

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní



SIMULACE PROCESŮ PLOŠNÉHO TVÁŘENÍ V SOFTWARU PAM-STAMP 2G

Učební text předmětu "Tvářitelnost materiálu a nekonvenční metody ve tváření"

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

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".

Recenze: doc. Dr. Ing. René Pyszko (FMMI, VŠB – Technická univerzita Ostrava)

Název:	Simulace procesů plošného tváření v softwaru PAM-STAMP 2G
Autoři:	Ing. Jakub Machálek, prof. Ing. Radek Čada, CSc., Ing. Barbora Frodlová
Vydání:	první, 2012
Počet stran:	120
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. Jakub Machálek, prof. Ing. Radek Čada, CSc., Ing. Barbora Frodlová

 ${\mathbb C}$ Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-2715-5

POKYNY KE STUDIU

PAM-STAMP 2G

Pro studium problematiky simulace procesů plošného tváření nesymetrických součástí s využitím metody konečných prvků (MKP) jste obdrželi studijní balík obsahující:

- integrované skriptum pro distanční studium obsahující i pokyny ke studiu,
- přístup do e-learningového portálu obsahující doplňkové animace vybraných částí kapitol,
- CD-ROM s doplňkovými animacemi vybraných částí kapitol,
- Zadání a vypracovaní jednotlivých příkladů.

Prerekvizity

Pro studium této opory se předpokládají znalosti na úrovni absolventa předmětů "Základy strojírenské technologie", "Technologie tváření a slévání", "Úvod do MKP".

Cíl učební opory

Cílem této studijní opory je seznámení se základními pojmy v oblasti tváření a definování okrajových podmínek metody konečných prvků. Po prostudování modulu by měl student být schopen definovat a simulovat základní procesy plošného tváření nesymetrických součástí s využitím metody konečných prvků, dále vyhodnotit výsledky simulace a provést analýzu lisovatelnosti výtažku s využitím diagramu mezních deformací.

Pro koho je předmět určen

Modul je zařazen do bakalářského studijního programu "Strojírenství" oboru "Strojírenská technologie", ale může jej studovat i zájemce z kteréhokoliv jiného oboru, pokud splňuje požadované prerekvizity.

Studijní opora je rozdělena na kapitoly, které odpovídají logickému členění studované látky, ale nejsou stejně obsáhlé. Předpokládaná doba ke studiu kapitoly se může výrazně lišit, proto jsou velké kapitoly děleny dále na číslované podkapitoly, kterým odpovídá níže popsaná struktura.

Při studiu každé kapitoly doporučujeme následující postup:



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 tohoto odstavce budete umět

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

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

OBSAH

Р	ŘEDMI	UVA9
S	OFTWA	ARE PAM-STAMP 2G 10
U	ŽIVAT	ELSKÉ PROSTŘEDÍ SOFTWARU PAM-STAMP 2G16
2.1	Popis z	základního uživatelského prostředí softwaru PAM-STAMP 2G16
	2.1.1	Roletová nabídka
	2.1.2	Standardní panel nástrojů 18
	2.1.3	Vlastnosti 3D modelu 19
	2.1.4	Pracovní plocha 19
	2.1.5	Výsledky analýzy 19
	2.1.6	Panel modifikace procesu
	2.1.7	Stavový řádek
Р	ODKLA	ADY PRO DEFINICI TVÁŘECÍ ÚLOHY21
N N	ASTAV	ENÍ ÚLOHY S OBJEMOVÝMI PRVKY PŘI POUŽITÍ MAKER ESI PRO PAM-STAMP 2G22
4.1	Popis z	základního uživatelského prostředí softwaru PAM – STAMP 2G 22
	4.1.1	Nutná pravidla při práci s objemovými prvky
	4.1.2	Změny, které provedou makra MECAS ESI pro objemové prvky oproti standardnímu nastavení
Н	ILUBOH	KÉ TAŽENÍ S POUŽITÍM MECAS ESI MAKER
5.1	Zadán	í nového projektu v PAM-STAMP 2G26
5.2	Definio	ce limitních podmínek simulace
0.12	5.2.1	Tvorba tažníku
	5.2.2	Tvorba tažnice
	5.2.3	Tvorba přidržovače
	5.2.4	Definice směru tažení
	5.2.5	Tvorba přístřihu
	5.2.6	Zjednodušení výpočtu pomocí rovin symetrie
	5.2.7	Nastavení procesu tažení
	5.2.8	Tření
5.3	Simula	uce prostého tažení
-	5.3.1	Sevření přístřihu
	5.3.2	Tažení výtažku
	5.3.3	Restartování výpočtu se změnou parametrů dotahu 48
	P S U 2.1 P N 4.1 F 5.2 5.3	PŘEDMI SOFTWA UŽIVATI 2.1 2.1 2.1.1 2.1.2 2.1.3 2.1.4 2.1.5 2.1.6 2.1.7 PODKLA NASTAV MECAS I 4.1 Popis Z 4.1 Popis Z 4.1 Popis Z 4.1.1 4.1.2 HLUBOH 5.1 Zadán 5.2 Definio 5.2.1 5.2.2 5.2.3 5.2.4 5.2.5 5.2.6 5.2.6 5.2.7 5.2.8 5.3

