

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní



SIMULACE PROCESŮ PLOŠNÉHO TVÁŘENÍ V SOFTWARU DYNAFORM

Studijní opora

Ing. Barbora Frodlová prof. Ing. Radek Čada, CSc. Ing. Jakub Machálek

Ostrava 2012



Tyto studijní materiály vznikly za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu OP VK CZ.1.07/2.3.00/09.0147 "Vzdělávání lidských zdrojů pro rozvoj týmů ve vývoji a výzkumu".

Název:	Simulace procesů plošného tváření v softwaru Dynaform
Autoři:	Ing. Barbora Frodlová, prof. Ing. Radek Čada, CSc., Ing. Jakub Machálek
Vydání:	první, 2012
Počet stran:	133
Náklad:	10

Studijní materiály pro studijní obor "Strojírenská technologie" Fakulty strojní Jazyková korektura: nebyla provedena.



Tyto studijní materiály vznikly za finanční podpory Evropského sociálního fondu a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu Operačního programu Vzdělávání pro konkurenceschopnost.



Název:Vzdělávání lidských zdrojů pro rozvoj týmů ve vývoji a výzkumuČíslo:CZ.1.07/2.3.00/09.0147Realizace:Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

© Ing. Barbora Frodlová, prof. Ing. Radek Čada, CSc., Ing. Jakub Machálek

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-2714-8

POKYNY KE STUDIU

Simulace procesů plošného tváření v softwaru Dynaform

Pro studium problematiky simulací procesů plošného tváření v softwaru Dynaform jste obdrželi studijní balík obsahující:

- přístup do e-learningového portálu obsahujícího studijní oporu a doplňkové animace vybraných částí kapitol,
- zadání řešené úlohy geometrii 3D modelů nutnou pro simulaci procesu tažení (*.igs) s databází a nastavením okrajových podmínek (*.df) a výsledky simulace (*.d3plot, *.dynain).

Prerekvizity

Pro studium této opory se předpokládá znalost na úrovni absolventa předmětu 345-0347/01 "Technologie tváření a slévání" zařazeného do zimního semestru 1. ročníku bakalářského studijního programu B2341 "Strojírenství".

Cílem učební opory

Cílem učební opory je seznámení studenta se základními pojmy z oblasti simulace procesů plošného tváření pomocí softwaru Dynaform. Po prostudování modulu by student měl být schopen orientovat se v daném softwaru, samostatně připravovat a provádět jednoduché simulace procesů plošného tváření a výsledky simulací vyhodnotit.

Pro koho je předmět určen

Modul je zařazen do bakalářského studijního programu B2341 "Strojírenství", pro studijní obor 2303R002 "Strojírenská technologie" a do navazujícího magisterského studijního programu N2301 "Strojní inženýrství", pro studijní obor 2303T002 "Strojírenská technologie", ale může jej studovat i zájemce z kteréhokoliv jiného oboru, pokud splňuje požadované prerekvizity.

Skriptum se dělí na části, kapitoly, které odpovídají logickému dělení studované látky, ale nejsou stejně obsáhlé. Předpokládaná doba ke studiu kapitoly se může výrazně lišit. Velké kapitoly jsou dále děleny na číslované podkapitoly, kterým odpovídá níže popsaná struktura.



Čas ke studiu: xx hodin

Na úvod kapitoly je uveden čas potřebný k prostudování látky. Čas je orientační a může vám sloužit jako hrubé vodítko pro rozvržení studia celého předmětu či kapitoly. Někomu se čas může zdát příliš dlouhý, někomu naopak. Jsou studenti, kteří se s touto problematikou ještě nikdy nesetkali a naopak takoví, kteří již v tomto oboru mají bohaté zkušenosti.



Cíl: Po prostudování této kapitoly budete umět

- 🔸 popsat ...,
- 🕇 definovat ...,
- 🖕 vyřešit ...

Ihned potom jsou uvedeny cíle, kterých máte dosáhnout po prostudování této kapitoly – konkrétní dovednosti, znalosti.



Výklad

Následuje vlastní výklad studované látky, zavedení nových pojmů, jejich vysvětlení, vše doprovázeno obrázky, tabulkami, řešenými příklady, odkazy na animace.

Shrnutí pojmů

Na závěr kapitoly jsou zopakovány hlavní pojmy, které si v ní máte osvojit. Pokud některému z nich ještě nerozumíte, vraťte se k nim ještě jednou.



Otázky

Pro ověření, že jste dobře a úplně látku kapitoly zvládli, máte k dispozici několik teoretických otázek.



Úlohy k řešení

Protože většina teoretických pojmů tohoto předmětu má bezprostřední význam a využití v praxi, jsou vám nakonec předkládány i praktické úlohy k řešení. V nich je hlavním významem předmětu schopnost aplikovat čerstvě nabyté znalosti pro řešení reálných situací.



Klíč k řešení

Výsledky zadaných příkladů i teoretických otázek jsou uvedeny v závěru studijní opory v "Klíči k řešení". Používejte je až po vlastním vyřešení úloh, jen tak si samokontrolou ověříte, že jste obsah kapitoly skutečně úplně zvládli.

Úspěšné a příjemné studium s tímto učebním textem Vám přejí autoři

Ing. Barbora Frodlová, prof. Ing. Radek Čada, CSc., Ing. Jakub Machálek

OBSAH

1	ť	VOD D	O MKP A SEZNÁMENÍ SE SOFTWAREM DYNAFORM	9
	1.1	Úvod d	lo metody konečných prvků (MKP)	9
	1.2	Softwa	re Dynaform	10
2	U	ŽIVAT	ELSKÉ PROSTŘEDÍ A MODULY SOFTWARU DYNAFORM	12
	2.1	Základ	lní schéma postupu práce v softwaru Dynaform	12
	2.2	Uživat	elské prostředí softwaru Dynaform	13
	2.3	Modul	y a funkce softwaru Dynaform	15
		2.3.1	Moduly a příkazy v roletovém menu softwaru Dynaform	15
		2.3.2	Funkce dostupné z panelu nástrojů softwaru Dynaform	18
		2.3.3	Volba zobrazení modelu	18
3	V I	YTVOŘ DYNAF(ŘENÍ VÝPOČTOVÉ SÍTĚ NA MODELECH V SOFTWARU DRM	21
	3.1	Impor a nasta	t 3D geometrie do programu Dynaform, vytvoření databáze avení systému jednotek	21
		3.1.1	Import modelu součásti a založení nového projektu	22
		3.1.2	Uložení databáze	23
		3.1.3	Systém jednotek zadávaných a výsledných hodnot	24
	3.2	Prvotn	ní práce s modely k usnadnění síťování modelů	24
		3.2.1	Nastavení zobrazení modelů součástí pomocí Zapnuto/Vypnuto	25
		3.2.2	Editace modelů součástí	26
		3.2.3	Nastavení modelu součásti jako aktuálního	26
	3.3	Tvorb	a výpočtové sítě na modelu přístřihu	27
	3.4	Tvorb	a výpočtové sítě na modelu tažnice	32
	3.5	Kontro	ola výpočtové sítě vytvořené na modelech přístřihu a tažnice	34
		3.5.1	Kontrola směru normál jednotlivých elementů modelu	35
		3.5.2	Kontrola obrysové čáry modelu	36
		3.5.3	Kontrola dvojitých a překrývajících se elementů modelu	37
4	T T	VORBA TAŽNIC	A MODELŮ ČÁSTÍ TAŽNÉHO NÁSTROJE Z MODELU E V PROGRAMU DYNAFORM	39
	4.1	Tvorb	a modelu tažníku	39
		4.1.1	Vytvoření nového modelu – PUNCH	39
		4.1.2	Tvorba modelu tažníku z modelu tažnice použitím funkce "Offset"	40

	4.2	Tvorb	a modelu přidržovače4	3
		4.2.1	Vyhodnocení nutnosti použití přidržovače4	3
		4.2.2	Odstupňování tahů pro válcové výtažky 4	4
		4.2.3	Vytvoření nového modelu – BINDER 4	4
		4.2.4	Tvorba modelu přidržovače z modelu tažníku 4	5
	4.3	Odstra	anění přechodového poloměru z výpočtové sítě modelu tažníku	8
5	D	EFINO	VÁNÍ PŘÍSTŘIHU A VOLBA JEHO MATERIÁLU	
	Р	RO SIN	IULACI PROCESU TAŽENÍ5	3
	5.1	Defino	ování modelu BLANK jako přístřihu v procesu tažení5	3
	5.2	Volba	materiálu přístřihu z knihovny materiálů v programu Dynaform 5	4
		5.2.1	Tvářitelnost materiálu 5	7
		5.2.2	Anizotropie plechů	8
	5.3	Ruční	definování materiálu přístřihu5	9
	5.4	Defino	ování vlastností pomocí funkce "Property"6	0
6	D P	EFINO ODMÍI	VÁNÍ ČÁSTÍ TAŽNÉHO NÁSTROJE A OKRAJOVÝCH NEK PRO SIMULACI PROCESU TAŽENÍ6	3
	6.1	Záklao tažnél	dní parametry pro výpočet a přiřazení modelů k částem 10 nástroje	3
		6.1.1	Nastavení výchozí pozice částí tažného nástroje	6
		6.1.2	Posun částí tažného nástroje v osách X, Y, Z6	58
		6.1.3	Měření minimální vzdálenosti mezi tažnicí a tažníkem	59
	6.2	Okraj	ové podmínky u tažnice – DIE6	9
	6.3	Okraj	ové podmínky u tažníku – PUNCH7	2
	6.4	Okraj	ové podmínky u přidržovače – BINDER7	5
		6.4.1	Výpočet přidržovací síly $F_{\rm p}$	'6
		6.4.2	Zadání přidržovací síly do simulace procesu tažení	7
	6.5	Kontr	ola nadefinovaného procesu tažení7	9
7	V A	YTVO SPUŠT	ŘENÍ SOUBORU POTŘEBNÉHO PRO VÝPOČET FĚNÍ VÝPOČTU	3
	7.1	Vvtvo	ření souboru potřebného pro výpočet	3
	7.2	Nastav Subm	vení a spuštění výpočtu v podprogramu LS-DYNA Jobs itter 2.2	6
8	V	YHOD	NOCENÍ VÝSLEDKŮ NUMERICKÉ SIMULACE	
	V	' PROG	RAMU ETA/POST-PROCESSOR 1.09	0

	8.1	Uživatelské prostředí a funkce programu ETA/Post-Processor 1.0					
		8.1.1	Uživatelské prostředí programu ETA/Post-Processor 1.0	90			
		8.1.2	Roletové menu v programu ETA/Post-Processor 1.0	91			
		8.1.3	Panel nástrojů v programu ETA/Post-Processor 1.0	92			
		8.1.4	Volba zobrazení modelu v programu ETA/Post-Processor 1.0	93			
	8.2	Práce s	s výsledky simulace v ETA/Post-Processoru 1.0	93			
		8.2.1	Načtení výsledků a základní práce s nimi	94			
		8.2.2	Analýza porušení výtažku v diagramu mezních deformací "FLD"	96			
		•	Teorie diagramů mezních deformací	96			
		•	Diagram mezních deformací v programu ETA/Post-Processor 1.0	97			
		8.2.3	Analýza tloušťky plechu "Thickness" a ztenčení plechu "Thinning"	102			
		8.2.4	Analýza napětí "Stress" a deformací "Strain"	105			
		•	Hlavní napětí ve směru 1 a 2	106			
		•	Hlavní logaritmická deformace ve směru 1 a 2	107			
		8.2.5	Metoda deformačních sítí pomocí funkce "Circular Grid"	108			
		•	Experiment	108			
		•	Vyhodnocení metodou deformačních sítí v softwaru ETA/Post-Processor 1.0	109			
		8.2.6	Analýza pohybu okraje přístřihu "Edge Movement"	111			
9	P N	POUŽITÍ NEPRAV	Í BRZDICÍCH ŽEBER PŘI TAŽENÍ VÝTAŽKŮ /IDELNÝCH TVARŮ	115			
	9.1	Tvary,	rozměry a umístění brzdicích žeber	116			
	9.2	Defino	vání brzdicího žebra pro simulaci procesu tažení výtažku	118			
	9.3	Výsled	ky simulace procesu tažení výtažku s brzdicím žebrem	122			
10	Ι	- DALŠÍ Z	DROJE	115			
11	ŀ	KLÍČ K I	ŘEŠENÍ	122			

1 ÚVOD DO MKP A SEZNÁMENÍ SE SOFTWAREM DYNAFORM

Kapitola stručně seznamuje se základním principem metody konečných prvků (viz 1.1) a se softwarem Dynaform (viz 1.2).

1.1 Úvod do metody konečných prvků (MKP)





Výklad

Metoda konečných prvků (dále jen "MKP") je numerická metoda, která může pokrýt celou řadu fyzikálních aplikací – statiku, dynamiku, akustiku, proudění atd. Výhodou MKP je její zobecnění, to znamená, že může být aplikována na širokou škálu úloh s jen malými ohraničeními týkajícími se geometrie zkoumaného vzorku. V úlohách tváření lze nastavit a vyzkoušet různé parametry tvářecích nástrojů pro různé typy výrobků, aniž by musel být zhotoven drahý prototyp, který je finančně i časově náročný.

U metody konečných prvků je klíčovým krokem sestavení soustavy lineárních algebraických rovnic, jejichž konstrukci a řešení lze provést s využitím výpočetní techniky. Toto sestavení je řízeno strukturou vytvořenou v tělese jeho rozdělením na konečný počet buněk (prvků, elementů), které vyplní celý objem tělesa či plochu a jsou snadno matematicky popsatelné. Proces rozdělení tělesa se nazývá **diskretizace**. Rovinné oblasti se rozkládají na troj nebo čtyřúhelníkové prvky, prostorové oblasti na čtyřstěny nebo šestistěny. Rozkladem vznikne síť konečných prvků. Do vrcholových bodů prvků se umisťují uzlové body. Na společné hranici prvků musí být splněn požadavek spojitosti.

Je-li úloha řešena v posunutích, jedná se o deformační variantu metody konečných prvků, řeší-li se v napětích, jedná se o silovou variantu. Téměř všechny výpočetní programy jsou založeny na deformační variantě MKP.

Řešená neznámá funkce (např. posunutí, teplota aj.) se nahradí v jednotlivých uzlech prvků **aproximační funkcí**, která musí mít tolik členů, kolik má prvek uzlů. Aproximační funkce se volí co nejjednodušší, nejčastěji jsou to polynomy, pro trojúhelníkový prvek vznikne polynom třetího stupně $a_1 + a_2x + a_3y$. Koeficienty a_i se získají na základě řešení polynomu pro všechny tři uzly trojúhelníkového prvku, tj. vyřeší se soustava tří rovnic o třech neznámých. Platí, že s rostoucím počtem uzlů prvku roste přesnost aproximační funkce a tedy i celkového výsledku analýzy. Také ale platí, že s rostoucím počtem uzlů prvku a s rostoucím počtem samotných prvků rostou i nároky na kapacitu a výkon výpočetní techniky.

Postup, kdy se přibližně určuje hodnota určité funkce v určitém bodě, jsou-li známy její hodnoty v jiných bodech intervalu, se nazývá **interpolace** a je základem MKP. Malá část složitého pole může být při dostatečně velkém počtu prvků modelována jednoduchým lineárním interpolačním polem.

Princip minimální potenciální energie spočívá v tom, že ze všech možných hodnot řešení (např. posunutí pro úlohu tváření) daných okrajovými podmínkami je nejpravděpodobnější varianta, pro kterou bude celková potenciální energie tělesa minimální. Určí se tedy potenciální energie všech uzlových stupňů volnosti pole posunutí, které je definováno interpolací z posunutí v jednotlivých uzlech. Minimum potenciální energie se získá, položí-li se první derivace rovna nule.

Řešením za použití zvoleného řídicího variačního principu je pak rovnice s argumenty odpovídajícími **matici tuhosti** prvku a vektoru ekvivalentního zatížení. Poté je z jednotlivých matic tuhosti prvků sestrojena matice tuhosti a sloupcová matice uzlových silových parametrů celého systému. Tím je určena matice potřebná pro sestavení výsledných lineárních rovnic (přibližných podmínek rovnováhy) pro výpočet uzlových parametrů deformace.

Řešením soustavy rovnic se vypočítají uzlové parametry deformace (nebo jiné požadované veličiny) a z nich se vypočítají složky tenzoru napětí. Tím je úloha pro tváření vyřešena.

1.2 Software Dynaform



Cíl: Po prostudování této podkapitoly budete umět

🔸 podat základní informace o softwaru Dynaform.



Výklad

V dnešní době je software pracující na bázi metody konečných prvků (MKP) významným pomocníkem při řešení úloh z oblasti tváření. Proces plošného tváření plechů může být úspěšně simulován softwarem eta/Dynaform, který je pro tyto úlohy určen. Program byl vyvinut v americké společnosti Engineering Technology Associates, Inc. (ETA). Software zkracuje celkový cyklus vývoje výrobků, výrobní čas a šetří firmám finance v oblasti testování prototypů. Tím je možno zmenšit cenu výrobků při zachování vysoké kvality tažených dílů.

Software obsahuje dva podprogramy, řešič LS-DYNA a postprocessor eta/Post. Řešič obsahuje speciální nelineární, dynamický kód pracující na bázi metody konečných prvků

využívající explicitní a implicitní výpočet pro řešení problémů v oblasti tekutin i pevných látek. Kód byl vyvinut pro aplikace, jako jsou crashtesty automobilů, bezpečnost cestujících, podvodní exploze a tváření plechů. V oblasti tváření plechů umí software Dynaform predikovat výsledek tažení jako je praskání výtažků, jejich zvlnění, ztenčení materiálu výtažku apod.

Software obsahuje CAD translátory pro většinu CAD softwarů, mezi podporované patří např. CATIA, SolidWorks, PRO/E aj. Uživatelské prostředí, moduly a nástroje softwaru jsou popsány v následující kapitole 2.

Shrnutí pojmů 1.1

Metoda konečných prvků (MKP) – numerická metoda, svou analýzou může pokrýt celou řadu fyzikálních aplikací. Výhodou MKP je její obecnost, tj. že může být aplikována na širokou škálu úloh s jen malými ohraničeními týkajícími se geometrie zkoumaného vzorku. Nespornou výhodou simulace je fakt, že lze nastavit a vyzkoušet různé parametry tvářecích nástrojů pro různé typy výrobků, aniž by se musel zhotovit drahý prototyp, který je finančně i časově náročný. U metody konečných prvků je klíčovým krokem sestavení soustavy lineárních algebraických rovnic.

Diskretizace – rozdělení tělesa na konečný počet buněk (prvků, elementů), které vyplní celý objem tělesa. Vznikne síť konečných prvků.

Aproximace – postup, kdy se řešená neznámá funkce nahradí aproximační funkcí v jednotlivých uzlech prvků.

Interpolace – postup, kdy se přibližně určuje hodnota určité funkce v určitém bodě uvnitř intervalu, jsou-li známy její hodnoty v krajních bodech intervalu.

Princip minimální potenciální energie – ze všech možných hodnot řešení daných okrajovými podmínkami je nejpravděpodobnější to, pro něž bude celková potenciální energie tělesa minimální.



Otázky 1.1

1. Jaké jsou hlavní pojmy obecného řešení metodou konečných prvků?

2 UŽIVATELSKÉ PROSTŘEDÍ A MODULY SOFTWARU DYNAFORM

Kapitola popisuje základní schéma postupu práce v softwaru Dynaform a jeho uživatelské prostředí. Jsou popsány nejdůležitější moduly softwaru, s nimiž bude uživatel v průběhu přípravy simulace tváření plechu pracovat.

2.1 Základní schéma postupu práce v softwaru Dynaform



Výklad

Základní schéma obecného postupu tvorby simulací je shodné s jinými softwary a je pro tyto výpočty neměnné. Sestává se z následujících úkonů, které nemohou být nijak zaměněny či vynechány (viz Obrázek 2.1). V následujícím odstavci jsou pojmy z Obrázek 2.1 vysvětleny a aplikovány na simulace v softwaru Dynaform.



Obrázek 2.1 – Základní schéma obecného postupu tvorby simulací

Preprocess umožňuje:

- tvorbu a úpravu importovaného modelu,
- generování výpočtové sítě sítě elementů na modelu,
- kontrolu a opravu výpočtové sítě,
- definování nástrojů,
- definování materiálového modelu a materiálu přístřihu,
- přidávání okrajových podmínek simulovaného procesu.

Process je realizován samotným výpočtem připraveného procesu tváření, který je v Dynaformu uložen do souboru s příponou *.df. Výpočet probíhá v řešiči LS-DYNA Jobs Submitter 2.2.

Postprocess zobrazuje výslednou simulaci procesu plošného tváření. K tomuto je používán program ETA/Post-Processor, kde si uživatel volí, zda chce přehrát simulaci celého procesu tažení a podívat se na jednotlivé kroky simulace (soubor d3plot), nebo si prohlédnout jen konečný tvar výtažku (soubor dynain). K dispozici jsou tyto analýzy výsledků simulace:

- animace deformace modelu včetně pohybu nástrojů, přičemž obojí lze sledovat buď jednotlivě, nebo současně,
- deformace v diagramu mezních deformací,
- tloušťka a ztenčení materiálu v průběhu tažení,
- velikosti hlavních napětí a deformací,
- posunutí jednotlivých elementů,
- načtení a zobrazení deformační sítě na přístřihu a výtažku,
- zobrazení směru pohybu okraje přístřihu,
- grafy průběhů energosilových parametrů.

Standardní cesta k softwaru Dynaform po jeho instalaci je C:\Program Files\Dynaform 5.2, nebo přes zástupce na ploše.

2.2 Uživatelské prostředí softwaru Dynaform

Čas ke studiu: 30 minut

Cíl: Po prostudování této podkapitoly budete umět

- 4 orientovat se a pracovat v uživatelském prostředí softwaru Dynaform,
- využívat pracovní plochu, horní panel roletového menu, panel nástrojů, dialogové okno, volbu zobrazení modelu, příkazový řádek,
- 4 definovat základní pojmy z oblasti uživatelského prostředí softwaru Dynaform.

Výklad

Uživatelské prostředí softwaru Dynaform lze rozdělit do šesti částí: pracovní plocha, horní panel roletového menu, panel nástrojů (ikon), dialogové okno, volba zobrazení modelu, příkazový řádek (viz Obrázek 2.2). Všech šest položek je popsáno níže.

Příkazy se aktivují pomocí myši, klávesnice se využívá k číselnému definování určitých hodnot potřebných pro výpočet. Jednotlivá okna zobrazená po zvolení příkazu se dají přesouvat po pracovní ploše tažením myší.



Obrázek 2.2 – Uživatelské prostředí softwaru Dynaform

Pracovní plocha

Zobrazuje importované modely a celou přípravu simulace procesu plošného tváření. Uživatel ihned vidí, jak se jeho pokyny promítají na modelech.

Roletové menu

Obsahuje klasickou nabídku pro správu souborů, dále dává uživateli k dispozici moduly softwaru (viz 2.3) a příkazy pro tvorbu simulace. Je rozděleno podle základního schématu obecného postupu tvorby simulace na "preprocess", "process" a "postprocess".

Panel nástrojů

Poskytuje uživateli jednoduchý přístup k nejvíce užívaným funkcím programu (viz 2.3). Pokud se uživatel myší zastaví nad jednotlivými ikonami, zobrazí se mu jejich název, který dává tušit funkci ikony.

Dialogové okno

Pokud uživatel vybere příkaz z roletového menu nebo panelu nástrojů, zobrazí se odpovídající dialogové okno s příslušnými funkcemi. Jednotlivá dialogová okna s jejich funkcemi jsou popsána a vysvětlena dále, v popisu tvorby simulace.

Volby zobrazení

Tato skupina příkazů je přístupná v každém okamžiku během přípravy simulace a může být kdykoli využita pro změnu zobrazení modelů (viz 2.3).

Příkazový řádek

Software zde zobrazuje aktuální komentáře a zprávy důležité pro uživatele.

2.3 Moduly a funkce softwaru Dynaform



Výklad

V následujících podkapitolách jsou popsány jednotlivé moduly a příkazy užívané v softwaru Dynaform výběrem z roletového menu (viz 2.3.1), dále funkce softwaru jako výběr z panelu nástrojů (viz 2.3.2) a také je vysvětlena volba zobrazení modelů (viz 2.3.3).

2.3.1 Moduly a příkazy v roletovém menu softwaru Dynaform

Roletové menu nabízí mnoho položek, které jsou systematicky rozděleny dle toho, jak postupuje proces tvoření simulace. V levé části je správa souborů, modelů a jejich úprava, v prostřední části nastavování okrajových podmínek procesu tažení a pravá část je věnována samotnému nastavení výpočtu a vyhodnocení výsledků simulace – postprocessingu (viz Obrázek 2.3).

File	<u>P</u> arts	Prepro <u>c</u> ess	DFE	<u>B</u> SE	QuickSetup	$\underline{T}ools$	Option	<u>U</u> tilities	View	Analysis	PostProcess	Help

Obrázek 2.3 – Roletové menu softwaru Dynaform

Položka "File" je zaměřena na správu souborů. Příkazy "New", "Open", "Save" slouží k vytvoření, načtení a uložení databáze (souboru). Po uložení databáze (příkazem "Save" nebo "Save As") program Dynaform vygeneruje soubor s příponou *.df. Další položky "Import" a "Export" umožňují přenos dat do nebo z programu Dynaform ve formě *.igs, která je používána nejčastěji, jelikož se jedná o jeden z nejrozšířenějších univerzálních formátů. Jako další formáty jsou dostupné např. tyto: *.lin, *.vda, *.dxf, *.stl, *.sat, *.model, *.CATPart, *.stp, *.prt.

"Parts" umožňuje spravovat databázi importovaných 3D modelů. Po kliknutí na tuto položku se objeví menu, které zahrnuje funkce k vytvoření modelu a jeho editaci (lze přepsat název a přiřadit barvu). Důležitá je položka "Add... to Part", která umožňuje přidání čar, elementů a ploch z jednoho modelu na druhý. Tato operace je v následujících kapitolách popsána podrobněji a je s ní pracováno při tvorbě modelů částí tažného nástroje. Další položky, jako "Turn On", "Current", jsou také důležité, ale snadnější přístup k nim je přes panel nástrojů a volbu zobrazení modelu (viz 2.3.2 a 2.3.3). Zajímavé informace se lze dozvědět v položce "Summary", kde se zobrazí seznam všech modelů a po výběru některého z nich se zobrazí informace o typu a počtu elementů, zvoleném materiálu a tloušť ce dílu.

"**Preprocess**" obsahuje menu preprocessingu, tedy přípravy na simulaci. Pomocí něho se tvoří čáry, body, elementy, uzly, celá výpočtová síť, provádí se kontrola a úprava sítě a modelu. Tato položka roletového menu je hojně využívána při přípravě simulace a její použití je popsáno v dalších kapitolách.

Modul **"DFE"** (Die Face Engineering) slouží pro generování a úpravu povrchu modelů částí tažného nástroje. Lze zde provést základní operace od importu geometrie přes síťování modelů součásti až po kontrolu výpočtové sítě. Dále plní následující operace:

- rozvíjení lemů modelů součástí,
- zaoblování ostrých hran,
- samočinné vyplňování otvorů a zarovnávání okrajů modelů součástí,
- samočinné naklápění plochy a vyhledání optimálního směru tažení,
- interaktivní generování a tvarování modelu přidržovače,
- interaktivní generování a tvarování vnějších a vnitřních technologických přídavků,
- úprava tvaru modelů součástí a modelů nástrojů,
- tvorba modelů brzdicích žeber.

Modul **"BSE"** (Blank Size Engineering) je vybaven jednokrokovým řešičem (solverem) "M-step" pro rychlé posouzení lisovatelnosti dílu v prvním stádiu návrhu tvaru výrobku a nástroje. Jako vstup stačí tvar výrobku, ale pro přesnější výsledky se doporučuje podrobnější specifikace nástroje. Dále modul umí generovat obrys přístřihu z tvaru výrobku a tvořit optimální nástřihový plán.

