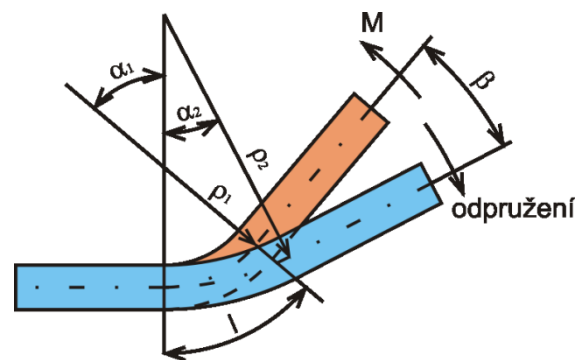
Obr. 2.7 Průběhy napětí při ohýbání [2]

2.4.1 Odpružení při ohybu

Ohyb za studena doprovází jev, který nepříjemně ovlivňuje práci konstruktérů, a to pružné deformace, jež při odtížení po ukončení ohybu způsobují odpružení. Konečný tvar vytvářené součásti po odpružení nesouhlasí s tvarem ohýbadla, tedy se na něj musí při konstrukci ohýbacích nástrojů brát zřetel.



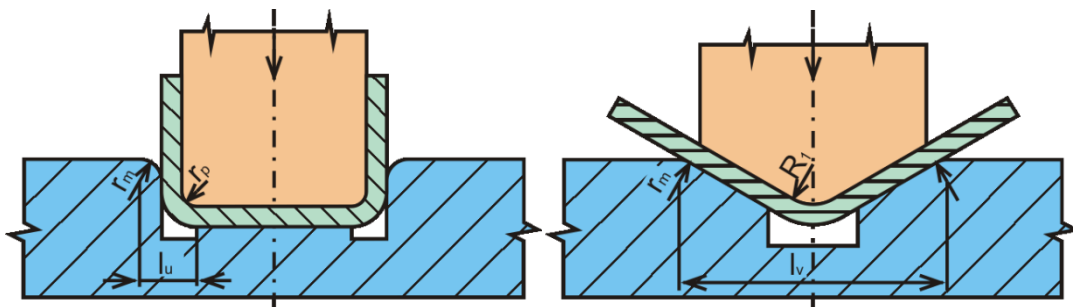
Obr. 2.8 Závislost ohybového momentu na křivosti s vlivem odpružení [2]



Obr. 2.9 Schéma odpružení po ohybu [2]

Po ohybu součásti momentovým zatížením M o úhel α_1 a po následném odtížení dochází k odpružení na úhel α_2 a ke změně poloměru křivosti z ρ_1 na ρ_2 (Obr. 2.9). Rozdíl těchto křivostí je právě ta křivost, která je vratná a byla vyvolána podle teorie pružnosti ohybovým momentem M při dané ohybové tuhosti EJ .

Velikost odpružení závisí na vlastnostech materiálu, tloušťce polotovaru, poloměru ohybu, úhlu ohybu a způsobu provedení ohybu (V–ohyb, U–ohyb). Kontrolní hodnota odpružení se zjistí výpočtem nebo pomocí diagramů sestavených na podkladě praktických zkoušek.[2]



Obr. 2.10 Schémata ohybu do V a U [2]

Pro přibližný výpočet úhlu odpružení β pro ohyb V a U lze použít následující vztahy:

$$\text{pro ohýbání do tvaru V} \quad \tan \beta = 0,375 \cdot \frac{l_V}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E}$$

$$\text{pro ohýbání do tvaru U} \quad \tan \beta = 0,75 \cdot \frac{l_U}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E}$$

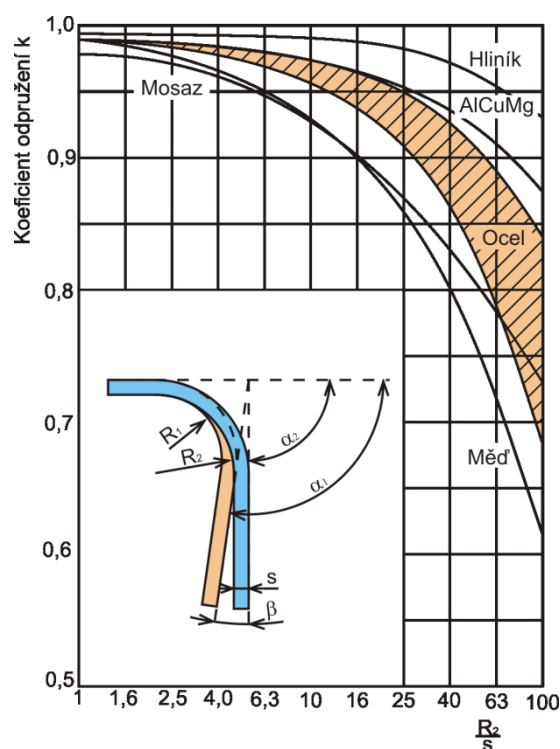
kde l_V vzdálenost mezi opěrkami ohybnice, $l_U = r_m + R_1 + 1,2 \cdot s$, úhel odpružení, E modul pružnosti v tahu, s tloušťka ohýbaného plechu, k součinitel určující polohu neutrální plochy v závislosti na poměru, R_e mez kluzu ohýbaného plechu

Orientačně je možno odpružení při ohýbání s velkým poloměrem ohybu určit z diagramu (Obr. 2.11), jako poměr

$$k = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{R_1 + 0,5 \cdot s}{R_2 + 0,5 \cdot s}$$

kde R_1, α_1 značí hodnoty, na které je nutno výlisek ohnout, aby po odpružení bylo dosaženo požadovaných parametrů výlisku R_2, α_2 .

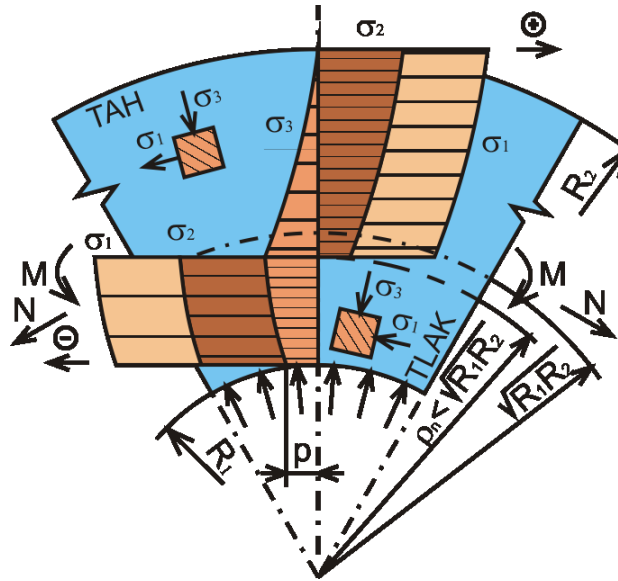
U součástí s velkým poloměrem ohybu $R_0/s > 20$, kde je odpružení velké, se neurčuje úhel odpružení β , ale změna poloměru R_1 na R_2 (Obr. 2.11). [2]



Obr. 2.11 Diagram koeficientů odpružení [2]

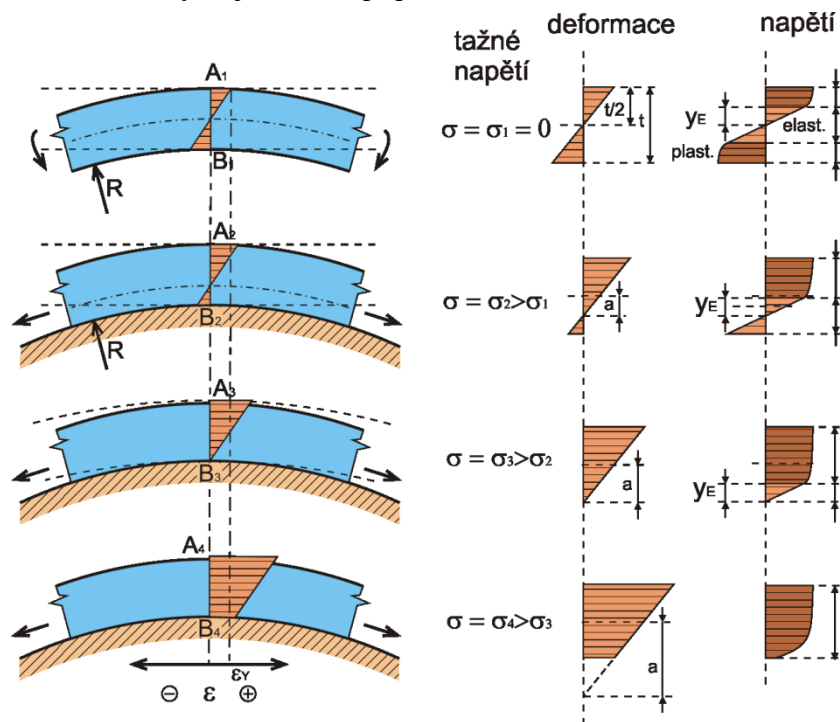
2.4.2 Kombinace ohybu a tahu

Jedna z možností, jak alespoň částečně eliminovat odpružení, je kombinace ohybu a tažení. Povrch ohýbaného pásu je namáhán tlakem nástroje z vnitřní strany ohybu. Takový stav je ekvivalentní s tažením (vytahováním) a neutrální osa se ještě více přesune k vnitřnímu povrchu ohýbaného pásu, $\rho_n < \sqrt{R_1 R_2}$. Průběh napětí (Obr. 2.12) je ovlivněn hodnotou měrného tlaku a pro $\rho = R_1$ platí, že $\sigma_3 = -p$. [2]



Obr. 2.12 Průběhy napětí při ohýbání s tažením [2]

Kombinaci tahu a ohybu je možno popsat schématem na Obr. 2.13.



Obr. 2.13 Schéma superpozice ohybu a tahu [5]

2.5 Tažení

Tažení plechu je technologický proces tváření, při kterém vznikají z rovinných přístřihů plechu prostorové výtažky, jež se nedají zpětně rozvinout. Mohou být jednoduchého rotačního tvaru, hranaté nebo se složitými nesymetrickými tvary. V průmyslové praxi se tímto způsobem vyrábí široký sortiment mělkých i hlubokých nádob, krytů, vík, součástí karosérií atd. Mezi výhody patří tuhost, sestavovatelnost, nízká hmotnost, dobrá kvalita povrchu a zejména nízké pořizovací náklady při velkosériové výrobě [3][6]

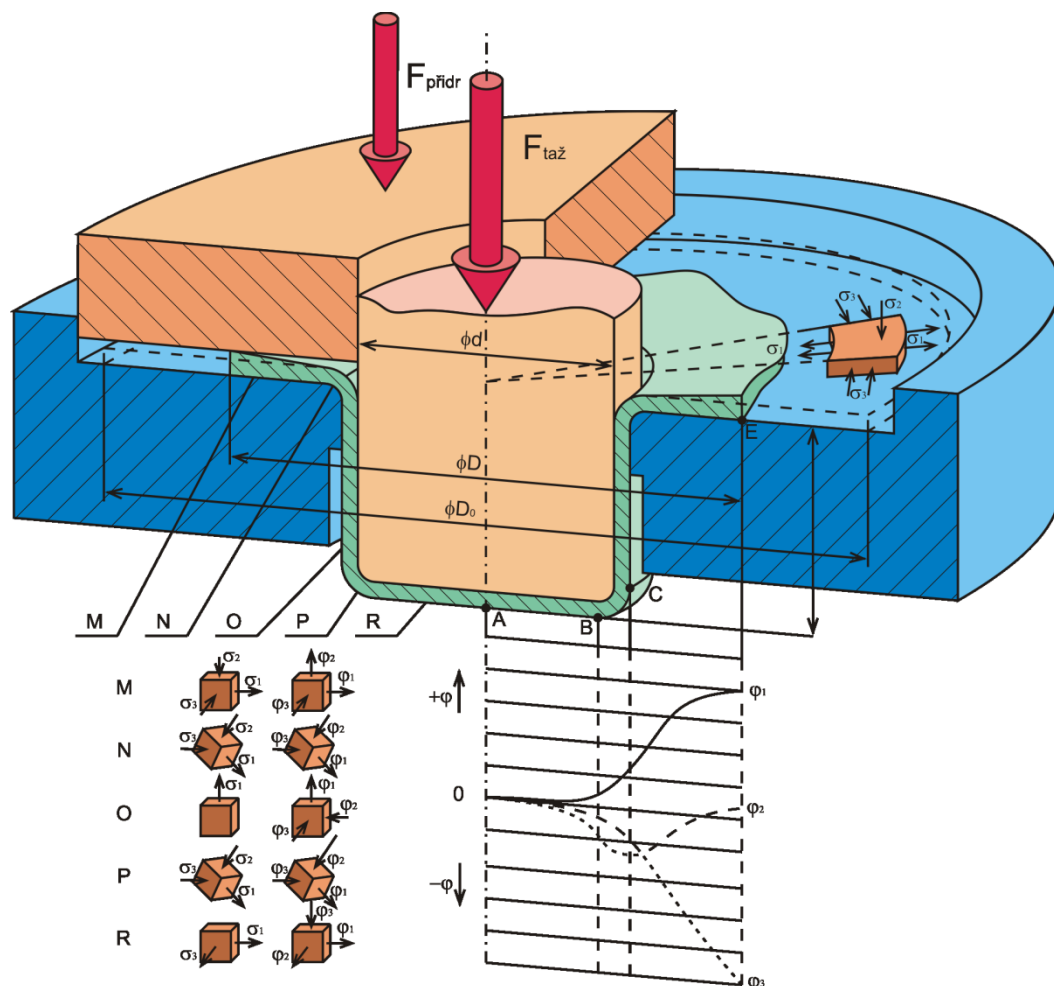
Základní prosté tažení se považuje tváření z rovinného přístřihu v prostoru v uzavřenou plochu bez podstatné změny tloušťky materiálu. U dílu dle zadání dojde k nepatrnému ztenčení tloušťky plechu, do 25 % což je hraniční hodnota, která se může mírně lišit u různých typů materiálů a je většinou definována zákazníkem. Další studie se proto bude zabývat rozbořem tažení bez ztenčení stěny. Při návrhu je snaha vyrobit výtažek na co nejmenší počet operací a přitom by se plně využilo mechanických vlastností materiálu.

Drsnost povrchu a mazání výrazně ovlivňují koeficient tření a tedy sílu potřebnou k vytažení a můžou změnit počet tažných operací. Mazání má za účel předejít zadírání plechu, styku mikropovrchů, na styčných plochách nástroje a tím zajišťuje hladké stěny výtažku. Někdy nelze zabránit změnám drsnosti, například při ohýbání vznikne okolo tažné hrany nový povrch, který je drsnější než původní a dojde ke zvýšení součinitele tření, přestože se tažná hrana naleštla a namazala. Rychlost tažení plechu bývá nízká, tak výrazně neovlivňuje třecí poměry.[6]

K pochopení rozložení napětí a deformací při tažení plechu nejlépe ukazuje výroba válcového výtažku.