	5.4	Vyhodnocení simulace procesu tváření 50
		5.4.1 Deformace výtažku
		5.4.2 Ztenčení výtažku
		5.4.3 Lisovatelnost výtažku a stupeň deformace
6	H	ILUBOKÉ TAŽENÍ BEZ POUŽITÍ MECAS ESI MAKER61
	6.1	Zadání nového projektu v PAM-STAMP 2G61
	6.2	Definice tvářecích nástrojů v PAM-STAMP 2G63
		6.2.1 Definice přidržovače
		6.2.2 Definice tažníku
		6.2.3 Definice přístřihu
		6.2.4 Definice roviny symetrie
	6.3	Definice okrajových podmínek a procesu bez použití maker
	6.4	Definice velikosti prvků a kvalita sítě nástrojů73
	6.5	Definice optimálních velikostí deformované sítě – mass scaling
		7.5.1 Zásady pro volbu velikosti elementu a počtu úrovní přesíťování
	6.6	Spuštění výpočtu simulace tažení79
	6.7	Vyhodnocení výpočtu simulace tažení80
		6.7.1 Tlaková napětí 80
		6.7.2 Kinematika tváření
		6.7.3 Intenzita kontaktu nástroje s výtažkem
7	V	ÝPOČET ROZVINU VÝTAŽKU DO ROVINY
	7.1	Zadání vstupních parametrů při výpočtu rozvinu
	7.2	Vkládání okrajových podmínek pomocí maker
	7.3	Spuštění simulace rozvinu výtažku
	7.4	Vyhodnocení a práce s výsledky simulace90
		7.4.1 Tvorba nástřihových plánů
8	V	ÝPOČET ODPRUŽENÍ VÝTAŽKU PO TAŽENÍ95
	8.1	Zadání nového projektu odpružení v PAM-STAMP 2G96
	8.2	Spuštění simulace odpružení výtažku100
	8.3	Vyhodnocení výsledků simulace odpružení výtažku
		8.3.1 Analýzy odpružení
9	Р	OMOCNÉ FUNKCE PROGRAMU PAM-STAMP 2G 106
	9.1	Objemové prvky

9.2	Lokální zjemnění sítě konečných prvků	108
9.3	Lokalizování určené oblasti z výtažku na přístřih1	111
	KLÍČ K ŘEŠENÍ	116

0 PŘEDMLUVA

Strojírenství je od počátku jedním z nejdůležitějších odvětví průmyslu. Považuje se za jedno z měřítek k posuzování vyspělosti jednotlivých států. Strojírenství podléhá aktuálním trendům a inovativním řešením více než jakékoli jiné odvětví. Snaha obstát v tvrdé konkurenci a být nejlepší žene průmysl mílovými kroky kupředu. Nová neotřelá řešení, použití nových technologií a výzkum nových matriálů jdou ruku v ruce s požadavky na co nejvyšší užitné vlastnosti a na bezpečnostní nároky z hlediska ochrany majetku a osob. Snaha být nejlepší v oboru, mít své know-how, je tažnou silou strojírenského průmyslu. Díky této invenci nastává neustálý pokrok a poznávání světa kolem nás.

Oblastí strojírenství, která se neustále nejvíce rozvíjí a za posledních 100 let dosáhla neuvěřitelných rozměrů, je automobilový průmysl. "Postavím Ameriku na kola" prohlásil Henry Ford, když zahájil v roce 1908 první sériovou výrobu automobilu. Dnes je už na kolech celý svět a neustále se vyvíjí a rozrůstá. Zejména v tomto odvětví průmyslu, kde je neustálý konkurenční boj, je nezbytné držet krok v oblastech jako je materiálové inženýrství, svařování materiálů, konstrukce dílů, tváření kovů atd. Tváření automobilových dílů, které vyhovují požadavkům na mechanické vlastnosti, bezpečnost a jsou rovněž aktuální po stránce designu, je neustále se zdokonalující a vyvíjející se oblastí automobilového průmyslu.