Další položkou v roletovém menu je **"QuickSetup"**. Umožňuje rychlé a snadné nastavení simulace vyplněním grafické tabulky, která je vhodná pro standardní případy tažení. Po proběhnutí výpočtu se lze vrátit do této nabídky a vyžít výsledky simulace ke stanovení a prošetření odpružení výtažku, případně zahrnout vliv zatížení výtažku vlastní tíhou.

Položka "Tools" je dalším nezbytným krokem při přípravě simulace. Prvně se tu nastavují jednotky, které jsou stanoveny pro celý budoucí proces. Lze v ní tvořit, definovat a modifikovat modely částí tažného nástroje (Die – tažnice, Punch – tažník, Binder – přidržovač), přístřih (Blank) a jeho parametry, brzdicí žebra (Draw Beads) a umožňuje definovat okrajové podmínky procesu tažení plechu jako je rychlost tažení, přidržovací síla apod. Na konci nabídky je položka "Summary", kde se uživatel dozví vše o nastavených modelech částí tažného nástroje a zkontroluje správnost zadaných dat. Funkce "Animate" ukáže pomocí jednoduché animace, jak bude celý proces simulace tažení probíhat. Položka roletového menu "Tools" je využívána v průběhu celé přípravy simulace (viz následující kapitoly).

Položky **"Options"**, **"Utilities"** a **"View"** slouží k nastavení různých podmínek zobrazení oken, měření a identifikaci entit, lze vyvolat statistiku databáze, měnit pohledy atd.

"Analysis" definuje kontrolní parametry, adaptabilitu výpočtové sítě, parametry samotného výpočtu. Výpočet lze spustit přímo z tohoto menu, případně je možné vytvořit soubor s příponou *.dyn, který se vloží do řešiče LS-DYNA Jobs Submitter 2.2 a výpočet se provede v tomto programu.

Zvolením nabídky **"PostProcess"** se program Dynaform automaticky zavře a přepne se do přidruženého softwaru ETA/Post-Processor 1.0. Práce v něm je vysvětlena na konci této studijní opory.

"Help" nabízí informace o verzi softwaru a pomoc při základních problémech při tvorbě simulace.

Průvodce studiem

Rozdíl mezi standardním nastavením simulace a nastavením pomocí nabídky "QuickSetup".

Nastavení simulace pomocí **"QuickSetup"** je varianta rychlého nastavení, která by měla sloužit jen pro základní informace o procesu tažení. Postup je graficky znázorněn v okně, kde si uživatel jednoduše tlačítky přiřadí jednotlivé modely k již přichystaným částem tažného nástroje, parametry tažení jsou přednastaveny a některé lze změnit (defaultně nastavené okno s nepřiřazenými modely k částem tažného nástroje je na Obrázek 2.4). Po vyplnění tabulky uživatel potvrdí vložená data tlačítkem **"Apply"** a výpočet začne po výběru tlačítka **"Submit Job"**.

Pro důkladné prošetření procesu tažení a vlastní nastavení okrajových podmínek je vhodnější držet se standardního postupu, kdy uživatel prochází jednotlivé nabídky v roletovém menu nebo panelu nástrojů a simulaci si tvoří tzv. ručně. Proces je zdlouhavější, ale lze v něm nastavit vše tak, jak je požadováno uživatelem, např. lze přizpůsobit simulaci pohybům a parametrům strojů z lisovny. V této učební opoře je rozebrán standardní postup.

💙 Quick Setup/Draw			_ _ ×
Draw Type			
Double action (Toggle draw	1) 🔻 Le	ower Tool Availa	able 🔻
	Blank		_
Binder	Lower Tool	Draw B	Bead
Blank parameters			
Material: None		Thickness: 0	.00
Tool Control			
Tool Travel Velocity: 5000.00	Upp	er Binder Force: 2	200000.00
	Low	er Binder Force: 2	200000.00
Binder Close Velocity: 2000.00	Low	er Binder Travel:	50.00
Auto Assign Constraint	Update Beads	Advanced	Help
Apply Reset	Preview	Submit Job	Exit

Obrázek 2.4 – Rychlé nastavení simulace pomocí "QuickSetup"

2.3.2 Funkce dostupné z panelu nástrojů softwaru Dynaform

Panel nástrojů (viz Obrázek 2.5) poskytuje uživateli snadný přístup k nejvíce používaným základním funkcím programu Dynaform. Lze jej rozdělit do sedmi tematických skupin, které jsou na Obrázek 2.5 vyznačeny barevně a jsou blíže popsány v následujících odstavcích.

Obrázek 2.5 – Panel nástrojů softwaru Dynaform

Červený panel obsahuje funkce pro správu souborů – vytvoření nové databáze ("New"), otevření rozpracované databáze ("Open"), importování geometrie ("Import"), uložení právě otevřené databáze ("Save"), tisk zobrazené plochy do formátu *.jpg ("Print").

V zeleném panelu se nachází funkce **"Turn parts On/Off"**. Po jejím vybrání se zobrazí tabulka, kde si uživatel může vybrané modely zapnout či vypnout, takže budou či nebudou viditelné na pracovní ploše. Druhá ikona značí funkci **"Delete All Unreferenced Nodes"** a vymaže všechny volné uzly, které nejsou sdruženy s některým elementem modelu.

Třetí, modrý panel, nabízí funkci rotace zobrazeného modelu podle os X, Y a Z, a to buď dle globálního souřadného systému, nebo souřadného systému obrazovky.

Žlutý panel je zaměřen na volnou rotaci, volný posun a několik variant zoomu – prováděný kurzorem, oknem, volně zvolenou oblastí. Poslední ikona z tohoto panelu umožňuje uživateli vybrat oknem výřez modelu.

Změnu pohledu na model lze provést zvolením některé z funkcí fialového panelu. V nabídce je ikona **"Fill Screen"**, kdy bude model zobrazen na celou pracovní plochu, dále pohled na model shora, zleva, zprava a izometrický pohled.

Černě značený panel obsahuje funkci "Clear", která vymaže zvýrazněné entity z obrazovky zobrazené díky některým příkazům (např. "Boundary Check", kdy kontrolujeme hraniční čáru modelu). Funkce "Redraw" umožňuje aktualizovat zobrazenou obrazovku po každém příkazu.

Poslední, oranžový panel, obsahuje klasickou nabídku, šipky zpět a znovu vpřed, díky kterým se uživatel může posunout o krok vzad či vpřed.

2.3.3 Volba zobrazení modelu

Nabídka je umístěna v pravém dolním rohu prostředí softwaru. Pokud je nově importován jakýkoli díl, zobrazí se jako aktuální součást – "Current Part". Pokud chce uživatel provádět změny na určitém modelu (přístřih, nástroj), vždy musí mít tento model zobrazen jako "Current Part". Obrázek 2.6 znázorňuje případ, kdy je importován model přístřihu (BLANK) a tento model je zobrazen jako aktuální součást, je tedy možné na něm provádět jakékoli změny. Veškeré čáry ("Lines"), plochy ("Surface"), elementy ("Elements") a uzly ("Nodes") jsou zapnuty jako viditelné.

Nabídka "Shrink" umožňuje zobrazit elementy o velikosti redukované o 20 %. Toto zobrazení je výhodné pro lokalizování chybějících elementů ve výpočtové síti modelu. Zapnutím funkce "Normal" se šipkou zobrazí směry normál všech elementů na modelu

(nacházejí se uprostřed elementu a jsou kolmé k ploše elementu). Pro trojrozměrné (pevné, prostorové) elementy šipka míří směrem ke spodní ploše elementu.

Funkce "Hidden" je vhodná pro lepší orientaci v připravované 3D simulaci, kdy je již importováno více modelů. Zapnutím funkce se zviditelní jen elementy, které jsou v popředí modelu (z pohledu uživatele), elementy v pozadí nebudou viditelné. Funkce "Fill Color" vyplní zobrazené elementy barvou. Použitím funkce "Shade" se barvou vyplní celý model a bude nasvícen kuželem světla, elementy nebudou zřetelné.

Tlačítko "Reset" umožní obnovit defaultní nastavení.

Current Part :	BLANK	Reset
✓ Lines	Shrink	☐ Hidden
Surface	Normal	Fill Color
Elements	Nodes	🗆 Shade

Obrázek 2.6 – Volba zobrazení modelu v softwaru Dynaform

Shrnutí pojmů 2.1

V textu byly vysvětleny pojmy z oblasti matematických simulací a plošného tváření, které zde budou zopakovány.

Model – rozumí se jím 3D model nakreslený v některém z 3D CAD softwarů (SolidWorks, Catia aj.). Do softwaru Dynaform se model importuje nejčastěji ve formátu *.igs.

Tažení – proces trvalé deformace, při kterém z rovinných přístřihů vznikají prostorově duté výtažky, které nejsou rozvinutelné. Jde o plošné tváření, při kterém se požadovaného tvaru výtažků dosahuje bez podstatné změny tloušťky výchozího materiálu.

Blank (přístřih) – polotovar z plechu, který se v průběhu procesu tažení deformuje do konečného tvaru výtažku.

Die (tažnice) – část nástroje, do které je tažníkem vtahován přístřih.

Punch (tažník) – část nástroje, která vtahuje přístřih do tažnice.

Binder (přidržovač) – část nástroje, která zabraňuje vzniku přeložek a zvrásnění tím, že svou funkční plochou přitlačuje plech k horní části tažnice.

Okrajové podmínky – podmínky nezbytné k simulaci. Rozumí se jimi rychlost pohybu tažníku, přidržovací síla přidržovače, součinitel smykového tření atd.



Otázky 2.1

1. Jaké jsou základní etapy postupu tvorby simulace a čím je každá z etap definována?

2. Jaké moduly obsahuje software Dynaform a k čemu jsou tyto moduly určeny?

- 3. V jakých formátech lze importovat geometrii do programu Dynaform?
- 4. Jaký je rozdíl mezi standardním nastavením simulace a nastavením pomocí "QuickSetup"?



Úlohy k řešení 2.1

- 1. Projděte si roletové menu popsané v kap. 2.3.1.
- 2. Projděte si funkce popsané v kap. 2.3.2 a různá zobrazení modelu dle kap. 2.3.3.



CD-ROM

Uživatelské prostředí a nástroje softwaru Dynaform si student může zobrazit pomocí následující animace:

Animace_2.1_Uživatelské prostředí programu Dynaform

3 VYTVOŘENÍ VÝPOČTOVÉ SÍTĚ NA MODELECH V SOFTWARU DYNAFORM

Základním principem MKP je diskretizace (rozdělení) zkoumaného tělesa na malé části (elementy), které jsou matematicky snadno popsatelné. Kapitola vysvětluje a názorně předvádí postup tvorby výpočtové sítě na modelu přístřihu a modelech částí tažného nástroje. Síťování je důležitý proces prováděný před započetím samotné simulace, který ovlivňuje její konečný výsledek.

Při síťování (meshování) modelů částí nástroje se postupuje jinak, než při síťování modelů přístřihů. Volí se jiný tvar elementů, jiná velikost, což bude podrobně rozebráno v následujících kapitolách (viz 3.3 a 3.4).

Výpočtová síť elementů představuje systém rozdělení oblasti (nástrojů, přístřihu) na dílčí, na sebe navazující 2D buňky (elementy) ve dvojdimenzionálním prostoru. Tato síť je základem výpočtu. Platí následující pravidla:

- výpočet je o to náročnější, čím více elementů se nachází na modelu,
- výpočet je o to náročnější, čím menší tyto elementy jsou,
- velikost elementů nástrojů má vliv na konečný tvar výtažku, ne však na přesnost výsledků řešení,
- velikost elementů modelu přístřihu má vliv na přesnost a kvalitu výpočtu,
- čím je výpočet náročnější, tím více se prodlužuje čas výpočtu [5].

Kvalitní síť je taková, která se skládá z na sebe navazujících, geometricky pravidelných, přibližně stejně velkých a pravidelně po celé ploše rozložených elementů. Tvary elementů se v případech síťování nepravidelných ploch kombinují, tím se software snaží nabídnout uživateli co nejlepší síť pro výpočet. Může tedy nastat situace, kdy se na jedné vysíťované ploše objeví jak optimální čtyřúhelníkový tvar elementů ("Quad"), tak i méně příznivý trojúhelníkový tvar elementů ("Triangle") [5].

3.1 Import 3D geometrie do programu Dynaform, vytvoření databáze a nastavení systému jednotek



Výklad

Po spuštění programu Dynaform je automaticky vytvořena databáze Untitled.df. Prvním krokem k vytvoření vlastní databáze je vložení, neboli import CAD souborů do aktuální databáze, poté teprve uložení a vytvoření nové databáze.

3.1.1 Import modelu součásti a založení nového projektu

Uživatel začne tím, že vybere z roletového menu "File" nabídku "Import". Zobrazí se tabulka (viz Obrázek 3.1). Do stejné nabídky se lze dostat i z panelu nástrojů tlačítkem "Import" (viz 2.3.2).

V tomto zobrazeném okně uživatel zadá cestu k souborům, které chce vložit (zde cesta C:/Dynaform/Příklad_1). Jedná se o model přístřihu (blank.igs) a model výtažku (die.igs) vytvořené v některém z CAD programů, např. SolidWorks, Catia aj. Model výtažku by měl obsahovat přírubu, poloměr zaoblení a vlastní tvar, aby bylo možné z něho vytvořit všechny pro výpočet potřebné modely částí tažného nástroje. Po úspěšném namodelování v CAD programu se díl uloží do formátu *.igs, aby mohl být importován do programu Dynaform (může být použit i nativní formát softwaru, pokud je pro konkrétní software podporován programem Dynaform (viz 2.3.1).

Import File				
Look In : C	/Dynaform/Příklad_1/	6	ø	9
in blank.ig	js			
File Name :			ОК	
File Type :	IGES (*.igs;*.iges)		mpor	
	All Files	(Cance	

Obrázek 3.1 – Import přístřihu a součásti do programu Dynaform

Do programu Dynaform se importují oba modely – model přístřihu (blank.igs) i model výtažku (die.igs). Model výtažku je nazvaný die (tažnice) z toho důvodu, že model výtažku bude ve výpočtu představovat tažnici. Myší se vybere blank.igs, zvolí se **"Import"**, program model dílu vloží, ale vrátí se do výběrového okna pro import. Zde lze tedy pohodlně vybrat die.igs, zvolit **"Import"** a **"OK"**. Výsledek importu by měl vypadat jako na Obrázek 3.2, kde

model přístřihu je zobrazen červeně a model výtažku zeleně. Součásti jsou zobrazeny izometricky, což je standardní zobrazovací nastavení programu Dynaform.



Obrázek 3.2 – Výsledek příkazu "Import"

3.1.2 Uložení databáze

Databázi je vhodné uložit do uživatelem vybraného adresáře výběrem z roletového menu "File" \rightarrow "Save As". Je možné vytvořit novou složku, do níž chceme databázi uložit, vybráním "Create new folder". Dále je možné změnit název z Untitled.df na jiný, uživatelem zvolený (zde Vypocet_1.df). Uložení je třeba poté provést tlačítkem "Save", čímž se okno opustí.

Save File As				
Look In : C:	/Dynaform/Příklad_1/	∇	0	1 2
		Create	e new	folder
File Name :	Vypocet_1.df		Sa	ave
File Type :	database (*.df)	∇	Ca	ncel

Obrázek 3.3 – Uložení databáze

3.1.3 Systém jednotek zadávaných a výsledných hodnot

V programu Dynaform je nastaven jako výchozí následující systém jednotek: *mm, tuna, sekunda, Newton*. Typ tažení je nastaven na *Double action*, směr tažení Z a kontaktní mezera 1 mm. Uživatel může tyto hodnoty kdykoli změnit volbou z roletového menu **"Tools"** \rightarrow **"Analysis Setup"** (bližší popis je uveden v kapitole 6).



Průvodce studiem

Při volbě názvů adresářů tvořených v programu Dynaform, názvů databáze či názvů modelů dílů není vhodné používat diakritiku.

3.2 Prvotní práce s modely k usnadnění síťování modelů



Čas ke studiu: 1 hodina



Cíl: Po prostudování této podkapitoly budete umět

- ✤ zapnout/vypnout modely,
- 🖶 editovat model upravit název, ID a barvu,
- 🔸 nastavit model jako aktuální.

Výklad

Po úspěšném importu obou potřebných souborů je možno začít s prací na modelech. Nejdříve bude objasněna možnost zapnutí či vypnutí modelu (viz 3.2.1), dále bude využita nabídka editace modelu (viz 3.2.2) a nakonec bude nastaven model, na kterém bude pokračováno v práci, jako aktuální (viz 3.2.3).

3.2.1 Nastavení zobrazení modelů součástí pomocí Zapnuto/Vypnuto

Tato funkce již byla zmíněna v kapitole 2.3.2. Pokud je do programu importováno více modelů, ale je žádoucí z nich zobrazit jen vybrané, použije se funkce **"Turn parts On/Off"**, buď výběrem z roletového menu **"Part"** \rightarrow **"Turn On"** nebo z panelu nástrojů přímo

tlačítkem 📩

Po zvolení se objeví okno (viz Obrázek 3.4), kde po kliknutí na název určitého modelu tento model, pokud je zviditelněn, zmizí z pracovní plochy (vypne se, ovšem v databázi zůstává) a jeho název se v okně barevně odznačí z barvy modelu na barvu bílou. Opětovným kliknutím na název modelu součásti se model opět zviditelní a je možné s ním pracovat.

💐 Part Turn O 😐 💷 💻	🎽 😂 Part Turn O 🗖 🗖 💌
Select by Cursor	Select by Cursor
Select by Name	Select by Name
C001V000 1	C001V000 1
IGS00001 2	IGS00001 2
Only Select On	Conly Select On
All On All Off	All On All Off
OK Undo	OK Undo

Obrázek 3.4 – Zapnutí a vypnutí modelu přístřihu

Jak již napovídají názvy ostatních tlačítek "All On" a "All Off", po kliknutí se buď všechny modely součásti zviditelní či naopak.



Průvodce studiem

Volba modelu (součásti) kurzorem nebo kliknutím na název součásti.

Stojí za povšimnutí, že výběr modelu součásti lze provést buď kurzorem (viz Obrázek 3.4 – v horní části dialogového okna **"Select by Cursor"**) nebo kliknutím na název modelu součásti **"Select by Name"**. Tato možnost volby je pro software Dynaform

typická a objeví se v mnoha nabídkách v průběhu přípravy simulace. Pokud bude uživatel model součásti vybírat kurzorem, musí si nastavit jako zapnutou jednu ze tří možností volby podle toho, jaké entity se v jeho databázi nacházejí a které chce vybírat, pokud je jich v databázi více. Pro tento případ, kdy uživatel chce vybírat kurzorem, by musela být aktuální třetí ikona, která značí, že jsou vybírány plochy. Žádné jiné entity (čáry, elementy) totiž v databázi zatím nejsou definovány. Později, až bude model vysíťován, lze vybírat při zapnutí druhé ikony, která značí výběr elementů.

3.2.2 Editace modelů součástí

Modely součástí a jejich vlastnosti lze upravovat využitím příkazu "Edit", který se nachází v roletovém menu "Parts". Dialogové okno se zobrazí s přehledem všech modelů součástí, které jsou do databáze importovány. Jsou uvedeny se jménem a barvou, definovány identifikačním číslem ID (viz Obrázek 3.5). Všechny tyto vlastnosti se dají změnit a modely lze také odstranit tlačítkem "Delete".





Název modelu součásti lze jednoduše změnit přepsáním starého názvu na nový v kolonce **"Name"**. Jak již bylo řečeno výše, je nutné se vyhnout diakritice. Barvu modelu součásti lze změnit klepnutím na barevný obdélník u kolonky **"Color"** a poté vybrat z nabídky barev (viz Obrázek 3.5 vpravo). Názvy modelů součástí byly změněny na BLANK a DIE. Po editaci každého modelu součásti se zvolí tlačítko **"Modify"** a všechny změny, které na něm byly provedeny, se uskuteční a je možné editovat další model součásti. Tlačítkem **"OK"** se opustí dialogové okno editace modelů součástí.

3.2.3 Nastavení modelu součásti jako aktuálního

Nastavit model součásti jako aktuální lze provést příkazem "Current Part" (kde se příkaz nachází – viz 2.3.1 a 2.3.3). Tento příkaz je nutný pro další práci s modelem součásti. Všechny čáry, elementy a plochy, které budou uživatelem vytvořeny v programu Dynaform, jsou automaticky vkládány do modelu součásti, který je nastaven jako aktuální. Proto je nutné se vždy ujistit, zda je model součásti, se kterým se bude pracovat (např. upravovat jeho plochu, vytvářet na něm výpočtovou síť, definovat na něm brzdicí žebro), nastaven jako aktuální.

Po výběru příkazu některou ze dvou cest (z roletového menu nebo z okna voleb zobrazení modelu) bude zobrazeno okno "Current Part" (viz Obrázek 3.6).

💐 Current Part 💶 💷 🔀	😂 Current Part 💶 🗉 🔀
Select by Cursor	Select by Cursor
Select by Name	Select by Name
BLANK 1	BLANK 1
DIE 2	DIE 2
ОК	ОК

Obrázek 3.6 – Nastavení modelu součásti jako aktuálního (vlevo – aktuální je model přístřihu, vpravo – aktuální je model tažnice)

Opět je možnost výběru kurzorem či názvem modelu součásti. Po kliknutí na název modelu součásti se tento model součásti nastaví jako aktuální a název v menu se podbarví barvou modelu součásti. Protože bude dále nejdříve pracováno s modelem přístřihu, je třeba zvolit jako aktuální model součásti BLANK.



Průvodce studiem

Databázi je nutno průběžně ukládat k zamezení ztráty dat při jakékoli nepředvídatelné události (výpadek elektrické energie apod.).

3.3 Tvorba výpočtové sítě na modelu přístřihu



Čas ke studiu: 1 hodina



- Cíl: Po prostudování této podkapitoly budete umět
 - 🔸 vytvořit výpočtovou síť elementů na modelu přístřihu,
 - + použít styl meshování "Part Mesh".



Výklad

Pro vytvoření sítě je zapotřebí mít vložený model přístřihu. Síťování modelu lze provést více způsoby, pro pro vytvoření výpočtové sítě na modelu přístřihu je nejvhodnějším způsobem využití funkce **"Part Mesh"**.

Prvním krokem je kontrola, zda je model dílu BLANK (přístřih) nastaven jako **"Current Part"**. Pokud by tomu tak nebylo, vytvořená síť elementů by se připsala k jinému modelu součásti, který je nastaven jako aktuální (viz 3.2.3). Ještě je výhodné vypnout model součásti DIE, takže nebude zobrazen na pracovní ploše a uživatel bude mít dobrý přehled o přístřihu.

K vytvoření sítě elementů je třeba využít nabídky "**Preprocess**" z roletového menu programu Dynaform a tam zvolit příkaz **"Element**". Objeví se okno s nabídkou příkazů, které uživateli umožňují práci s elementy, (viz Obrázek 3.7)



Obrázek 3.7 – Nabídka "Element" z roletového menu "Preprocess"

Tlačítka v první řadě jsou pro tvorbu elementů, první tři pro ruční vytvoření, čtvrté, "Surface Mesh", pro vytvoření sítě na ploše. Další příkazy slouží pro práci s vytvořenými elementy – kopírování, slučování, mazání, zrcadlení elementů, jejich úprava atd. Některé z těchto ostatních příkazů budou využity v průběhu přípravy simulace v následujících kapitolách.

Výběrem příkazu **"Surface Mesh"** se objeví dialogové okno, kde si uživatel může nadefinovat parametry sítě (viz Obrázek 3.8). Program Dynaform automaticky do kolonky typu mesheru volí **"Tool Mesh"**, který je vhodný pro síťování nástrojů. Je tedy nutné pomocí rozbalovacího menu přepnout síťovací podprogram (mesher) na **"Part Mesh"**.

🍣 Surface Mesh 😐 🗉 🔀
Mesher
Part Mesh
🗖 In Original Part
Boundary Check
Check Surface
🗖 Mesh By Part
Auto Repair
Parameters
Size 1.000
Surface BDY Gap 2.500
Ignore Hole Size 0.000
Mesh Quality
Select Surfaces
Apply
Accept Mesh?
Yes No
Exit

Obrázek 3.8 – Okno pro vytvoření sítě elementů na modelu přístřihu pomocí funkce "Part Mesh"

V okně je na výběr pět zaškrtávacích příkazů. Je výhodné mít zaškrtnutím myší vybrány volby **"Boundary Check"** pro kontrolu spojitosti obrysu přístřihu, **"Check Surface"** pro kontrolu ploch a **"Auto Repair"** pro automatické opravy sítě.

Jedním z hlavních parametrů sítě elementů je počet jejích elementů, který může ovlivnit jak kvalitu výsledného výpočtu, tak i čas výpočtu. Počet elementů se odvíjí od jejich velikosti, která nesmí být příliš malá, ale ani příliš velká. Uživatel zadává požadovanou velikost elementů **"Size"** (zvoleno 1 – viz Obrázek 3.8), ale protože model přístřihu může mít jakýkoli tvar (v tomto případě kruh, může být i tvarová plocha), ne vždy se softwaru podaří na složitou plochu modelu umístit všechny elementy o stejné velikosti. Problém lze v programu Dynaform kontrolovat v parametrech kvality sítě **"Mesh Quality"**, kde uživatel může nastavit hranice velikosti elementů: maximální velikost elementů (zvoleno 3) a minimální velikost elementů (zvoleno 0,5).

Vhodná velikost elementů je dána velikostí modelu výtažku, tedy i modelu přístřihu, který je pro tažení výtažku použit. V tomto případě má model přístřihu průměr 69 mm, plocha

je tedy poměrně malá, takže elementy o velikosti cca 1 (mm) adekvátně tuto plochu popisují. Pokud by uživatel chtěl síťovat model přístřihu, který by měl v průměru např. 1 m, síť by musela vypadat jinak, elementy by musely mít větší velikost.

Pokud jsou hodnoty sítě nastaveny, zbývá zvolit tlačítko pro výběr ploch k síťování "Select Surfaces". Tím se uživatel přepne do dalšího okna, které mu umožňuje zvolit model součásti, na který chce výpočtovou síť umístit (viz Obrázek 3.9 vlevo). Uživatel má opět možnost provést výběr dvěma způsoby. Výběr kurzorem se provede kliknutím na model přístřihu přímo na pracovní ploše programu Dynaform. Je také možné použít nabídku "Displayed Surf", ale jen tehdy, jestliže je na pracovní ploše zobrazen pouze model přístřihu. Tímto příkazem se totiž vyberou všechny na pracovní ploše zobrazené modely. Nejvýhodnější je ovšem výběr tlačítkem "Part" (1), kde se po kliknutí objeví tabulka se seznamem modelů, které se nacházejí v aktuální databázi (viz Obrázek 3.9 vpravo). Protože je cílem síťovat model přístřihu, je třeba vybrat model BLANK kliknutím na jeho název (2). Model na pracovní ploše se označí bíle, aby si uživatel mohl zkontrolovat, zda vybral opravdu ten správný. Výběr modelu se potvrdí tlačítkem "OK" (3).



Obrázek 3.9 – Volba plochy k síťování (vlevo), výběr modelu (vpravo)

Po výběru modelu se program vrátí do okna dle Obrázek 3.8, kde uživatel pro vysíťování modelu zvolí **"Apply"**. Protože je zaškrtnuta volba pro kontrolu spojitosti obrysu přístřihu, program před samotným síťováním tuto kontrolu provede a zeptá se uživatele, zda obrysovou čáru akceptuje (viz Obrázek 3.10). Pokud ano, zvolí uživatel **"Yes"**.



Obrázek 3.10 – Kontrola spojitosti obrysové čáry modelu přístřihu

Proběhne krátký výpočet a poté se uživateli zobrazí výpočtová síť na modelu a tabulka s informacemi o síti (viz Obrázek 3.11). Po potvrzení tlačítkem "OK" se uživatel vrátí do původní nabídky (viz Obrázek 3.8), odpovědi na otázku "Accept Mesh?" se zpřístupní a uživatel může odpovědět "Yes"/"No".