2.5.1 Analýza tažení válcového výtazku

Princip a rozbor napětí a logaritmického přetvoření je názorně ukázáno na Obr. 2.14, ze kterého vyplývá, že σ a φ se mění v různých částech válcového výtazku. Mezi tažníkem a tažnicí musí být dostatečná vůle ($z = 1,2 \cdot s$). V přírubě v oblasti M je prostorová napjatost a dochází k intenzivnímu pěchování materiálu v tangenciálním směru. Přidržovač slouží k omezení zvlnění a zlepšuje tok materiálu k ose výtazku. V oblasti poloměru tažnice N vzniká složitá prostorová napjatost a přetvoření způsobené ohybem za současného působení největšího radiálního napětí σ_1 , tangenciální napětí σ_2 je výrazně menší. Ve válcové části O existuje pouze jednoosá tahová napjatost ($\sigma_2 = \sigma_3 = 0$) a prostorový stav deformace, kdy $\varphi_2 \doteq \varphi_3$ a $\varphi_1 \rightarrow 0$. V místě P, kde válcová část přechází ve dno, dochází ke značnému ztenčení stěny, čímž se stává nejpravděpodobnější oblastí utržení dna. Ve dně R je rovinný stav napjatosti $\sigma_2 = 0$ a prostorový stav přetvoření. V případě dalších operací může dojít k výraznějšímu ztenčení dna. [2]

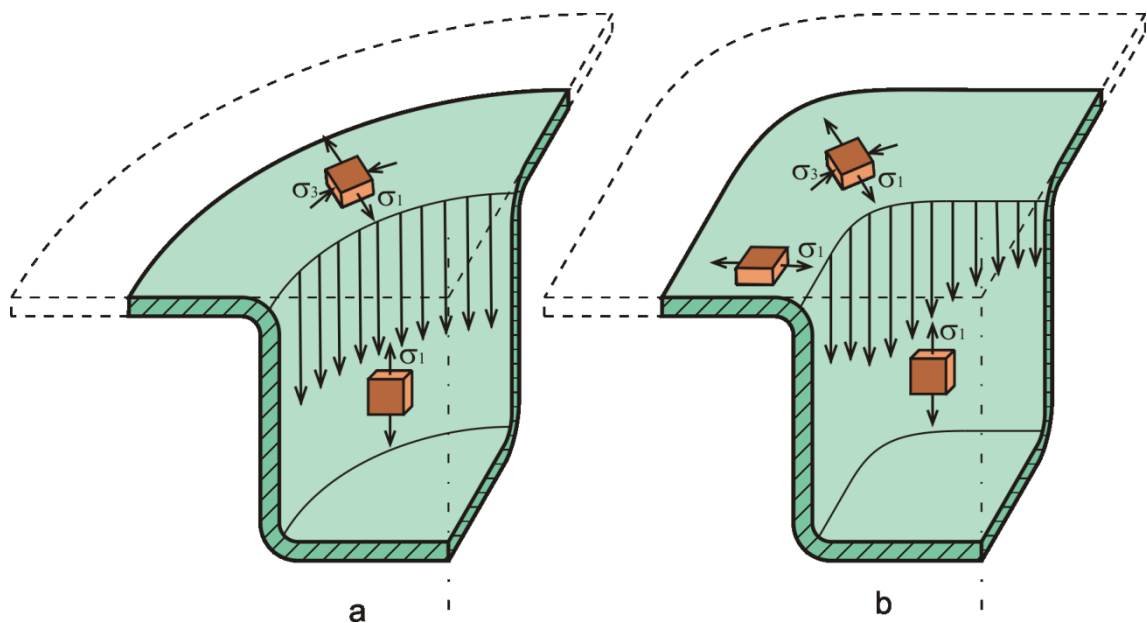


Obr. 2.14 Napětový a deformační stav při hlubokém tažení válcového výtazku [3]

2.5.2 Tažení nerotačních výtažků

Zadaný díl není válcového tvaru, proto je třeba nahlédnout do teorie nerotačních výtažků. U výtažku válcového napětí nemění svůj tvar ani velikost v celém průběhu. Obvyklé výtažky čtvercového nebo obdélníkového tvaru mají dvě pásma s rozdílným stavem napjatosti, pásmo rohové, s podobným rozložením jako ve válcovém výtažku, a pásmo rovné, jež se podobá procesu ohýbání. Přemístování materiálu od kraje zaoblené části ke středu způsobuje značná tlaková napětí, která jsou příčinou narušení stability v úsecích přímých a zvlní okraj plechu.

Právě proměnlivé tahové a tlakové napětí podél tažné hrany způsobí vznik zvlnění. Tento nepříznivý účinek lze zmenšit zvýšením radiálního tahového napětí a tím jeho zrovnomněním po celém obvodu. Dosahuje se to přidáním tzv. brzdných žeber. Počet, velikost, tvar a rozmístění konstruktéři stanoví odhadem s předchozími zkušenostmi a po analýze metodou konečných prvků tyto parametry optimalizují.[5]

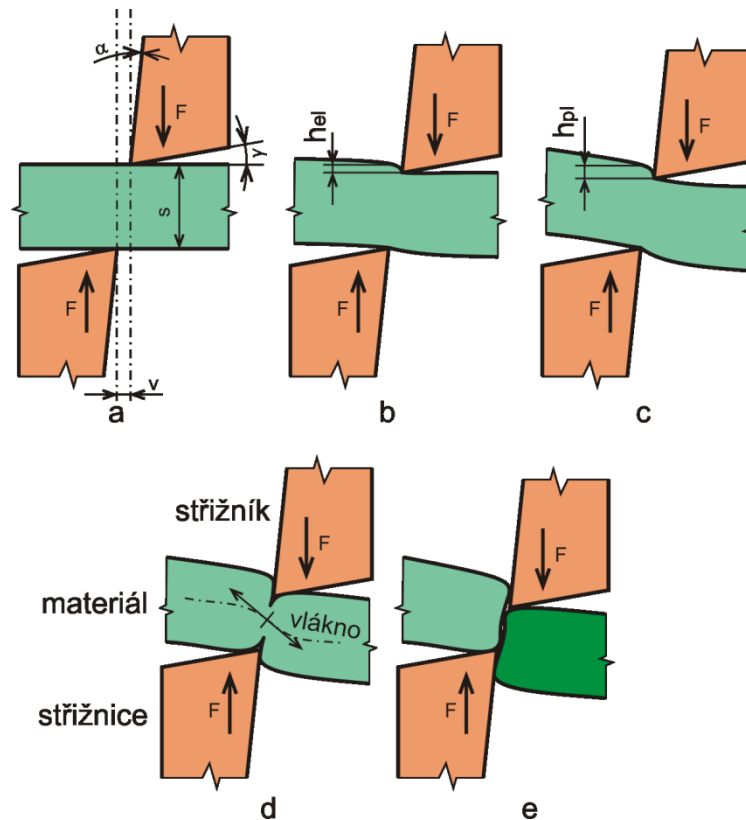


Obr. 2.15 Napětí při tažení válcového (a) a čtyřhranného výtažku (b) [5]

2.6 Stříhání

Proces stříhání je založen na principu oddělování materiálu protilehlými bříty nožů. Pro dosažení kvalitního stříhu je nutno dodržet několik podmínek, např. střížná vůle mezi nástroji, zachování ostrosti nožů, typ stříhání, vlastnosti stříhaného materiálu. Zvláště špatná konstrukce stříhacích nástrojů může výrazně snížit tvorbu nekvalitní střížné plochy s širokým pásmem plasticky deformovaného materiálu. Cílem stříhání je dosažení střížné plochy kolmé k rovině plechu a rozměrová přesnost vyhovující požadavkům zákazníka. K těmto podmínkám se nejvíce přibližuje metoda přesného stříhání.

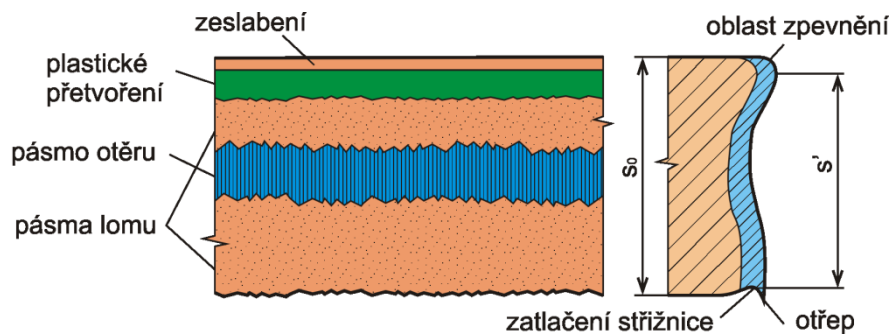
Průběh stříhání lze vysvětlit na jednoduchém případě volného stříhání (Obr. 2.16). Začíná v první fázi, kdy střížník dosedne na materiál a dokáže elasticky vniknout až do hloubky h_{el} , která bývá (0,05 až 0,08) tloušťky materiálu. Mimo vniknutí nástroje dochází také k ohybu díky dvojici sil mezi střížníkem a střížnicí, což často bývá nežádoucím jevem a lze eliminovat přidáním přidržovače.



Obr. 2.16 Průběh volného stříhání s normální střížnou vůlí [2]

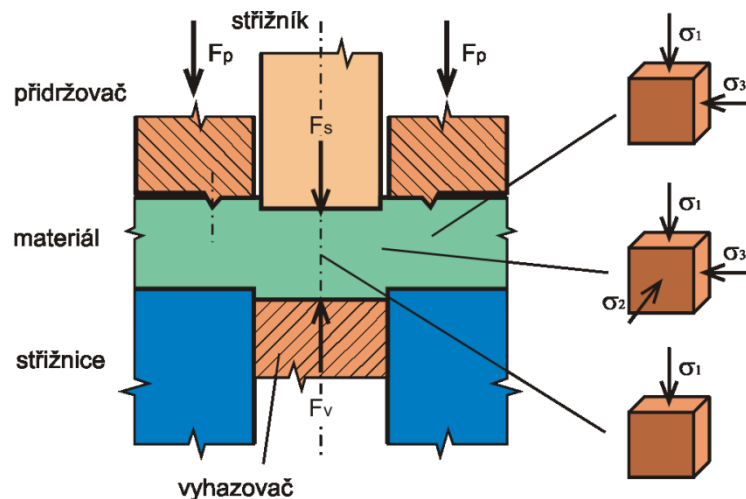
- a - dosednutí střížníku
- b - pružná deformace (I. fáze)
- c - plastická deformace (II. fáze)
- d - nástřih (III. fáze)
- e - stříh

Ve druhé fázi napětí ve směru vnikání překročí mez kluzu a materiál se začne plasticky přetvářet. Hloubka vniku h_{pl} se podle mechanických vlastností kovu pohybuje v rozmezí asi $(0,10 \text{ až } 0,25) s$. Ve třetí fázi je napětí větší než mez pevnosti ve stříhu a trhlinky se začnou šířit v úhlu asi 45° ke směru tahového napětí, obvykle největší napětí bývá v místě bříty nože, kde trhlina vznikne. Velikost střížné vůle a mechanické vlastnosti ovlivňují rychlost rozvoje trhlín. Křehké materiály se oddělí při spodní hranici vniknutí $h_s = 0,10 \cdot s$ a naopak tvárné materiály mohou dosáhnout až $h_s = 0,60 \cdot s$. S normální vůlí se trhliny v okamžiku stříhu střetnou v jednom bodě a materiál se oddělí. Při menší nebo větší vůli se pásmo otěru zvětší na úkor pásma lomu.[7][8]



Obr. 2.17 Vzhled střížné plochy při normální střížné vůli [2]

Nejdokonalejší způsob stříhání, jímž se dostanou velice kvalitní střížné plochy, je přesné stříhání. Je to složitý proces, kdy se vyvozuje trojosá napjatost v místě stříhu (Obr. 2.18).

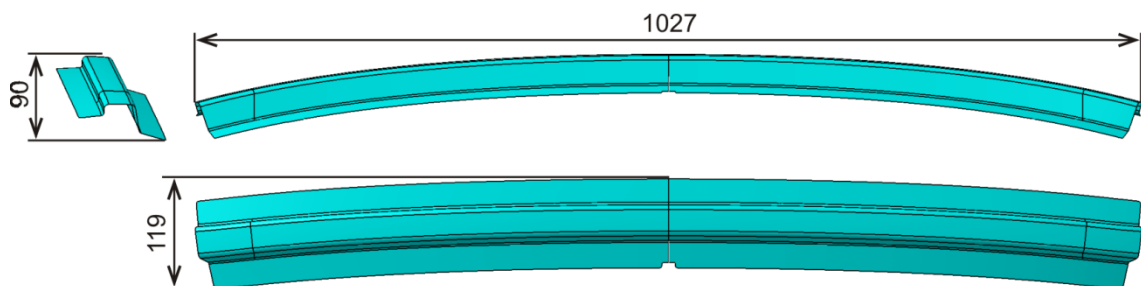


Obr. 2.18 Schéma přesného uzavřeného stříhání [2]

Všeobecně platí, že zvyšováním podílu tlakových napětí roste schopnost materiálu se plasticky deformovat, naopak velká tahová napětí zvyšují vznik trhlín a porušují soudržnost materiálu. Přídavné tlakové napětí, vyvolané přidržovačem s tlačnou hranou, způsobuje záporné normálové napětí, které se snaží trhliny ve směru největšího smykového napětí uzavírat. Tím se zajišťuje průběh čistě plastického stříhu, mechanika přesného stříhání se přibližuje dopřednému protlačování.[7][8]

3 Řešení

Prvotní rozbor řešení výroby plošného dílu sestává ze stanovení technologického sledu jednotlivých tvářecích operací, tedy z úvahy, jaké operace budou použity chronologicky za sebou. Ve všech případech dojde nejdříve k vystřížení tzv. platiny, což je vlastně první polotovary z plechu, který se bude dále zpracovávat a přetvářet do požadovaného finálního tvaru výlisku. Tvar a velikost platiny se určí pro simulaci tak, aby byla spotřeba materiálu a tedy i cena výlisku co nejmenší a aby zároveň nedošlo k překročení pevnostních, procesních či rozměrových kritérií jako je například potřebné přetvoření materiálu, nevyjetí platiny z brzdy atd. Dále se bude tato platina táhnout na tolik operací, kdy dosáhneme konečného tvaru dílu, bez porušení či nadměrného ztenčení materiálu (nejčastěji přetržení v kritických místech). Po tažení následuje odstřížení požadovaného tvaru. Na závěr přichází na řadu případné kalibrační operace, jejíž součástí je značení, neboli popis dílů pomocí razníku obsahující informace definované zákazníkem (číslo dílu, datum lisování atd.). Detailní geometrie je možno prohlédnout v příloženém výkrese.