S používáním nejmodernějších systémů a softwarů využívajících metodu konečných prvků pro simulace procesů tváření lze držet krok s vývojářskými a konstrukčními centry po celém světě.

Tento e-learningový kurz řeší postup zadávání okrajových podmínek a následné simulace procesů tváření s využitím metody konečných prvků v softwaru PAM-STAMP 2G. Vysvětlující text je doplněn videi a animacemi, které názorně představují aktuální stav zadávání a průběh práce se softwarem. Každý příklad obsahuje v závěru vyhodnocení simulace pomocí jednotlivých analýz (analýza lisovatelnosti výtažku s využitím diagramu mezních deformací plechu, analýza ztenčení plechu po tažení, vyhodnocení tloušťky plechu po tažení, vyhodnocení kinematiky vtahování příruby v průběhu tažení dílu, vyhodnocení napětí ve výtažku v procesu tažení).

1 SOFTWARE PAM-STAMP 2G

Kapitola se zabývá stručným popisem základních vlastností softwaru, jeho využívání v praxi, filozofií postupu řešení daného problému, způsoby zadávání vstupních údajů, zdroji kompatibilních dat a způsoby vyhodnocování výsledků simulací.



PAM-STAMP je software využívající metodu konečných prvků, který řeší problematiku založenou na filozofii přenosu informací o změnách fyzikálních vlastností mezi jednotlivými moduly numerické simulace technologických procesů (virtual manufacturing) až po simulaci samotného výrobku – automobilu, letadla, raketoplánu, lodě nebo mobilního telefonu (virtual prototyping). Celý balík PAM je založen na stavebnicovém principu, kdy jednotlivé moduly pracují samostatně, mohou se libovolně rozšiřovat a přenášet si mezi sebou informace v jednotném grafickém uživatelském prostředí na platformě operačních systémů UNIX, Windows NT a Windows 2000. V oblasti technologie tváření plechů se jedná o programové moduly PAM-Stamp (Unix/WinNT), PAM-QuikStamp Inverse (Unix/WinNT), PAM-DieMaker/Viking (Unix/WinNT), PAM-QuikStamp Direct (Unix/WinNT), o kterých bude stručná zmínka dále.

Metoda konečných prvků (MKP) je považována v současnosti za nejvýkonnější metodu matematického modelování v tvářecích procesech. Její největší předností je, že může být použita k analýze široké třídy úloh bez omezení, která by vyplývala z geometrie tvářených součástí. Při řešení úloh tváření je často používána s modelem tuho-plastického nebo vazkotuho-plastického materiálu. Soustava rovnic teorie plasticity – rovnice rovnováhy sil, rovnice kontinuity toku, konstituční rovnice. Metoda konečných prvků (Finite Element Method – FEM) je numerická metoda pro analýzu struktur a těles. Zpravidla je možné řešit touto metodou problémy, které klasickými postupy nelze úspěšně řešit. Metoda pokrývá celou šíři fyzikálních aplikací: statiku, dynamiku, akustiku, teplo, elektromagnetické pole, elektrostatiku, piezoelektrické jevy a proudění. FEM řeší tyto problémy soustavou lineárních rovnic, jejichž konstrukce a řešení lze efektivně provádět za použití výpočetní techniky. Základním principem metody konečných prvků (MKP) je diskretizace (rozdělení) tělesa na malé části (prvky), které jsou matematicky snadno popsatelné. Tvarová složitost geometrie dílů a materiály z řad vysokopevnostních ocelí nebo hliníku (s větší tloušťkou plechu přístřihu) vyžadují dostatečnou přesnost a rychlost numerické simulace. Ve výpočtových simulacích procesů plošného tváření se využívá numerická metoda konečných prvků, v níž je lisovaná součást v prostoru popsána trojúhelníkovými nebo čtyřúhelníkovými skořepinovými prvky. K ověření lisovatelnosti se používají rychlé jednokrokové, vícekrokové a inverzní řešiče, které řeší výpočty energetických pohybových rovnic implicitní numerickou metodou (PAM QuikStamp Direct a Inverse). Získání výsledků řešením implicitní numerickou metodou je možné řádově v minutách.