Obrázek 3.11 – Výsledná výpočtová síť na přístřihu a tabulka s informacemi o síti

Protože se síť zdařila a nevykazuje žádné odchylky od požadované kvality (dle parametrů v tabulce na Obrázek 3.11), lze vybrat odpověď "Yes" a poté tlačítko "Exit",

kterým se nabídka síťování přístřihu ukončí. Síť elementů se zobrazí v barvě modelu, v tomto případě červeně, a již patří k součásti BLANK.

Dalším krokem, který je nutno provést, je síťování modelu součásti DIE, která ve výpočtu představuje tažnici (viz 3.4).

3.4 Tvorba výpočtové sítě na modelu tažnice

Čas ke studiu: 1 hodina

Cíl: Po prostudování této podkapitoly budete umět

- 4 vytvořit výpočtovou síť elementů na modelu tažnice,
- 🚽 použít styl meshování "Tool Mesh".



Výklad

K vytvoření sítě je třeba mít vložený model výtažku. Protože model výtažku zde představuje model tažnice, dále bude v textu používáno již jen označení model tažnice (DIE). Nastaví se model DIE jako **"Current Part"** a vypne se již připravený model součásti BLANK, takže nebude zobrazen na pracovní ploše a uživatel bude mít dobrý přehled jen o modelu tažnice.

K vytvoření sítě elementů je třeba využít opět nabídky **"Preprocess"** z roletového menu programu Dynaform a tam zvolit příkaz **"Element"**. Objeví se okno s nabídkou příkazů, které uživateli umožňují práci s elementy (viz Obrázek 3.7).

Výběrem příkazu **"Surface Mesh"** se objeví dialogové okno, kde si uživatel může zvolit parametry sítě (viz Obrázek 3.12). Program Dynaform automaticky do kolonky typu síťovacího podprogramu (mezeru) zvolí **"Tool Mesh"**, který je určen pro síťování modelů částí tažného nástroje.

V okně je možno zašktnutím myší zvolit pět voleb. Je výhodné mít zaškrtnutou volbu "Connected", která v případě modelu části nástroje složeného z více dílčích modelů tyto dílčí modely při síťování spojí, "Boundary Check" pro kontrolu spojitosti obrysu modelu tažnice a "Refine Sharp Angle" pro automatické zjemňování ostrých úhlů.

V nabídce parametrů sítě je opět nejdůležitější volba velikosti elementů. Síť elementů na modelech částí tažného nástroje nemusí být tak jemná jako na modelu přístřihu, jak již bylo řečeno v úvodu, protože tato síť neovlivňuje přesnost výpočtu. Velikost elementů je tedy možno zvolit **"Max. Size"** 2, **"Min. Size"** 0,5. Hodnoty jsou malé z důvodu malých rozměrů součásti, jejíž proces tažení je simulován.

U dalších parametrů, které se mohou volit, lze ponechat defaultní nastavení softwaru Dynaform:

- "Chordal Deviation" – řídí počet elementů podél čáry/povrchu zakřivení (radius),

- "Angle" kontroluje sklon přilehlých elementů,
- "Gap Tol." udává přípustnou toleranci pro možné spojení ploch.

💐 Surface Mesh				
Mesher				
Tool Mesh 💌				
Connected	Connected			
UnConnected				
In Original F	In Original Part			
Boundary Check				
Refine Sharp Angle				
Parameters				
Max. Size 2.000				
Min. Size 0.500				
Chordal Dev. 0.150				
Angle	20.000			
Gap Tol.	2.500			
Ignore Hole Size 0.000				
🗖 Set By	Parts			
Select Surfaces				
Apply				
Accept Mesh?				
Yes	No			

Obrázek 3.12 – Okno pro vytvoření sítě elementů na tažnici pomocí funkce "Tool Mesh"

Postup výběru ploch k síťování je obdobný jako v kapitole 3.3. Zvolí se tlačítko pro výběr ploch k síťování **"Select Surfaces"**. Tím se uživatel přepne do dalšího okna, které mu umožňuje zvolit model součásti, pro který chce výpočtovou síť definovat (viz Obrázek 3.9 vlevo). Výběrem tlačítka **"Part"** se objeví tabulka se seznamem modelů, které se nacházejí v aktuální databázi. Protože tentokrát je síťován model tažnice, je třeba vybrat model DIE kliknutím na název. Model na pracovní ploše se označí bíle a výběr modelu je třeba ještě potvrdit tlačítkem **"OK"**.

Síťování se opět nastartuje tlačítkem "Apply". Protože je zaškrtnuta volba pro kontrolu spojitosti obrysu přístřihu, program před samotným síťováním tuto kontrolu provede a zeptá se uživatele, zda obrysovou čáru akceptuje. Pokud ano, zvolí uživatel "Yes". Proběhne krátký výpočet a uživateli se zobrazí výpočtová síť na modelu tažnice. Odpovědi

na otázku "Accept Mesh?" se zpřístupní a uživatel může odpovědět "Yes", pokud je se sítí spokojen.

Tlačítkem **"Exit" se** vyjede z nabídky síťování tažnice. Síť elementů se zobrazí v barvě modelu, v tomto případě zeleně, a již patří k modelu součásti DIE.

Nyní je možné zapnout (zviditelnit) oba modely funkcí **"Turn parts On/Off"** a v nabídce volby zobrazení modelu vypnout zobrazení ploch (Surface). Usnadní to pohled na síť elementů a hlavně plochy již nyní nejsou potřebné, dále bude pracováno jen s nově vytvořenými elementy. Obrázek 3.13 znázorňuje výsledek síťování – výpočtovou síť na modelu přístřihu i modelu tažnice.



Obrázek 3.13 – Výsledek síťování

3.5 Kontrola výpočtové sítě vytvořené na modelech přístřihu a tažnice

Čas ke studiu: 30 minut

Cíl: Po prostudování této podkapitoly budete umět

4 použít nástroje vhodné ke kontrole výpočtové sítě,

4 zkontrolovat vytvořenou síť elementů modelu přístřihu i modelu tažnice.

Výklad

Software má vždy snahu o vytvoření co nejlepší výpočtové sítě, i tak se ale v síti mohou objevit chyby, které je třeba před konečnou simulací nalézt a odstranit. Poruchy sítě

by ve finálním výpočtu mohly vést k problémům, k nesprávnému výsledku simulace či k úplnému přerušení výpočtu.

Vše potřebné pro kontrolu sítě se nachází v roletovém menu "**Preprocess"** \rightarrow "**Model Check"** (Kontrola modelu) (viz Obrázek 3.14 vlevo). Otevře se okno s nabídkou mnoha funkcí (viz Obrázek 3.14 vpravo), z nichž nejdůležitější budou popsány blíže (viz 3.5.1, 3.5.2 a 3.5.3). Ostatní funkce kontroly lze také použít, jedná se o kontrolu poměru stran elementů, vnitřních úhlů elementů, velikosti elementů, zúžení elementů, deformovaných elementů atd. Výběrem funkce se zobrazí limity, kterým by měly elementy vyhovět a v okně příkazového řádku se ukáže věta "**All elements pass check"**, pokud všechny elementy sítě kontrole vyhovují.

Prepro <u>c</u> ess	DFE	BSE	
Line/Point		Ctrl+L	
<u>S</u> urface		Ctrl+S	
<u>E</u> lement		Ctrl+E	
Node		Ctrl+N	
Mesh <u>R</u> epair		Ctrl+R	
Model Check		Ctrl+M	
Boundary Co	ndition	Ctrl+U	
Node/Element	t Set	Ctrl+V	1

Model Check 😐 🔍 🔀					
##			-		
申	Ż		Δ		
⊿	Z	ىت	Т		
▦					
ОК					

Obrázek 3.14 – Roletové menu "Preprocess" s nabídkou "Model Check"

3.5.1 Kontrola směru normál jednotlivých elementů modelu

Kontrola se provádí příkazy "Auto Plate Normal" a "Plate Normal" které jsou v následujících odstavcích vysvětleny.

Po zvolení příkazu **"Auto Plate Normal"** se objeví okno, kde si uživatel vybere ze dvou možností: výběr jednoho elementu pro ověření všech aktivních modelů součástí nebo jen jednoho individuálního modelu součásti. Je možné vybrat **"All Active Parts"**, pak budou normály kontrolovány najednou na všech zobrazených modelech. Program uživatele vyzve k vybrání jednoho elementu na jednom vybraném modelu součásti (např. BLANK). Po kliknutí na jakýkoli element na modelu se šipkou zobrazí směr normál všech elementů s dialogovým oknem, kde se program ptá, zda uživatel se směrem normál souhlasí. Pokud ne, směr se otočí (viz Obrázek 3.15) a uživatel může odpovědět **"Yes"**.



Obrázek 3.15 – Kontrola směru normál na modelu přístřihu

Tím by měly být normály na všech aktivních součástech v souhlasném směru. Je možné si to ověřit tím, že stejný postup kontroly normál se aplikuje na součást DIE.

Funkce "Plate Normal" neukáže přímo směr normál na modelu, ale nakreslí hraniční čáru mezi elementy s opačnou orientací. Jestliže zde nejsou žádné opačné směry normál, program okamžitě reaguje v příkazovém řádku větou "Normal check completed. Normal is consistent." (Kontrola normál dokončena. Směr normál je shodný.).

3.5.2 Kontrola obrysové čáry modelu

Kontrola obrysové čáry modelu se v programu Dynaform provádí pomocí funkce

"Boundary Display" . Funkce je užitečná pro kontrolu správného spojení elementů, protože síť na modelu nesmí obsahovat žádné mezery a chyby. Zobrazení kvalitní hraniční čáry sítě modelu přístřihu i tažnice ukazuje Obrázek 3.16. Protože na pracovní ploše po tomto příkazu zůstanou zobrazeny bílé hraniční čáry, může je uživatel vymazat tlačítkem z panelu





Obrázek 3.16 – Zobrazení hraničních čar modelů BLANK a DIE
3.5.3 Kontrola dvojitých a překrývajících se elementů modelu

Kontrola a nalezení dvojitých či překrývajících se elementů modelu se v programu

Dynaform provádí funkcí "Overlap Element" 🖳. Pokud se na modelu takové elementy nacházejí, je možné je vymazat. Pokud program žádné závadné elementy nenalezne, reaguje hlášením "No overlap element found." (žádné překrývající se elementy nebyly nalezeny).

Shrnutí pojmů 3.1

Výpočtová síť – systém rozdělení oblasti (modelech částí nástrojů, modelu přístřihu) na dílčí, na sebe navazující, geometricky pravidelné, přibližně stejně velké a pravidelně po celé ploše rozložené 2D buňky (elementy).

Síťování (meshování) – postup tvorby sítě elementů na modelech.



Otázky 3.1

- 1. Jakým příkazem se vloží nový model do databáze a co je dobré udělat před začátkem síťování?
- 2. Který ze síťovacích podprogramů (mesherů) je vhodné použít pro síťování modelu přístřihu?
- 3. Který ze síťovacích podprogramů (mesherů) je vhodné použít pro síťování modelu tažnice?
- 4. Dle jakého principu se volí vhodná velikost elementů?
- 5. Jaké jsou možnosti kontroly vytvořené sítě?



Úlohy k řešení 3.1

- 1. Importujte připravený model blank.igs a die.igs dle pokynů v kapitole 3.1.
- 2. Vytvořte novou databázi a uložte ji do vámi vytvořené složky na disku dle pokynů v kapitole 3.1.
- 3. Připravte si modely v databázi k následnému síťování dle kapitoly 3.2.
- 4. Dle pokynů v kapitole 3.3 vytvořte výpočtovou síť na modelu přístřihu.
- 5. Dle pokynů v kapitole 3.4 vytvořte výpočtovou síť na modelu tažnice.
- 6. Obě nově vytvořené sítě elementů zkontrolujte všemi nástroji popsanými v kapitole 3.5.

• CD-ROM

Třetí kapitolu si student může znovu projít pomocí těchto animací:

Animace_3.1_Import modelů, uložení databáze a základní funkce softwaru

Animace_3.2_Příprava modelů na tvorbu výpočtové sítě

Animace_3.3_Tvorba výpočtové sítě na modelu přístřihu

Animace_3.4_Tvorba výpočtové sítě na modelu tažnice

Animace_3.5_Kontrola sítě elementů

4 TVORBA MODELŮ ČÁSTÍ TAŽNÉHO NÁSTROJE Z MODELU TAŽNICE V PROGRAMU DYNAFORM

K simulaci procesu tažení plechu jsou potřeba modely těchto základních částí tažného nástroje:

- tažnice (DIE),
- tažníku (PUNCH),
- přidržovače (BINDER) může být i tažení bez přidržovače (viz 4.2).

Podle složitosti výtažku a z toho se odvíjející složitosti procesu tažení se mohou do procesu přidat další části tažného nástroje, např. brzdicí žebra.

V následujících podkapitolách bude podrobně rozebrán postup tvorby modelů částí tažného nástroje. Pro tuto chvíli tedy lze vypnout viditelnost přístřihu, protože nadále bude pracováno pouze s částmi nástroje.

4.1 Tvorba modelu tažníku



4.1.1 Vytvoření nového modelu – PUNCH

Aby mohl být z modelu tažnice vytvořen nový díl, je potřeba pro něj nejdříve přichystat jeho vlastní jméno, barvu a identifikační číslo. Vytvoření nového dílu se provádí pomocí funkce **"Parts"** z roletového menu a následným zvolením funkce **"Create"** (viz Obrázek 4.1).

Parts Preprocess		
Create Ctrl+P		
Edit	😻 Create I	Part 🗖 🗉 🕺
Delete		
AddTo Part	Name	PUNCH
Turn On	10	
Current	ID.	3
Separate	Color	
T <u>r</u> ansparent	01/	
Summary	UK	Apply Cancel

Obrázek 4.1 – Výběr funkce "Create" z roletového menu "Parts" a vytvoření modelu tažníku

Do okna, které se otevře po kliknutí na funkci "Create", lze vepsat jméno nového modelu a lze změnit další vlastnosti – ID a barvu, které jsou automaticky nastaveny programem Dynaform. Jestliže barva i ID vyhovují, není třeba provádět změny. Vytvoření nového modelu se potvrdí tlačítkem "Apply" a poté "OK".

Pozn.: Po výběru tlačítka **"Apply"** se automaticky zobrazí nabídka pro další nový model, tzn. kolonka **"Name"** se uvolní, ID se změní na následující číslo a změní se i barva. V tomto okamžiku je možné vytvořit hned další nový model, který bude v simulaci tažení potřeba – model přidržovače, nebo lze vytvoření modelu nechat na později. Z důvodu dodržení logické posloupnosti výkladu v této učební opoře nebude nyní tvorba modelu přidržovače rozebírána, jeho vytvoření je popsáno v kapitole 4.2.

Tím, že se v databázi vytvořil další model součásti – díl PUNCH, se tento nový model ihned nastavil jako aktuální ("Current Part"), což je nutné pro další práci kopírování entit mezi jednotlivými modely. V "Current Part" tedy musí být název toho modelu, do kterého budou kopírovány jeho nové entity!

4.1.2 Tvorba modelu tažníku z modelu tažnice použitím funkce "Offset"

Vytvoření modelu tažníku se provádí pomocí funkce rozbalovacího menu "**Preprocess**" kde, protože nyní je pracováno s elementy, je třeba zvolit volbu **"Element**". Ze zobrazené nabídky následuje výběr funkce **"Copy**" (viz Obrázek 4.2 vlevo).

📚 Element 💷 📼 🔀	🍣 Copy Eleme 💶 💷 💌
	Type Offset 💌
	🗖 In Original Part
// ØØ 🎞	🗖 Delete Original Element
	Point to Point Move
	□ Set LCS
<u>aid</u> <u>d</u> <u>a</u> ia	Copy Number 1
	Thick: -1.1
	DY: 0.000
	DZ: 0.000
Label Elements	Select Element
Shrink Elements	Apply Undo
ОК	Exit

Obrázek 4.2 – Výběr funkce "Copy" v okně "Element" (vlevo), zobrazená nabídka funkce "Copy"s typem "Offset" a vyplnění tabulky (vpravo)

V okně pro kopírování elementů je nutné zvolit **"Offset"** v rozbalovacím menu **"Type"**. Offset vytvoří odsazení elementů – kopii modelu zmenšenou o určitou zadanou tloušťku, kterou uživatel zvolí v kolonce **"Thick"** (viz Obrázek 4.2 vpravo). Je to velmi výhodné pro tvorbu modelů částí tažného nástroje, protože podle tloušťky materiálu lze vypočítat tažnou mezeru a přímo o tuto hodnotu model části tažného nástroje odsadit. Dle vzorce pro tažnou mezeru v mm: $t_m = 1, 1 \cdot s$ [6], kde *s* je tloušťka taženého plechu, která je v tomto případě 1 mm, vychází velikost tažné mezery 1,1 mm. Znaménko mínus při zadávání hodnoty do tabulky je před hodnotou tažné mezery proto, aby byl nově vytvořený model o tuto hodnotu zmenšen a ne zvětšen.

Pro výběr elementů, které mají být odsazeny, slouží tlačítko **"Select Element"**. Objeví se okno pro výběr, který lze opět provést dvojím způsobem (viz Obrázek 4.3). Pokud je zapnut jen model tažnice, stačí zvolit tlačítko **"Displayed"**, které vybere všechny na pracovní ploše zobrazované elementy. Po výběru se zobrazí bílou barvou. Poté se nabídka vrací zpět do okna dle Obrázek 4.2 vpravo, kde se zpřístupní tlačítko **"Apply"** a tím se výběr elementů potvrdí.

📚 Select Elem 💶 💷 💌				
Select By Cursor				
0				
Angle				
□ Select By Part ▼				
Name Unspecified				
Done				
Displayed All Elements				
Exclude				
Total Selected 2131				
Reject Last Selection				
OK Cancel				

Obrázek 4.3 – Výběr elementů pro následný offset

Výsledný offset by měl vypadat jako na Obrázek 4.4. Síť elementů modelu tažnice (DIE) je zobrazena zelenou barvou, nová, o tažnou mezeru odsazená síť elementů patřící modelu tažníku, je zobrazena modrou barvou (PUNCH).



Obrázek 4.4 – *Výsledek funkce "Offset" – nová síť elementů patřící modelu PUNCH*

4.2 Tvorba modelu přidržovače



Dříve než se začne s přípravami na vytvoření modelu přidržovače, je výhodné zjistit, zda je u daného procesu tažení výtažku nutné použití přidržovače. Zda přidržovač v procesu použít a dle čeho se rozhodnout je popsáno v podkapitole 4.2.1. Pokud přidržovač musí být v procesu zahrnut, jeho vytvoření je popsáno v podkapitolách 4.2.3 a 4.2.4.

4.2.1 Vyhodnocení nutnosti použití přidržovače

Přidržovač brání vzniku zvlnění příruby a přeložek v procesu tažení. Nebezpečí vzniku vln je tím větší, čím tenčí je plech a čím nižší je součinitel odstupňování tahu. Při tažení tlustostěnných výtažků není zpravidla přidržovač třeba, stabilita příruby je dostatečně velká. Dosedací plocha pro první tah je rovinná, pro druhý a další tahy je přizpůsobena tvaru polotovaru z předchozího tahu.

Přidržovač se dle ČSN 22 3701 [8] používá v těchto případech:

- a) při tažení hlubokotažného plechu tloušťky s < 0,5 mm,
- b) v prvním tahu v případě, že součinitel α [6]:

$$\alpha \ge \frac{100 \cdot d_1}{D_0} \qquad [-]$$

 d_1

S

kde je

průměr výtažku po prvním tahu [mm],

 D_0 skutečný průměr přístřihu [mm].

Součinitel α se vypočítá ze vztahu [6]:

$$\alpha = 50 \cdot \left(z - \frac{\sqrt{s}}{\sqrt[3]{D_0}} \right)$$

kde je

jmenovitá tloušťka plechu [mm],

z materiálová konstanta, která má pro ocelový hlubokotažný plech hodnotu 1,90, pro mosazný plech 1,95 a pro hliníkový a zinkový plech hodnotu 2,00. V řešeném konkrétním případě, kdy $D_0 = 69$ mm a $d_1 = 40$ mm, je velikost zlomku 57,97. Součinitel α pro řešený případ, kdy z = 1,90 a s = 1 mm, je 82,81. Platí nerovnost, kdy $\alpha \ge 57,97$, je tedy nutné použít přidržovač.

c) v dalších tazích, jestliže součinitel odstupňování M je menší než 0,9.

4.2.2 Odstupňování tahů pro válcové výtažky

Součinitel odstupňování tahu M se používá pro určení nejmenšího počtu tahů dle ČSN 22 7301. Snahou je vyrobit výtažek na co nejmenší počet tažných operací. Proto je třeba dodržet zásadu, že deformace musí být v každé operaci tak velká, aby se plně využilo mechanických vlastností taženého materiálu až na přípustnou mez.

Součinitel odstupňování tahu M se vypočítá dle následujících vztahů [6]:

$$M_1 = \frac{d_1}{D_0}; \quad M_n = \frac{d_n}{d_{n-1}}$$
 [-]

kde je M

 M_1 součinitel odstupňování tahu pro první tah [–],

- *d*₁ průměr výtažku po prvním tahu [mm],
- *D*₀ průměr přístřihu [mm],
- $M_{\rm n}$ součinitel odstupňování tahu pro poslední tah [–],
- *d*_n průměr výtažku po posledním tahu [mm],
- d_{n-1} průměr výtažku po předposledním tahu [mm].

Dosažitelná mezní hodnota součinitele odstupňování tahu pro první tah je v rozmezí $0,55 \div 0,65$, podle druhu plechu.

Pro řešený případ, kdy $D_0 = 69 \text{ mm}$ a $d_1 = 40 \text{ mm}$, je součinitel odstupňování pro 1. tah $M_1 = 0,58$. Z toho vyplývá, že v případě použití kvalitního hlubokotažného plechu bude možné výtažek táhnout na jeden tah.

4.2.3 Vytvoření nového modelu – BINDER

Aby mohl být z modelu tažníku vytvořen další model, je třeba pro něj nejdříve přichystat jeho jméno, barvu a identifikační číslo. Vytvoření nového modelu se provede pomocí roletového menu **"Parts"** a následným zvolením funkce **"Create"** (viz Obrázek 4.5 vlevo).

Parts Preprocess	
Create Ctrl+P	
Edit	🗙 Create Part 📼 🗉 🐹
Delete	
AddTo Part	Nome BINDER
Turn On	Name
Current	ID 4
Separate	Color
T <u>r</u> ansparent	
Summary	OK Apply Cancel

Obrázek 4.5 – Výběr funkce "Create" z roletového menu "Parts" a vytvoření modelu přidržovače

Do okna, které se otevře po kliknutí na funkci **"Create"**, lze vepsat jméno nového modelu (BINDER). Opět se ukazuje, jaké číslo i barvu bude model mít, v tomto případě není třeba je měnit. Vytvoření nového modelu součásti je třeba potvrdit tlačítkem **"Apply"** a poté **"OK"**.

Tím, že se v databázi vytvořil nový model součásti – BINDER, se tento nový model součásti ihned nastavil jako aktuální ("Current Part"), což je nutné pro další práci převádění entit z modelu na model. V "Current Part" tedy musí být název toho modelu součásti, na který budou elementy převáděny!

4.2.4 Tvorba modelu přidržovače z modelu tažníku

Jako první krok je výhodné vypnout viditelnost modelu DIE a jako aktuální nastavit model součásti, se kterým bude pracováno – bylo již provedeno (viz 4.2.3). Nyní se do nově vytvořeného modelu součásti vloží elementy, a to tak, že se vyjmou z modelu tažníku a přiřadí se k modelu přidržovače. K tomu se využije nabídky z roletového menu **"Parts"** a dále příkazu **"Add… To Part"** (viz Obrázek 4.6).

Parts	Preprocess
Create	Ctrl+P
Edit	
Delete	
Add1	To Part
<u>T</u> urn C	n
Curren	<u>i</u> t
Separa	ate
T <u>r</u> ansp	parent
Summa	ary

Obrázek 4.6 – Funkce "Add…To Part" pro vložení elementů do modelu přidržovače

Objeví se okno pro výběr elementů a jejich přiřazení novému modelu (viz Obrázek 4.7). Uživatel vybere elementy (1), které chce přemístit z jednoho modelu do druhého, poté zvolí model, kam tyto vybrané elementy budou patřit (2).



Obrázek 4.7 – Okno pro výběr elementů a jejich přiřazení jinému modelu

Po kliknutí na tlačítko **"Element(s)"** (1) se objeví okno pro přímý výběr elementů (viz Obrázek 4.8 vlevo). Tato tabulka se při přípravě simulace objevuje vícekrát, slouží vždy pro výběr elementů. Pro výběr je výhodné si model PUNCH na pracovní ploše natočit tak, aby byl výběr elementů snadný a přehledný.



Obrázek 4.8 – Okno pro přímý výběr elementů (vlevo), výběr elementů na modelu (vpravo)

Uživatel má možnost zvolit způsob, jakým bude elementy vybírat. Program Dynaform uživateli automaticky nabídne možnost výběru pomocí kurzoru a funkcí **"Element"**, kdy uživatel postupně kliká na jednotlivé elementy a tím je zařazuje do celkového výběru (tento

typ výběru elementů je nutný, pokud se pracuje se složitým výtažkem, který nemá elementy rozvrstveny tak pravidelně jako jednoduchý výtažek).

V případě jednoduchého válcového výtažku je výhodnější zvolit nabídku **"Spread"** (viz Obrázek 4.8 vlevo). Touto funkcí se elementy automaticky vyberou v určitém rozpětí. Rozpětí závisí na tom, jakou hodnotu uživatel nastaví pomocí jezdce u nabídky **"Angle"**. Myší se nastaví hodnota 1 (model příruby a tedy i model přidržovače je rovinnou plochou, proto stačí zadat hodnotu 1 stupeň) a uživatel klikne na model příruby u modelu tažníku. Tím se automaticky vybere celá oblast modelu příruby, tzn. všechny elementy v oblasti roviny, jejichž plochy nejsou odkloněny o více než 1 stupeň, a vybraná oblast se zobrazí bílou barvou (viz Obrázek 4.8 vpravo).

Po potvrzení výběru elementů tlačítkem "**OK**" se uživatel vrací do okna dle Obrázek 4.7 a volí model, kterému vybrané elementy přiřadí (2). Z klasické nabídky výběru modelů (viz Obrázek 4.9 vlevo) se vybere BINDER a následně v okně pro výběr elementů i modelu (viz Obrázek 4.9 vpravo) se zadané potvrdí tlačítkem "**Apply**". Tím se 508 elementů ze sítě modelu tažníku přiřadí k síti modelu přidržovače.

😂 Select Part					
Select by Cursor		🕻 AddTo	Part		23
		Add			
Select by Name		0		Line(s)	
BLANK 1		508	EI	ement(s)	
DIE 2	ľ	0	S	urface(s)	
PUNCH 3	l l				
BINDER 4		To Part		BINDER	
Cancel		Close		Apply	

Obrázek 4.9 – Nabídka modelů nacházejících se v databázi (vlevo), vyplněné okno pro výběr elementů a jejich přiřazení modelu BINDER (vpravo)

Výsledek přeřazení elementů z modelu součásti PUNCH do modelu součásti BINDER je na Obrázek 4.10. Elementy na modelu přidržovače jsou zobrazeny fialovou barvou, která byla pro tento díl zvolena dříve (viz 4.2.3). Elementy, které zůstaly součásti modelu PUNCH jsou stále zbarveny modrou barvou, která byla zvolena při tvorbě modelu tažníku (viz 4.1.1).



Obrázek 4.10 – Elementy přiřazené k modelu BINDER zobrazené fialovou barvou

4.3 Odstranění přechodového poloměru z výpočtové sítě modelu tažníku

Čas ke studiu: 30 minut

Cíl: Po prostudování této podkapitoly budete umět

- 🕹 použít nástroje užívané k odstranění elementů,
- + odstranit přechodový poloměr z výpočtové sítě modelu tažníku.

Výklad

Přechodový poloměr lze buď úplně vymazat z modelu tažníku, nebo přeřadit do jiného, nově vytvořeného modelu postupem popsaným v kap. 4.2.4. Protože budou probíhat práce na modelu tažníku, je třeba jej nastavit jako aktuální součást a vypnout viditelnost přidržovače.