Obr. 3.1 Geometrie součásti

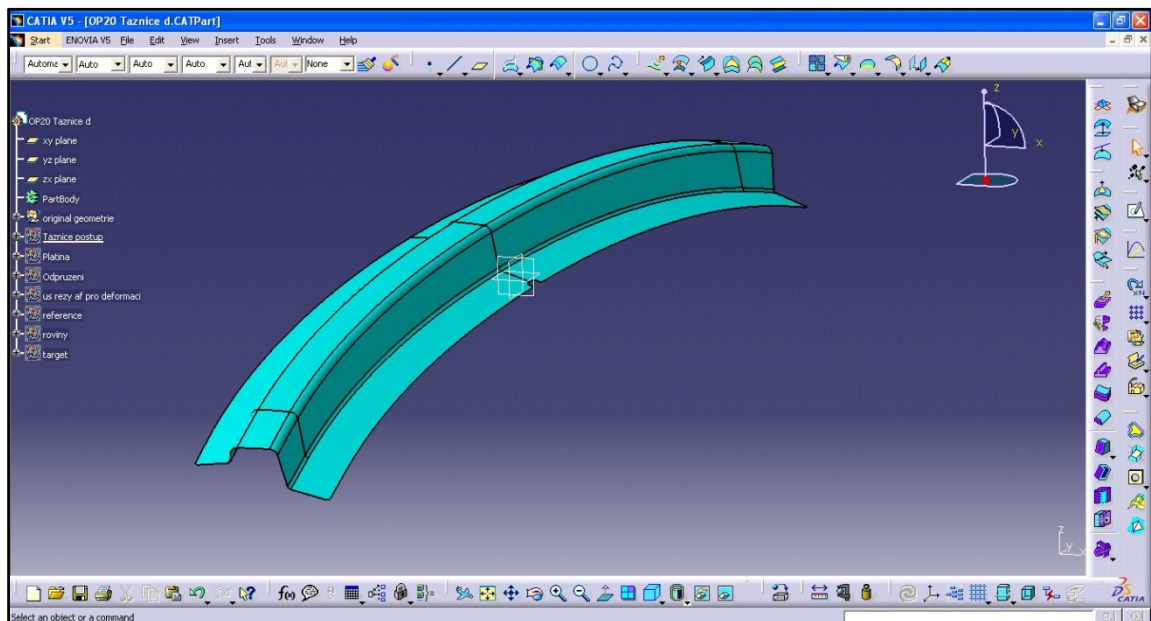
3.1 Softwarové vybavení

Kvalitní a spolehlivé programové vybavení v každém oboru vyžadují také odpovídající cenové ohodnocení. Úkolem společnosti je se rozhodnout jaké softwary zakoupí, aby dostatečně nahrazovaly nákladnější metody experimentální a přitom si udržovaly výpočtovou důvěryhodnost. Uživatelská ovladatelnost, vzhled, kompatibilita a další vlastnosti jsou nedílnou součástí při volbě pořízení nového technického zázemí firmy.

Společnost Unitools zakoupila několikero licencí, např. SolidEdge, Euclid, Unigraphics NX, AutoForm Incremental a OneStep (2 pracoviště), CATIA V5 (15 pracovišť) a další. Pro tuto práci bylo využito systému CATIA V5 ke konstrukci a AutoForm k simulaci.

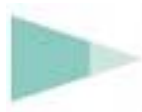
3.1.1 CATIA V5

CATIA V5 od společnosti Dassault Systemes je plně integrovaný CAD/CAM/CAE systém poskytující tři různé kvalitativní platformy, které reflektují potřeby a úroveň využití softwarové podpory. Produkt má nativní Windows NT architekturu a zaručuje propojení mezi více pracovišti při tvorbě jednoho projektu, provedené uložené změny se promítnou všem zainteresovaným konstruktérům, parametrizace přitom zajišťuje volnost při návrhu a zároveň správný výsledek. Při vhodném nastavení variačního modelování v kombinaci s parametrickým je možné zahrnout práci na vývoji, konstrukci s analýzami, simulacemi, tvorbami dokumentace i s NC programy pro vlastní výrobu a přitom zachovává plnou provázanost mezi výkresem, modelem a NC programem. Systém CATIA V5 umožňuje přenos dat v mnoha formátech (.igs, .part, .model, .exp, .step a další). Nejrozšířenější je CATIA V5 v automobilovém průmyslu, používají ji velké automobilky jako Chrysler, BMW, Volkswagen nebo Škoda, ale také v leteckém průmyslu, kde s několika tisíci pracovišti dominuje světový výrobce letadel - Boeing.[11][12]



Obr. 3.2 Prostředí systému Catia

Společnost Dassault Systemes nabízí verzi 5 s více než 160 moduly a speciálními aplikacemi, které vyvíjí společně s partnerskými organizacemi. V současnosti se vyvíjí verzi 6, jenž má dát uživatelům nové možnosti ve světě představ a realizací v 3D modelování. CATIA obsahuje několik uživatelských konfigurací vyhovujících přímo dané oblasti tvorby [11][12]:



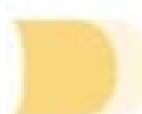
- Mechanická konstrukce (Mechanical Design) – nabízí mnoho aplikačních pro obecné intuitivní modelování objemových, hybridních a plechových těles, tvorbu sestav a výkresových dokumentací. Plnou asociativitou geometrických prvků je parametrický model plně citovatelný. 2D výkresy mohou vznikat jak projekcí tak vlastním kreslením. Nejpoužívanějšími moduly společnosti Unitools se dají považovat tvorba součásti (Part Design), tvorba sestav (Assembly Design) a tvorba náčrtku (Sketch Design).



- Tvarování a styling (Shape Design and Styling) – specializované konfigurace s možností povrchového modelování volného i parametrického designu. Obsahuje specializované nástroje v oblasti automobilového karosářství s profesionálním přístupem návrhu. Firma Unitools nejčastěji využívá modulu generativní tvorby tvarů (Generative Shape Design). Tento nástroj pomáhá navrhovat pokročilejší tvary založené na kombinaci drátového modelu a velkého množství plošných prvků.



- Syntéza produktu (Product Synthesis) – aplikace určené pro virtuální analýzu a hodnocení platnosti designu a výrobních údajů komplexního průmyslového výrobku během celého jeho životního cyklu. Ten obsahuje konečnou montáž, simulace užitných funkcí, vlastností a servisních výkonů a také finální demontáž po uplynutí životnosti.



- Zařízení a systémové inženýrství (Equipment and Systems) – poskytují produkty umožňující souběžný design a integraci v oblasti elektrických, mechanických a kapalinových systémů s celkovou optimalizací uspořádání v prostorových poměrech v rámci průmyslového výrobku.



- Analýzy a simulace (Analysis and Simulation) – slouží k rychlému předběžnému posouzení správnosti návrhu konstrukce pomocí metody konečných prvků. Snadná a okamžitá odezva strukturální analýzy napomáhá k objektivnímu vyhodnocení přímo při vzniku a průběhu tvorby konstrukce.



- Infrastruktura (Infrastructure) – jedinečná, plně rozšiřitelná a otevřená platforma umožňující nejvyšší úroveň sdílení v rámci struktury podniku přístupná všem normám.

3.1.2 AutoForm Incremental a OneStep

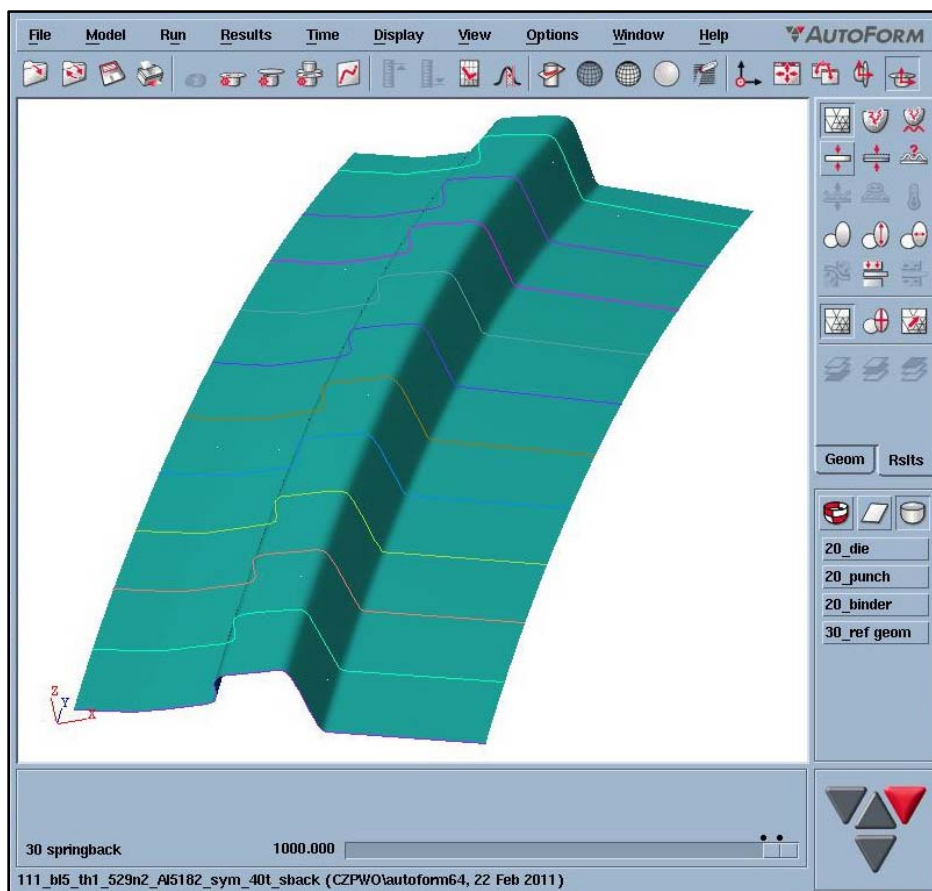
Firma AutoForm je jednoznačně vedoucím dodavatelem softwaru pro simulaci hlubokého tažení plechů. Potřeba nahradit experimentální pokusy odladění výrobku matematickou modelací je v dnešní době zřejmá a s rozvojem počítačové techniky je tato metoda čím dál více spolehlivější.

Systémy pro simulaci tažení můžeme rozdělit na dva základní typy, přesné řešení, zahrnující všechny fenomény procesu, a jednoduššího řešení, které sloučí k okamžitému zodpovězení otázky vyrobitelnosti určenou technologií.

Modul AutoForm Incremental se specializuje na řešení velice přesné a zároveň rychlé simulace hlubokého tažení plechu a používá implicitní časovou integraci, která není vhodná pro velmi rychlé procesy, např. deformace při nárazu, ale je optimální pro popis dějů při tváření. S metodou implicitní časové integrace se čas výpočtu výrazně zkrátil tak simulace přestala být používána pouze pro kontrolu, ale nasadila se pomoc AutoFormu již do procesu návrhu. AutoForm k výpočtu metodou konečných prvků využívá jak membránového prvku, tak shell elementu, a tím umožňuje uživateli volbu rychlosti nebo přesnosti podle potřeby nebo stavu projektu a přispívá tak k rychlému průběhu vývoje dílu a procesu lisování.

Pro volbu nejvhodnější varianty systému AutoForm slouží sekce optimalizace, kdy se zadá požadovaný parametr a program vypočítá řadu variant daného problému nejvýhodnějších z hlediska přetvoření materiálu, zejména s použitím limitního diagramu tažnosti (FLD).

Výraznou výhodou AutoFormu je také jeho maximální přizpůsobení systému uživatelům. To se projeví hlavně při přípravě dat pro simulaci. Jazyk sestavování plně souhlasí se zvyklostmi konstruktérů a technologů, používají se termíny jako tažník, tažnice, brzdy atd. Dále se technik nemusí zabývat složitým nastavením a opravě vygenerované sítě, AutoForm vytvoří automaticky diskrétní síť a usnadní tak práci. Těmito a dalšími výhodami se komunikace zrychlí a příprava výpočtu tak trvá řádově v minutách. Ukázka pracovního prostředí softwaru je na Obr. 3.3.



Obr. 3.3 Prostředí systému AUTOFORM

3.2 Materiál

Práce se zabývá převážně odpružením po vylisování, proto byl vybrán materiál, který má vysoký koeficient odpružení (Obr. 2.11), a to hliníková slitina (Tab. 3.1), která je dostupná a používaná v podniku Unitools.

Tab. 3.1 Základní údaje o materiálu

Norma				EN 485-2EN AW			
Jakost				AlMg 4,5 Mn 0,4			
Materiál				29033			
Chemické složení [%]							
Si	Fe	Mn	MG	Cu	Ti	Zn	Cr
0,09	0,28	0,30	4,27	0,039	0,012	0,024	0,035

Tahová zkouška byla provedena na zkušebním systému LabTest 5.100 SP1 (kap. 3.3.2) podle normy EN ISO 6892-1 B. Z plechu byly vystřiženy čtyři vzorky, dva ve směru vláken po válcování a dva ve směru kolmém.

Tab. 3.2: Data tahové zkoušky

Zkušební metoda				QI-VTC.30 GEN-0004						
číslo vzorku	směr vláken	zkušební teplota	Rozměry zkušební tyče				Zatížení	Zkoušky tahem		
			tloušťka	šířka	průřez	délka		při mezi kluzu	mez kluzu	mez pevnosti
			před zkouškou				max		R _{p0,2}	R _m
			po zkoušce					kN	MPa	
		°C	mm		mm ²	mm				
1	příčný	20	1,21	12,4	15,0	50,0	2,11	141	259	24,8
			-	-	-	62,4	3,89			
2	příčný	20	1,19	12,4	14,8	50,0	2,12	144	264	25,2
			-	-	-	62,6	3,90			
3	podélný	20	1,19	12,5	14,9	50,0	2,16	145	277	23,4
			-	-	-	61,7	4,12			
4	podélný	20	1,19	12,5	14,9	50,0	2,21	149	278	21,0
			-	-	-	60,5	4,13			

Údaje z tahové zkoušky poslouží pouze k porovnání materiálových veličin s databází materiálu od výrobce a tím k posouzení, zdali se tento materiál liší od matematického modelu pro simulační výpočet (kap. 3.6.2). Materiálové hodnoty jsou v přijatelném rozmezí, proto se dá tato slitina využít k simulaci.

3.3 Strojní park

3.3.1 Lisovací stroj

Společnost Unitools disponuje několika lisovacími stroji, dvěma osmdesátitunovými Edelhoffy, dvěma čtyřistatunovými Schulery pro ruční zakládání a dvěma transferovými 1250 tunovými a jedním postupovým 500 tunovým Müller Weingartenem. Vzhledem k základním rozměrům součásti (Obr. 3.1) bude použit největší z nich (Obr. 3.4).

Základní technické údaje o stroji jsou v Tab. 3.3, další parametry se dají nalézt v příloze 1.

Tab. 3.3 Technické údaje o stroji Müller Weingarten 1250t

Lisovací síla 12mm před DÚ	12500 kN
Výkon při počtu zdvihů 15 /min	> 250 kJ
Rozměry strojního stolu DxŠ	6000 x 1600 mm
Rozměry beranu DxŠ	6000 x 1600 mm
Světlá šířka mezi miskami na odpadový olej	cca 6080 mm



Obr. 3.4 Lis Müller Weingarten 1250t [1]

3.3.2 Měřicí přístroje LabTest a DEA Global Status

Základní materiálové vlastnosti se zjišťovaly na zkušebním systému LabTest 5.10 SP1 od firmy LABORTECH s.r.o. Tento univerzální stojanový stroj ve vertikálním provedení má dva pracovní prostory. Je určen pro statické mechanické zkoušky v tahu, tlaku, ohybu, krutu a také cyklickém namáhání. Využívají se ke vstupní a výstupní kontrole materiálu ve všech odvětvích průmyslu, kde je to potřeba.