Precizní realistické řešení poskytují řešiče používající explicitní numerickou metodu pro řešení energetických pohybových rovnic (PAM-STAMP). Výsledky explicitní numerickou metodou lze získat řádově v hodinách. Avšak při použití optimalizace některých parametrů okrajových podmínek, jako je počet úrovní adaptivního síťování se zjemňováním konečnoprvkové sítě přístřihu v průběhu simulace či nastavení výkonných algoritmů pro generování adaptivního síťování se doba trvání výpočtu dostane na časy řádově desítek minut. U explicitní metody platí vztah, že čím menší je nejmenší element sítě, tím probíhá výpočet s menším časovým krokem, což je podmínkou stability řešení, a tím se prodlužuje doba výpočtu (Obrázek 1.1).



Obrázek 1.1 – Postup simulace v softwaru PAM-STAMP 2G

Programový modul PAM-STAMP je specializovaný CAE software pro simulaci plošného tváření technologiemi hlubokého tažení, ohýbání, lisování do pryže (flexformingu), hydroformingu plechů i trubek, atd. Navazuje na CAD model nástrojů, který je automatickým generátorem převeden ve výpočtovou síť CAE modelu. Výpočtová síť přístřihu plechu je generována v prostředí grafického pre-procesoru spolu s potřebnými okrajovými, kontaktními a zatěžujícími podmínkami řešení. Časově integrační schéma řešení pohybové rovnice rovnováhy vnitřních a vnějších sil využívá explicitní formulace metody konečných prvků. Při řešení je plně uvažováno s nelineární deformační historií přístřihu plechu. Popis materiálového chování je založen na Hillově formulaci podmínky plasticity (Hill 1948)

se směrově závislou anizotropií plechu. Pro tváření hliníku je možné alternativně zvolit nekvadratickou podmínku plasticity (Hill 1990). Deformační zpevňování materiálu plechu může být doplněno o citlivost na deformační rychlost.

V důsledku znalosti deformační historie umožňuje PAM-STAMP zahrnout do výpočtu kritéria porušování soudržnosti materiálu plechu v průběhu tažení (lokální překročení mezní plastické deformace, ztenčení, překročení křivky mezních deformací) s přímou vizualizací zvlnění přístřihu plechu v průběhu zavírání přidržovače a tažení. Výpočtová simulace tažení v pevných nástrojích velkých přístřihů zpravidla začíná výpočtem deformace vlastní tíhou přístřihu. Po výpočtu jsou výsledky přeneseny do simulace prvního tahu. Výsledky prvního tahu se přenášejí do následující operace, kde se tak zohlední ztenčení plechu i deformačně napěťový stav výlisku na počátku druhého tahu. Po tažení zpravidla následuje ostřižení a po něm simulace odpružení. Pro svou obecnou formulaci lze program PAM-STAMP použít pro výpočty simulací libovolné výrobní technologie plošného tváření (viz Obrázek 1.1).

CD-ROM

Ukázka práce se softwarem pracujícím metodou konečných prvků. Prezentace je vytvořena v softwaru AutoForm 4.06. Uloženo na průvodním CD-ROMu:

X:\PAM-STAMP_2G\2_Animace\0_Prezentace_prace_se_softwarem_MKP.avi

Vývoj nástrojů pro hluboký tah s konvenčními hlubokotažnými materiály plechů je díky zkušenostem konstruktéra a použití numerické simulace dnes už rutina – ovšem jen do té doby, než se spustí sériová výroba. Předpokládejme, že takovýchto "jednoduchých" úloh je z celkového vývoje nástrojů přibližně 60 %, zbytek pak vyžaduje náročnější vývojový proces. Jde tedy o "jednoduché" díly, jejichž geometrie už sama zkušenému konstruktérovi napovídá, jak bude proces tváření probíhat a jak naladit technologické plochy nástroje a tvar nástřihu. Při řešení těchto případů se s úspěchem používá numerická simulace, do níž se běžně zadává určitý materiálový ekvivalent (často bez znalosti původu a podmínek měření) a konstantní koeficient tření. Protože hodnoty těchto a dalších okrajových podmínek často nejsou zcela přesné, dostává se tím výsledek do jiných hodnot a při výrobě se značně odchyluje od reality.