Pro odstranění elementů z modelu slouží nabídka "Element" z roletového menu "Preprocess", kde se vybere tlačítko "Delete" (viz Obrázek 4.11 vlevo). Objeví se okno pro přímý výběr elementů k jejich odstranění (viz Obrázek 4.11 vpravo). Je možno buď vybírat element po elementu (vybrané se budou zobrazovat bíle) nebo je možné použít výběr

elementů pomocí tlačítka **"Spread"**. Uživatel si může vyzkoušet všechny nabízené metody vybírání elementů (viz Obrázek 4.11).



Obrázek 4.11 – Výběr funkce "Delete" v okně "Element" (vlevo), okno pro přímý výběr elementů (vpravo)

Po zdárném výběru všech elementů z přechodového poloměru (viz Obrázek 4.12) a odsouhlasení výběru tlačítkem **"OK"** všechny vybrané elementy zmizí a zbudou po nich volné uzly (viz Obrázek 4.13), které je nutné vymazat.



Obrázek 4.12 – Označené elementy k odstranění z výpočtové sítě modelu tažníku



Obrázek 4.13 – Volné uzly vzniklé po odstranění elementů přechodového poloměru

Postup mazání uzlů je obdobný jako u elementů. Využije se nabídky **"Node"** v roletovém menu **"Preprocess"** a tam příkazu **"Delete Unreference Nodes"** (viz Obrázek 4.14 vlevo). Poté se ukáže nabídka, zda chce uživatel vymazat všechny volné uzly nebo je vybírat (viz Obrázek 4.14 vpravo). Protože je potřeba odstranit všechny volné uzly z modelu, je třeba zvolit možnost **"All Free Nodes"** a po kliknutí na tuto volbu uzly zmizí.



Obrázek 4.14 – Odstranění volných uzlů z modelu

Nyní jsou připraveny všechny výpočtové sítě modelů částí tažného nástroje (DIE, PUNCH, BINDER) a výpočtová síť modelu přístřihu (BLANK) pro další práci. Pokud se na pracovní ploše zviditelní všechny tyto čtyři modely, výsledek bude vypadat jako na Obrázek 4.15.



Obrázek 4.15 – Výpočtové sítě modelů částí tažného nástroje (DIE, PUNCH, BINDER) a modelu přístřihu (BLANK)

Shrnutí pojmů 4.1

"Offset" – příkaz k vytvoření modelu tažníku z modelu tažnice. Jedná se o odsazení označené sítě o zadanou hodnotu zadaným směrem.

"Add... To Part" – příkaz, kterým lze jakoukoli entitu přeřadit z jednoho modelu do druhého.



Otázky 4.1

- 1. Jakým příkazem lze vytvořit z modelu tažnice model tažníku?
- 2. Je vždy potřeba použít v procesu tažení přidržovač a proč?
- 3. Jak lze vytvořit model přidržovače?



Úlohy k řešení 4.1.

- 1. Dle pokynů v kap. 4.1.1 zaveď te do databáze nový model s názvem PUNCH.
- 2. Použijte správný příkaz k vytvoření modelu tažníku dle kap. 4.1.2.
- 3. S pomocí informací v kap. 4.2.1 vyhodnoťte, zda je pro proces tažení nutné použití přidržovače.
- 4. Pokud je pro proces tažení nutné použití přidržovače, zaveď te do databáze nový model s názvem BINDER (viz 4.2.3) a postupem dle kap. 4.2.4 vytvořte model přidržovače.
- 5. U modelu tažníku odstraňte přechodový poloměr.

CD-ROM

Čtvrtou kapitolu si student může připomenout pomocí těchto animací:

Animace_4.1_Tvorba nového dílu tažníku PUNCH

Animace_4.2_ Tvorba nového dílu přidržovače BINDER

Animace_4.3_Odstranění přechodového poloměru

5 DEFINOVÁNÍ PŘÍSTŘIHU A VOLBA JEHO MATERIÁLU PRO SIMULACI PROCESU TAŽENÍ

Po dokončení předcházejících kapitol jsou v databázi připraveny výpočtové sítě všech potřebných modelů částí tažného nástroje a modelu přístřihu, ale zatím nezastávají žádnou funkci v procesu tažení, ta se jim musí přidělit. V následujících podkapitolách je rozebrán postup při definování přístřihu pro simulaci procesu tažení (viz 5.1), popsána volba materiálu, kterou lze provést více způsoby (viz 5.2 a 5.3). V podkapitole 5.2 je stručně popsána definice tvářitelnosti materiálu a anizotropie plechů. Definování vlastností přístřihu obsahuje kapitola 5.4.

5.1 Definování modelu BLANK jako přístřihu v procesu tažení



Čas ke studiu: 30 minut

Cíl: Po prostudování této podkapitoly budete umět

- 👍 přidělit modelu BLANK funkci přístřihu,
- 4 použít nástroje potřebné k definování přístřihu.



Výklad

Nejprve je vhodné zvolit model, s nímž bude pracováno (BLANK) jako aktuální. Definování přístřihu se provádí v nabídce **"Define Blank"** v roletovém menu **"Tools"** (viz Obrázek 5.1).

$\underline{T}ools$	Option	Utilities				
Analysis Setup						
Define	Tools	Ctrl+T				
Po <u>s</u> itio	n Tools	► ►				
Draw E	Bead	Ctrl+D				
Blank (Generator					
Define	Ctrl+B					
Blan <u>k</u> (► ►					
Materia						
Proper						
Animat						
Tools (
S <u>u</u> mma	ary					

Obrázek 5.1 – Nabídka "Define Blank" v roletovém menu "Tools" pro definování přístřihu do procesu tažení

Po výběru funkce se objeví okno pro definování přístřihu (viz Obrázek 5.2 vlevo). Do okna je třeba zadat, který model chce uživatel přidat, a tedy který model z databáze bude zastávat funkci přístřihu. Tlačítko **"Add"** (1) je prvním krokem k určení přístřihu, po kliknutí na něj se objeví klasická nabídka pro výběr modelu, kde si uživatel vybere model BLANK. Vybraný model se na pracovní ploše zobrazí bíle a uživatel výběr potvrdí. Součást se objeví v okně seznamu součástí, které zatím bylo prázdné (viz Obrázek 5.2 vpravo).



Obrázek 5.2 – Nevyplněné okno pro definování přístřihu (vlevo), okno s přiřazenou součásti (vpravo)

Druhým krokem (2) je výběr materiálu přístřihu **"Material"** (viz 5.2 a 5.3) a vlastností elementů v průběhu simulace tažení a tloušťky přístřihu **"Property"** (viz 5.4).

5.2 Volba materiálu přístřihu z knihovny materiálů v programu Dynaform



Výběr materiálu lze provést v okně (viz Obrázek 5.2) volbou nabídky **"Material"** (kliknutím na **"None"** – materiál zatím není vybrán) nebo nabídkou **"Material"** v roletovém

menu **"Tools"** (viz Obrázek 5.3). První varianta je výhodnější, materiál bude vybrán přímo v okně pro definování přístřihu. Pokud uživatel definuje materiál druhým způsobem (viz Obrázek 5.3), musí se vrátit zpět do nabídky (viz Obrázek 5.2) a tam svou volbu potvrdit.

Tools	Option	Utilities
Analys	is Setup	
Define	Ctrl+T	
Po <u>s</u> itio	n Tools	►
<u>D</u> raw E	Bead	Ctrl+D
Blank (Generator	
Define	Ctrl+B	
Blan <u>k</u> (•	
Materia	al	
Proper	ty	
Animat	e	
Tools (On/o <u>ff</u>	
S <u>u</u> mma	ary	

Obrázek 5.3 – Definování materiálu součásti pomocí funkce "Material"

V obou případech výběru funkce **"Material"** se objeví tabulka pro definování materiálu (viz Obrázek 5.4).

🍣 Material	X
Name	BLANKMAT
Туре	36 💌
Color	
Mat	erial
New	odify Delete
Import	Export
Materia	l Library
Strain/Str	ess Curve
Forming	Limit Curve
	ж

Obrázek 5.4 – Tabulka pro definování materiálu přístřihu

Pro výběr materiálu z knihovny materiálů slouží tlačítko **"Material Library"**. Zobrazí se kompletní knihovna materiálů (viz Obrázek 5.5). Knihovna je rozdělena na oceli (steel) a hliníkové slitiny (aluminium). V každé z těchto částí jsou materiály rozděleny do určitých skupin dle typů, názvu materiálu a u ocelí dle jejich pevnosti.

💙 Dynaform M	aterial Library				0105755	-	1257	1000		X
	Strength Level	Material Name	Type 1 ELASTIC	Type 18 POWER	Type 24 LINEAR	Type 36 3-PARAM	Type 37 ANISOTR	Type 39 FLD_TRA	Type 64 RATE_SEN	
		CQ	+	+	+	+	+	-	-	
	Mild	DQ	+	+	+	+	+	-	-	
		DQSK	+	+	+	+	+	-	-	
		DDQ	+	+	+	+	+	3.7	3.7	•
		BH180	+	+	+	+	+	+	1977)	
	Modium	BH210	+	+	+	+	+	+	-	
	mediain	BH250	+	+	+	+	+	+	-	
		BH280	+		+	+	+	+	-	•
		HSLA250	+	+	+	+	+	+	3.5	
OTEEL	High	HSLA300	+	+	+	+	+	-	-	
STEEL	riigii	HSLA350	+	+	+	+	+	-	-	
		HSLA420	+	+	+	+	+		-	•
		DP500	+		+	+	+	3.5	3.73	
1	Advanced High	DP600	+	+		+]	+]	-	-	
		CQ	+	+	+	+	+	107	3373	
		DQSK	+	+	+	+	+	-	-	
	Hot Rolled	DDQIF	+	+	+	+	+	-	-	
		HSLA400	+	+	+	+	+	-	-	-
		SS11CrCb	+	+	+	+	+	117	3.5	
	Stainlass	SS18CrCb	+	+	+	+	+	-	-	
	otanness	SS304	+	+	+	+	+	-	-	
		SS409Ni	+	+	+	+	+	-	-	-
		AA5182	+	+	+	+	+	1.5	3.73	
ALUMINUM		AA5454	+	+	+	+	+	-	-	
		AA5754	+	+	+	+	+	-	-	
		AA6009	+	+	+	+	+	194	194	-
ОК						Help				

Obrázek 5.5 – Knihovna materiálů softwaru Dynaform

Podle pevnosti se oceli (Strength Level) dělí na oceli měkké (Mild), středně měkké (Medium), tvrdé (High) a extrémně tvrdé (Advanced High). Dále se oceli dělí na válcované zatepla (Hot Rolled) a nerezavějící oceli (Stainless). Poté následuje sloupec s názvy materiálů (Material Name). Následují sloupce s typy materiálů. Pro simulace tažení plechů jsou nejvíce vhodné typy 36 a 37, které zahrnují anizotropii plechu [3]. Jednotlivé skupiny materiálů dle pevnosti lze posunovat pomocí jezdce vpravo, čímž se zobrazí další materiály.

Výběr se provádí kliknutím na tlačítko "+" u příslušného materiálu (pro příklad byl zvolen materiál DQSK typu 36). Zobrazí se vlastnosti materiálu v tabulce (viz Obrázek 5.6). Vyplněny jsou všechny kolonky, které reprezentují tyto hodnoty:

- měrná hmotnost [kg·m⁻³],
- Youngův modul pružnosti [MPa],
- Poissonova konstanta [-],
- model křivky zpevnění [–],
- konstanta pevnosti [MPa],
- průměrný exponent deformačního zpevnění [-],
- materiálová konstanta pro typ mřížky (6 BCC mřížka) [–],

- součinitel plastické anizotropie ve směru 0° vůči směru válcování plechu [–],
- součinitel plastické anizotropie ve směru 45° vůči směru válcování plechu [–],
- součinitel plastické anizotropie ve směru 90° vůči směru válcování plechu [–].



Obrázek 5.6 – Vlastnosti vybraného materiálu DQSK

Pro dokončení výběru materiálu uživatel volí **"OK"** včetně předchozích otevřených oken až do okamžiku, dokud všechny zobrazené nabídky neopustí.

Pokud chce uživatel provést simulaci s materiálem, který se v knihovně nenachází, musí materiál definovat do databáze ručně (viz 5.3).

5.2.1 Tvářitelnost materiálu

Tvářitelnost (plasticita) – vlastnost materiálu tvářet se nevratně bez makroskopického porušení.

Technologická tvářitelnost – vlastnost materiálu tvářet se nevratně bez makroskopického porušení v konkrétním tvářecím procesu nebo vázaná na konkrétní zkoušku tvářitelnosti.

Tvářitelnost je funkcí těchto proměnných:

- a) materiálu chemického složení a struktury,
- b) teplotních a rychlostních podmínek,
- c) napěťového stavu,
- d) historie napětí a deformace,
- e) geometrického faktoru,

f) vnějšího prostředí.

Při tváření plechů se silně uplatní geometrický faktor (jeden z rozměrů – tloušťka polotovaru, je proti zbývajícím velmi malý nebo až zanedbatelný) \rightarrow na jedné straně to umožňuje zjednodušení napěťového stavu na dvojosý, na druhé straně v tenké stěně velmi narůstá vliv inkluzí (tj. vměstky, karbidy, oxidy, intermetalické fáze, sekundární fáze) a uspořádání struktury.

O tvářitelnosti materiálu rozhoduje:

- chemické složení a jeho lokální nestejnorodost,
- složení, objem, tvar a distribuce vměstků,
- přednostní krystalografická struktura,
- střední rozměr zrn a bloků, poloha jejich hranic,
- rozložení mikrodefektů mřížky.

Obecně lze konstatovat, že všechny vlivy zvyšující pevnost materiálu snižují jeho tvářitelnost.

Vlastnosti materiálů pro plošné tváření kolísají v závislosti na aktuálním chemickém složení, na použitém technologickém postupu válcování a tepelného zpracování polotovaru a krystalografické textuře. Zastudena válcované plechy jsou výrazně anizotropní.

5.2.2 Anizotropie plechů

Anizotropie plechů – nestejnoměrnost vlastností v různých směrech souřadného systému. Rozlišuje se anizotropie plošná (v rovině plechu) a normálová (plastická – ve směru tloušťky plechu).

Plošná anizotropie

Je směrová závislost mechanických a fyzikálních vlastností v rovině plechu vzhledem ke směru válcování. Vzniká jako důsledek strukturní a krystalografické textury, spojeno s metalurgickými a výrobními podmínkami výroby plechů.

Pro posouzení vhodnosti plechu k hlubokému tažení je nutno vzít v úvahu plošnou anizotropii těchto mechanických vlastností: meze kluzu, pevnosti v tahu, tažnosti, případně kontrakce.

Plastická anizotropie

Vyjadřuje nerovnoměrnost mechanických vlastností v rovině plechu oproti mechanickým vlastnostem ve směru kolmém na rovinu plechu, tj. ve směru tloušťky. Vyjadřuje se bezrozměrným číslem – *součinitelem plastické anizotropie r*_x (čím je hodnota vyšší, tím je plech odolnější proti ztenčování a tím více vhodný k hlubokému tažení).

Jako kritérium tvářitelnosti plechu se používá *hodnota váženého průměru součinitele* plastické anizotropie \bar{r} (čím je hodnota vyšší, tím je plech odolnější proti ztenčování a tedy vhodnější k hlubokému tažení).

Cípovitost se hodnotí podle *stupně plošné anizotropie součinitele plastické anizotropie* Δr . Je-li hodnota nulová, cípy se netvoří, jeli větší než 0, tvoří se ve směrech 0° a 90° vůči směru válcování plechu, je-li menší než 0, tvoří se ve směrech +45° a -45° vůči směru válcování plechu.

Exponent deformačního zpevnění – vyjadřuje intenzitu zpevňování plechu při plastické deformaci jednoosým tahem. Je to materiálová konstanta, pro hlubokotažné plechy je vždy menší než 1.

5.3 Ruční definování materiálu přístřihu





Pro ruční zadání materiálu je třeba znát fyzikální a mechanické vlastnosti daného materiálu, které se stanoví z výsledků tahové zkoušky. Definování materiálu začíná ve stejné tabulce jako při automatickém zadávání materiálu z knihovny (viz Obrázek 5.4), ale místo knihovny se zvolí příkaz "New". Objeví se již známé okno vlastností materiálu, do kterého je třeba ručně zadat všechny hodnoty (viz Obrázek 5.7) a po dokončení potvrdit tlačítkem "OK". Materiál se přiřadí do seznamu znázorněného na Obrázek 5.4 elipsou a editace se opět ukončí tlačítkem "OK".



Obrázek 5.7 – Ručně zadané vlastnosti materiálu DC04

Uživatel se může kdykoli do nabídky vrátit a materiál buď upravit, nebo definovat nový. Úprava vlastností materiálu se provádí příkazem "Modify".

5.4 Definování vlastností pomocí funkce "Property"



Výklad

Pro nastavení vlastností se vychází z okna na Obrázek 5.2 volbou funkce "**Property**" (kliknutím na "**None**" – žádné vlastnosti zatím nejsou přiřazeny). Objeví se okno (viz Obrázek 5.8 vlevo), kde uživatel může definovat formulaci elementů pro simulaci tažení. Defaultně je nastavena formulace "**Belytschko-Tsay**", která je využívána pro simulace tažení plechů. Pro přiřazení vlastností se zvolí příkaz "**New**" a vyplní se tloušťka přístřihu. "**Thickness**" (pro řešený příklad byla zvolena tloušťka 1 mm).

Po návratu do okna pro nastavení vlastností přístřihu se zvolí "OK" a uživatel se navrátí do výchozího okna pro definování přístřihu (viz Obrázek 5.8 vpravo), kde je již

přiřazen model BLANK jako přístřih (viz 5.1), materiál přístřihu (viz 5.2 a 5.3) a vlastnosti přístřihu, jejichž definování bylo popsáno výše.

	S Define Blank
S Property	Part BLANK Attribute
Name blankpro	□ Single Surface
BELYTSCHKO-TSAY	Material: DC04
Color	Property: blankpro
Property	Include Parts List
blankpro	BLANK 1
New Modify Delete	Add Remove Display
ОК	ок

Obrázek 5.8 – Okno pro nastavení vlastností přístřihu (vlevo), vyplněné výchozí okno pro definování přístřihu (vpravo)

Shrnutí pojmů 5.1

Tvářitelnost – vlastnost materiálu tvářet se nevratně bez makroskopického porušení.

Plošná anizotropie plechů – směrová závislost mechanických a fyzikálních vlastností v rovině plechu vzhledem ke směru válcování. Vzniká jako důsledek strukturní a krystalografické textury, které jsou spojeny s metalurgickými a výrobními podmínkami výroby plechů.

Plastická anizotropie plechů – vyjadřuje nerovnoměrnost mechanických vlastností v rovině plechu oproti mechanickým vlastnostem ve směru kolmém na rovinu plechu, tj. ve směru tloušťky.

Exponent deformačního zpevnění – vyjadřuje intenzitu zpevňování plechu při plastické deformaci jednoosým tahem. Je to materiálová konstanta, pro hlubokotažné plechy je vždy menší než 1.



Otázky 5.1

- 1. Jak lze definovat přístřih do procesu tažení a co všechno je potřeba udělat poté?
- 2. Co vše rozhoduje o tvářitelnosti kovů?

- 3. Co je to anizotropie plechů?
- 4. Co všechno je potřeba znát pro ruční zadávání materiálu přístřihu do databáze?



Úlohy k řešení 5.1

- 1. Dle pokynů v kap. 5.1 definujte přístřih pro simulaci procesu tažení.
- 2. Přiřaďte k přístřihu materiál vhodný pro hluboké tažení a zopakujte si výběr materiálu způsoby dle kap. 5.2 a 5.3.
- 3. Přiřaď te přístřihu tloušť ku dle výkladu v kap. 5.4.



CD-ROM

Pátou kapitolu si student může připomenout pomocí této animace:

Animace_5.1_Definování přístřihu a jeho materiálu do procesu tažení

6 DEFINOVÁNÍ ČÁSTÍ TAŽNÉHO NÁSTROJE A OKRAJOVÝCH PODMÍNEK PRO SIMULACI PROCESU TAŽENÍ

Přístřih již byl pro simulaci procesu tažení definován (viz 5), následuje definování částí tažného nástroje. Nejprve se musí zadat základní parametry, ve kterých bude výpočet probíhat a přiřadit připravené modely k částem tažného nástroje (viz **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**), dále definovat okrajové podmínky (viz 6.2, 6.3 a 6.4), bez kterých simulaci nelze provést.

6.1 Základní parametry pro výpočet a přiřazení modelů k částem tažného nástroje

Čas ke studiu: 1,5 hodiny



Cíl: Po prostudování této podkapitoly budete umět

- 🖊 nastavit základní parametry potřebné pro simulaci procesu tažení,
- 4 orientovat se v typech tažení,
- přiřadit vytvořené díly k předvoleným nástrojům,
- 🕹 nastavit nástroje do výchozí pozice,
- využít nabídku pro posun součástí libovolným směrem.



Výklad

Nastavení parametrů se provádí v nabídce roletového menu "Tools" \rightarrow "Analysis Setup". Okno umožňuje uživateli změnit jednotky, ve kterých bude výpočet probíhat, typ tažení, kontaktní plochu, směr zdvihu a tažnou mezeru (viz Obrázek 6.1).

😂 Analysis Set 🗖 🔲 💌	
Unit	
MM, TON, SEC, N	
Draw Type	
Double action 🗸	
Contact Interface	
Form One Way S. to S.	
Stroke Direction Z	
Contact Gap 1.1	
DYNA Solver Precision	
Single	
Double	
Ok Cancel	

Obrázek 6.1 – Okno pro nastavení základních parametrů potřebných pro výpočet

Tažení v programu Dynaform je při předdefinovaném typu **"Single Action"** reverzní, pohybuje se tažnice, tažník stojí a přes něj se přetahuje přístřih. Proto byl zvolen typ tažení **"Double Action"**, při kterém se bude pohybovat tažník a tažnice bude stát.

Kontaktní plocha se volí **"Form One Way S. to S."**, protože se jedná o kontakt povrchů nástrojů. Směr zdvihu tažníku je definován v ose Z. Velikost tažné mezery již byla zvolena při offsetu nástroje (viz 4.1.2) a zde se musí zadat její hodnota.

Při definování částí tažného nástroje se přiřadí jednotlivé modely k předvoleným nástrojům, k předvolené části nástroje DIE se přiřadí model DIE, k předvolené části nástroje PUNCH se zvolí model PUNCH a k předvolené části nástroje přidržovač BINDER se zvolí model BINDER (Tabulka 6.1).

Předvolené části nástroje (TOOLS)	MODEL
Tažník (PUNCH)	PUNCH
Tažnice (DIE)	DIE
Přidržovač (BINDER)	BINDER

Tabulka 6.1 – Přiřazení modelů k částem tažného nástroje

Samotné přiřazení modelů k částem tažného nástroje se provádí v nabídce **"Define Tools"** v roletovém menu **"Tools"**. Objeví se okno pro definování částí tažného nástroje (viz Obrázek 6.2). Nejprve je vhodné provést kontrolu zaškrtnutí **"Standard Tools"**, protože budou použity tři standardní části nástroje – tažnice, tažník a přidržovač. Při opačném výběru, tedy při zaškrtnutí **"User Defined Tools"**, si uživatel může nástroje sám definovat, pojmenovat, použít jich více atd. Při přiřazování nástrojů u položky **"Tool Name"** je rozbalovací menu (1), kde se dá volit mezi třemi částmi tažného nástroje (DIE, PUNCH, BINDER). Prvním krokem tedy je rozbalit nabídku a zvolit část nástroje (např. DIE). Druhým krokem (2) je zvolení tlačítka **"Add"**, kterým se přidělí vybraný model nacházející se v databázi (pro část nástroje DIE je to model DIE). Výběr se provádí z klasického seznamu modelů kliknutím na vybraný model. Jakmile je model vybrán (na pracovní ploše se zobrazí bíle), objeví se v seznamu přidaných dílů (viz Obrázek 6.2). Takto se přiřazení modelů provede pro všechny tři části nástroje.

V následujících kapitolách 6.2, 6.3 a 6.4 je popsáno definování okrajových podmínek pro jednotlivé části tažného nástroje, které jsou potřebné pro výpočet.



Obrázek 6.2 – Okno pro ruční definování částí tažného nástroje, vyplněno pro všechny tři části nástroje

6.1.1 Nastavení výchozí pozice částí tažného nástroje

Části tažného nástroje s přístřihem musí být ustaveny do výchozí polohy, nastavení se provádí v roletovém menu **"Tools"** volbou nabídky **"Position Tools"** a dále **"Auto Position"** (viz Obrázek 6.3).

V okně, které následuje po výběru nabídky, se musí vybrat části tažného nástroje, které budou mít hlavní tvářecí funkci a také deformované díly (viz Obrázek 6.4). Za hlavní části tažného nástroje se tedy zvolí tažník, tažnice a přidržovač. Deformovaným dílem bude přístřih.

Další položky, jako je způsob tažení, směr pohybu a tažná mezera, jsou nastaveny z předchozích úkonů.

Tools		
Analysis Setup		
Define Tools	Ctrl+T	
Position Tools	•	Auto Position
Draw Bead	Ctrl+D	Move Tool
Blank Generator		Min. Distance
Define Blank	Ctrl+B	
Blank Operation	•	
Material		
Property		
Animate		
Tools On/off		
S <u>u</u> mmary		

Obrázek 6.3 – Cesta k nastavení výchozí pozice částí tažného nástroje

🟅 Auto Positi 💶 💷 🔀	
Master Tools(fixed)	
BLANK PUNCH DIE BINDER	
Slave Tools	
BLANK	
PUNCH DIE BINDER	
Method	
Double Side Check	
Direction	
Coordinate Global 💌	
C.S.ID 0	
EX EY EZ	
Contact Gap 1.10	
List Movement	
Apply Undo Close	

Obrázek 6.4 – Okno pro ustavení částí tažného nástroje do výchozí pozice

Tlačítkem **"Apply"** je volba potvrzena a všechny díly na pracovní ploše se ustaví do výchozí pozice (viz Obrázek 6.5).



Obrázek 6.5 – Výchozí pozice částí tažného nástroje a přístřihu

6.1.2 Posun částí tažného nástroje v osách X, Y, Z

Pokud výsledné ustavení částí tažného nástroje a přístřihu nevyhovuje, lze díly libovolně posouvat ve všech osách o uživatelem navolené hodnoty. Cesta k posouvání nástrojů je následující: roletové menu "Tools" \rightarrow "Position Tools" \rightarrow "Move Tools".

💐 Move Tools 🗖 🔍 🗮 🗶	
Target Tool BLANK	
Tools List	
BLANK PUNCH DIE BINDER	
◆ Z Translation	
♦ -X Translation	
♦ -Y Translation	
♦ -Z Translation	
Distance	
Apply Reverse	
ОК	

Obrázek 6.6 – Posun částí tažného nástroje a přístřihu v osách X, Y a Z

V okně (viz Obrázek 6.6) je možné vybrat díl ze seznamu a zvolit směr posunutí. Do prázdné kolonky **"Distance"** se vepíše, o kolik milimetrů je třeba díl posunout. Tlačítkem "Apply" se úkon provede a na pracovní ploše může uživatel vidět, jak zvolený díl v sestavě nástrojů a přístřihu změnil svoji polohu.

6.1.3 Měření minimální vzdálenosti mezi tažnicí a tažníkem

Změřit vzdálenost mezi tažnicí a tažníkem je nutným krokem při přípravě simulace. Hodnota bude potřebná při pozdějším definování okrajových podmínek tažníku, kdy se bude nastavovat délka dráhy nástroje. Cesta k nástroji pro měření minimální vzdálenosti mezi částmi tažného nástroje je znázorněna na Obrázek 6.7 vlevo.