Přesnost, spolehlivost, preciznost a flexibilní řízení testů zaručuje výrobce řady SP1. Plně digitální technologie EDC BOX 220 umožňuje řízení stroje jak v polohové, tak i v silové smyčce. Digitální měřicí a řídicí jednotky mají tyto parametry:

- rozlišovací úroveň analogových signálů ± 180000 dílků
- komunikační procesor AMD 520 133 MHz
- rozlišovací úroveň pro IRC TTL maximálně 8 MHz
- DA převodník ± 9 bitů, AD převodník ± 18 bitů
- interní taktovací kmitočet 1000 Hz
- přesnost měření síly $\pm 0,3$ z čtené hodnoty v rozsahu 1/100 – ČSN EN 7500-1
- přesnost dráhy 1 μm – ČSN EN 9513
- přesnost měření napětí (deformace) $\pm 0,5$ z čtené hodnoty průtahoměru



Obr. 3.5 Zkušební systém LabTest 5.10 SP1

Firma Unitools rovněž vlastní vlastní nedílnou součást testovacího stroje LabTest, a to software Test & Motion. Je to jednoduchý a induktivní kompletní systém pro testování materiálů různými metodami (tah, tlak, ohyb atd.). Podporuje většinu mezinárodních norem. Součástí programu je přenos dat, řízení stroje, grafický záznam o provedené zkoušce, tabulka naměřených hodnot a statistický výpočet.

Tab. 3.4 Technická data zkušebního stroje LabTest 5.10 SP1

Technická data	Jednotka	Hodnota
Jmenovité zatížení	kN	10
Maximální zkuš. rychlost	mm/min	1000
Minimální zkuš. rychlost	mm/min	0,001
Návratová rychlost	mm/min	1000
Přesnost řízení	%	± 0,5
Rozlišení polohy příčnicku	μm	1
Opakovatelnost změny	μm	2
Výška pracovního prostoru	mm	1216
Šířka pracovního prostoru	mm	462
Rozměry stroje V×Š×H	mm	2053×940×620
Hmotnost stroje	Kg	
Tuhost rámu	mm/N	$1,6 \times 10^{-6}$
Teplota pracovního prostředí	°C	10 ÷ 35
Vlhkost pracovního prostředí	%	20 ÷ 70
Napájecí napětí	V	230 50/60 Hz
Příkon stroje	VA	600

Unitools vlastní několik CNC měřících přístrojů v oddělení řízení jakosti. Na tuto práci byl použit stroj DEA Global Status 7.10.7 od firmy Dea Global Performance. Jedná se o dotykový souřadnicový měřící stroj pro testování geometrických vlastností různých objektů. Základním principem je zjišťování souřadnic ve třech rozměrech pomocí sondy, digitalizace, zpracování příslušným softwarem a interpretace naměřených hodnot. Přímou nebo přepočtem pak lze získat informace o základních vlastnostech měřeného vzorku.[1]



Obr. 3.6 3D měřící přístroj DEA Global Status 7.10.7 [1]

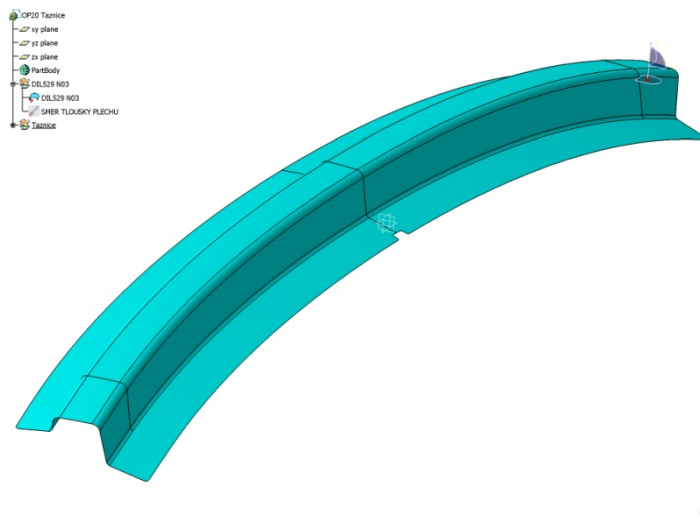
Tab. 3.5 Technické údaje o 3D měřícím přístroji DEA Global Status 7.10.7

Technická data	Jednotky	Hodnota
Měřicí rozsah (X × Y × Z)	mm	700 × 1000 × 660
Měřicí objem	m ³	0,462
Maximální přípustná chyba	μm	3 + L/250
Maximální hmotnost dílu	kg	1500

3.4 Geometrie tažníku a tažnice

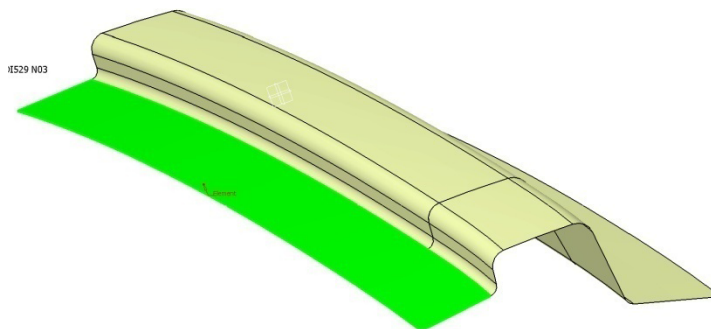
K operaci tažení je potřeba navrhout tažnici, tažník, přídržovač a popřípadě jednostranné brzdy. Tvorba těchto částí byla uskutečněna pomocí softwaru CATIA V5.

Jelikož simulace funguje na principu plošných FEM elementů, postačuje pro ni pouze konstrukce tažnice, která po výběru patřičných částí a jejich offsetu přímo v simulačním programu obsahuje také geometrii tažníku a přídržovače. Možnost použití pouze tzv. nominální plochy tažnice ušetří čas v průběhu tvorby a optimalizace simulace. Prvotní geometrie tažnice vychází ze zadatých dat dílu (Obr. 3.7). Tvar dílu je značně prohnutý a po tažení dojde k jeho odpružení, proto se výsledná plocha tažnice použitá pro konstrukci nástroje bude lišit od nominální (řešeno v kapitole 3.8).



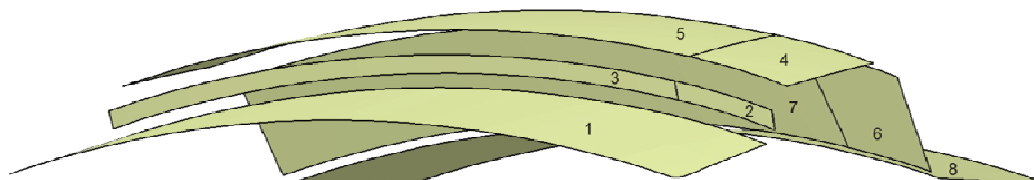
Obr. 3.7 Výchozí geometrie

Jelikož součást je osově souměrná a simulační software umožňuje definici osy symetrie, bude to využito k dalšímu modelování, kdy se použije také jenom polovina geometrie tvaru. CATIA nedokáže bez historie jednoduše zrušit zaoblení mezi dvěma plochami, proto se musí odseparovat plochy k tomuto zaoblení pomocí funkce *Extract* (získání, odvození plochy, Obr. 3.8).



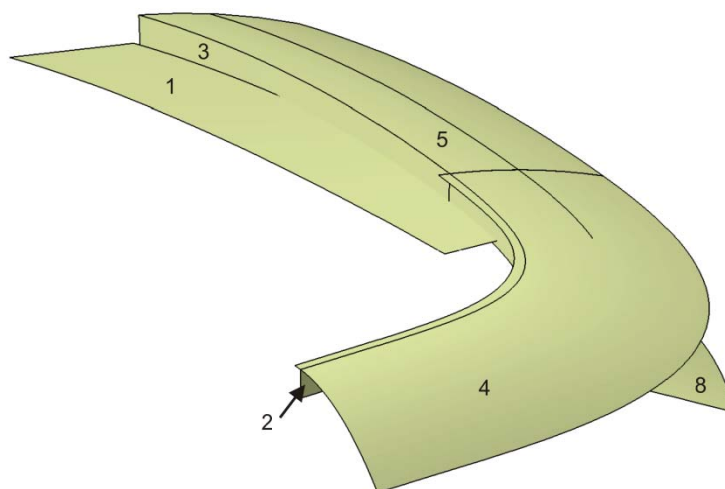
Obr. 3.8 Funkce *Extract*

Dále se získané plochy osamostatní tak, že se nechají viditelné jen ty potřebné, ostatní se schovají (funkce *Hide/Show*, Obr. 3.9). Plošky na Obr. 3.9 (1 až 8) jsou zcela shodné s výchozí geometrií, proto slouží jako základní kostra pro další modelování.



Obr. 3.9 Osamostatnění získaných ploch

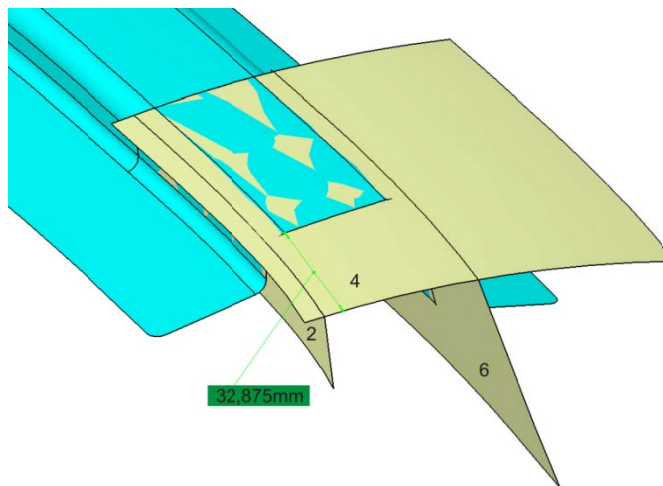
Dalším krokem je plošné protažení vybraných ploch, které vychází z původní geometrie a obsahuje její původní tvar. K tomuto účelu využijeme funkci *Untrim*, což je obnovení původní velikosti křivek nebo ploch po jejich předchozím oříznutí či zaoblení. Na všechny plochy z Obr. 3.9 se tedy použije funkce *Untrim*, výsledek je patrný na Obr. 3.10.



Obr. 3.10 Užití funkce *Untrim*

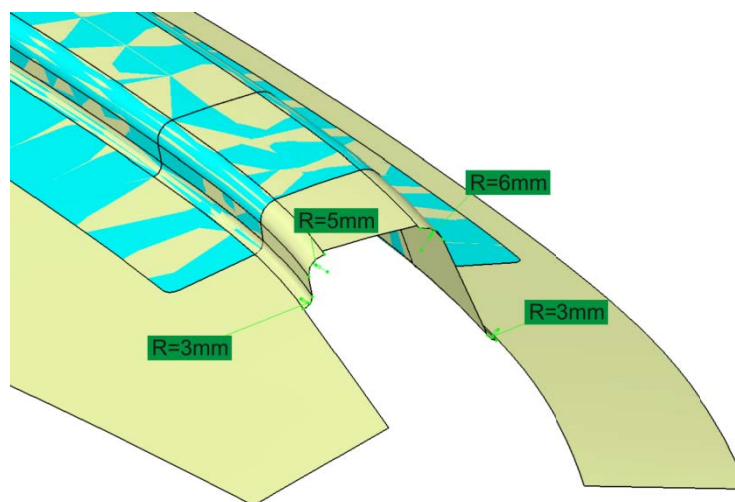
Jelikož funkce *Untrim* jen obnovila původní plochy před ořezáním, musí se tyto plochy jednotlivě protáhnout v potřebné délce pro další kroky. Geometrie tažnice pro simulaci může přesahovat rozměry hotového nástroje, protože jde o předběžnou simulaci. V Catii je možno použít funkci *Extrapolate*, protažení elementu. K jednoduchým úpravám ploch se také využívá funkce *Trim*, ořezání, kde se plochy oříznou vlastním průsečíkem v podobě křivky. Jestliže průsečík neexistuje, k ořezání nedojde a musí se plochy protáhnout tak, aby se protínaly.

Na Obr. 3.10 je vidět, že plošky 2 a 4 se obnovily do zakřiveného tvaru, proto se plochy 2, 4 a 6 oříznou rovinou, která je paralelní s koncem výchozí geometrií dílu a zároveň posunutá. Velikost posunutí není přesně určena, je pouze orientační a bude definována až při samotné konstrukci nástroje. Důležité je pouze, aby modelovaná tažnice přesahovala výchozí geometrii dat dílu (Obr. 3.11).



Obr. 3.11 Oříznutí ploch 2, 4 a 6

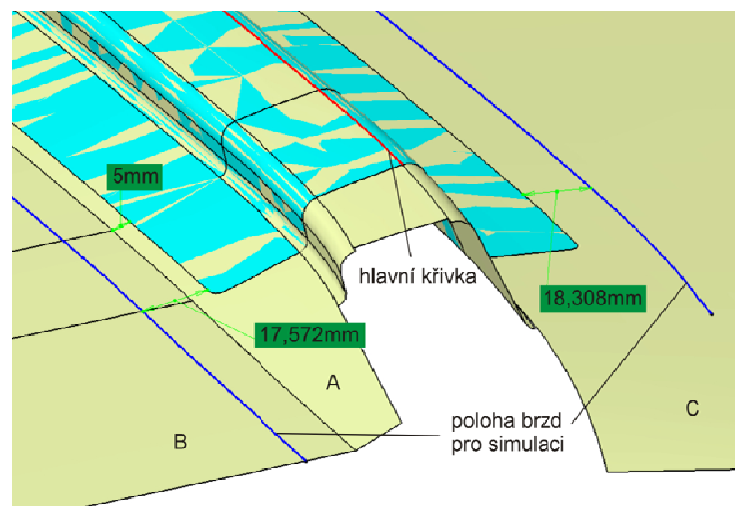
Dále se elementy 2-3, 4-5 a 6-7 spojí k sobě pomocí funkce *Join*, spojení ploch nebo křivek, a vytvoří se zaoblení na hranách mezi těmito plochami. S funkcí *Shape Fillet*, zaoblení mezi plochami, se elementy oříznou a vytvoří se mezi nimi zaoblení o stanoveném poloměru. Výsledek těchto funkcí je na Obr. 3.12, kde je také patrná identita ploch s výchozí geometrií, znázorněna promícháním dvou barev.



Obr. 3.12 Zaoblení mezi plochami

V další fázi se vytvoří boční plochy, po offsetu sloužící jako část přidržovače obsahující brzdné elementy. Aby tažení bylo co nejplynulejší, příčný průřez se musí co nejvíce podobat hlavní křivce, udávající tvar celé součásti (Obr. 3.13). Krajní hrany

součásti se jen nepatrně liší od této křivky. Jelikož díl se bude táhnout z přístříhu, který je v prvotní fázi tažení rovný, měly by plochy B a C být ve stejné výšce a pokud možno navzájem rovnoběžné. Toho se dosáhne tím, že plocha A se ořízne paralelní křivkou (*Parallel Curve*) od hrany součásti (viz kóta 5mm) a dále se vytáhne funkcí *Extrude*, tažená plocha, ve směru přibližně ploše C. AutoForm nevyžaduje přesnou geometrii brzdících drážek v základní geometrii, která je v něm definována pomocí tzv. brzdných faktorů, které mají pro výpočet defaultně přiřazenou geometrii. Z tohoto důvodu nám tedy postačí pouze poloha a tvar brzdných křivek. Vzdálenost od lemu je určena buď normou definovanou od zákazníka, nebo dle zkušeností pracovníků firmy se používá rozměr od 10 do 20 mm. Materiál, který při tažení prošel brzdou je přetvořen a není vhodné, aby byl z důvodu zanechání tažných stop a náchylnosti k odpružení součástí výsledného dílu. V další operaci bude následně odstřížen.



Obr. 3.13 Poloha brzdících hran

K vytvoření geometrie byly použity převážně tyto příkazy:

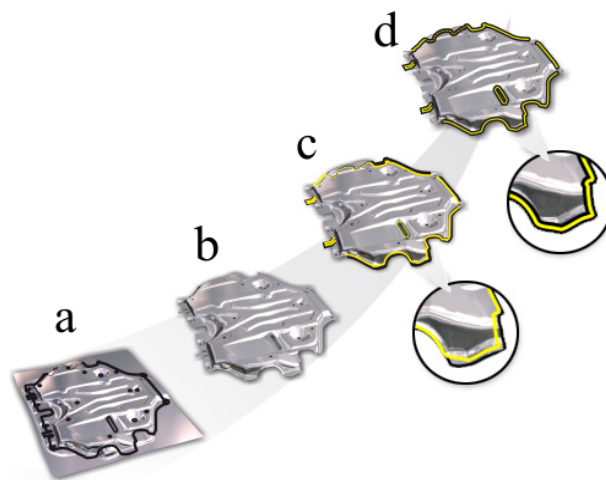
- *Extract* – slouží k získání (odvození) plochy nebo hranic křivek z objemového případně plošného tělesa. Možno zvolit návaznost mezi označenými prvky (*No Propagation, Point Continuity, Tangent Continuity*)
- *Untrim* – obnovení původní velikosti křivek nebo ploch po jejich předchozím oříznutí. Touto funkcí je možné obnovit i elementy bez historie
- *Extrapolate* – protažení plochy nebo křivky. Nastavuje se hranice plochy (*Boundary*) a daná plocha (*Extrapolated*), kterou chceme protáhnout, a parametry protažení (*Limit*)
- *Trim* – slouží k vzájemnému oříznutí dvou elementů, výsledkem bude oříznutí je jedna plocha, označená *Trim*. Zadávají se jednak elementy, tak části, které se mají odříznout

- *Join* – spojení (sečtení) ploch nebo křivek, které na sebe navazují, výsledkem je jedna plocha nebo křivka. Při zachování kontroly spojitosti (*Check Connexity*) musí být mezera mezi elementy menší než spojovací vzdálenost (*Merging Distance*), jinak se objeví chybná hláška. Tato vzdálenost je maximálně 0,1 mm
- *Shape Fillet* – tvorba zaoblení mezi samostatnými plochami. Mimo elementů k zaoblení se zadávají rádius a mezní oblasti přechodu (*Extremities – Smooth, Straight, Maximum, Minimum*)

3.5 Výpočet přístřihu

Před samotným tažením dojde k odstřížení určitého tvaru z pásu plechu odmotávaného z cívky.

AutoForm Trim je základní nástroj pro stanovení kontur přístřihu pro jednooperační tažení a výpočet křivek odstřížení tak, že součást dosáhne stanoveného tvaru na konci tažného procesu a následuje další krok, např. lemování, ohýbání, další tažení. Aplikace spolupracuje se základním modulem AutoForm Incremental. Po zadání vstupních dat, požadované a vstupní geometrie a tažného procesu, který předchází, se iteračním postupem vypočítá optimalizovaná kontura.

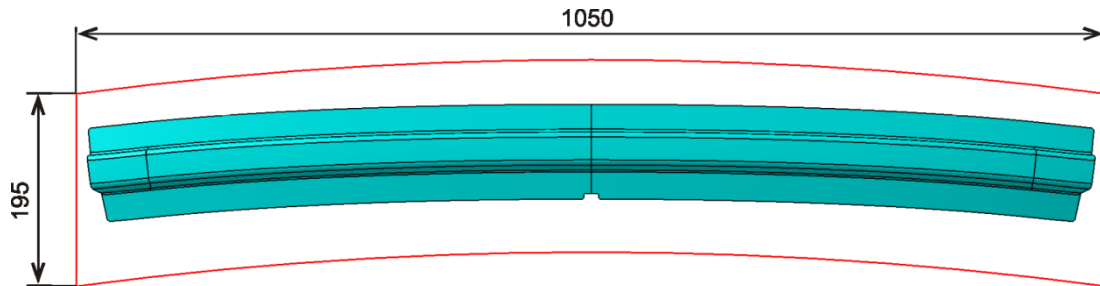


Obr. 3.14 Ukázka možnosti modulu AutoForm Trim

- a – tažená součást s křivkou odstřížení
- b – odstřižená součást
- c – požadovaná hranice (žlutá) a křivka odstřížení (černá) před výpočtem
- d – požadovaná hranice a křivka odstřížení po výpočtu

Software stanovil přesný tvar přístřihu, po kterém se po tažení dosáhne požadované geometrie. Využitím brzdných žebér se ale musí geometrie zvětšit, aby materiál po vytažení skončil přibližně v brzdách (dosažení konstantního tažného napětí po celou dobu procesu). Šířka plechového pásu bude dle Obr. 3.1 s přídatkem na obstřih 1050 mm. Druhý rozměr odstřiženého materiálu se stanoví součtem délky vypočtené

geometrie aplikací AutoForm Trim (130 mm), poloh brzd od hran (35 mm) a rezerv vtaženého materiálu v brzdách (30 mm). Importovaná geometrie optimalizované kontury se tedy musí upravit (CATIA) ve výslednou velikost přístřihu (Obr. 3.15).



Obr. 3.15 Velikost přístřihu

3.6 Simulace tažení

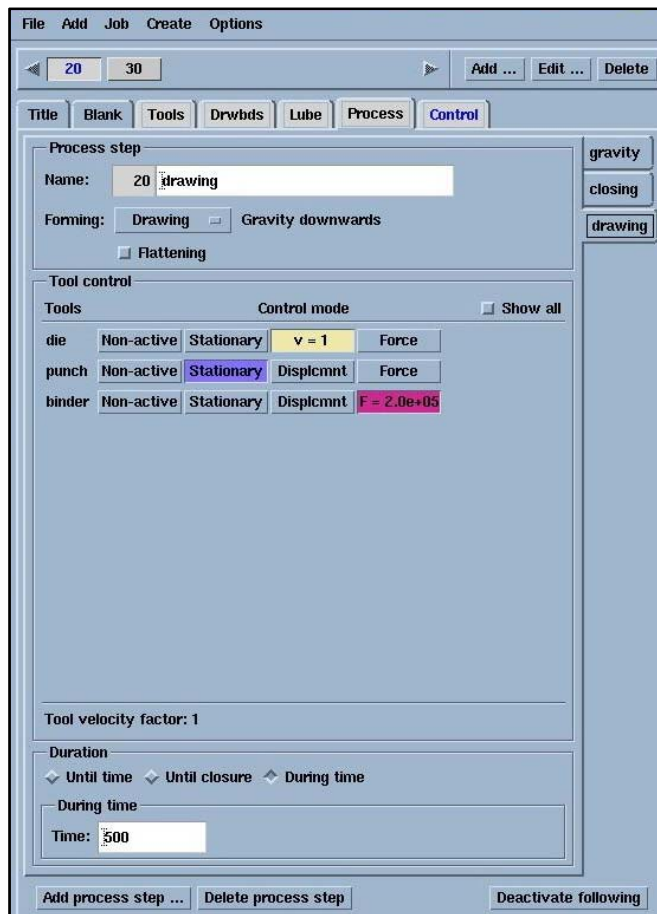
Simulace byla provedena ve firmě Unitools pomocí programu AutoForm Incremental, pracující na bázi metody konečných prvků (Finite Element Method).

3.6.1 Příprava simulace

Následující postup zachycuje přípravu simulačních dat pro zadanou součást, taženou jednooperačně. Na začátku musí být definován nový simulační soubor. Kromě názvu se zadávají jednotky délkové (mm, m, palce) a silové (N, pound) a akceptovatelná chyba a hustota při zasítování (*Meshing*). Nastavování je zprostředkováno pomocí jednoduchých aplikací:

- Generátor geometrie (*Geometry Generator*) – AutoForm vyžaduje geometrii nástrojů jen ve formátech VDAFS nebo IGES. Software automaticky dle nastavených parametrů zasítuje naimportované plochy. K tomu využívá nejčastěji trojúhelníkového nebo obdélníkového elementu. Obecně platí čím větší počet uzlů, tím roste přesnost výsledků, ale zároveň stoupá časová a výpočtová náročnost. Velikost a rozměry prvků jsou předdefinovány dle obvyklých potřeb, ale dají se jednoduše změnit v okně pro parametry síťování. Dále se určí typ simulace (*Incremental*, *OneStep* nebo *Hydroform*), směr pohybu tažnice (v tomto případě shora dolů), tloušťka plechu (1 mm) a strana importované geometrie, ke které se bude při definování geometrie nástroje dopočítávat tloušťka neboli offset. Při definování se musí postupně vybrat plochy popisující tažnici, tažník a přidržovač. Aplikace obsahuje záložky, které slouží ke kontrole importované geometrie, např. nejmenší poloměr zaoblení (*Fillet*).
- Generátor procesů (*Process Generator*) – první a třetí záložka této aplikace se definovala v předchozí části (*Title*, *Tools*), jen se k nástrojům určila poloha, směr a rychlost pohybu (tažník nehybný, tažnice s pohybem shora dolů a přidržovač přibližně v polovině vzdálenosti čeká na sevření přístřihu). Záložka přístřih (*Blank*) nabízí jak importování či zkopírování geometrie, tak vytvoření vlastního jednoduchého tvaru (obdélník nebo kružnice). Návrh se nejčastěji realizuje v rovině kolmé na směr pohybu lisu. Konkrétně se ale využije *Import* dříve navrženého přístřihu (kap. 3.5). Jelikož modelování probíhalo ve stejném souřadném systému jako geometrie tažnice, ustaví se přesně do stejné pozice (hodnoty x a y nulové). Dále se v této sekci určí materiálové data (kap. 3.6.2). Velikost koeficientu tření (*Lubrication* v části *Lube*) se stanovila dle zkušeností na konstantní hodnotu 0,17. Vlastní procesy simulace se zadávají v záložce *Process* (Obr. 3.16). V tomto konkrétním případě má tři části, Gravitace (*Gravity*), sevření (*Closing*) a tažení (*Drawing*). Gravitace působí shora dolů (*Downwards*). K sevření dojde, až tažnice

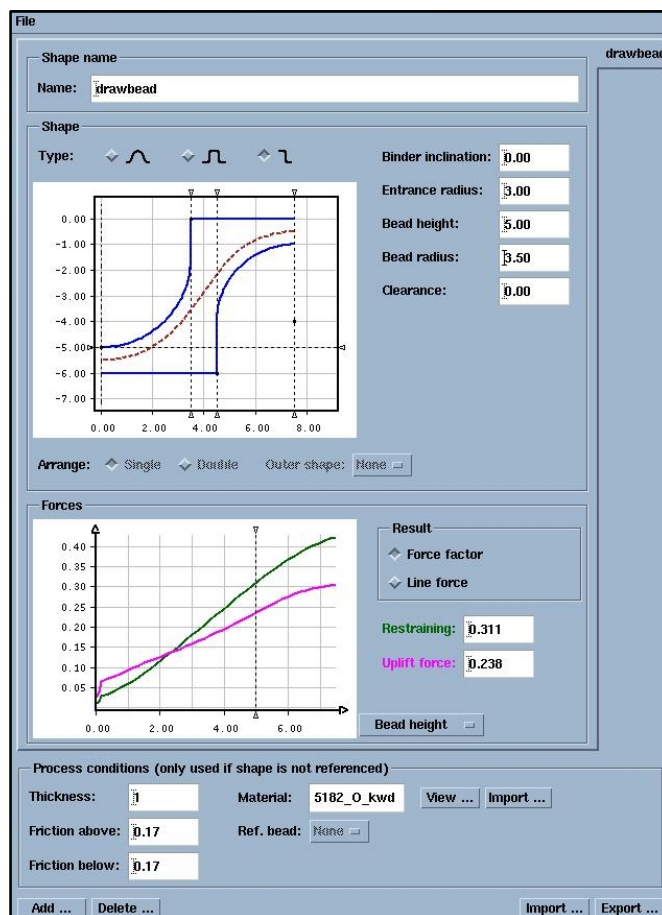
společně s přístřihem narazí na přidržovač (*Binderwrap*) a pokračuje směrem dolů k tažníku. Jakmile dospějí na hladinu tažníku, přejde se na proces tažení (Obr. 3.16). Hodnota přidržovací síly se nastaví zaokrouhleně v násobcích silových rozsahů např. vzduchových pístů, které jsou k dispozici pro konstrukci nástroje (zde hodnota 20 kN).



Obr. 3.16 Záložka *Process* v procesním generátoru

V procesním generátoru se také určují brzdné hrany brzdné hrany (*Drwbds* – *Drawbeads*). Využije se vytvořených křivek z Obr. 3.13, určí se jejich poloha, hloubka a šířka (15 mm). Silový faktor, což je vlastně poměr síly ve směru tažení k síle přidržení, se stanoví na nějakou zkušenostmi používanou hodnotu. S měnící se hodnotou silového faktoru se celý proces odsimuluje tolikrát, dokud výsledek pro bezpečné tváření nebude vykazovat přijatelné hodnoty (bezpečné barvy). Relativně optimální vyšla hodnota 0,311.

AutoForm Incremental má k dispozici pomocnou aplikaci pro návrh geometrie brzdne hrany (Obr. 3.17). Je možno si vybrat ze tří základních tvarů (*Type*). Nejvhodnější bude třetí varianta se dvěma oblouky. Pomocí nastavování parametrů geometrie se získá požadovaný silový faktor. Pro vymodelování brzdnych hran pro konstrukci nástroje jsou důležité tři položky, výška brzdy (*Bead Height*), vstupní poloměr (*Entrance Radius*) a poloměr brzdy (*Bead Radius*).