Obrázek 6.7 – Cesta k nástroji pro měření minimální vzdálenosti mezi částmi tažného nástroje (vlevo), měření minimální vzdálenosti mezi tažnicí a tažníkem (vpravo)

Po výběru "Min. Distance" se zobrazí okno, kde uživatel volí části tažného nástroje, mezi kterými chce měřit vzdálenost a směr měření výběrem z os X, Y, Z (viz Obrázek 6.7 vpravo). Po označení dvou částí tažného nástroje a směru měření se přímo v okně ukáže vzdálenost mezi vybranými částmi nástroje ("Distance"). Zároveň se na pracovní ploše na výpočtových sítích obou částí nástroje označí uzly, mezi kterými je vzdálenost změřena.

V tomto konkrétním případě (viz Obrázek 6.7 vpravo) byla minimální vzdálenost mezi tažnicí a tažníkem v ose Z naměřena 21,199 mm.

6.2 Okrajové podmínky u tažnice – DIE

Čas ke studiu: 30 minut



Cíl: Po prostudování této podkapitoly budete umět

hastavit správné okrajové podmínky u tažnice.

Výklad

Definování okrajových podmínek je pro tažnici nejjednodušší. Tažnice nevytváří žádný pohyb ani se u ní nenastavují žádné silové podmínky. Nastavení se provádí v roletovém menu **"Tools"** v nabídce **"Define Tools"** (viz Obrázek 6.8).

Tools	Option	Utilities
<u>A</u> nalys	is Setup	
Define	Tools	Ctrl+T
Po <u>s</u> itio	n Tools	►
<u>D</u> raw B	Bead	Ctrl+D
Blank (Generator	
Define	Blank	Ctrl+B
Blan <u>k</u> Operation		►
Materia	al	
Proper	ty	
Animat	e	
Tools (On/o <u>ff</u>	
S <u>u</u> mma	ary	

Obrázek 6.8 – Nabídka "Define Tools" v roletovém menu "Tools"

Objeví se okno, kde se již dříve přiřazovaly díly k nástrojům (viz 6.1). V okně lze vidět, že k modelu části tažného nástroje DIE je již přiřazen díl DIE (viz Obrázek 6.9). Nastavení okrajových podmínek, potřebných pro simulaci procesu tažení, se provede v okně, které se zobrazí po výběru tlačítka **"Define Contact"** (viz Obrázek 6.9 a Obrázek 6.10).

V uvedeném okně jsou předvoleny různé podmínky tažení, které lze změnit. Jedná se o typ kontaktu, který může být ponechán (byl zvolen již v kap. 6.1). Součinitel statického tření ("Static Friction") má programem navolenou hodnotu 0,125 a tato hodnota může být ponechána (součinitel tření bývá při tažení 0,10 až 0,15). Rovněž mohou být ponechány hodnoty ostatních položek (koeficient tlumení atd.).

💐 Define Tools 🗖 📃 🐹	
Standard Tools	
User Defined Tools	
Tool Name Die 💌	
User Defined Tools Name	
New Rename Delete	
Define Contact	DIE, PUNCH, BINDER
Define Load Curve	PUNCH, BINDER
Include Parts List	
DIE 2	
Add Remove Display	
Offset from Mating Tool	
ОК	

Obrázek 6.9 – Základní okno pro definování okrajových podmínek

💐 Tools Conta	X
Contact Type	
FORMING_O	NE_WAY_S
Static Friction	1.250000E-001
Damping Coeff	2.00000E+001
Soft Constraint	0
Define Contact parameters	
ок	

Obrázek 6.10 – Okno pro definování okrajových podmínek tažení pro všechny tři části tažného nástroje

6.3 Okrajové podmínky u tažníku – PUNCH

	Čas ke studiu: 1 hodina
0	Cíl: Po prostudování této podkapitoly budete umět 4 nastavit správné okrajové podmínky u tažníku.

Výklad

U tažníku se musí nastavit pohyb, který bude v průběhu simulace tažení konat. Nejprve se tedy v okně (viz Obrázek 6.9) roletové menu přepne na část nástroje PUNCH a poté se použije tlačítko **"Define Contact"** (toto tlačítko se používá pro všechny tři části tažného nástroje). Objeví se stejná nabídka jako na Obrázek 6.10 se stejně nadefinovanými hodnotami, které opět mohou být ponechány. Druhé tlačítko **"Define Load Curve"** (viz Obrázek 6.9) bude použito pro části tažného nástroje PUNCH a BINDER. Slouží pro nastavení pohybů částí nástroje a působících sil (viz Obrázek 6.11).
💐 Tool Load C		
Curve Type		
Motion		
Force		
Curve	NULL	
Show	Curve	
Assign	Remove	
Read	Modify	
Auto	Manual	
Degrees-of-Freedom		
Coordinate Global 💌		
C.S.ID 0		
□X □Y ▼Z		
RX RY RZ		
Set Death Time		
Death Time		
ОК		

Obrázek 6.11 – Základní okno pro nastavení pohybu tažníku

Tažník bude konat pohyb, takže je třeba zaškrtnout **"Motion"** u typu křivky **"Curve Type"**. Dále je známo, že se tato část nástroje bude pohybovat ve směru **"Z"**, tudíž tuto volbu je také třeba zaznačit a povolit tak stupeň volnosti v této vybrané ose (viz Obrázek 6.11). Pak se vybere tlačítko **"Auto"** a uživatel přejde do další nabídky, kde bude volit přesné parametry pohybu tažníku (viz Obrázek 6.12).

😻 Motion	Cur		
Curve T	Гуре		
Veloci	ty		
Displacement			
Curve Sh	ape	Trap	ezoidal
Begin Tir	ne	0.000	De+000
Velocity		500	
Stroke D	ist	20.09	Ð
Stop after this phase?			
Yes		No	Cancel

Obrázek 6.12 – Definování křivky pohybu části tažného nástroje

V okně nazvaném "Motion Curve" uživatel volí typ křivky ("Curve Type") zaškrtnutím "Velocity" – rychlost. Tvar křivky se vybírá z roletového menu a pro tažení se nejvíce hodí typ "Trapezoidal". Dále je třeba definovat ostatní parametry pohybu tažníku. Začátek pohybu ("Begin Time") je automaticky nastaven na 0 s, protože tažník se začíná pohybovat hned na začátku simulace procesu tažení.

Rychlost pohybu tažníku (**"Velocity"**) byla zvolena dle doporučení odborné literatury $0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (tj. 500 mm·s⁻¹, hodnota musí být zadána v mm, protože v programu Dynaform je nastaven standardní jednotkový systém: *mm, tuna, sekunda, Newton*). Tato rychlost je vhodná pro menší lisy.

Hodnota zdvihu ("Stroke Dist") byla vypočtena jako rozdíl minimální vzdálenosti mezi tažnicí a tažníkem (hodnota změřena v kap. 6.1) a hodnoty tažné mezery, tj. 21,199 mm -1,1 mm = 20,099 mm. Tato hodnota může být různá, záleží na postavení částí tažného nástroje vůči sobě. Je nutné ji vždy při každé přípravě výpočtu změřit a překontrolovat.

Jakmile jsou všechny tyto podmínky zadány, je třeba odpovědět **"Yes"** na otázku, zda má pohyb skončit ve fázi, v jaké byl právě zadán. Po tomto definování hodnot program vyhodnotí a na pracovní ploše ukáže křivku – průběh rychlosti pohybu tažníku v závislosti na čase (viz Obrázek 6.13). Zároveň s touto křivkou se objeví tabulka, kde si uživatel může např. změnit umístění křivky, změnit zobrazení křivky a uložit ji jako *.cur. Kliknutím na **"OK"** se celá operace odsouhlasí, čímž je nastavena okrajová podmínka pro tažník.



Obrázek 6.13 – Křivka rychlosti pohybu tažníku

6.4 Okrajové podmínky u přidržovače – BINDER



Cíl: Po prostudování této podkapitoly budete umět

- 4 vypočítat potřebnou přidržovací sílu F_p,
- 4 nastavit správné okrajové podmínky u přidržovače.

Výklad

Přidržovač má za úkol přidržovat plech v průběhu tažení a zabraňovat jeho zvlnění. Ke zvlnění dochází v oblasti příruby (u hlubokého tažení) nebo ve stěně výtažku (u vypínání).

<u>Vznik vln je funkcí</u>: přidržovací síly, rozměrů polotovaru a výtažku (velikostí deformace), rozměrů a tvaru nástrojů, mazání.

Snížení radiálního napětí, tj. zvětšení tažného poloměru, snížení tření a snížení redukce – průměru polotovaru, snížení přidržovací síly **zvyšují tendenci ke vzniku vln**.

Potlačit vznik vln lze těmito opatřeními:

- zvýšením tlaku přidržovače, zmenšením mezery mezi přidržovačem a tažnicí, zvýšením tahových napětí brzdicími žebry nebo brzdicí lištou,
- z materiálových vlastností snižuje tendenci ke vzniku vln vysoká hodnota součinitele plastické anizotropie r_m , nízká hodnota stupně plošné anizotropie součinitele plastické anizotropie Δr , vysoká hodnota exponentu deformačního zpevnění *n*.

Čím tenší je plech, tím větší je možnost vzniku vln při tažení.

Obrázek 6.14 znázorňuje závislost zvlnění na velikosti přidržovací síly, součiniteli plastické anizotropie a na tažné hloubce. V podstatě shrnuje již výše uvedené informace, tj. čím je přidržovací síla a tažná hloubka větší, tím více hrozí utržení dna výtažku, malá síla v sobě nese riziko zvlnění výtažku. Zároveň platí, že se zvětšující se hloubkou výtažku hrozí zvlnění na stěnách výtažku.



přidržovací síla Fp

Obrázek 6.14 – Závislost zvlnění na velikosti přidržovací síly, součiniteli plastické anizotropie a na tažné hloubce [7]

Je tedy zřejmé, že do simulace procesu tažení v programu Dynaform se musí nastavit správně nastavit přidržovací síla. Její výpočet je proveden v kap. 6.4.1.

6.4.1 Výpočet přidržovací síly F_p

Výpočet přidržovací síly lze provést pomocí vztahu [6]:

 $F_{\rm p} = S_{\rm p} \cdot p_{\rm p} \qquad [N]$

kde je p_p – měrný tlak přidržovače [MPa],

 $S_{\rm p}$ – účinná plocha přidržovače [mm²].

Pro správnou volbu přidržovacího tlaku platí zásada, že čím větší je tloušťka plechu, tím je přidržovací tlak menší. Měrný tlak přidržovače se pohybuje v rozmezí $p_p = (1,8 \div 2,8)$ MPa dle doporučení odborné literatury [6]. Pro řešený příklad byl zvolen tlak $p_p = 2,3$ MPa.

Přidržovací síla působí pouze na účinné ploše přidržovače S_p , která se musí vypočítat. V řešeném případě ji lze stanovit tak, že se vypočte plocha přístřihu a odečte se od ní plocha otvoru v přidržovači. Výsledkem je účinná plocha přidržovače S_p , na které působí měrný tlak, v tomto případě plocha mezikruží (viz Obrázek 6.15).



Obrázek 6.15 – *Výpočet účinné plochy přidržovače* S_p

Průměr přístřihu: $D_0 = 69$ mm,

průměry přidržovače: $D_{vnějši} = 70 \text{ mm},$

 $D_{\text{vnitřní}} = 50 \text{ mm.}$

Z těchto údajů lze stanovit účinnou plochu přidržovače:

$$S_{\rm p} = \frac{\pi}{4} \cdot \left(D_0^2 - D_{\rm vnitřni}^2 \right) = \frac{\pi}{4} \cdot \left(69^2 - 50^2 \right) = 1775,79 \, \rm{mm}^2$$

Poté je přidržovací síla:

$$F_{\rm p} = S_{\rm p} \cdot p_{\rm p} = 1775, 79 \cdot 2, 3 = 4084, 32 \text{ N} \doteq 4085 \text{ N}$$

6.4.2 Zadání přidržovací síly do simulace procesu tažení

Pro zadání přidržovací síly do simulace procesu tažení se nejprve v okně (viz Obrázek 6.9) přepne roletové menu na část tažného nástroje BINDER a poté se použije tlačítko **"Define Contact"**. Objeví se stejná nabídka jako na Obrázek 6.10 s nadefinovanými hodnotami, které mohou být opět ponechány.

Druhým tlačítkem **"Define Load Curve"** (viz Obrázek 6.9) se uživatel dostane do nabídky pro nastavení pohybů částí tažného nástroje a velikosti působících sil (viz Obrázek 6.16).

💐 Tool Load C		
Curve Type -		
Motion		
Force		
Curve	NULL	
Show	Curve	
Assign	Remove	
Read	Modify	
Auto	Manual	
Degrees-of-Freedom		
Coordinate Global 💌		
C.S.ID 0		
EX EY Z		
□RX □RY □RZ		
Set Death Time		
Death Time		
ОК		

Obrázek 6.16 – Základní okno pro nastavení přidržovací síly

Protože přidržovač bude působit určitou přidržovací silou, je třeba zaškrtnout **"Force"** u typu křivky **"Curve Type"**. Dále je známo, že část nástroje bude přidržovací silou působit ve směru osy **"Z"**, tudíž tuto volbu je také třeba provést a povolit tak stupeň volnosti v této vybrané ose (viz Obrázek 6.16). Pak se vybere tlačítko **"Auto"** a uživatel přejde do další nabídky, kde bude zadávat přesné parametry přidržovací síly (viz Obrázek 6.17).

💐 Force/Time 💶 💷 💌		
Begin Time	0.000e+000	
Force	4085	
End Time	4.385e-002	
ОК	Cancel	

Obrázek 6.17 – Definování přidržovací síly

V okně je třeba zadat parametry působení přidržovací síly. Začátek působení síly (**"Begin Time"**) je automaticky nastaven na 0 s, protože síla začíná působit hned na začátku procesu tažení.

Velikost přidržovací síly ("Force") byla vypočtena v kap. 6.4.1. Hodnota musí být zadána v N, protože v programu Dynaform je nastaven standardní jednotkový systém: *mm, tuna, sekunda, Newton*).

Konec působení síly ("End Time") byl nastaven programem dle předchozího nastavení délky pohybu tažníku a jeho rychlosti a není třeba jej měnit, protože je požadováno, aby přidržovací síla působila po celou dobu tažení.

Jakmile jsou všechny tyto podmínky zadány, zvolí se **"OK"**. Po tomto zadání hodnot program Dynaform vyhodnotí a na pracovní ploše ukáže křivku – závislost působení přidržovací síly na čase (viz Obrázek 6.18). Zároveň s ní se objeví tabulka, kde uživatel může např. změnit umístění křivky, změnit zobrazení křivky a uložit ji jako *.cur. Kliknutím na **"OK"** se celá operace odsouhlasí, čímž je nastavena okrajová podmínka pro přidržovač.



Obrázek 6.18 – Křivka působení přidržovací síly v závislosti na čase

6.5 Kontrola nadefinovaného procesu tažení





Výklad

Nastavené nástroje a přístřih lze před spuštěním výpočtu zkontrolovat v nabídce **"Summary"** roletového menu **"Tools"** (viz Obrázek 6.19).

Tools	Option	Utilities
Analys	is Setup	
Define Tools		Ctrl+T
Position Tools		►
Draw E	Bead	Ctrl+D
Blank Generator		
Define Blank		Ctrl+B
Blank Operation		►
Material		
Proper		
Animate		
Tools On/off		
S <u>u</u> mmary		

Obrázek 6.19 – Cesta ke kontrole nadefinovaného procesu tažení

Objeví se seznam všech nadefinovaných nástrojů, kde se po kliknutí na vybranou část tažného nástroje zobrazí tabulka se všemi detaily nastavení, jako na Obrázek 6.20, kde je uveden příklad pro tažník.

💙 Summary of PUNCH		
Part information	— Model Information –	
No. of Parts: 1	No. of Elements	999
PUNCH 3	No. of Quad. Elements	957
	No. of Tri. Elements	42
	Min Element No.	7489
	Max Element No.	8487
	Min Node No.	6744
	Max Node No.	8747
	No.of Drawbeads	0
	— Tool Information —	
	Interface Type :	FORMING_ONE_WAY_S_S
	Travel Curve:	PUNTRV02
	Force Curve:	Not Defined
	OK	

Obrázek 6.20 – Tabulka s informacemi o nadefinované části tažného nástroje

Před spuštěním výpočtu je možné přehrát kontrolní animaci, zda části tažného nástroje pracují tak, jak mají. Kontrolní animaci lze najít pod nabídkou **"Animate"** v roletovém menu **"Tools"** (viz Obrázek 6.21).

Tools	Option	Utilities
Analys		
Define	Tools	Ctrl+T
Position Tools		•
Draw B	Bead	Ctrl+D
Blank Generator		
Define <u>B</u> lank		Ctrl+B
Blan <u>k</u> Operation		•
Material		
Property		
Animate		
Tools On/off		
S <u>u</u> mmary		

Obrázek 6.21 – Cesta ke kontrolní animaci pohybu částí tažného nástroje

V okně na Obrázek 6.22 může uživatel spustit kontrolní animaci tlačítkem **"Play"** a jezdcem regulovat počet zobrazených kroků za sekundu a tím rychlost animace.

💐 Define Ani	
Stop Time	0.04385237
5	
Total Frames	
Play	Cancel

Obrázek 6.22 – Okno pro spuštění a regulaci kontrolní animace pohybu částí tažného nástroje

Shrnutí pojmů 6.1

Okrajové podmínky procesu tažení – materiál přístřihu, tvar a rozměr přístřihu i nástrojů, dráha nástrojů, rychlost tažníku, přidržovací síla a koeficient tření. Výsledný výpočet musí dobře simulovat skutečný proces tažení plechů.

Přidržovací síla – síla, která působí na přidržovač, který přidržuje plech a zabraňuje tak jeho zvlnění.

Otázky 6.1

- 1. Jaký typ tažení byl zvolen v řešeném příkladu tažení válcového výtažku s přidržovačem?
- 2. Jakým příkazem se nastaví výchozí pozice částí tažného nástroje?
- 3. Mezi kterými částmi tažného nástroje je třeba změřit minimální vzdálenost a proč?
- 4. Jaké okrajové podmínky se musí do simulace procesu tažení nastavit?
- 5. Jak lze nastavený proces před spuštěním výpočtu zkontrolovat?



Úlohy k řešení 6.1

- 1. Dle pokynů v kap. 6.1 definujte základní parametry pro výpočet.
- 2. Definujte okrajové podmínky u tažnice s využitím postupu v kap. 6.2.
- 3. Definujte okrajové podmínky u tažníku dle postupu v kap. 6.3.
- 4. Vypočtěte přidržovací sílu a nzadejte ji do procesu tažení jako okrajovou podmínku pro přidržovač dle kap. 6.4.
- 5. Zkontrolujte nastavení všech nástrojů s využitím sumarizační tabulky i kontrolní animace dle pokynů v kap. 6.5.

CD-ROM

Šestou kapitolu si student může připomenout pomocí těchto animací:

Animace_6.1_Definování základních parametrů pro nastavení simulace

Animace_6.2_Definování okrajových podmínek všech nástrojů, kontrola

7 VYTVOŘENÍ SOUBORU POTŘEBNÉHO PRO VÝPOČET A SPUŠTĚNÍ VÝPOČTU

Pokud je nastaveno vše potřebné (viz předchozí kapitoly), je možné přistoupit k samotnému výpočtu. Vytvoření souboru nutného k výpočtu je popsáno v kap. 7.1, v kap. 7.2, je předveden postup nastavení a spuštění výpočtu v podprogramu LS-DYNA Jobs Submitter 2.2. Standardní cesta k programu LS-DYNA Jobs Submitter 2.2 po jeho instalaci je C:\Program Files\LS-DYNA Jobs Submitter 2.2 nebo přes zástupce na ploše.

7.1 Vytvoření souboru potřebného pro výpočet

Čas ke studiu: 30 minut



Cíl: Po prostudování této podkapitoly budete umět

vytvořit soubor potřebný pro výpočet v podprogramu LS-DYNA Jobs Submitter 2.2.



Výklad

Po kontrole správného nastavení pohybu nástrojů a dalších okrajových podmínek lze přistoupit k poslednímu kroku, který se provádí v programu Dynaform, což je vytvoření souboru typu ***.dyn**. Pro zobrazení okna, které umožní vytvoření potřebného souboru, se zvolí nabídka **"LS-DYNA"** v roletovém menu **"Analysis"** (viz Obrázek 7.1).

PostProcess	<u>H</u> elp	
LS-DYNA		
Mstep		
Output New <u>D</u> ynain File		
	PostProcess	

Obrázek 7.1 – Cesta ke spuštění okna potřebného pro vytvoření souboru typu *.dyn

Zobrazí se okno (viz Obrázek 7.2), kde se nastaví a zkontrolují defaultně nastavené parametry výpočtu.

Jako první se zvolí **"Analysis Type"**. V roletovém menu jsou na výběr dvě varianty, přičemž výběr typu výpočtu nemá vliv na výsledky, jen na styl řešení výpočtu:

- LS-Dyna Input File vytvoří soubor *.dyn, který se automaticky uloží do složky, kde se již nachází uložená databáze *.df. Soubor *.dyn se poté importuje do podprogramu Dynaformu, řešiče LS-DYNA Jobs Submitter 2.2, kde se spustí výpočet (viz 7.2). Výhodou je, že tímto způsobem lze do řešiče zadat více souborů za sebou a jakmile skončí první výpočet, začne se řešit druhý atd.
- **Full Run Dyna** přímo spustí výpočet, tzn. software Dynaform se automaticky přepne přímo do výpočtu v LS-DYNA Jobs Submitter 2.2.

🍣 Analysis 🗖 🗖 💌 🗙		
Analysis Type		
LS-Dyna Input File 💌		
Control Parameters		
FLD Parameters		
🗖 Gravity Load		
🗹 Dynain Output		
C Seamless		
Implicit Parameters		
Adaptive Mesh		
Adaptive Parameters		
Defined Tools Only		
File Vypocet_1.dyn		
🗖 Specify Job ID		
Job ID		
Specify Memory		
Memory(Mb) 64		
Title Vypocet_1		
Termination Time 0.043852		
DYNA Solver Precision		
Single Double		
OK Cancel		

Obrázek 7.2 – Okno pro vytvoření souboru typu *.dyn

V nabídce "Control Parameters" jsou již přednastaveny parametry výpočtu jako počet souběžných výpočtů, počet cyklů atd., tyto parametry není třeba měnit.

Nabídka "FLD Parameters" umožňuje uživateli zkontrolovat zadanou tloušťku materiálu a zadané materiálové parametry – průměrnou hodnotu exponentu deformačního zpevnění a průměrnou hodnotu součinitele plastické anizotropie plechu (viz Obrázek 7.3).

₹	
Thickness(mm):	1.000000E+000
FLD N(0.0-0.5):	2.130000E-001
FLD R:	1.762500E+000
FLD0:	3.813714E-001
OK Advanced	Default Reset Cancel

Obrázek 7.3 – Nabídka "FLD Parameters"

Dále jsou v okně (viz Obrázek 7.2) na výběr tři políčka k zaškrtnutí – "Gravity Load" (řešení se zatížením vlastní tíhou), "Dynain Output" (výstup ve formě *.dynain) a "Seamless" (řešení odpružení). V řešeném příkladu nebude při simulaci uvažováno zatížení vlastní tíhou, ani nebude řešeno odpružení výtažku, proto lze zvolit možnost "Dynain Output".

Zaškrtnutá nabídka **"Adaptive Mesh"** s tlačítkem **"Adaptive Parameters"** umožní nastavit podmínky přizpůsobení se sítě elementů během výpočtu. Adaptabilita sítě je potřebná pro přesnější výsledky simulace. Jak se polotovar deformuje, elementy v oblasti požadující jemnější sít elementů ke správnému zachycení geometrie polotovaru budou děleny. V těchto oblastech tedy budou vznikat menší a menší elementy. Do kolonky **"Level (MAXLVL)"** (viz Obrázek 7.4) se v řešeném příkladu nastaví hodnota 3, což znamená, že se element v případě potřeby rozdělí maximálně dvakrát.

CADAPTIVE CONTROL PARAMET	
TIMES(ENDTIM/ADPFREQ)	40
DEGREES(ADPTOL)	5.00000E+000
LEVEL(MAXLVL)	3
ADAPT MESH(ADPENE)	1.00000E+000
OK Advanced De	fault Reset Cancel

Obrázek 7.4 – Nabídka "Adaptive Parameters"

Na každé úrovni se velikost hrany elementu zmenší na polovinu – z jednoho čtvercového elementu tedy vzniknou 4 menší elementy (viz Obrázek 7.5). Nastavení vyšší úrovně přizpůsobení umožní získat přesnější výsledky, ale bude vyžadovat delší dobu řešení. V případě zadávání simulace tažení jednoduché součásti je úroveň 3 dostačující.





Pro dokončení operace se v okně (viz Obrázek 7.2) zvolí tlačítko **"OK"** a ve složce, kde je databáze uložena, se objeví nový soubor typu *.dyn, který se zadá do řešiče (viz 7.2).

7.2 Nastavení a spuštění výpočtu v podprogramu LS-DYNA Jobs Submitter 2.2

	Čas ke studiu: 30 minut
0	 Cíl: Po prostudování této podkapitoly budete umět orientovat se v prostředí podprogramu LS-DYNA Jobs Submitter 2.2, nastavit základní parametry výpočtu, spustit výpočet.

Výklad

Nejprve je nutno spustit podprogram Dynaformu – LS-DYNA Jobs Submitter 2.2, který je nainstalován společně s programem Dynaform. Objeví se okno (viz Obrázek 7.6), do kterého je třeba zadat cestu k souboru řešiče ls970.exe, který je taktéž nainstalován spolu se softwarem – krok (1). Výběr se provede tlačítkem na konci výběrového řádku. Podle toho, který řádek je zvolen, je zvolena přesnost výpočtu ("Single"/"Double"). V řešeném příkladě byla zvolena přesnost výpočtu jednoduchá – "Single". Je také možné změnit velikost využitelné paměti ("Memory") nebo ponechat nastavenou programem.

LS-DYNA Jobs Submitter 2.2						_ 0	x
LS-DYNA Location:				Control	Parameter		
Single Precision C:/Dynaform/Is970).exe			C Auto	Memor	ry: 1000	МВ
O Double Precision				Pause t	oetween iob	s: 5	Sac
	(1)]			000
			(3)	Submit	t Jobs	Reset J	obs
			(2)	RIK Dyn	×	€ 🗎	8
Precision File Name	In Folder	Size	Туре	MB	Sec	Status	
Single vypocet_1	C:/Dynaform/Příklad_1/Vypocet/	34K d	lyn 1	1000	5	Queued	
							_
•							▶

Obrázek 7.6 – Řešič LS-DYNA Jobs Submitter 2.2 s výpočtem nastaveným ve frontě

Druhým krokem (2) je vložení souboru *.dyn, který byl vytvořen v kap. 7.1. Výběr se provede tlačítkem **"Dyn"**, vybere se cesta, kde je soubor uložen a volba se potvrdí. Zadaný výpočet se ukáže v prvním řádku se statusem **"Queued"** – ve frontě.

Třetím krokem (3) je spuštění výpočtu tlačítkem **"Submit Jobs"**. Status u zadaného výpočtu se změní na **"Running"** (viz Obrázek 7.7). Zároveň řešič zobrazí konzoli ukazující stav řešení (viz Obrázek 7.8). Je dobré si všimnout, že byl stanoven předpokládaný čas dokončení řešení. Tato hodnota není přesná, protože je na modelu použito přizpůsobování mřížky. Adaptace sítě proběhne několikrát a rychlost řešení je tedy ovlivněna počtem elementů a rychlostí CPU. Přesto je tato hodnota pro orientaci dostačující.