Obr. 3.17 Geometrie brzdne hrany

3.6.2 Materiálové data pro AutoForm

Výrobce ke konkrétnímu materiálu dodal veškerá potřebná data (Obr. 3.18), např. modul pružnosti (*Young's*), Poissonovo číslo (*Poisson's*), hustotu (*Specific weight*) a koeficient objemové tepelné roztažnosti (*Vol. Spec. Heat.*). Dále je poskytnuta křivka zpevnění (*Hardening Curve*), jenž určuje velikost deformačního napětí v závislosti na přetvoření. Dalším z důležitých diagramů vlastností materiálu je křivka plasticity (*Yield Surface*). Ta udává hranici, kdy se při víceosém zatížení materiál začne plasticky deformovat. Jednoosá tahová zkouška se provádí ve směrech 0, 45 a 90 stupňů ke směru válcování a výsledky se nanesou do grafu. Třetí diagram znázorňuje limitní tvářecí křivku (*FLC – Forming Limit Curve*), která představuje maximální hlavní deformaci při dané vedlejší deformaci, kdy právě dojde k tvoření krčku při tahové zkoušce. Předchozí inženýrské praxe ukázaly při zkoumání výskytu poškození výhody použití limitního tvářecího diagramu, který představuje dobré znázornění roztažnosti materiálu a jednoduché nalezení výskytu problému. [9][10]

The screenshot shows the 'Material data' window for '5182_O_kwd'. It includes the following sections and data:

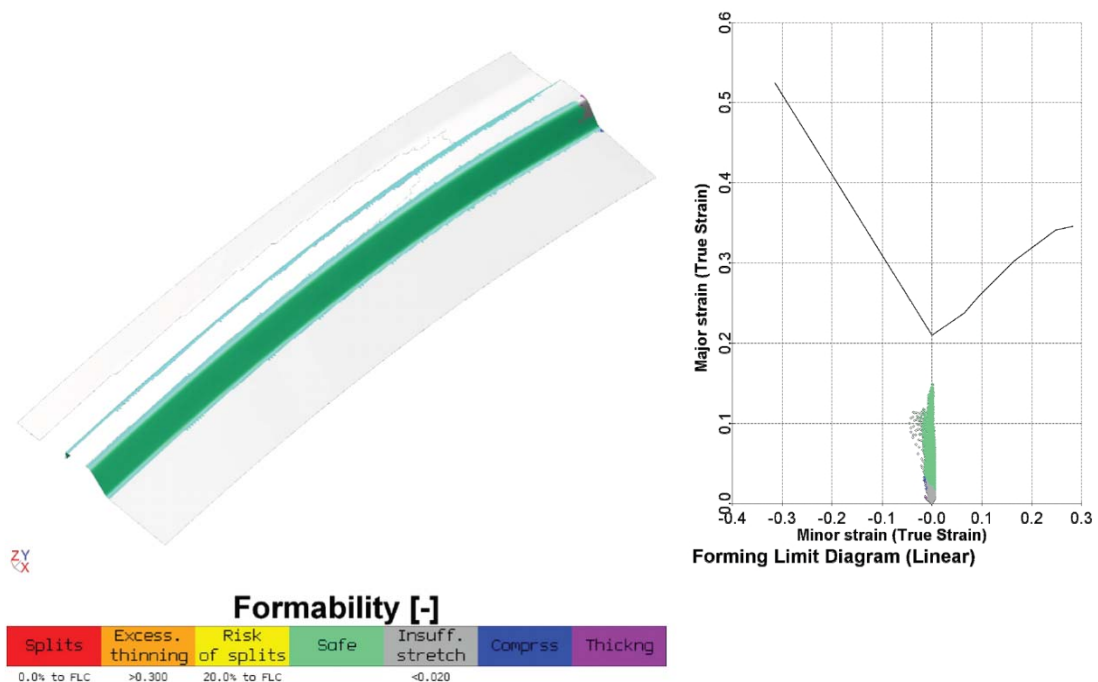
- Material name:** 5182_O_kwd
- Comments:** Standard designation: 5182_O, According to standard: Additional designations: AlMg5Mn
- Elasticity / weight:** Young's: 7e+04, Poisson's: 0.3, Specific weight: 2.7e-05, Vol. spec. heat: 2.46
- Hardening curve:**
 - Approximation: Data ...
 - ϵ_0 : 0.0105, σ_i : 136.5
 - m: 0.319, σ_{sat} : 364.6
 - C: 558.4, a: 8.38
 - p: 0.933
 - Comb. factor α : 0.75
 - Strain rates: Variation Kinematic
 - Graph: Stress vs. Strain curve showing a hardening effect.
 - Bottom data: σ_0 : 135.1, n: 0.263, R_m : 271.9, R_G : 0.234
- Yield surface:**
 - Barlat
 - r_0 : 0.76, σ_0 : 135.1
 - r_{45} : 0.92, σ_{45} : 133.2
 - r_{90} : 0.81, σ_{90} : 137.5
 - r_b : 0.867, σ_b : 134.3
 - M: 0, Biax: 1.04
 - Graph: Yield surface plot in the σ_1 - σ_2 plane.
 - Bottom data: r_m : 0.853
- FLC:**
 - Arcelex V9 Alt
 - R_G : 0.234
 - R_m : 271.9
 - r_m : 0.853
 - Graph: Forming Limit Curve (FLC) plot.
 - Bottom data: ϵ_{10} : 0.21

Obr. 3.18 Materiálová složka AutoFormu

3.6.3 Výsledky simulace

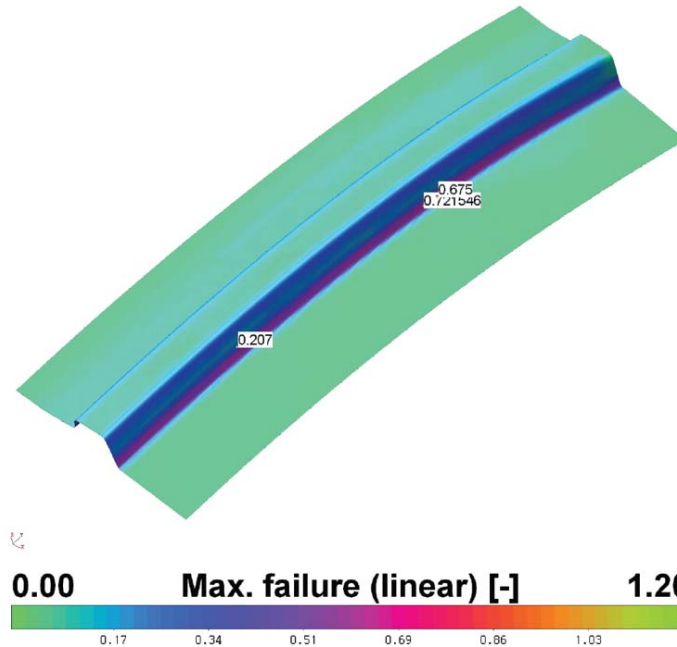
AutoForm Incremental poskytuje přehledný a jednoduchý postprocessing, kde se dá snadno a rychle zjistit základní kritérium, které rozhoduje o správném průběhu tažení. Převážně se jedná o kritéria lisovatelnosti, porušení, zvlnění a ztenčení. Na základě těchto výsledků se dá rozhodnout o jakosti výtažku, použitelnosti, životnosti a také o případné tvarové úpravě dat. Kdyby některá z hodnocených vlastností překročila bezpečnou oblast, upraví se vstupní hodnoty tak, aby se výsledky zlepšily. Rychlá optimalizace patří k velkým výhodám výpočtu metodou konečných prvků.

- Lisovatelnost (*Formability*) – tato analýza znázorňuje přetvoření dané součásti. Snahou v hlubokém tažení je docílit co největšího přetvoření, které potlačuje nežádoucí efekt odpružení a zvyšuje se zároveň pevnost, což je vhodné pro konstrukční prvky automobilů. Zároveň nesmí dojít nežádoucím jevům, jako jsou například roztržení materiálu (*Splits*), přemíra ztenčení materiálu (*Excess. Thinning*), nebo naopak stlačení (*Compress*) či pěchování (*Thickng*). Konkrétní výtažek na Obr. 3.19 ukazuje, že proces je z velké části bezpečný. K přetvoření nedojde a ani nemůže dojít pouze na rovinných částech, které po tahu zůstanou mezi tažnicí a přidržovačem. (*Insuff. Stretch*), to ale nevadí, protože se tato oblast v dalších operacích odstříhne a poté kalibruje.



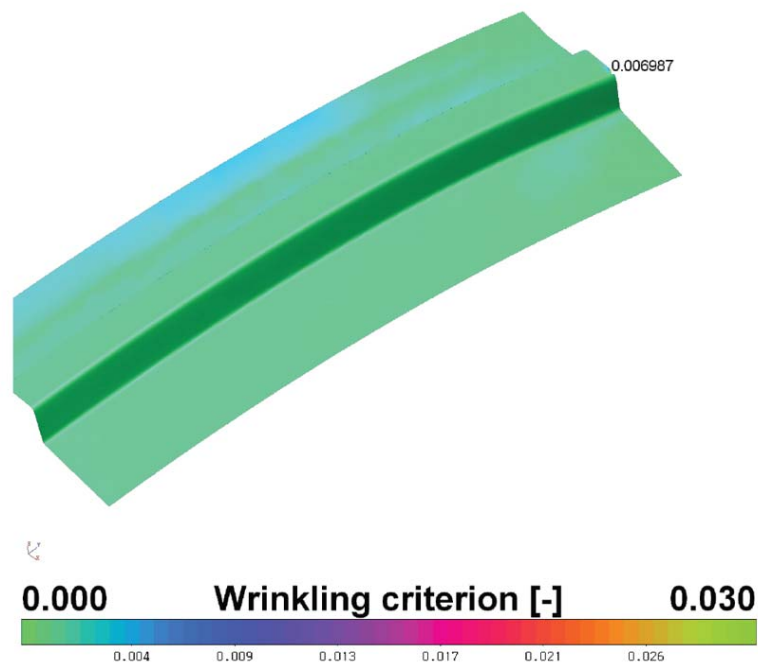
Obr. 3.19 Lisovatelnost výtažku a limitní diagram tvařitelnosti

- Porušení (*Failure*) – analýza určující nejnáchylnější místa na porušení. Hraniční hodnota je 1 a při 0,8 se začne zvyšovat riziko odtržení. Součást v místě ohybů vykazuje nejvyšší hodnoty, přesto je stále bezpečná (Obr. 3.20).



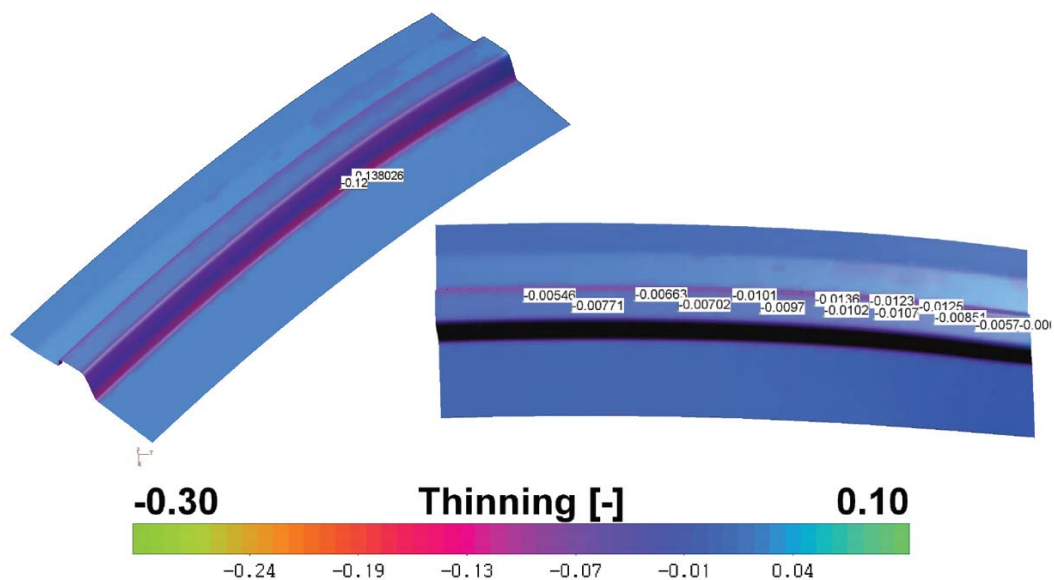
Obr. 3.20 Porušení výtažku

- Zvlnění (*Wrinkling*) – zvlnění vzniká místním napěchováním materiálu. Při tažení materiálu obecně do středu se v jednom místě tloušťka zmenší a v jiném zvětší, což má za následek právě zvlnění. Součást je minimálně náchylná na toto kritérium (Obr. 3.21). Kritická hodnota je 0,3 pro rovinné oblasti.



Obr. 3.21 Zvlnění výtažku

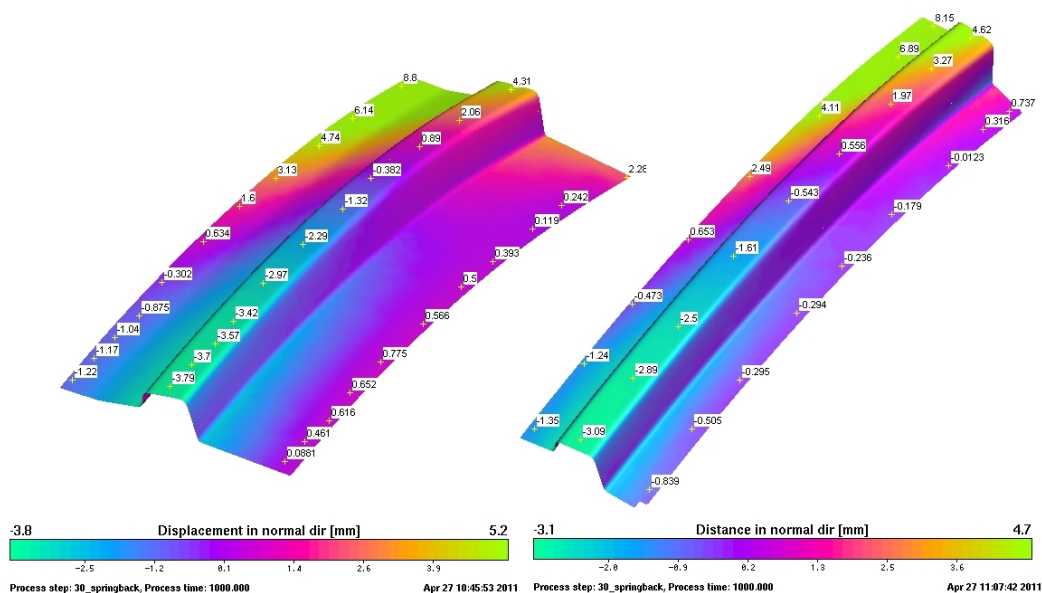
- Ztenčení (*Thinning*) – tato analýza udává procentuální ztenčení plechu výtažku. Záporné hodnoty znamenají ztenčení, naopak kladné napěchování v daném místě. Součást je ztenčena nejvíce okolo 14 %, což je pod hraniční hodnotou 25 %. Většinou při překročení 20 % se doporučuje přezkoumat výchozí podmínky simulace, případně je upravit.



Obr. 3.22 Ztenčení výtažku

3.7 Posouzení odpružení simulace stříhu a tahu

Tato kapitola se zabývá možností zjednodušení simulačního výpočtu. Porovnává rozdíl odpružení mezi simulací bez a se stříhem. V reálném procesu výroby by se střížné operace prováděly na dvakrát, ale v Autoformu Incremental se z důvodu časových úspor provádí v jednom kroku. Autoform umožňuje spočítat jednak odpružení po vytažení, ale také po následném obstříhu, což jsou rozhodující složky potřebné k porovnání (Obr. 3.23).



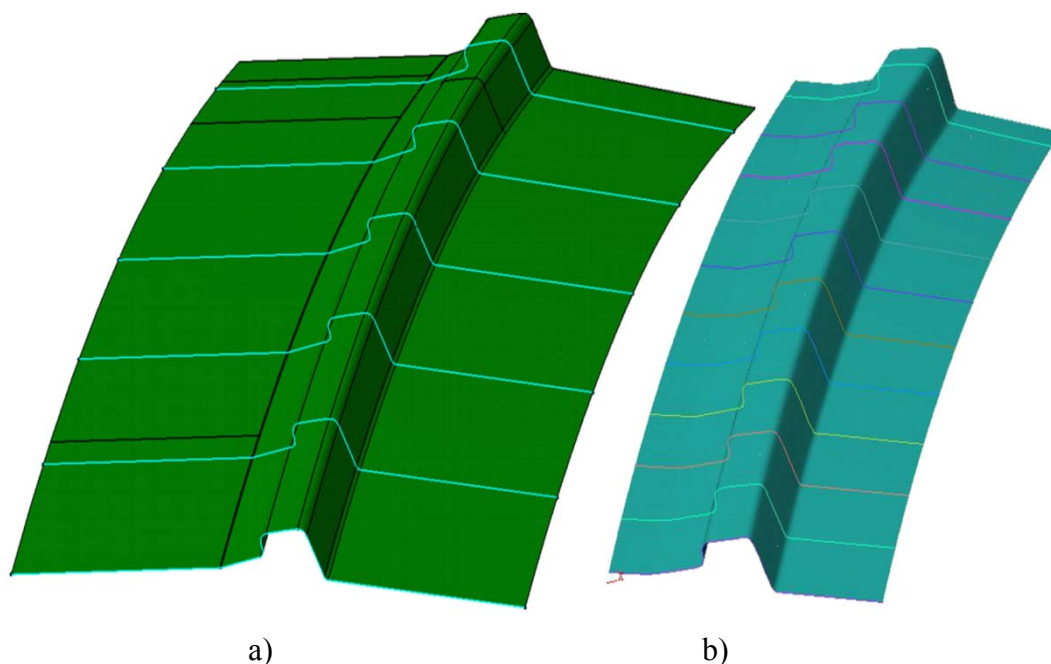
Obr. 3.23 Porovnání odpružení bez a se stříhem

Barevné oblasti normálových vzdáleností od požadované geometrie odpovídají ve většině případů. K odpružení po stříhu sice dojde, ale lze považovat za bezvýznamné. Kalibrací ve finální operaci procesu lisovacího nástroje se tyto odchylky minimalizují. Proto průběžné optimalizační simulace proběhly po tahu bez obstřížení. Ten se přiřadil až do ověřovacího výpočtu s finální verzí geometrie. Problémy s odpružením řeší další kapitola.

3.8 Odladění odpružení

Většina materiálů po zatížení prochází stádiem elastického přetvoření, které po odtížení způsobí nežádoucí změnu tvaru. V této části je použita metoda, kdy se navrhne geometrie taková, aby se po odtížení součást vrátila právě do požadovaného tvaru.

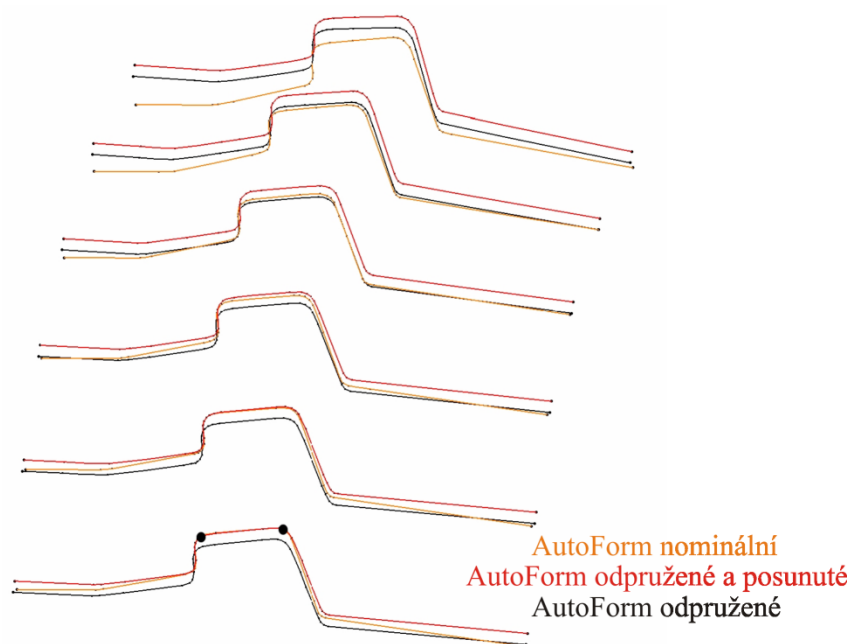
Jak už bylo zmíněno AutoForm Incremental obsahuje v záložce procesního generátoru možnost přidání výpočtu odpružení (*Springback*) po tažné nebo střížné operaci. K exportování odpružené geometrie dílu se používají řezy po vzdálenostech, které zachytí všechny důležité nerovnosti (Obr. 3.24).



Obr. 3.24 Nominální řezy (a) CATIA po 100 mm a (b) AutoForm po 50 mm

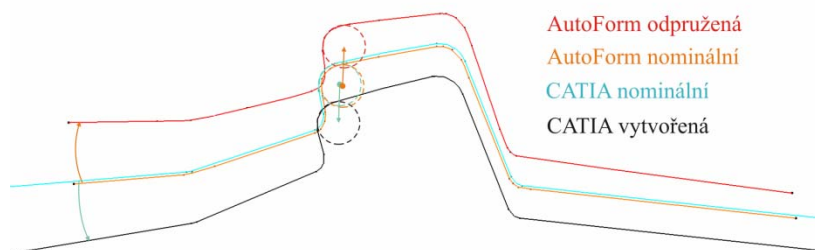
Změna geometrie se pak provede v programu CATIA. Základem vytvoření geometrie tažnice, která se po odpružení shoduje s požadovaným výchozím tvarem, je princip reversního modelování. Jednoduše se křivky posunou nebo otočí opačným směrem, než se odpružily. V podstatě jsou potřeba tři sady křivek, a to nominální a odpružená z AutoFormu a nominální ze softwaru CATIA. Nominální křivky se od sebe liší akorát v tom, že AutoForm počítá se střednicí dané geometrie. Budou tedy od sebe posunuty o polovinu tloušťky plechu, jinak vychází se stejné geometrie.

V prvním kroku se musí sada odpružených křivek posunout (natočit) tak, aby se její prvky v co největší míře shodovaly se sadou nominální. Na Obr. 3.25 se za shodné prvky zvolily oblouky v místě, kde je osa symetrie dílu, černé křivky jsou původní, červené posunuté a oranžové nominální.



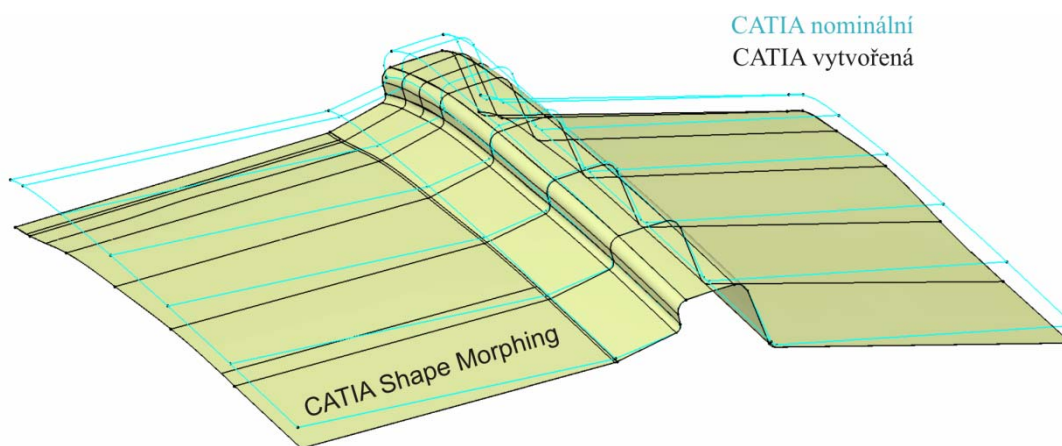
Obr. 3.25 Posunutí sady odpružených křivek

Další fáze modelování je asi časově nejnáročnější. Ke každé sadě křivek v jedné rovině se vytvoří taková, aby byla reverzní k těm z AutoFormu. Využívá se nejčastěji oblouků (jejich středů) k posunutí a natočení zbytku geometrie ve skicári softwaru CATIA (Obr. 3.26). Nelze použít symetrie k usnadnění, proto také tento proces přetvoření křivek zabere relativně dost času. Transformace se takhle provede pro všechny řezy.



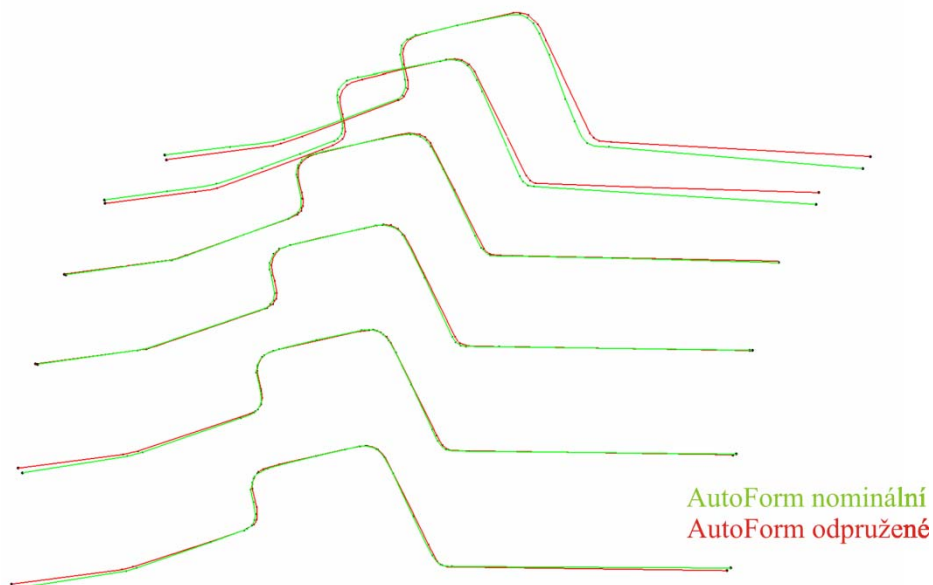
Obr. 3.26 Transformace křivek

CATIA nabízí jednu velice výhodnou funkci na transformaci ploch, a to tzv. *Shape Morphing*. Je to vlastně změna tvaru jedné plochy na druhou za pomoci jejich prvků, nejčastěji křivek, které jsou pro danou geometrii charakteristické. Zadávají se tedy křivky původní, které by měli být součástí plochy, a cílové (vytvořené). Aby transformace proběhla optimálně, doporučuje se propojit co nejvíce bodů křivkami (*Spline*) a vytvořit tak síť (Obr. 3.27).



Obr. 3.27 Nominální a vytvořená síť, využití funkce *Shape Morphing*

Takto nově vytvořená plocha se použije v další simulaci jako výchozí geometrie tažníku, tažnice a přidržovače. Brzdné hrany se vymodeluje stejným způsobem pro novou plochu jako na Obr. 3.13. Tvar přístříhu zůstane stejný. Všechny parametry jsou již nastavené z první simulace, stačí tedy jen neimportovat, nadefinovat nové geometrie a spustit znova simulaci.



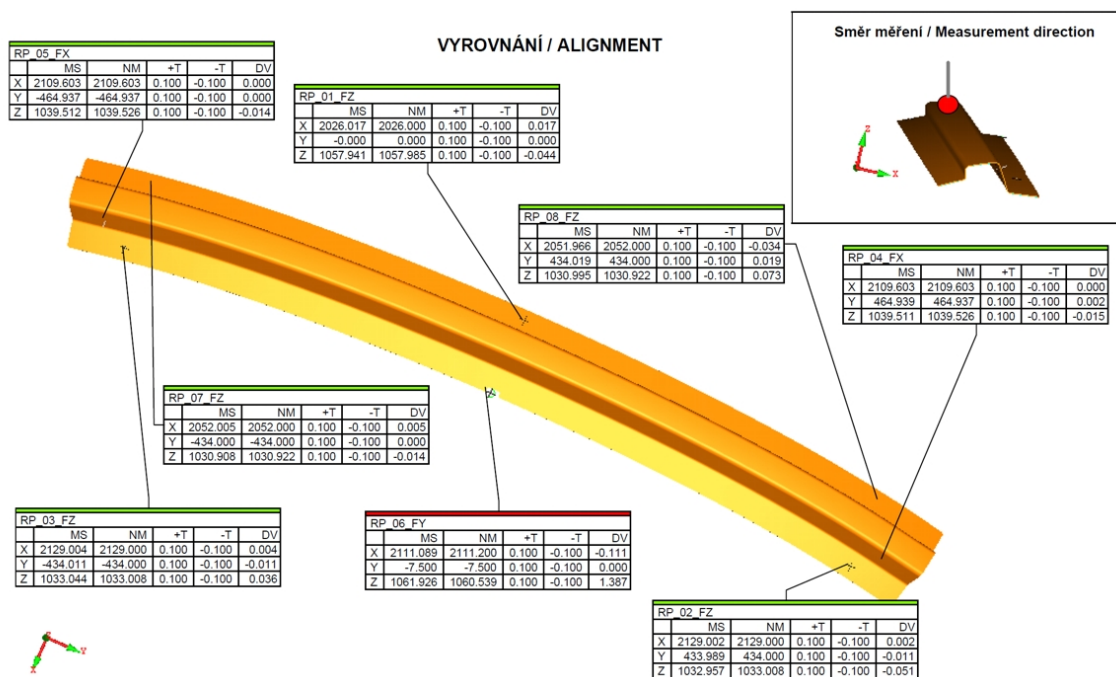
Obr. 3.28 Sady křivek po druhé simulaci

Porovnání odpružených křivek po druhé simulaci je ukázáno na Obr. 3.28. Je patrné, že se výsledek zlepšil, křivky se více shodují. Přesto se musí opět individuálně křivky reverzně transformovat jako v prvním kroku.

Optimalizace návrhu spočívá v iteračním opakování předchozích kroků, dokud odpružená geometrie nebude přijatelná. V našem případě byly potřeba včetně nominální simulace 3 iterace.