LS-DYNA Jobs St	ubmitter 2.2							x
LS-DYNA Location	:				Control	Parameter		
Single Precision	C:/Dynaform/Is9	70.exe			- C Auto	Memo	ry: 1000	MB
© Double Precisio	n				Pause	b <mark>etween jo</mark> t	s: 5	Sec
					Submi	t Jobs	Reset	Jobs
					RIK Dyn	× 🗲	€ 🗎	8
Precision	File Name	In Folder	Size	Туре	MB	Sec	Status	3
Single 💌 vy	bocet_1	C:/Dynaform/Příklad_1/Vypocet/	34K	dyn	1000	5	Running	
								-

Obrázek 7.7 – Probíhající výpočet v okně LS-DYNA Jobs Submitter 2.2

LSDYNA - C:\Dynaform\PKLAD_~1\Vypocet\VY	POCE~1.DYN				x
eroded internal energy total energy total energy / initial energy energy ratio w/o eroded energy. global x velocity global y velocity global z velocity	0.00000E+(1.00000E+(1.00000E+(1.00000E+(0.00000E+(0.00000E+(0.00000E+(0.00000E+(90 90 90 90 90 90 90			*
number of shell elements that reached the minimum time step cpu time per zone cycle average cpu time per zone cycle average clock time per zone cycle	0 3180	0 nanosecond 0 nanosecond 12 nanosecond	s s s		H
estimated total cpu time estimated cpu time to complete estimated total clock time estimated clock time to complete	= = = 1019 = 1019	4 sec (0 sec (3 sec (0 sec (0 hrs 0 hrs 2 hrs 4 2 hrs 4	0 mins) 0 mins) 9 mins) 9 mins)	
added mass = 3.3291E-0 percentage increase = 3.0874E+0 1 t 0.0000E+00 dt 1.08E-06 1 t 0.0000E+00 dt 1.08E-06	3 3 flush i∕o J write d3plo	uffers t file			2

Obrázek 7.8 – Probíhající výpočet

Jakmile je výpočet proveden, konzole se zavře a v řešiči se status výpočtu změní na **"Finished"** (viz Obrázek 7.9). Je možné se podívat na průběh výpočtu tlačítkem **"Read Message File"**.

JS LS-DYNA Jobs Submitter 2.2						- 0	x
LS-DYNA Location:				Control	Parameter		
Single Precision C:/Dynaform/Is970	l.exe			- Auto	Memor	y: 1000	MB
© Double Precision				Pause	between job	s: 5	Sec
0 DYNA JOBS ARE TERMINATED ABNO	ORMALLY!						
1 DYNA JOBS ARE EXECUTED SUCCE	SSFULLY!			Submi	tJobs	Reset J	DDS
				R/K Dyn	×	€ 🗎	?
Precision File Name	In Folder	Size	Туре	MB	Sec	Status	
Single vypocet_1	C:/Dynaform/Příklad_1/Vypocet/	34K	dyn	1000	5	Finished	

Obrázek 7.9 – Okno řešiče LS-DYNA Jobs Submitter 2.2 s vypočítanou úlohou

Program LS-DYNA Jobs Submitter 2.2 lze nyní zavřít a přejít na zobrazení výsledků pomocí podprogramu Dynaformu ETA/Post-Processor 1.0, které je popsáno v následující kapitole.

Může nastat případ, kdy se výpočet sám přeruší před svým správným dokončením a u statusu úlohy se zobrazí červeně podbarvené **"Aborted"** – nezdařený proces. Znamená to, že se někde během výpočtu vyskytla chyba a tuto chybu je třeba najít. K tomu může být nápomocna volba **"Read Message File"**, kde má uživatel možnost se dočíst, proč se výpočet přerušil. Poté nezbývá, než se vrátit do programu Dynaform, chybu odstranit, znovu vytvořit nový soubor *.dyn a spustit výpočet.

Shrnutí pojmů 7.1

"Analysis Type" – typ analýzy, na výběr jsou dva typy: LS-Dyna Input File – vytvoří soubor *.dyn, který se automaticky uloží do složky, kde se již nachází uložená databáze *.df a Full Run Dyna – přímo spustí výpočet.

Adaptace sítě – "Adaptive Mesh" – síť elementů se během výpočtu přizpůsobuje a elementy jsou děleny na menší.



Otázky 7.1

- 1. Jaký typ analýzy byl v řešeném případu tažení válcového výtažku s přidržovačem zvolen?
- 2. Kde se nastavuje adaptace sítě a proč se tento úkon provádí?
- 3. Jaký je postup práce v podprogramu LS-DYNA Jobs Submitter 2.2?



- 1. Vytvořte soubor *.dyn dle pokynů v kap. 7.1.
- 2. Nastavte a poté spusťte výpočet dle kap. 7.2.



CD-ROM

Sedmou kapitolu si student může připomenout pomocí této animace:

Animace_7.1_Vytvoření souboru *.dyn a práce v programu LS-DYNA Jobs Submitter

8 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ NUMERICKÉ SIMULACE V PROGRAMU ETA/POST-PROCESSOR 1.0

Výpočet byl proveden a nyní je třeba vyhodnotit výsledky simulace. Standardní cesta k programu ETA/Post-Processor 1.0 po jeho instalaci je C:\Program Files\ETA/Post-Processor 1.0 nebo přes zástupce na ploše.

Program ETA/Post-Processor 1.0 umí číst a zpracovat data výsledků výpočtů a umožňuje uživateli rychlý náhled na výsledky v mnoha zobrazeních a v několika krocích simulace. V kap. 8.1 je popsáno uživatelské prostředí a funkce podprogramu Dynaformu ETA/Post-Processor 1.0, kapitola 8.2 ukazuje práci s výsledky simulace a je rozdělena na více podkapitol.

8.1 Uživatelské prostředí a funkce programu ETA/Post-Processor 1.0



4 definovat základní pojmy z oblasti uživatelského prostředí.

Výklad

8.1.1 Uživatelské prostředí programu ETA/Post-Processor 1.0

Uživatelské prostředí programu lze rozdělit na 6 částí: pracovní plocha, panel roletového menu, panel nástrojů, ovládací plocha, příkazový řádek a volby zobrazení výsledků (viz Obrázek 8.1).

Pracovní plocha

Zobrazuje modely a grafy výsledku simulace procesu plošného tváření.

Roletové menu

Obsahuje klasickou nabídku pro správu souborů, kde jsou k dispozici příkazy pro zobrazení výsledků simulace.

Panel nástrojů

Poskytuje uživateli jednoduchý přístup k nejvíce užívaným funkcím programu. Pokud se uživatel myší zastaví nad jednotlivými ikonami, zobrazí se mu jejich název, tedy stručný popis funkce ikony.

Ovládací plocha

Pokud uživatel vybere příkaz z roletového menu nebo panelu nástrojů, na této ploše se zobrazí odpovídající dialogové okno s příslušnými funkcemi zvoleného příkazu. Okna jednotlivých analýz budou vysvětlena v následujících podkapitolách.

Volby zobrazení

Tato skupina příkazů je vždy v průběhu zobrazení výsledků simulace přístupná a může být kdykoli využita pro změnu zobrazení modelů.

Příkazový řádek

Software zde zobrazuje aktuální komentáře a zprávy důležité pro uživatele.



Obrázek 8.1 – Uživatelské prostředí programu ETA/Post-Processor 1.0

8.1.2 Roletové menu v programu ETA/Post-Processor 1.0

Nabídky z roletového menu jsou seřazeny v logickém sledu dle postupu práce s výsledky simulace. Roletové menu obsahuje položky **"File"**, **"Edit"**, **"Tool"**, **"Option"** a **"Help"** (viz Obrázek 8.2). Každé z těchto menu se dále větví do mnoha dalších funkcí.

File Edit Tool Option Help

Obrázek 8.2 – Roletové menu v programu ETA/Post-Processor 1.0

Položka "File" je zaměřena na správu souborů, otevření, import a export dat, tisk.

"Edit" umožňuje uživateli upravovat modely nebo grafy, měnit pohledy a zobrazení modelů.

Nabídka "Tools" obsahuje nástroje k různým zobrazením modelů, sumarizaci informací a nástroje k zobrazení tras uzlů atd.

"**Option**" poskytuje možnost změn vzhledu pracovní plochy, např. zapnutí a vypnutí hlavních os, loga programu atd.

"Help" nabízí informace o verzi programu.

8.1.3 Panel nástrojů v programu ETA/Post-Processor 1.0

Panel nástrojů (viz Obrázek 8.3) poskytuje uživateli snadný přístup k nejvíce používaným základním funkcím programu. Lze jej rozdělit do několika tematických skupin, které jsou na Obrázek 8.3 označeny barevně a budou blíže popsány v následujících odstavcích.

Obrázek 8.3 – Panel nástrojů v programu ETA/Post-Processor 1.0

V červeném panelu se nacházejí funkce pro správu souborů, otevření výsledku simulace (**"Open"**) a tisk zobrazené plochy (**"Print"**).

První černě orámované tlačítko je funkce "Part On/Off", kdy se po jejím vybrání na ploše pro ovládání objeví seznam všech modelů, které jsou právě načteny. Uživatel může provést výběr kliknutím myši na jakýkoli název modelu a tím jej vypnout nebo znovu zapnout.

V zeleném panelu jsou funkce rotace zobrazeného modelu podle os X, Y a Z, a to buď dle globálního souřadného systému, nebo souřadného systému obrazovky.

Modrý panel nabízí funkci volné rotace, volného posunu a několik variant zoomu – prováděný kurzorem, oknem, volně zvolenou oblastí a výběr výřezu modelu tahem myši. Poslední ikonou je **"Fill Screen"**, model je zobrazen a vycentrován přes celou pracovní plochu, ať je jakkoli natočen.

Změnu pohledu na model lze provést zvolením některé z funkcí žlutého panelu.

Druhé **černě značené tlačítko** je funkce **"Clear"**, která vymaže zvýrazněné entity z obrazovky zobrazené následkem některých příkazů.

Fialový panel obsahuje tyto nástroje: identifikace uzlu a elementu – kliknutím na uzel/element se zobrazí jeho číslo nebo naopak lze dle čísla najít polohu uzlu/elementu na modelu. Dále je zde měření vzdálenosti mezi dvěma uzly, měření úhlu mezi třemi uzly a dvěma čarami a měření poloměru mezi třemi uzly.

Poslední, oranžový panel s hlavními postprocesorovými ikonami je zobrazen jen tehdy, pokud je otevřena databáze s výpočty. Je možné zobrazit deformování modelu, kontury mnoha ukazatelů (napětí, deformace atd.), vektory, načíst grafy.

Pokud je databáze s výpočtem otevřena, zobrazí se na ovládací ploše ještě další ikony, které jsou na Obrázek 8.4. Tyto příkazy umožňují zobrazit mnoho analýz provedeného výpočtu. Jsou zde zástupci pro zobrazení deformací v diagramu mezních deformací, zobrazení tloušťky a ztenčení materiálu, napětí, zobrazení deformační sítě na modelu výtažku a pohybu okraje příruby výtažku. Zobrazování výsledků výpočtu v mnoha analýzách se blíže věnuje kap. 8.2.



Obrázek 8.4 – Zástupci analýz pro zobrazování výsledků simulace v programu ETA/Post-Processor 1.0

8.1.4 Volba zobrazení modelu v programu ETA/Post-Processor 1.0

Nabídka (viz Obrázek 8.5) je umístěna v pravém dolním rohu otevřeného okna programu. Umožňuje uživateli měnit zobrazení modelu a pozadí.



Obrázek 8.5 – Volba zobrazení modelu v programu ETA/Post-Processor 1.0

"Shade" – model je vyplněn barvou a nasvícen kuželem světla, elementy nejsou zřetelné. Pokud se nabídka odškrtne, modely budou zobrazeny jen pomocí sítě elementů.

"Smooth Shade" – umožní vyhladit ostré obrysy elementů a hran na modelu. Nabídka je zpřístupněna, jen pokud je zatrhnuta nabídka "Shade".

"Gray Color" – zobrazí model v šedé barvě. Pokud je vybrán materiál modelu, bude model zobrazen v barvě tohoto materiálu.

"Fill Color" – zobrazí model celý vyplněný barvou bez nasvícení kuželem světla, takže hrany modelu splývají.

"Element Edge" – zviditelní elementy na modelu.

"Shrink" – umožňuje zobrazit elementy o velikosti redukované o 20 %. Toto zobrazení je výhodné pro lokalizování chybějících elementů v modelu

"Hidden Surface" – zapnutím funkce se model zobrazí jako síť elementů. Elementy, které jsou v pozadí, nebudou z předního pohledu viditelné a elementy v popředí ano.

"Plate Normal" – zvolením nabídky se zobrazí normály elementů na modelech.

"Background" – pokud je nabídka zaznačena, pozadí pracovní plochy se změní z černé na bílou barvu.

8.2 Práce s výsledky simulace v ETA/Post-Processoru 1.0



Čas ke studiu: 3 hodiny



Cíl: Po prostudování této podkapitoly budete umět

hačíst výsledky do programu ETA/Post-Processor 1.0 a provést základní úkony (základní přehrávání simulace, vypnutí nástrojů),

- + orientovat se v dostupných analýzách, dle kterých je možno výtažek hodnotit,
- použít všechny popsané analýzy a vyhodnotit dle nich konkrétní proces tažení výtažku.



8.2.1 Načtení výsledků a základní práce s nimi

Jakmile uživatel spustí program, začne výběrem položky roletového menu "File" a v ní nabídky "Open" nebo přes panel nástrojů první ikonou. Tento příkaz otevře okno pro vyhledání výsledků výpočtu a jejich načtení do programu (viz Obrázek 8.6).

Select File		
Look in	C:\Dynaform\Příklad_1\Vypocet\	Þ 🗈 💣
d3plot		
File Name:		Open
File Type:	LS-DYNA Post(d3plot, d3drlf ,dynain)	Cancel

Obrázek 8.6 – Okno pro vyhledání a načtení výsledků výpočtu

V kolonce **"Look in"** se nalezne cesta k výsledkům výpočtu, které se nacházejí v adresáři, kam byla prve ukládána databáze s přípravou simulace. Výsledky výpočtu existují ve dvou souborech – d3plot a dynain. Soubor **d3plot** obsahuje veškeré informace o průběhu simulace tažení, proces tažení je rozdělen do několika kroků, je možno prohlédnout každý zvlášť nebo přehrát celou simulaci procesu tažení. S výtažkem budou načteny i části tažného nástroje. Soubor **dynain** obsahuje informace o konečném stavu výtažku po procesu tažení, zobrazí se tedy jen konečný tvar výtažku na konci simulace tažení. Nelze prohlédnout průběh simulace a části tažného nástroje nebudou načteny.

Protože je pro uživatele výhodné vidět celý průběh simulace tažení plechu, do programu se načte soubor d3plot. Výsledek úspěšného načtení je na Obrázek 8.7, kde ve volbách zobrazení modelu vpravo dole byla zaškrtnuta volba **"Smooth Shade"**, aby se vyhladily ostré obrysy elementů.



Obrázek 8.7 – Úspěšné načtení výsledků simulace do programu ETA/Post-Processor 1.0

Vpravo na ploše určené pro ovládání a volbu analýz se objevilo okno přehrávače se všemi kroky simulace, kde je možno zobrazit každý krok zvlášť **"Single Frame"** (viz Obrázek 8.8 vlevo), nebo je možné kroky přehrát plynule za sebou jako animaci celého procesu tažení **"All Frames"** (viz Obrázek 8.8 vpravo). Na výběr jsou ještě další typy zobrazení kroků v animaci, např. pouze liché nebo sudé, výběr uživatelem a výběr v určitém rozsahu. Po spuštění animace lze na jezdci **"Frames/Second"** nastavit počet kroků za sekundu, neboli jak rychle bude animace probíhat. Běžící animaci může uživatel ovládat klasickými tlačítky přehrávače (Play, Pause, Stop, Record atd.).

Frames	Frames
Single Frame ∇ Reset	All Frames ∇ Reset
1 0.000000 2 0.003131 3 0.006263 4 0.009395 5 0.012527 ▼	1 0.000000 2 0.003131 3 0.006263 4 0.009395 5 0.012527 ▼
From 1 To 16 Inr 1	From 1 To 16 Inr 1
Frame Number 1 Frames/Second 25	Frame Number 1 Frames/Second 4



Pro sledování deformování výtažku je nutné vypnout zobrazení modelů částí tažného nástroje – tažníku, tažnice a přidržovače, tlačítkem **"Part On/Off"** umístěným na nástrojové liště.

V programu ETA/Post-Processor je celá řada analýz, podle kterých je možno výtažek hodnotit. Výsledky simulace jsou rozděleny dle použitých analýz do jednotlivých kapitol.

8.2.2 Analýza porušení výtažku v diagramu mezních deformací "FLD"

H Teorie diagramů mezních deformací

Napěťový stav je při tváření plechů zjednodušen na *rovinnou napjatost* a je charakterizován ukazatelem stavu napjatosti $m_{\sigma} = \sigma_2 / \sigma_1$.

Deformační stav je vyjádřen hlavními složkami deformace a při tažení se pohybuje od stavu tah-tlak po tah-tah.

- tah-tlak (+ -) stav charakteristický pro *hluboké tažení*, změna tloušťky materiálu je při tažení tenkých plechů zanedbávána,
- tah-tah (++) vypínání, dvě hlavní deformace jsou tahové a tloušťka stěny se zmenšuje (třetí hlavní deformace je záporná).

Schematicky zakreslená křivka mezních deformací v diagramu mezních deformací je na Obrázek 8.9 vlevo. Křivka vymezuje dvě hlavní oblasti diagramu, pod křivkou je oblast bezpečných deformací, nad křivkou se nachází oblast nepřípustných deformací (podle kritéria mezního stavu může jít o lokalizaci plastické deformace nebo porušení materiálu výtažku). Bezpečná Oblast bezpečných deformací obsahuje rozdílné deformační a napětové stavy (+ -) a (+ +).



Obrázek 8.9 – Schematická křivka mezních deformací s vyznačenými oblastmi (vlevo) a typické deformační stopy při plošném tváření (vpravo) [9]

Jednotlivé stavy napjatosti a deformace vyjadřují tzv. deformační stopu (cestu), tvořící v diagramu mezních deformací paprsky vycházející z počátku souřadnic (viz Obrázek 8.9 vpravo).

Faktory ovlivňující diagramy mezních deformací

- čím větší je tloušťka plechu, tím je diagram výše položen, poloha křivky mezních deformací závisí na tloušťce jen u ocelí s mezí kluzu nad 330 MPa,

- čím vyšší je exponent deformačního zpevnění n, tím je křivka mezních deformací výše položena,
- čím větší mez kluzu materiál má, tím níž je křivka mezních deformací v diagramu položena.

Řídicím mechanizmem porušení materiálu výtažku je nejčastěji ztráta stability procesu plastické deformace, na kterou v závěrečné fázi navazuje tvárný lom. V diagramech mezních deformací jsou jeho oblasti v jednotlivých kvadrantech charakteristické různými způsoby porušení (viz Obrázek 8.10).



Obrázek 8.10 – Diagram mezních deformací s různými charakteristickými způsoby porušení v jednotlivých kvadrantech [9]

Diagram mezních deformací v programu ETA/Post-Processor 1.0

Výběrem funkce se na ploše pro ovládání analýz objeví okno "FLD" (viz Obrázek 8.11) a na pracovní ploše se vedle modelu výtažku zobrazí prázdný diagram mezních deformací v souřadnicích hlavních logaritmických deformací počítaných ze smluvních napětí – typ křivky "Engineering" (viz Obrázek 8.12 vlevo).

FLD Op	FLD Operation				
MIDDL	ni Layer E	>	∇		
🗆 Unde	eform				
Elem	ent Res	ult			
FL	D Curve	Opti	on		
Ed	it FLD V	Vindo	w		
	List Va	lue			
FLD F	Reversed	d Ma	pping		
Frames)				
Single	Frame	∇	Reset		
1	0.0000	000			
2	0.0031	31			
	11 1111-1	63	_		
3	0.0062	005	_		
3 4 5	0.0082	95 97	•		
3 4 5	0.0082 0.0093 0.0125	95 527	▼ Inc 1		
3 4 5 From 1	0.0082 0.0093 0.0125 To 10	95 527	▼ Inr 1		
3 4 5 From 1	0.0082 0.0093 0.0125 To 10	50 595 527 6	▼ Inr 1		
3 4 5 From 1	0.0082 0.0093 0.0125 To 10	95 527 6 ■	▼ Inr 1		
3 4 5 From 1 N Frame 1	0.0082 0.0093 0.0125 To 10	395 527 6 ■	▼ Inr 1		
3 4 5 From 1 From 1 Frame 1 1 Frames	0.0082 0.0093 0.0125 To 10	895 527 6 ■	▼ Inr 1		

Obrázek 8.11 – Okno diagramu mezních deformací "FLD"



Obrázek 8.12 – Diagramy mezních deformací s typem křivky "Engineering" (vlevo) a "True" (vpravo)

Protože diagram mezních deformací může být zobrazen ještě s typem křivky počítané ze skutečného napětí – "True" (viz Obrázek 8.12 vpravo), je vhodné rozdíl mezi pojmy "Engineering" a "True" vysvětlit.

Vztah mezi napětím a deformací lze získat provedením tahové zkoušky. Po provedení zkoušky je možné vytvořit tahový diagram, zobrazující závislost mezi silou *F*, kterou je působeno na vzorek, a délkou Δl , o níž se vzorek prodlouží. Na Obrázek 8.13 je pracovní diagram, který se získá přepočtem dle známých vztahů pro napětí $\sigma = F/S_0$ a deformaci $\varepsilon = \Delta l/l_0$. Vzorek je však natahován a jeho průřez *S* se zmenšuje, čímž se mění i napětí. Proto se zavádí pojmy smluvní pracovní diagram ("Engineering") a skutečný pracovní diagram ("True").





"Engineering" křivka napětí – deformace (smluvní pracovní diagram) – napětí se po celé křivce vztahuje ke stále stejné počáteční hodnotě průřezu zkušební tyče S_0 .

"True" křivka napětí – deformace (skutečný pracovní diagram) – skutečné napětí počítá se zmenšujícím se průřezem zkušební tyče během tahové zkoušky. Určité tahové síle v daném okamžiku odpovídá okamžitý průřez zkušební tyče. Tento výpočet dává více přesné, skutečné výsledky.

Pokud uživatel vybere poslední krok ze seznamu kroků simulace, funkce "FLD" zobrazí finální model výtažku (viz Obrázek 8.14) v sedmi různých oblastech tvářitelnosti (Crack – prasklina, Risk of Crack – riziko vzniku praskliny, Severe Thinning – kritické ztenčení, Safe – bezpečná oblast, Insufficient Stretch – nepřetvořený materiál, Wrinkle Tendency – tendence ke vzniku vln, Wrinkle –vznik vln nebo zvrásnění). Oranžová (nebo žlutá, podle přísnosti pohledu) křivka mezních deformací vymezuje v diagramu dvě plochy, přípustné deformace se nacházejí pod křivkou a nepřípustné nad křivkou. Nad žlutou křivkou se nachází oblast nebezpečí tvorby prasklin a nad oranžovou křivkou se nachází jen červená oblast vzniku praskliny. Zcela bezpečná oblast je tedy vymezena žlutou a zelenou křivkou mezních deformací a nachází se mezi nimi. Oblasti se promítají do diagramu mezních deformací, kde osa X znázorňuje hlavní logaritmickou deformaci ve směru $2 - \varphi_2$ a osa Y hlavní logaritmickou deformaci ve směru $1 - \varphi_1$ (stejně jako u teorie, viz podkapitola výše).



Obrázek 8.14 – Analýza "FLD, True" a rozbor lisovatelnosti výtažku

Každý element výtažku se zobrazí v diagramu mezních deformací. U části plechu pod přidržovačem a na přechodovém poloměru lze předpokládat zvlnění výtažku. Na stěnách výtažku je tendence k tomuto jevu. Spodní poloměr je přetvářen bez problémů. Prasklina ani riziko praskliny se na výtažku neobjevují.

Tlačítko **"FLD Curve Option"** zobrazí nabídku (viz Obrázek 8.15), kde lze změnit typ křivky z **"True"** na **"Engineering"** a naopak. Změny se vždy potvrdí tlačítkem **"Apply"** a poté **"OK"**. Také se v tabulce nacházejí další možnosti, např. materiálové parametry, podle kterých je křivka mezních deformací definována, jaké meze jsou v diagramu mezních deformací nastaveny a jaké oblasti diagramu mezních deformací mají být zobrazeny.

FLD Curve and Opt	ion				
Define Curve	е Ву		Curve Type		
◆ n, r, t	n (0.0-0.5) 0.2	213	♦ True		
	r (0.0-5.0) 1.7	763	◆ Engineering		
	Thick. (mm) 1.0	000			
♦ File					
Parameters	s		Curve Filter		
	FLD0 (0.0-1.0) 0.3	381	Risk of crack		
Safety	Margin (0.0 ~ 0.5) 0.1	100	Servere thinning		
A	Nowable Thinning 0.3	3 00 F	Insufficient stretcl	n 📋	
E	Essential Thinning 0.0)20 F	Wrinkle tendency		
Allo	wable Thickening 0.0)10 p	Wrinkle		
Show Mode Line					
Reset		ОК	Cancel App	oly	

Obrázek 8.15 – Volby zobrazení diagramu mezních deformací

Změna typu křivky z **"True"** na **"Engineering"** je vidět na Obrázek 8.16. Objevuje se méně zvlnění a více oblasti s tendencí ke zvlnění, hodnocení je tedy mírnější.



Obrázek 8.16 – Analýza "FLD, Engineering" a rozbor lisovatelnosti výtažku

Tlačítko **"List Value"** (seznam hodnot) umožňuje uživateli zjistit hodnoty hlavních logaritmických deformací v určitých místech výtažku. Po kliknutí na tlačítko se objeví nabídka, jak bude výběr hodnot proveden (kurzorem, oknem, volný výběr atd.). Pokud je

zvolen výběr oknem, uživatel myší vybere okno, ve kterém chce zobrazit diagram mezních deformací. Na pracovní ploše se objeví tabulka s hodnotami hlavních logaritmických deformací v uzlech a je na výběr, zda uživatel chce zobrazit maximální nebo minimální hodnoty. Zároveň se vytipované uzly označí na výtažku a uživatel má tak přehled, kde se tato místa nacházejí.

8.2.3 Analýza tloušťky plechu "Thickness" a ztenčení plechu "Thinning"

Tyto dvě analýzy umožňují zobrazit hodnotu tloušťky nebo ztenčení plechu v průběhu i po procesu tažení. V okně, které se objeví po zvolení funkce **"Thickness"**, lze z roletového menu zvolit buď **"Thickness"** nebo **"Thinning"** (viz Obrázek 8.17).

Thickne	ess Op	eratio	n
<curre< td=""><td>nt Con</td><td>npone</td><td>nt></td></curre<>	nt Con	npone	nt>
THICK	VESS		∇
THICK	VESS		
THINNI	NG		
Elem	ent Re	esult	
С	ontour	Settir	ng
Exp	ort Cor	ntour I	Line
	List V	/alue	
Frames			
Single	Frame	∇	Reset
12	0.03	4451	
13	0.03	7583	
14	0.04	13847	
16	0.04	3850	•
		10	
From 1	То	16	Inr 1
From 1	To	16	Inr 1
From 1		16 ■	Inr 1
From 1	II II II Vumbe	16 ■ ■	Inr 1
From 1	II II II Vumbe	16 ■ ■ •r	Inr 1
From 1	To Ⅲ ◀Ⅱ Vumbe	16 	Inr 1
From 1	To III III Numbe	16 ■ r	16 25

Obrázek 8.17 – Okno analýzy tloušťky ("Thickness") a ztenčení ("Thinning")

Klasicky lze opět vybrat, zda se budou zobrazovat jednotlivé kroky nebo se spustí celá animace. Tu pak lze ovládat tlačítky přehrávače a jezdcem v dolní části okna měnit rychlost animace.

Kliknutím na poslední krok v seznamu kroků se zobrazí výtažek s analýzou tloušťky (viz Obrázek 8.18) nebo ztenčení (viz Obrázek 8.19). Vedle modelu se ukáže stupnice s hodnotami tloušťky a ztenčení. Z prvního obrázku lze vidět, že nejmenší tloušťku má materiál výtažku na spodním přechodovém poloměru, kde je její hodnota 0,909 mm.

Na druhém obrázku tomu odpovídá ztenčení – v oblasti přechodového poloměru se materiál ztenčil o 9,149 %.