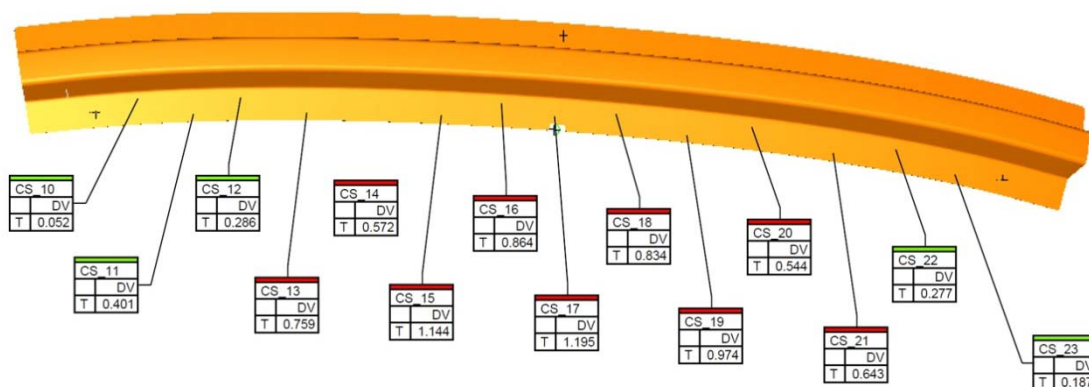
3.9 Kontrola 3D měřením

Výstup z oddělení vývoje jsou optimalizované geometrie funkčních ploch a ořezových křivek pro jednotlivé technologické operace. Ty jsou následně použity v oddělení konstrukce nástroje pro postupný ořez polotovárů, ze kterých je spolu s normáliemi vytvořena 3D sestava lisovacího nástroje. Tenhle nástroj se také ve firmě Unitools vyrobí a smontuje. Po ztušívání nástroje se odlišuje první řada výtažků. Ty směřují do centra řízení jakosti, vybere se jeden popřípadě více vzorků, ustaví se do kontrolního přípravku, který je speciálně vyroben pro tento díl a začne samotné měření na stroji DEA Global Status (kap. 3.3.2). Dosednutí a vyrovnaní výtažku na přípravek je realizováno pomocí tzv. RPS bodů. Ty dle předem definovaného pořadí postupně zbavují výlisek jeho stupňů volnosti a jsou ustaveny jako referenční pro další měření tak, aby bylo zajištěno stejné ustavení u všech dalších kontrolovaných výtažků. Vychází z předepsaných bodů od zákazníka vyznačených na výkresu.



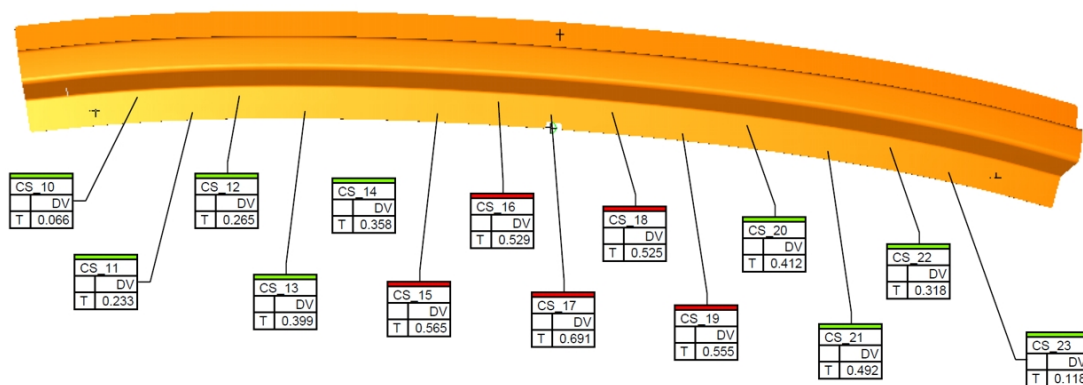
Obr. 3.29 Vyrovnání dle RPS bodů pro ustavení výtažku pro měření

Už prvotní ustavení a změření referenčních bodů ukázalo nějaké odchylky ve střední oblasti okolo referenčního bodu RP_06_FY (Obr. 3.29). Výsledky měření okolních bodů dokazuje, že se tato část liší od požadavků (Obr. 3.30).



Obr. 3.30 Výsledky z měření problémové strany první sady výtažků

V prvním kroku optimalizace se zkontrolovala funkčnost nástroje, konkrétně síla spodního přidržení, které při první zkoušce neodpovídalo podmínkám simulace. Dále byl nástrojařsky pomocí ručního odlehčování a leštění doladěn tuširovací obraz. Po těchto úpravách byla provedena druhá zkouška, po které jak je vidět na (Obr. 3.31) došlo ke zlepšení náměrů v kritických oblastech.



Obr. 3.31 Výsledky z měření problémové strany ze druhé sady výtažků

4 Závěr

Z prvních dvou zkoušek a jejich následného měření jednoznačně vyplývá, že velikost přidržovací síly a kvalita tuširovacího obrazu ovlivňují finální náměry dílu. Tento vliv je způsoben hlavně stupněm přetvoření materiálu, který ovlivňuje velikost odpružení, a tedy i vzniklých odchylek. Díky zvýšení přidržovací síly a zlepšenému kontaktu funkčních ploch nástroje, konkrétně tažnice a tažníku, s materiálem došlo ke zvýšení jeho odporu vůči vtékání směrem k tažníku. To způsobilo kvalitnější přetvoření a tedy i zmenšení finálních odchylek.

Zbylé odchylky ve srovnání se simulací mohou být způsobeny jednak možností výpočtu pouze na geometrii střednice popsanou pomocí mesh elementů, kdy z praktických zkušeností vyplývá nárůst odchylek spolu se zvyšující se tloušťkou použitého materiálu. Dalším faktorem je rozložení použité přidržovací síly, která je v simulaci rovnoměrně distribuována na celou přidržovací plochu, čehož v nástroji díky nepřesnostem vzniklým tuširováním, prohýbáním nástroje v průběhu lisování a realizací přenosu síly pomocí plynových pružin nelze nikdy dosáhnout. Snahou zůstává pouze se co nejvíce rovnoměrnému přidržení přiblížit, a to jednak co nejpřesněji provedenou výrobou a tuširováním funkčních částí, ale také vhodným rozmístěním plynových pružin pod přidržovačem. Na výsledek může mít vliv také mazání, které je v simulaci zastoupeno definicí koeficientu tření působící opět rovnoměrně na celou funkční plochu, čehož v reálném procesu díky nerovnoměrnému rozptýlení maziva také nelze dosáhnout.

Dalším krokem optimalizace bude reverzní tvarová změna částí nástroje v místě odchylek, realizovaná přebrobením funkčních částí dle nově vytvořených 3D dat. Nevyhovující oblast se nachází pouze na lemu, který je svírán jen mezi tažnicí a přidržovačem, což usnadní práci ve srovnání s případem, kdy by se odchylka nacházela na druhém lemu. V takovém případě by se musel optimalizovat i tvar tažníku. Tvarová změna ploch nacházejících se na přidržovači se bude realizovat pouze odebráním materiálu, tedy jeho přebrobením. Pro tažnici se nabízí buď její podložení, nebo navaření materiálu a následné obrobení do vyhovujícího tvaru.

Použitá literatura

- [1] *PWO Unitools a.s. High-tech metal components* [online]. 2006 [cit. 2011-04-21]. Stránky společnosti PWO Unitools. Dostupné z WWW: <<http://www.unitools.cz/cz/index.php>>
- [2] FOREJT, M., *Teorie tváření*, 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., listopad 2004. 168 s. ISBN 80-214-2764-7
- [3] DVOŘÁK, M., GAJDOŠ, F., NOVOTNÝ, K. 4. vyd. *Technologie tváření plošné a objemové tváření*, Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2007. ISBN 978-80-214-3425-7
- [4] DVOŘÁK, M., *Technologie II*, 3. doplněné vydání, Brno: Akademické nakladatelství CERM, červenec 2004. 238 s. ISBN 80-214-2683-7
- [5] PETRUŽELA, J., BŘEZINA, R., N, *Úvod do tváření* [online], Ostrava: VŠB-TU Ostrava, Fakulta strojní, 2001, 115 s., Dostupné na: <http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/Uvod_TV2.pdf>
- [6] ČADA, R., *Technologie I: Plastická deformace kovů, objemové tváření zastudena, tažení plechu, ohýbání*, 1. vydání, Ostrava, VŠB-TU Ostrava, 2009. 86 s. ISBN 978-80-248-2108-5
- [7] NOVOTNÝ, J., LANGER, Z., *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*, 1. vydání, Praha, 1980. 216 s., typové číslo L 13-B 3-IV-41/22674, ISBN 04-234-80
- [8] FOREJT, M., *Teorie tváření a nástroje*, 1. vydání, Brno: Vysoké učení technické v Brně, srpen 1991, 187 s. ISBN 80-214-0294-6
- [9] YAO, Hong; CAO, Jian. Prediction of forming limit curves using an anisotropic yield function with prestrain induced backstress. *International Journal of Plasticity* [online]. 2002, Vol.18/8, [cit. 2011-04-23]. Dostupný z WWW: <http://www.mech.northwestern.edu/ampl/papers/hy_jc_ijp01.pdf>
- [10] MARCINIAK, Z; DUNCAN, J.L.; HU, S.J. *Mechanics of Sheet Metal Forming* [online]. Woburn : Butterworth-Heinemann, 2002 [cit. 2011-04-23]. Dostupné z WWW: <<http://kaibosh.viscosity.com/Mechanics%20of%20Sheet%20Metal%20Forming%20E.pdf>>. ISBN 0750653000.
- [11] *TECHNODAT integrátor CAD/CAM/CAE a 3D PLM řešení* [online]. 2011 [cit. 2011-05-01]. Stránky Technodat. Dostupné z WWW: <<http://www.technodat.cz/catia-v5>>

- [12] *Catia Product Lifecycle Management* [online]. 2011 [cit. 2011-05-01]. Stránky Catia. Dostupné z WWW: < <http://www.catia.cz/CATIA-V5.12.0.html>>
- [13] *Simulace hlubokého tažení plechů* [online]. 2011 [cit. 2011-05-01]. Stránky Digitovarna. Dostupné z WWW: < <http://www.digitovarna.cz/clanky/detail/621>>
- [14] ČADA, R., *Technologický design výtahů z plechu*, 1. vydání, Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2007. 68 s. ISBN 978-80-248-1459-9
- [15] Machálek, J. *Návrh technologie lisování plechové součásti nepravidelného tvaru*, Ostrava: VŠB – TU Ostrava, Fakulta strojné, Katedra mechanické technologie – 345, 2009, 112 s. Diplomová práce, vedoucí: prof. Ing. Radek Čada, CSc.

Seznam obrázků

Obr. 2.1 Přibližné umístění zadané součásti	9
Obr. 2.2 Areál společnosti [1].....	10
Obr. 2.3 Použití metody „poka-yoke“	11
Obr. 2.4 Schéma výrobní strategie společnosti Unitools.....	12
Obr. 2.5 Ukázka technologického postupu lisování	13
Obr. 2.6 Schéma napjatosti a přetvoření při prostém ohybu širokých pásů [2].....	15
Obr. 2.7 Průběhy napětí při ohýbání [2]	16
Obr. 2.8 Závislost ohybového momentu na.....	17
Obr. 2.9 Schéma odpružení po ohybu [2].....	17
Obr. 2.10 Schémata ohybu do V a U [2]	17
Obr. 2.11 Diagram koeficientů odpružení [2].....	18
Obr. 2.12 Průběhy napětí při ohýbání s tažením [2].....	19
Obr. 2.13 Schéma superpozice ohybu a tahu [5]	19
Obr. 2.14 Napěťový a deformační stav při hlubokém tažení válcového výtažku [3].....	21
Obr. 2.15 Napětí při tažení válcového (a) a čtyřhranného výtažku (b) [5].....	22
Obr. 2.16 Průběh volného stříhání s normální střižnou vůlí [2]	23
Obr. 2.17 Vzhled střižné plochy při normální střižné vůli [2].....	24
Obr. 2.18 Schéma přesného uzavřeného stříhání [2]	24
Obr. 3.1 Geometrie součásti	25
Obr. 3.2 Prostředí systému Catia	26
Obr. 3.3 Prostředí systému AUTOFORM	29
Obr. 3.4 Lis Müller Weingarten 1250t [1].....	31
Obr. 3.5 Zkušební systém LabTech 5.10 SP1.....	32
Obr. 3.6 3D měřicí přístroj DEA Global Status 7.10.7 [1].....	34
Obr. 3.7 Výchozí geometrie.....	35
Obr. 3.8 Funkce <i>Extract</i>	35
Obr. 3.9 Osamostatnění získaných ploch.....	36

Obr. 3.10 Užití funkce <i>Untrim</i>	36
Obr. 3.11 Oříznutí ploch 2, 4 a 6	37
Obr. 3.12 Zaoblení mezi plochami	37
Obr. 3.13 Poloha brzdících hran	38
Obr. 3.14 Ukázka možnosti modulu AutoForm Trim	39
Obr. 3.15 Velikost přístříhu	40
Obr. 3.16 Záložka <i>Process</i> v procesním generátoru.....	42
Obr. 3.17 Geometrie brzdné hrany	43
Obr. 3.18 Materiálová složka AutoFormu.....	44
Obr. 3.19 Lisovatelnost výtažku a limitní diagram tvařitelnosti	45
Obr. 3.20 Porušení výtažku.....	46
Obr. 3.21 Zvlnění výtažku	46
Obr. 3.22 Ztenčení výtažku.....	47
Obr. 3.23 Porovnání odpružení bez a se stříhem	48
Obr. 3.24 Nominální řezy (a) CATIA po 100 mm a (b) AutoForm po 50 mm	49
Obr. 3.25 Posunutí sady odpružených křivek	50
Obr. 3.26 Transformace křivek.....	50
Obr. 3.27 Nominální a vytvořená síť, využití funkce <i>Shape Morphing</i>	51
Obr. 3.28 Sady křivek po druhé simulaci	51
Obr. 3.29 Vyrovnání dle RPS bodů pro ustavení výtažku pro měření	52
Obr. 3.30 Výsledky z měření problémové strany první sady výtažků.....	53
Obr. 3.31 Výsledky z měření problémové strany ze druhé sady výtažků	53

Seznam použitých symbolů a zkratek

R_{min}	minimální poloměr ohybu	(mm)
R_{max}	maximální poloměr ohybu	(mm)
b	šířka plechu	(mm)
s	tloušťka plechu	(mm)
ε_{el}	elastická deformace	(-)
σ_k	napětí v mezi kluzu	(MPa)
ρ_n	poloměr střednice při ohybu	(mm)
R_1	vnitřní poloměr při ohybu	(mm)
R_2	vnější poloměr při ohybu	(mm)
M	momentové zatížení	(Nm)
α_1	úhel ohybu před odpružením	(°)
α_2	úhel ohybu po odpružení	(°)
β	úhel odpružení	(°)
ρ_1	poloměr křivosti před odpružením	(mm)
ρ_2	poloměr křivosti po odpružení	(mm)
l_V	vzdálenost mezi opěrkami ohybnice	(mm)
l_U	vzdálenost pro výpočet úhlu odpružení	(mm)
r_m	poloměr zaoblení ohybnice	(mm)
E	modul pružnosti	(MPa)
k	součinitel určující polohu neutrální osy	(-)
R_e	mez kluzu	(MPa)
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	hlavní napětí	(MPa)
$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$	hlavní logaritmické deformace	(-)
p	tlakové napětí	(MPa)
σ	napětí	(MPa)
φ	logaritmická deformace	(-)
h_{el}	hloubka elastického vniknutí při stříhu	(mm)
h_{pl}	hloubka plastického vniknutí při stříhu	(mm)
h_s	hloubka vniknutí při stříhu	(mm)

Seznam příloh

Přílohy za textem práce:

Příloha 1	Údaje o stroji PWO Unitools 1250T-1
Příloha 2	Protokol simulace tažení
Příloha 3	Protokol z prvního 3D měření
Příloha 4	Protokol z druhého 3D měření

Přílohy v kapse práce:

Výkres dílu – orientační (měřítko 1:2)