V okně pro ovládání této analýzy se opět nachází důležité tlačítko **"List Value"** (seznam hodnot). Po kliknutí na toto tlačítko se zobrazí nabídka, jak chce uživatel hodnoty tloušťky/ztenčení vybrat – je možný výběr kurzorem, oknem, volný výběr atd. Pokud je zvolen výběr oknem, uživatel myší vybere okno, ve kterém chce znát hodnoty tloušťky materiálu (viz Obrázek 8.20).



Obrázek 8.20 – Vyznačené uzly v okně pro zjišťování hodnoty tloušťky materiálu

Na pracovní ploše se objeví tabulka s hodnotami tloušťky v uzlech a je na výběr, zda chce uživatel zobrazit hodnoty nejvyšší (modrá oblast u analýzy tloušťky, materiál je zde mírně napěchován) nebo nejnižší (červená oblast u analýzy tloušťky, materiál se zde ztenčuje) (viz Obrázek 8.21). Zároveň se vytipované uzly s nejvyšší/nejnižší hodnotou tloušťky označí na výtažku a uživatel má tak přehled, kde se tato místa nacházejí.

Index	NodelD	THICKNESS	Index	NodelD	THICKNESS
1	138	1.1491E+000	858	8943	9.1425E-001
2	139	1.1474E+000	859	8921	9.1422E-001
3	142	1.1464E+000	860	9771	9.1417E-001
4	137	1.1463E+000	861	8953	9.1397E-001
5	393	1.1438E+000	862	8946	9.1360E-001
6	143	1.1436E+000	863	9567	9.1343E-001
7	394	1.1424E+000	864	9698	9.1337E-001
8	136	1.1423E+000	865	8940	9.1138E-001
9	141	1.1423E+000	866	9551	9.1050E-001
10	140	1.1422E+000	867	8927	9.0965E-001

Obrázek 8.21 – Tabulky nejvyšších (vlevo) a nejnižších (vpravo) hodnot tloušťky materiálu výtažku

Stejný princip zobrazování hodnot lze využít i u analýzy ztenčení materiálu (**"Thinning"**) a dalších použitých analýz.

8.2.4 Analýza napětí "Stress" a deformací "Strain"

Analýzu napětí a deformací lze najít v nabídce "Contour". Po výběru ikony se objeví okno (viz Obrázek 8.22 vlevo) s širokou škálou možností analýz. Rozhodující je rozbalovací nabídka "Contour Operation", kde si uživatel zvolí, zda chce zobrazit analýzy napětí/deformace ("StressStrain") nebo posunutí ("Displacement"). Dle tohoto se přizpůsobí další nabídka – "Current Component" (viz Obrázek 8.22 vpravo), kde se u analýz napětí/deformace nachází mnoho ukazatelů (např. napětí ve všech osách, hlavní napětí ve směrech 1 a 2, hlavní logaritmické deformace ve směrech 1 a 2, smykové napětí, plastická deformace atd.).

Contour Operation		
StressStrain	StressStrain	
<current component=""></current>	Displacement	
<pre>Current Layer> INT(1) </pre>	SIGMA_XX SIGMA_YY SIGMA_ZZ SIGMA_XY	EPSON_XX EPSON_YY EPSON_ZZ EPSON_XY
Element Result	SIGMA_YZ	EPSON_YZ EPSON ZX
Contour Setting	PLATSTIC STN	ENERGY
Export Contour Line	BEND_MONMENT_MXX	MAX_VONMISES
List Value	BEND_MONMENT_MYY BEND_MONMENT_MXY	PRIN_STRESS1
Frames Single Frame	BEND_MONMENT_MXY SHEAR_RES_QXX SHEAR_RES_QYY NORMAL_RES_NXX NORMAL_RES_NYY NORMAL_RES_NXY THICKNESS	PRIN_STRESST PRIN_STRESS2 PRIN_STRESS3 MAX_SHEAR_STRESS PRIN_STRAIN1 PRIN_STRAIN2 THINNING NORM_STRAIN

Obrázek 8.22 – *Okno analýzy napětí "Stress" a deformací "Strain" (vlevo), kompletní nabídka analýz z roletových menu "Contour Operation" a "Current Component" (vpravo)*

Nabídka "**Current Layer**" je defaultně nastavena na (1) a není třeba ji měnit, protože toto nastavení ukazuje vždy střední hodnoty zobrazovaných veličin.

Zaškrtávací volba **"Undeform"** je možná téměř u každé z analýz. Funguje tak, že po zaškrtnutí zobrazí stav zobrazovaného kroku (např. výsledného) na nedeformovaném přístřihu.

Hlavní napětí ve směru 1 a 2

Pokud se v roletovém menu nastaví analýza "**Prin_Stress 1, 2"** a zvolí se poslední krok simulace, zobrazí se na pracovní ploše konečný tvar výtažku s číselnou stupnicí hlavního napětí ve směru 1 (viz Obrázek 8.23) a hlavního napětí ve směru 2 (viz Obrázek 8.24) v MPa.



Obrázek 8.23 – Hlavní napětí ve směru 1



Obrázek 8.24 – Hlavní napětí ve směru 2

Hlavní logaritmická deformace ve směru 1 a 2

Pokud se v roletovém menu nastaví analýza "**Prin_Strain 1, 2"** a zvolí se poslední krok simulace, zobrazí se na pracovní ploše konečný tvar výtažku s číselnou stupnicí hlavní logaritmické deformace ve směru 1 (viz Obrázek 8.25) a hlavní logaritmické deformace ve směru 2 (viz Obrázek 8.26).



Obrázek 8.25 – Hlavní logaritmická deformace ve směru 1



Obrázek 8.26 – Hlavní logaritmická deformace ve směru 2

Opět lze u analýz napětí i deformace využít stejný princip zobrazování hodnot pomocí tlačítka "List Value".

8.2.5 Metoda deformačních sítí pomocí funkce "Circular Grid" 🐼

Experiment

Deformační sítě se používají při analýze a popisu procesů plošného tváření, kdy je nutné znát stav napjatosti a deformací plechu v různých oblastech tvářené součásti. Také se metody využívá při experimentálním určování diagramů mezních deformací a při ověřování výsledků počítačové simulace. Je tedy nejrozšířenější metodou kvantitativního popisu toku materiálu – hodnocení probíhá dle mezních velikostí deformací.

Hodnocení s využitím deformačních sítí je založeno na předpokladu, že se tenký plech poruší v důsledku lokalizace deformace při rovinné napjatosti, která vzniká v místech největší deformace.

Princip

Na celý plech nebo jeho zkoumanou část se nanese vybranou metodou (mechanicky, leptáním, tištěním) deformační síť, nejčastěji typu s kružnicovými elementy (mohou být i čtvercové elementy, kombinovaná síť atd.). Pro vyšetření rozložení napětí a deformací se nejčastěji používají kružnicové elementy. Z hlediska vyhodnocení je výhodné, aby deformační síť z kružnic obsahovala i osy. Výhodou kružnicových elementů je to, že se deformují do elips, jejichž hlavní osy jsou totožné se směrem hlavních deformací.

Výsledky logaritmických deformací vypočítané z hodnot délek os deformovaných a nedeformovaných kružnic jsou vynášeny do diagramů mezních deformací a poté je deformační stav v hotovém výrobku srovnáván s povolenými mezemi deformace.
Vyhodnocení metodou deformačních sítí v softwaru ETA/Post-Processor 1.0

Funkce "**Circular Grid"** umožňuje uživateli sledovat deformaci elementů sítě v každém kroku simulace (pokud je v programu otevřen soubor d3plot). Aby bylo možné deformační síť zkoumat, je nutné zvolit a nastavit velikost deformačních elementů (kružnic) a vzdálenost těchto kružnic od sebe a poté síť aplikovat na model přístřihu (nebo v posledním kroku výtažku).

Po výběru funkce se objeví okno pro definování parametrů sítě (viz Obrázek 8.27). V tomto okně je možné nastavit rádius kružnic (**"Radius"**) a vzdálenost krajních bodů dvou kružnic (**"Offset"**). Oba parametry byly nastaveny defaultně programem, který tuto hodnotu stanovil dle velikosti elementů modelu. Pokud se provádí experiment na reálném výtažku, pro určitou vypovídací hodnotu musí být parametry sítě stejné jak při experimentálním tažení, tak při simulaci tažení pomocí softwaru.

CircularGrid Operation				
Radius	Radius			21
Offset			0.13	38
Defi	ne U-V	/ Dire	ction	1
	Select Circles			
Frames	;			
Single	Frame	∇	R	eset
1	0.00	0000		
2	0.003131			
3	0.006263			
4	0.00	9395		_
5	5 0.012527			
From 1 To 16 Inr 1				
	00			•
M	- 4∎	₽	M	
Frame Number				
1				
Frames/Second				
25				
1				

Obrázek 8.27 – Okno pro definování parametrů funkce "Circular Grid"

Tlačítko **"Define U-V Direction"** umožňuje uživateli nastavit směr, ve kterém budou kružnice naneseny na model, nebo je možné ponechat přednastavený směr.

Pokud po nastavení parametrů sítě uživatel klikne na krok 1 v seznamu kroků, deformační síť se nanese na model v prvním kroku simulace – na nedeformovaný přístřih (viz Obrázek 8.28).



Obrázek 8.28 – *Deformační síť nanesená na model přístřihu (v animaci krok 1)*

Nyní je možné podívat se na všechny kroky simulace nebo se přepnout na poslední krok – na hotový výtažek (viz Obrázek 8.29).



Obrázek 8.29 – Deformační síť na výtažku

Jednotlivé elementy lze označit kurzorem ("Select Circles"). Zobrazí se číslo kruhového elementu a v příkazovém řádku se ukážou hodnoty hlavní (MAJOR) a vedlejší (MINOR) poměrné délkové deformace v procentech (viz Obrázek 8.30).

-< 898 > < MINOR >=-37.4431 (%) > < MAJOR >=47.2919 (%) >

Obrázek 8.30 – Výstup analýzy "Circular Grid" z programu ETA/Post-Processor 1.0

Tímto lze v jakémkoli místě výtažku zjistit stav napjatosti popsaný hlavní a vedlejší poměrnou délkovou deformací. Je to výhodné zejména v kritických oblastech výtažků, kde dochází k porušení materiálu.

8.2.6 Analýza pohybu okraje přístřihu "Edge Movement" 😭

Pohyb přístřihu v tvářecích nástrojích při probíhajícím procesu tažení je důležitým faktorem, kterým lze tento proces popsat. K tomuto byla použita analýza pohybu okraje přístřihu (**"Edge Movement"**), která umožňuje zjistit, jakou vzdálenost urazí okraj přístřihu nebo jen jeho vybraná část za dobu celého procesu tažení v určitém místě přístřihu a jakou má okraj dráhu. Obrázek 8.31 ukazuje okno, které se zobrazí po výběru funkce.

Edge Movement Operation				
Delta X			0.0)
Delta Y			0.0)
Delta Z			0.0)
Reference Frame				
⊠ X	⊠ Y	·		Z
Co	ntour	Sett	ing	
	List V	/alue		
Frames				
Single F	rame	7	7 1	Reset
12	0.03	3445 [.]	1	
13	0.03	3758	3	
14	0.04	071	5	- 11
15	0.04	384	7	
16	0.04	385	0	_
From 1	То	16	In	r 1
	00			•
M				M
Frame Number				
16				
Frames/Second				
25				
[]				

Obrázek 8.31 – Okno analýzy pohybu okraje přístřihu "Edge Movement"

Tři položky **"Delta X"**, **"Delta Y"** a **"Delta Z"** umožňují uživateli specifikovat odchylku nově specifikované referenční hraniční čáry od počáteční hraniční čáry referenčního

kroku podél os X, Y, Z. Jezdec **"Reference Frame"** nastaví, jaký krok ze simulace bude brán jako referenční, od kterého se počítá posunutí okraje přístřihu (zvolen krok 1 - počátek simulace).

Dále lze v zašrktávacích volbách zvolit, v jakých osách bude posunutí okraje zobrazeno (jsou zaznačeny osy X a Y, v ose Z se okraj přístřihu neposouvá). Pokud se v seznamu kroků simulace vybere poslední krok, zobrazí se na pracovní ploše konečný tvar výtažku se zobrazením pohybu okraje přístřihu (viz Obrázek 8.32). Zároveň je zobrazena i číselná osa s barevným značením, podle kterého lze určit, ve kterých místech se přístřih posunul a o jakou hodnotu.

V "Contour Setting" se může nastavit maximum a minimum zobrazovaného rozsahu vzdálenosti, o kterou se přístřih posune.



Obrázek 8.32 – Pohyb okraje přístřihu výtažku v posledním kroku simulace

Vzdálenost, kterou okraj materiálu urazí, se v tomto konkrétním případě pohybuje v rozmezí (8,746 ÷ 10,621) mm. K nejmenšímu vtahování dochází v místech, kde se na výtažku tvoří cípy. V nabídce **"List Value"** je možné vybrat (opět více způsoby – kurzorem, oknem atd.) jednotlivá místa, která jsou zajímavá a tímto si určit konkrétní hodnotu v tomto místě. Princip je stejný jako při určování tloušťky, opět se objeví tabulka s nejvyššími a nejnižšími hodnotami posunutí a uzly, pro které jsou hodnoty zobrazeny, se vyznačí na pracovní ploše.

Shrnutí pojmů 8.1

Diagram mezních deformací a analýza "FLD" (Forming limit diagram) – diagram mezních deformací zobrazuje rozložení deformací ve výtažku. Křivka mezních deformací vymezuje dvě hlavní oblasti diagramu, pod křivkou je oblast bezpečných deformací, nad křivkou se nachází oblast nepovolených deformací. Bezpečná oblast obsahuje různé deformační a napětové stavy (+ -) a (+ +). V programu ETA/Post-Processor se zobrazí pomocí analýzy "FLD".

Analýza tloušťky "Thickness" a ztenčení materiálu "Thinning" – analýzou lze zjistit tloušťku a ztenčení materiálu v jakémkoli kroku tažení materiálu.

Analýza napětí "Stress" a deformací "Strain" – zobrazí libovolné napětí či deformaci z široké nabídky funkce "Contour".

Metoda deformačních sítí a analýza "Circular Grid" – metoda deformačních sítí se používá při analýze a popisu procesů plošného tváření, kdy je nutné znát stav napjatosti a deformací plechu v různých oblastech tvářené součásti. Také se metody využívá při experimentálním určování diagramů mezních deformací. Je metodou kvantitativního popisu toku materiálu – hodnocení probíhá dle mezních velikostí deformací.

Analýza "Edge Movement" – analýza umožní zjistit pohyb přístřihu v tvářecích nástrojích při probíhajícím procesu tažení. Graficky znázorní, jakou vzdálenost urazí okraj přístřihu nebo jen jeho vybraná část za dobu celého procesu tažení v určitém místě přístřihu a jakou má pohyb okraje dráhu.



Otázky 8.1

- 1. V jakých dvou tvarech lze načíst výsledky simulace a jaký je mezi nimi rozdíl?
- 2. Jaké byly pro řešený válcový výtažek použity analýzy?
- 3. Co je to diagram mezních deformací a jak jej lze určit pomocí softwaru?
- 4. Která oblast v diagramu mezních deformací se týká hlubokého tažení?
- 5. Lze zjistit hodnotu tloušťky nebo ztenčení ve vybraných místech výtažku?
- 6. Kterou funkcí lze zjistit rozložení napětí a deformací ve výtažku?
- 7. K čemu slouží funkce "Circular Grid"?
- 8. K čemu slouží funkce "Edge Movement"?



Úlohy k řešení 8.1

- 1. Importujte výsledky výpočtu do programu ETA/Post-Processor 1.0 a vyzkoušejte si popsané funkce v kap. 8.1.
- 2. Proveď te základní animaci deformování plechu dle pokynů v kap. 8.2.1.

- 3. Zobrazte pro řešený válcový výtažek analýzu využívající diagramu mezních deformací "FLD" dle kap. 8.2.2.
- 4. Zobrazte pro řešený válcový výtažek analýzu tloušťky "Thickness" a ztenčení materiálu "Thinning" dle kap. 8.2.3.
- 5. Zobrazte pro řešený válcový výtažek analýzu napětí "Stress" a deformace "Strain" dle kap. 8.2.4.
- 6. Zobrazte pro řešený válcový výtažek analýzu metody deformačních sítí "Circular Grid" dle kap. 8.2.5.
- 7. Zobrazte pro řešený válcový výtažek analýzu pohybu okraje přístřihu "Edge Movement" dle kap. 8.2.6.

• CD-ROM

Osmou kapitolu si student může zobrazit pomocí těchto animací:

Animace_8.1_Uživatelské prostředí programu ETA Post-Processor

Animace_8.2_Práce s výsledky, využití analýz

Animace_8.3_Sestava nástrojů a přístřihu

Animace_8.4_Deformování přístřihu

Animace_8.5_Analýza FLD

Animace_8.6_Analýza Thickness

Animace_8.7_Analýza Thinning

Animace_8.8_ Analýza Stress1

Animace_8.9_ Analýza Stress2

Animace_8.10_ Analýza Strain1

Animace_8.11_ Analýza Strain2

Animace_8.12_ Analýza Circular Grid

Animace_8.13_ Analýza Edge Movement

9 POUŽITÍ BRZDICÍCH ŽEBER PŘI TAŽENÍ VÝTAŽKŮ NEPRAVIDELNÝCH TVARŮ

Výtažek levého krytu ventilátoru (Obrázek 9.1), zvolený pro demonstrování nastavení brzdicích žeber do výpočtu, patří mezi nesymetrické výtažky složitého tvaru. Podmínky tváření jsou při tažení takových výtažků složité. Plocha polotovaru pod přidržovačem je často malá v porovnání s celkovou plochou výtažku. Plastická deformace probíhá v celé ploše tvářeného polotovaru. Pracovní části tažníku, tažnice a přidržovače jsou často složité, zakřivené plochy. Tažení výtažků nepravidelných tvarů je tedy mnohem obtížnější než výtažků pravidelných. U výtažků nepravidelných tvarů dochází při tažení k nechtěným jevům, jako je ztráta stability procesu plastické deformace v důsledku současné přítomnosti různých nerovnoměrných a nestejnorodých napjatostí v tvářeném materiálu.



Obrázek 9.1 – Levý kryt ventilátoru nákladního vozu TATRA (foto prof. Čada)

U výtažků složitého tvaru je často nutné pro rovnoměrné tvarování a tuhost výtažku usilovat o místní přibrzdění plechu. Různou intenzitu brzdění lze získat různými technologickými zásahy, které umožňují změnit podmínky vtahování tvářeného plechu do prostoru tažnice. Lze celkově nebo místně zvýšit přidržovací tlak nebo zvětšit plochu tvářeného materiálu pod přidržovačem. Jednou z možností je také použití brzdicích žeber zvolených rozměrů, tvarů, počtu a způsobu rozmístění v oblasti přidržovače po obvodu výtažku.

Způsob brzdění brzdicími žebry patří mezi nejúčinnější způsoby, jak lze regulovat brzdění a v potřebném rozsahu zvyšovat tahová napětí. Brzdicí žebro je vlastně výstupek vytvořený pod přidržovačem za účelem přibrzdění tvářeného materiálu a umisťuje se pouze v místech, kde je žádoucí zvýšení intenzity brzdění plechu. Na rozdíl od toho brzdicí lišta je umístěna po celém obvodu tažnice bez přerušení, a protože bývá umístěna na tažné hraně, bývá někdy zařazována mezi tvarové úpravy tažné hrany.

Použití brzdicích žeber umožňuje:

- zvětšit sevření příruby tvářeného polotovaru a tím zvýšit přibrzdění toku materiálu během tažení,
- zvýšit přípustné rozmezí tlaku přidržovače,
- usměrnit přemisťování tvářeného polotovaru v rozích a v rovných částech tažnice,

- záměrně zvětšovat přibrzdění přemisťovaného materiálu na jednotlivých místech pomocí více brzdicích žeber,
- v některých případech snížit potřebnou jakost obrobení povrchu tažnice i přidržovače tažného nástroje,
- stabilizovat tažení velkých nepravidelných výtažků a odstranit tvoření vln,
- snížení opotřebení nástrojů (přidržovače a tažnice).

Pro tvarový výtažek bude vhodné použít brzdicí žebro v rovinné části výtažku, kde se materiál přemisťuje největší rychlostí.

9.1 Tvary, rozměry a umístění brzdicích žeber

Čas ke studiu: 1 hodina

Cíl: Po prostudování této podkapitoly budete umět

- 4 vyjmenovat parametry, na kterých závisí intenzita brzdění,
- 🐇 zvolit vhodný typ brzdicího žebra.

Výklad

Počet a rozložení brzdicích žeber se při konstrukci nástrojů obvykle stanoví odhadem a poté podle výsledků dodatečně upraví. Musí být také rozhodnuto, zda bude žebro umístěno ve spodní části tažidla (v tažnici) nebo ve vrchní části tažidla (v přidržovači). Vrchní nebo spodní uložení brzdicích žeber nemá podstatný vliv na intenzitu přibrzdění. Obvykle se dává přednost umístění v přidržovači, protože takové umístění zjednodušuje slícování žebra se zaoblenými drážkami v tažnici, ulehčuje seřízení nástroje a zaručuje větší trvanlivost žeber. V tažnici se pak pro brzdicí žebro vytvoří odpovídající drážka.

Vhodné umístění žeber v přidržovači je otázkou zkušeností. Literatura uvádí vzdálenost 20 mm až 30 mm od tažné hrany tažnice, v případě většího počtu brzdicích žeber za sebou se zachovává vzdálenost 25 mm až 35 mm [16]. Optimální umístění žeber je v rovinné části obrysu tažné hrany. Ukončení žeber se doporučuje provést 10° až 15° před počátkem zaoblení rohu [16].

Aby byl účinek použití žeber co nejefektivnější, je nutné najít jejich nejvhodnější geometrický profil a rozměr. Intenzitu brzdění plechu ovlivňují následující parametry:

- poloměr zaoblení samotného žebra, také zaoblení mezi svislou stěnou žebra a tažnicí,
- celkový úhel opásání (zaoblení žebra, rádius mezi svislou stěnou tažnice a žebrem, zaoblení tažné hrany), to vše v závislosti na výšce žebra,
- tloušťka a mechanické vlastnosti taženého materiálu,
- množství brzdicích žeber.

Při nevhodné volbě geometrie profilu (poloměr zaoblení, výška apod.) a umístění žebra se lisovatelnost výtažku nápadně zhoršuje, což je způsobeno zvětšením radiálních tahových napětí, které způsobí trhání plechu v blízkosti tažné hrany.

Brzdicí žebro nesmí být příliš vysoké, aby se kov deformací zastudena nadměrně nezpevňoval. Vysoké žebro také může způsobit při vtlačování do plochého přístřihu zvlnění materiálu, které se následně nedá odstranit. Je tedy výhodnější použít několik nízkých brzdicích žeber za sebou než jedno vysoké.

Brzdicí žebra bývají široká 5 mm až 10 mm a 1,2 mm až 5 mm vysoká, podle velikosti a tvaru výtažku a tloušťky taženého plechu [17]. Brzdicí žebro, jeho tvar a jeho rozměry, doporučované AZ Škoda Mladá Boleslav [18] je znázorněno na Obrázek 9.2 vlevo.

V některých tažidlech se používají pravoúhlá brzdicí žebra. Sevřením příruby tvářeného polotovaru pravoúhlým brzdicím žebrem vznikají v materiálu tahová napětí. V tomto případě se snižuje tahová napjatost výchozího materiálu pod přidržovačem, která je však menší než při obvyklých podmínkách tažení při použití brzdicích žeber zaobleného tvaru. Použitím pravoúhlých brzdicích žeber po celém obvodu výtažku (brzdicí lišta) se dá dosáhnout rovnoměrného tahového napětí, a tím zvýšení jakosti výtažku. V důsledku větší brzdicí intenzity pravoúhlých brzdicích žeber mají lisované součásti minimální technologické přídavky, malé pružné deformace a zvýšenou jakost povrchu. Intenzita přibrzdění taženého materiálu brzdicími žebry pravoúhlého průřezu závisí na poloměru zaoblení těchto brzdicích žeber, výšce a počtu žeber. Se zmenšujícím se poloměrem zaoblení a vzrůstajícím počtem žeber se intenzita přibrzdění tvářeného materiálu zvyšuje. Brzdicí žebro pravoúhlého tvaru, doporučované AZ Škoda Mladá Boleslav [18] je znázorněno na Obrázek 9.2 vpravo.



Obrázek 9.2 – Brzdicí žebro doporučované AZ Škoda Mladá Boleslav (vlevo), brzdicí žebro pravoúhlého tvaru doporučované AZ Škoda Mladá Boleslav

Důležitou vlastností brzdicích žeber je odolnost proti otěru, která ovlivňuje možnost zadírání plechu při tažení. Je nutné zvolit správný materiál brzdicího žebra a správnou povrchovou úpravu. Obvyklým materiálem pro výrobu žeber je konstrukční uhlíková ocel 11 600. Na povrch žebra bývá nanesena vrstva tvrdochromu nebo je povrch nitridován.

V literatuře jsou uvedena různá doporučení týkající se geometrie brzdicích žeber. Volba geometrie i umístění žebra však stále závisí na zkušenostech a na konkrétním výtažku. Vhodné zvolení umístění, délky a geometrie brzdicího žebra je otázkou mnoha pokusů a ne vždy se podaří najít správné řešení pro daný výtažek. Levý kryt ventilátoru je tvarově složitá součást a tažení výtažků nepravidelných tvarů je mnohem obtížnější než výtažků pravidelných. Využití softwaru a počítačových simulací v předvýrobní etapě je proto velmi výhodné. Lze nastavit a vyzkoušet různé tvary a geometrie brzdicích žeber, aniž by se musel zhotovit drahý prototyp nástrojů, který je pro firmu finančně náročný.

9.2 Definování brzdicího žebra pro simulaci procesu tažení výtažku

	Čas ke studiu: 1 hodina
0	 Cíl: Po prostudování této podkapitoly budete umět ♣ orientovat se v příkazech pro definování brzdicího žebra, ♣ správně nastavit brzdicí žebro do výpočtu v programu Dynaform.



Příprava simulace se provede naprosto stejnými kroky jako příprava simulace procesu tažení válcového výtažku (viz 2 až 6). Může proběhnout i samotný výpočet jako v kap. 7 a po něm si lze prohlédnout výsledky pomocí různých analýz jako v kap. 8. Pak je možné se vrátit do programu Dynaform a v roletovém menu **"Tools"** zvolit nabídku **"Draw Bead"** (viz Obrázek 9.3).

<u>T</u> ools	Option	Utilities
Analys		
Define	Ctrl+T	
Po <u>s</u> ition Tools		►
Draw Bead		Ctrl+D
B <u>la</u> nk (,	
Define <u>B</u> lank		Ctrl+B
Blan <u>k</u> Operation		►
Material		
<u>P</u> roperty		
Animate		
Tools On/o <u>ff</u>		
Summary		

Obrázek 9.3 – Cesta k nastavení brzdicího žebra do výpočtu

Objeví se tabulka (viz Obrázek 9.4). Žádné žebro zatím není v databázi definováno, proto práce na novém žebru začne použitím tlačítka "New" (1).

	🗧 Drawbead 🗖 🗖 💌 🗙			
	♦ Draw Bead On			
	Drawbead Color			
	♦ Drawbead Box On			
	Box Size 200.00			
	Show Box			
(1)	New Delete			
	Lock Drawbead on Part			
	Edit Drawbead property			
	Assign Property			
(2)	Drawbead Force			
	ок			

Obrázek 9.4 – Základní okno pro nastavení brzdicího žebra do výpočtu

Tabulka s názvem **"Draw Bead Properties"** (viz Obrázek 9.5 vlevo) umožňuje vybrat jméno a barvu brzdicího žebra. Tlačítko **"New"** (a také **"Modify"**, pokud se uživatel opětovně vrací do nabídky) umožňuje zvolit vlastnosti brzdicího žebra (viz Obrázek 9.5 vpravo). Vlastnosti byly navoleny softwarem Dynaform, a protože jsou vyhovující, nebyly při řešení příkladu měněny. Pouze položka **"Draw Bead Depth"** byla změněna na 5 mm – jedná se o hloubku brzdicího žebra, kterou uživatel zpravidla volí sám.

📚 Drawbead 🗖 🗖 💌 🗙	CRAW BEAD PROPERTIES	
	SECTION TITLE	drwb_pro
Name drwb pro	STATIC FRICTION COEF.	1.000000E-001
	DYNAMIC FRICTION COEF.	0.000000E+000
BELYTSCHKO-TSAY	BENDING LOAD CURVE ID	7
Color	DRAW BEAD DEPTH	5000000E+000
	BENDING CURVE SCALE	1.000000E+000
Property	VISCOUS DAMPING COEF.	2.000000E+001
drwb pro	SLAVE PENALTY SCALE	1.000000E+000
	MASTER PENALTY SCALE	1.000000E+000
	PRINT SLAVE FORCES	0
	PRINT MASTER FORCES	0
	NORMAL LOAD CURVE ID	0
	DRAW BEAD BIRTH TIME	0.000000E+000
New Modify Delete	DRAW BEAD DEATH TIME	1.000000E+020
	INTEGRATION POINTS	150
UN	OK Degular D	efault Deset Cancel

Obrázek 9.5 – Okno pro volbu parametrů brzdicího žebra (vlevo), jednotlivé parametry brzdicího žebra (vpravo)

Po potvrzení těchto prvotních parametrů lze přistoupit k výběru žebra přímo na modelu části tažného nástroje. Pro daný výtažek bylo zvoleno, že se brzdicí žebro bude nacházet ve vrchní části tažidla – v přidržovači a bude umístěno do oblasti, kde probíhá vtahování materiálu největší rychlostí a je nutné jej brzdit, tedy do rovinné části výtažku. Umístění žebra je definováno čarou, kterou lze na model přidržovače umístit buď v programu CATIA V5 a importovat spolu s modelem, nebo čáru zhotovit přímo v programu Dynaform (v roletovém menu **"Preprocess"**, nabídka **"Line/Point"** a **"Create"**). Tato čára poté představuje podélnou osu brzdicího žebra a určuje jeho délku a vzdálenost od vnitřního okraje přidržovače (viz Obrázek 9.6).

Výběr žebra lze provést buď pomocí předdefinované čáry (**"line"**) nebo pomocí bodů a uzlů (**"point/node"**). Pomocí uzlů není na modelu nutné mít umístěnou čáru, ovšem délka žebra a jeho umístění jsou spojeny jen s uzly výpočtové sítě (není možné provést výběr mimo uzel sítě). Jakmile se jednou z nabídek vybere předem připravená čára a výběr se potvrdí (**"OK"**), vybraná oblast bude označena takovou barvou, jaká byla zvolena na počátku. Vybrané brzdicí žebro pak vypadá jako na Obrázek 9.6.



Obrázek 9.6 – Brzdicí žebro na výpočtové síti modelu přidržovače

Zbývá zvolit geometrii brzdicího žebra. Správná volba geometrie je velmi důležitý, ale také velmi obtížný úkon, který je otázkou mnoha pokusů. Většinou se nepodaří napoprvé najít takové žebro, které by bylo vhodné pro brzdění výtažku. Musí být provedeno mnoho výpočtů a analýz, z nichž pak bude vybráno optimální brzdicí žebro pro daný výtažek.

Zvolením nabídky "Drawbead Force" v základním okně pro výběr brzdicího žebra (viz Obrázek 9.4, krok 2) je možné dále vybrat volbu "Auto Load Curve", kde se pak v tabulce "Draw Bead Force Prediction" (viz Obrázek 9.7) volí typ a parametry brzdicího žebra ("Draw Bead Type and Parameters"), parametry plechu ("Sheet Parameters"), materiálové parametry ("Material Parameters") a další upřesňující parametry ("Miscellaneous Parameters").



Obrázek 9.7 – Geometrie brzdicího žebra a další parametry

Na výběr jsou tři typy tvaru brzdicích žeber, a to obdélníkové ("Rectangular"), půlkruhové ("Semi-circular") a hrana ("Edge"). Po změně typu se změní i náhled v grafickém okně se zakótovanými geometrickými parametry žebra. U každého parametru žebra je okénko s předvolenou hodnotou, kterou lze změnit dle svého návrhu. Pro ukázkový výpočet byl zvolen obdélníkový tvar brzdicího žebra.

Do parametrů plechu ("Sheet Parameters") je nutno uvést tloušťku plechu a rychlost tažení, která byla zvolena dle doporučení odborné literatury 0,5 m·s⁻¹. Tato rychlost je vhodná pro menší lisy. Materiálové parametry ("Material Parameters") pro materiál DC04 zůstávají stejné jako u předchozí volby materiálu. Další upřesňující parametry ("Miscellaneous Parameters") jsou jsou přednastaveny programem Dynaform a mohou být ponechány.

Jakmile se zadávání parametrů brzdicího žebra potřebných pro výpočet ukončí tlačítkem "OK", je žebro zadáno do simulace procesu tažení. Jeho zařazení do výpočtu lze zkontrolovat v roletovém menu "Tools" \rightarrow "Summary" a z nabídky všech částí tažného

nástroje zvolit část BINDER. Počet brzdicích žeber na přidržovači ("No. Of Drawbeads") je 1.

Dále se postupuje jako při simulaci procesu tažení bez brzdicího žebra. Uložená data s příponou *.df jsou zpracována v řešiči LS-DYNA Jobs Submitter 2.2 a pro zobrazení výsledků simulace se použije program ETA/Post-Processor 1.0, kde je možné přehrát simulaci celého procesu tažení nebo se podívat na jednotlivé kroky simulace (viz 9.3).

9.3 Výsledky simulace procesu tažení výtažku s brzdicím žebrem



4 provést potřebné analýzy na výtažku taženém s použitím brzdicího žebra.



Výklad

Výsledek simulace tažení výtažku bez použití brzdicího žebra je na Obrázek 9.8, výtažek tažený při použití brzdicího žebra je na Obrázek 9.9. Pro možnost srovnání je zobrazena analýza tloušťky výtažku. Výsledek tažení výtažku s brzdicím žebrem je nevyhovující, v rovinné části výtažku se vlivem působení brzdicího žebra tvoří velká prasklina, která se u varianty bez brzdicího žebra nevyskytuje.



Obrázek 9.8 – Analýza tloušťky výtažku taženého bez použití brzdicího žebra

Pokud uživatel zjistí skutečnost, že zvolené brzdicí žebro není pro tažení výtažku vhodné, je nutné znovu otevřít databázi v programu Dynaform a změnit parametry brzdicího žebra, popř. změnit jeho délku či umístění na modelu příslušné části tažného nástroje. Jak se mohou takové změny projevit je patrné z Obrázek 9.10, kdy byla zmenšena délka žebra při zachování ostatních parametrů.



Obrázek 9.9 – Analýza tloušťky výtažku taženého při použití delšího brzdicího žebra



Obrázek 9.10 - Analýza tloušťky výtažku při použití kratšího brzdicího žebra

Z počítačové simulace je zřejmé, že výsledky se při použití různě navržených brzdicích žeber mohou velmi lišit. Je proto nutné vyzkoušet několik variant žeber, měnit jejich geometrii, délku a umístění. Existuje tedy mnoho cest k finálnímu navržení brzdicího žebra.



Řešený příklad

Definování brzdicího žebra do výpočtu. Student si na jednoduchém modelu válcového výtažku vyzkouší zadání brzdicího žebra podle pokynů v kap. 9.2 a zobrazí výsledek simulace dle kap. 9.3.

- 1. Výpočet pro jednoduchý válcový výtažek tažený bez brzdicího žebra již proběhl (viz 7) a výsledky byly posouzeny mnoha analýzami (viz 8.2). Pro řešení tohoto příkladu je třeba v programu Dynaform znovu otevřít uloženou databázi a uložit ji příkazem **"Save As"** pod jiným jménem do jiné složky (zde priklad_2.df).
- 2. Je vhodné vypnout viditelnost přístřihu, tažníku a tažnice a jako aktuální součást nastavit přidržovač BINDER.
- 3. Dle výkladu v kap. 9.2 je třeba zvolit roletové menu **"Tools"**, v něm nabídku **"Draw Bead"** a práci na novém žebru začít použitím tlačítka **"New"**.
- 4. Je třeba vyplnit vlastnosti brzdicího žebra (hloubka zvolena 2 mm).
- 5. Výběr žebra na modelu je možno provést pomocí bodů/uzlů (**"point/node"**) na vybrané straně modelu přidržovače o vybrané délce (viz Obrázek 9.11).



Obrázek 9.11 – Vybrané brzdicí žebro na výpočtové síti modelu přidržovače

6. Geometrii vybraného brzdicího žebra je možno zadat v nabídce "Drawbead Force" volbou "Auto Load Curve". Je třeba zvolit typ a parametry brzdicího žebra ("Draw Bead Type and Parameters"), parametry plechu ("Sheet Parameters"), materiálové parametry ("Material Parameters") a další upřesňující parametry ("Miscellaneous Parameters") (viz Obrázek 9.12).

📚 Draw Bead Force Prediction					
- Draw Bead Type And Parameters					
 Rectangular 	♦ Semi-circular	♦ Edg	e		
5.5000 Entrai 6.00000E+000 Entrance Radius(1) 5.50000E+00 Groove Radius(1) Groove Radius(1)	0E+001 Lengt nce Angle(1) Angl 2.00000 01 01 01 01 01 01 01 01 01 01 01 0	h(mm) 5.50 e(deg) Ent E+000 ebth E+001 E+001 e Length	000E+001 trance Angle(2) 6.00000E+000 Entrance Radius(2) 5.50000E+001 Groove Angle(2) 3.00000E+000 Groove Radius(2)		
Sheet Parameters) 500	Thickn	ess(mm) 1.000000E+000		
Material Parameters —					
Hardening Exponen	Hardening Exponent 2.1300000E-001		Material Strength 3.32000E+002		
Normal Anisotrop	Normal Anisotropy 1.760000E+000		Strain Rate 1.200000E-002		
Elastic Modules 2.080000E+005		Poisson Ratio 3.000000E-001			
Yield Stress 2.100000E+002 Fracture Strain 4.500000E-001		ure Strain 4.500000E-001			
Friction Coefficience 1.250000E-001					
Miscellaneous Parameters					
Clearance 0.00000E+000 Output Step 5.000000E+0			tput Step 5.000000E+000		
ок	R	eset	Cancel		

Obrázek 9.12 – Geometrie a parametry brzdicího žebra

- 7. Je třeba potvrdit zadání žebra, zkontrolovat nastavení v roletovém menu **"Tools"** v nabídce **"Summary"** a dále postupovat jako při simulaci procesu tažení bez brzdicího žebra. Je třeba uložit databázi, vytvořit soubor *.dyn (priklad_2.dyn) a vložit jej do řešiče LS-DYNA Jobs Submitter 2.2.
- Po výpočtu je možno opět použít program ETA/Post-Processor 1.0 pro zobrazení výsledků simulace a prohlédnout si výsledný výtažek ve vybraných analýzách. Obrázek 9.13 ukazuje tloušťku plechu výtažku taženého s použitím brzdicího žebra.



Obrázek 9.13 – Analýza tloušťky válcového výtažku taženého s použitím brzdicího žebra

Shrnutí pojmů 9.1

Brzdicí žebro – výstupek vytvořený na přidržovači nebo tažnici za účelem přibrzdění tvářeného materiálu, umisťuje se pouze v místech, kde je žádoucí zvýšení intenzity brzdění plechu. Použitím brzdicích žeber zvolených rozměrů, tvarů, počtu a způsobu rozmístění v oblasti přidržovače po obvodu výtažku lze získat různou intenzitu brzdění, což umožňuje změnu podmínek vtahování tvářeného plechu do prostoru tažnice. Lze celkově nebo místně zvýšit přidržovací tlak nebo zvětšit plochu tvářeného materiálu pod přidržovačem.

Brzdicí lišta – je umístěna po celém obvodu tažnice bez přerušení, a protože bývá umístěna na tažné hraně, bývá někdy zařazována mezi tvarové úpravy tažné hrany.



Otázky 9.1

- 1. Co jsou to brzdicí žebra?
- 2. Jakým příkazem lze do výpočtu zadat brzdicí žebro?
- 3. Musí být model části tažného nástroje před zadáním brzdicího žebra nějak speciálně připraven?
- 4. Jaké tvary brzdicích žeber jsou v programu Dynaform k dispozici?
- 5. Co, kromě tvaru, musí být při zadání brzdicího žebra do simulace procesu tažení zadáno?



Úlohy k řešení 9.1

- 1. Uložte si databázi s příkladem 1 do nové složky a otevřete ji v softwaru Dynaform.
- Dle pokynů v kap. 9.2 zadejte do procesu tažení válcového výtažku pokusné brzdicí žebro – postup je shrnut v Řešeném příkladu, který je uveden výše.
- 3. Spusťte výpočet v programu LS-DYNA Jobs Submitter 2.2 a výsledky simulace zobrazte v programu ETA/Post-Processor 1.0.



Devátou kapitolu si student může připomenout pomocí této animace:

Animace_9.1_Definování brzdicího žebra do procesu tažení

Další zdroje

Seznam další literatury, www odkazů apod. pro zájemce o dobrovolné rozšíření znalostí popisované problematiky.

- [1] KANÓCZ, A. a ŠPANIEL, M. *Metoda konečných prvků v mechanice poddajných těles*. 1. vyd. Praha : ČVUT, 1998. 128 s.
- [2] PETRUŽELKA, J. Teorie tváření, Metoda konečných prvků: učební texty [online]. Ostrava: VŠB-TUO. [cit. 2010-10-13]. Dostupné z URL: <http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/TTV/19FEM%20TT10.pdf>.
- [3] ETA, Inc. *Eta/DYNAFORM User's Manual. Version 5.2.* Michigan : ETA, Inc., 2004.
 360 s.
- [4] ČADA, R. Tvářitelnost ocelových plechů : odborná knižní monografie. Lektorovali:
 L. Pollák a P. Rumíšek. 1. vyd. Ostrava : REPRONIS, 2001. 346 s. ISBN 80-86122-77-8.
- [5] ČADA, R. a FRODLOVÁ, B. Analysis of elements network influence upon simulation results in the Dynaform 5.2 software (Analýza vlivu sítě elementů na výsledky simulace v programu Dynaform 5.2). In Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava : řada strojní. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 2009, roč. 55, č. 1, s. 23-36. ISSN 1210-0471, ISBN 978-80-248-2051-4.
- [6] ČADA, R. *Technologie část tváření a slévání (návody do cvičení) : skriptum.* 1. vyd. Ostrava : VŠB-TUO, 2000. 188 s. ISBN 80-7078-540-3.
- [7] FRODLOVÁ, B. Optimalizace napěťových a kinematických poměrů při tažení výtažku nepravidelného tvaru z tenkého plechu s využitím MKP : diplomová práce. Ostrava : VŠB-TUO, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie – 345, 2009. 195 s.
- [8] ČSN 22 3701 Lisovací nástroje. Tažení dutých válcových výtažků. Směrnice pro konstrukci. Praha : Český normalizační institut, c1969.
- [9] PETRUŽELKA, J. a SONNEK, P. Tvářitelnost kovových materiálů : učební texty
 [online]. Ostrava : VŠB-TUO, 2009. [cit. 2010-12-21]. Dostupné z URL:
 http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/TNMTV/TvCELEupr2009prosinec.pdf>.
- [10] BAREŠ, K. a kol. *Lisování*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1971. 542 s.
- [11] ČADA, R. a KIJONKA, M. Influence of input values changes on the simulation results in the Dynaform 5.2 software. In Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava : řada strojní. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 2008, roč. 54, č. 1, s. 33-40. ISSN 1210-0471, ISBN 978-80-248-1891-7.
- [12] DVOŘÁK, M. a MAREČKOVÁ, M. Technologie tváření : Studijní opory pro kombinované stadium I. stupeň, 2. ročník CTT-K [online]. Brno : Vysoké učení

technické v Brně, 2006. [cit. 2010-11-20]. Dostupné z URL: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory soubory/technologie tvareni/kapitola 4.htm>.

- [13] ETA, Inc. Eta/Post User's Manual. Version 1.0. Michigan : ETA, Inc., 2004. 127 s.
- [14] ČADA, R. a FRODLOVÁ, B. Influence of draw bead upon simulation results of drawing process of unsymmetric shape stamping in the Dynaform 5.2 software (Vliv brzdicího žebra na výsledky simulace procesu tažení nesymetrického výtažku v programu Dynaform 5.2). In Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava : řada strojní. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 2009, roč. 55, č. 3, s. 15-24. ISSN 1210-0471, ISBN 978-80-248-2131-3.
- [15] MACHÁLEK, J., FRODLOVÁ, B. a ČADA, R. Tuning of critical dimensions of tool for production of asymmetric shape stamping with the use of FEM in order to keep to the tolerations specified at part production drawing (Ladění kritických rozměrů nástroje pro výrobu nesymetrického výtažku s využitím MKP za účelem dodržení tolerancí předepsaných na výrobním výkresu součásti). In Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava : řada strojní. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 2010, roč. 56, č. 1, s. 241-254. ISSN 1210-0471, ISBN 978-80-248-2302-7.
- [16] KOTOUČ, J. Nástroje pro tváření za studena. 3. vyd. Praha : České vysoké učení technické, 1982. 158 s.
- [17] TIŠNOVSKÝ, M. a MÁDLE, L. *Hluboké tažení plechu na lisech*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1990. 200 s. ISBN 80-30-00221-4.
- [18] TMĚJ, J. Brzdění plechu při tažení výlisků nepravidelných tvarů. *Strojírenská výroba : odborný časopis pracujících ve strojírenství*, 1972, roč. 20, č. 4, s. 214-220.



Odpovědi na otázky jsou řazeny dle kapitol.

0 1.1, 11

Diskretizace – rozdělení tělesa na konečný počet buněk (prvků, elementů), které vyplní celý objem tělesa. Vznikne síť konečných prvků. Do vrcholových bodů prvků se umisťují uzlové body. Na společné hranici prvků musí být splněn požadavek spojitosti.

Aproximační funkce – řešená neznámá funkce (např. posunutí pro úlohu tváření, aj.) se jí nahradí v jednotlivých uzlech prvků. Musí mít tolik členů, kolik má prvek uzlů. Aproximační funkce se volí co nejjednodušší, nejčastěji polynomy.

Interpolace – přibližně se určuje hodnota určité funkce v určitém bodě uvnitř intervalu, jsou-li známy její hodnoty ve vnějších bodech intervalu.

Princip minimální potenciální energie – ze všech možných hodnot řešení (např. posunutí) daných okrajovými podmínkami je nejpravděpodobnější to, pro které je celková potenciální energie tělesa minimální. Určí se tedy potenciální energie všech uzlových stupňů volnosti pole posunutí, které je definováno interpolací z posunutí v jednotlivých uzlech. Minimum potenciální energie se získá, položí-li se první derivace rovna nule.

Matice tuhosti prvku – řešením minimální potenciální energie je rovnice s argumenty odpovídající matici tuhosti prvku a vektoru ekvivalentního zatížení,

Matice tuhosti celého systému – je sestrojena z jednotlivých matic tuhosti prvků. Tím je určena matice potřebná pro sestavení výsledných lineárních rovnic (přibližných podmínek rovnováhy) pro výpočet uzlových parametrů deformace. Řešením soustavy rovnic se vypočítají **uzlové parametry deformace** a z nich se vypočítají **složky tenzoru napětí**.

0 2.1, 19

Preprocess – import a příprava modelů, generování sítě elementů a její kontrola a oprava, definování částí tažného nástroje a okrajových podmínek procesu tažení. **Process** – samotný výpočet. **Postprocess** – zobrazí výsledky simulace procesu tažení, k dispozici je mnoho zobrazení výsledků (napětí, defomace, tloušťka, ztenčení, posunutí elementů atd.).

O 2.2, 19

DFE – generování a úprava povrchu nástrojů, obsahuje funkce pro síťování až po kontrolu sítě. BSE – obsahuje jednokrokový řešič M-step pro rychlé posouzení lisovatelnosti, generuje obrys přístřihu ze tvaru výrobku, tvoří optimální nástřihový plán.

O 2.3, 20

Nejčastěji *.igs, dále *.lin, *.vda, *.dxf, *.stl, *.sat, *.model, *.CATPart, *.stp, *.prt.

O 2.4, 20

Standardní nastavení – uživatel sám prochází nabídky a nastavuje vše ručně, "QuickSetup" – rychlé nastavení, vše je v jednom okně, ve kterém uživatel pohodlně kliká na tlačítka a přiřazuje modely k částem tažných nástrojů a volí parametry tažení.

0 3.1, 36

Příkaz "Import", je výhodné uložit databázi, zvolit jednotkový systém softwaru, nastavit zapnutí/vypnutí právě nepotřebných součástí, editaci součásti.

O 3.2, 36

"Part Mesh".

O 3.3, 36

"Tool Mesh".

O 3.4, 36

Vhodná velikost elementů závisí především na velikosti modelu. Výpočet je o to náročnější, čím více elementů se nachází na modelu, výpočet je o to náročnější, čím menší tyto elementy jsou, velikost elementů na modelech částí tažných nástrojů má vliv na konečný tvar výtažku, ne však na přesnost výsledků řešení, velikost elementů na modelu přístřihu má vliv na přesnost a kvalitu výpočtu. Čím je výpočet náročnější, tím více se prodlužuje čas výpočtu.

O 3.5, 36

"Auto Plate Normal" – kontrola směru normál elementů, "Boundary Display" – kontrola spojitosti obrysové čáry, "Overlap Element" – kontrola dvojitých a překrývajících se elementů.

O 4.1, 48

Příkaz "Offset".

O 4.2, 48

Není třeba vždy použít přidržovač, závisí to na složitosti součásti, na tloušťce materiálu, je možno provést výpočet, zda je použití přidržovače v prvním tahu vhodné.

O 4.3, 48

Z modelu tažníku rozdělením na model tažníku a model přidržovače – funkce "Add…To Part".

0 5.1, 58

Příkaz "Define Blank", dále je třeba zadat vlastnosti přístřihu (materiál, tloušťku).

O 5.2, 58

O tvářitelnosti materiálu rozhoduje chemické složení a jeho lokální nestejnorodosti, složení, objem, tvar a rozložení vměstků, přednostní krystalografická struktura, střední rozměr zrn a bloků, poloha jejich hranic, rozložení mikrodefektů mřížky. Vlivy zvyšující pevnost materiálu snižují jeho tvářitelnost.

O 5.3, 58

Plošná anizotropie plechů – směrová závislost mechanických a fyzikálních vlastností v rovině plechu vzhledem ke směru válcování. Vzniká jako důsledek strukturní a krystalografické textury, které jsou spojeny s metalurgickými a výrobními podmínkami výroby plechů. **Plastická anizotropie plechů** – vyjadřuje nerovnoměrnost mechanických vlastností v rovině plechu oproti mechanickým vlastnostem ve směru kolmém na rovinu plechu, tj. ve směru tloušťky.

O 5.4, 58

Potřebné vlastnosti materiálu: měrná hmotnost, Youngův modul pružnosti, Poissonova konstanta, model křivky zpevnění, konstanta pevnosti, průměrný exponent deformačního zpevnění, materiálová konstanta pro typ mřížky (6 – BCC mřížka), součinitel plastické anizotropie ve směru 0° vůči směru válcování plechu, součinitel plastické anizotropie ve směru 45° vůči směru válcování plechu, součinitel plastické anizotropie ve směru 90° vůči směru válcování plechu, součinitel plastické anizotropie ve směru 90° vůči směru válcování plechu, součinitel plastické anizotropie ve směru 90° vůči směru válcování plechu (pro materiálový model 36).

0 6.1, 75

Typ tažení "Double Action".

O 6.2, 75

Příkaz "Auto Position".

O 6.3, 76

Mezi tažnicí a tažníkem, tato hodnota je potřebná pro následné zadávání zdvihu tažníku.

O 6.4, 76

Materiál přístřihu, jeho tvar a rozměr, dráha nástrojů, rychlost pohybu tažníku, přidržovací síla a koeficient tření.

O 6.5, 76

V nabídce "Summary", kde se objeví tabulka se všemi informacemi pro jednotlivé nástroje, kontrolní animací "Animate".

O 7.1, 82

Typ analýzy "LS-Dyna Input File".

O 7.2, 82

V nabídce "Adaptive Mesh", kolonka "Level (MAXLVL)" – síť se v případě potřeby zjemní. Zadaná hodnota 3 znamená, že se daný element sítě v případě potřeby rozdělí maximálně dvakrát.

O 7.3, 82

Zadat cestu k řešiči, vložit soubor *.dyn, spustit výpočet tlačítkem "Submit Jobs".

0 8.1, 106

Soubory d3plot a dynain. Soubor **d3plot** obsahuje veškeré informace o průběhu simulace procesu tažení, proces tažení je rozdělen do několika kroků, je možno prohlédnout každý zvlášť nebo spustit celou animaci. S výtažkem budou načteny i části tažného nástroje. Soubor **dynain** obsahuje informace o konečném kroku procesu tažení, zobrazí se tedy jen konečný tvar výtažku na konci simulace tažení (nelze prohlédnout jeho průběh) a části tažného nástroje nebudou načteny.

O 8.2, 106

Analýza lisovatelnosti výtaqžku s využitím diagramu mezních deformací "FLD", tloušťka "Thickness" a ztenčení materiálu "Thinning", napětí "Stress" a deformace "Strain", metoda deformačních sítí "Circular Grid", analýza pohybu okraje přístřihu "Edge Movement".

0 8.3, 106

Diagram mezních deformací zobrazuje rozložení deformací ve výtažku. Křivka mezních deformací vymezuje dvě hlavní oblasti diagramu, pod křivkou je oblast bezpečných deformací, nad křivkou se nachází oblast nepřípustných deformací. Bezpečná oblast obsahuje různé deformační a napětové stavy (+ -) a (+ +). V softwaru Dynaform se zobrazí pomocí analýzy "FLD".

O 8.4, 106

Levá část digramu, kde se nachází napěťový stav (+ -) charakteristický pro hluboké tažení.

O 8.5, 106

Analýzou "Thickness" a "Thinning", dále nabídka "List Value", kde lze přímo v určitých bodech na výtažku odečítat hodnotu tloušťky nebo ztenčení materiálu.

O 8.6, 106

Funkce "Contour", analýza "Stress" a "Strain".

O 8.7, 106

Simuluje metodu deformačních sítí, která se používá při analýze a popisu procesů plošného tváření, kdy je nutné znát stav napjatosti a deformací plechu v různých oblastech tvářené součásti.

O 8.8, 106

Slouží k popisu pohybu přístřihu v tvářecích nástrojích při probíhajícím procesu tažení. Graficky znázorní, jakou vzdálenost urazí okraj přístřihu nebo jen jeho vybraná část během celého procesu tažení v určitém místě přístřihu a jakou má okraj dráhu.

0 9.1, 119

Brzdicí žebro je výstupek vytvořený na přidržovači nebo tažnici za účelem přibrzdění tvářeného materiálu a umisťuje se pouze v místech, kde je žádoucí zvýšení intenzity brzdění plechu. Použitím brzdicích žeber zvolených rozměrů, tvarů, počtu a způsobu rozmístění v oblasti přidržovače po obvodu výtažku lze získat různou intenzitu brzdění, což umožňuje

změnu podmínek vtahování tvářeného plechu do prostoru tažnice. Lze celkově nebo místně zvýšit přidržovací tlak nebo zvětšit plochu tvářeného materiálu pod přidržovačem.

0 9.2, 119

V roletovém menu "Tools" nabídka "Draw Bead".

0 9.3, 119

Ano, na modelu musí být připravena čára, která představuje podélnou osu brzdicího žebra, jeho délku a vzdálenost od vnitřního okraje přidržovače. Nebo lze čáru zkusmo vybrat pomocí uzlů na výpočtové síti modelu.

0 9.4, 119

Žebro obdélníkové, půlkruhové a hrana.

0 9.5, 119

Musí být vybrán typ žebra a definována jeho geometrie, dále parametry plechu a jeho materiálu, rychlost tažení a tření.

Úlohy

Všechny úlohy jsou koncipovány tak, aby si student zopakoval a sám v softwaru prošel právě probranou kapitolu.