Konstruktér, který při vývoji CAD dat nástroje subjektivně sleduje na barevných mapách trend ztenčení a deformací výlisku z této numerické simulace, nemá o těchto nedostatcích tušení. První problémy se pak ukazují už při zapracování sériového nástroje. Na jeho místo nastupuje nástrojař a napravuje to, co způsobil konstruktér nesprávným nastavením obecných okrajových podmínek úlohy pro výpočet numerickou simulací (viz Obrázek 1.2).



Obrázek 1.2 – Funkce v softwaru PAM-STAMP 2G

Nebudeme se zde zabývat nástroji numerické simulace, u kterých nepomůže ani přesné zadání naměřených materiálových vlastností, kde lze zadat pouze konstantní koeficient tření a kde se s vlivem změny rychlosti deformace vůbec nepočítá. Pojďme si připomenout pár funkcí v programu numerické simulace PAM-STAMP 2G Generation (PS2G), které pomáhají řešit zmíněnou problematiku. Konstruktér totiž potřebuje nejen simulovat proces sériových nástrojů, ale mít i možnost simulovat práci nástrojaře.

Nastane-li situace, že musí nástrojař provést úpravy na vyrobeném nástroji, jde nejčastěji o úpravy na už zmíněné, nedokonale optimalizované brzdicí liště. Předtím, než nástrojař spustí brusku či frézku, může konstruktér provést zamýšlené úpravy geometrie nástroje v programu PAM-STAMP 2G, aniž by disponoval upravenými CAD daty (stačí originální data v IGS formátu), pomocí funkce "Morphing". Následně provede simulaci na upravených nástrojích a vyhodnotí výsledek.

Pohledové díly karoserie jsou běžně podrobeny auditovým testům ihned po vylisování a následně ve světelné komoře po nalakování za účelem odhalení pohledových vad, jako jsou propadliny, stopy po nástroji a nevratných deformacích po nadměrném zvlnění. Díky funkci "Surface defect" lze v programu PAM-STAMP 2G pohledový díl virtuálně nalakovat a provést simulaci světelné komory.

Pojmy k zapamatování

CAE – je výpočtová podpora procesů plošného tváření, která slouží celé řadě lisoven, kde napomáhá jak ke snižování nákladů na přípravu výroby, tak ke zvyšování odbornosti technických pracovníků. Programové moduly PAM-QuikStamp, PAM-DieMaker/Viking, PAM-STAMP a PAM-Form jsou nasazovány v přípravě výroby lisovaných součástí předními světovými automobilkami (Audi, BMW, Fordem, VW a řadou dalších) i jejich dodavateli.

CAD – z angličtiny: computer-aided design, česky: počítačem podporované projektování, nebo míněno na obecný CAD systém jako computer-aided drafting – počítačem podporované kreslení. Jde o velkou oblast IT, která zastřešuje širokou činnost navrhování. Jednoduše lze říci, že se jedná o používání pokročilých grafických programů pro projektování bez rýsovacího prkna. CAD aplikace vždy obsahují grafické, geometrické, matematické a inženýrské nástroje pro kreslení plošných výkresů a modelování objektů a dějů reálného světa. Pokročilejší řeší výpočty, analýzy a řízení systémů (výroby, zařízení).

Shrnutí pojmů 1.1

PAM-STAMP 2G je software, který řeší problematiku technologických procesů, jakými jsou především tvářecí procesy, kinematika součástí, dynamika, proudění tekutin, elektromagnetické vlnění atd. Navazuje na CAD model nástrojů, který je automatickým generátorem převeden ve výpočtovou síť CAE modelu. Software je postaven na základu metody konečných prvků, jež je považována v současnosti za nejvýkonnější metodu matematického modelování ve tvářecích procesech. Její největší předností je, že může být použita k analýze široké třídy úloh bez omezení, která by vyplývala z geometrie tvářených součástí. S výhodou se používá v praxi, při simulacích tváření plechových výtažků nepravidelného tvaru a optimalizuje tak technologie výroby součástí.



Otázky 1.1

- 1. Co je to metoda konečných prvků (MKP)?
- 2. Kde se MKP metody využívají a uveď te alespoň tři příklady využití.
- 3. Co je to CAD a CAE?

Zajímavost k tématu

Historie metody konečných prvků se datuje od roku 1906, kdy šlo o pokus nahradit těleso soustavou elastických prutů. Vlastnosti prutů byly voleny tak, aby posunutí v uzlech prutů odpovídalo posunutí v odpovídajících bodech tělesa. Tento model postupně přešel v dnes již dobře známé metody analýzy struktur. V roce 1953 byla rovnice tuhosti poprvé popsána v maticovém tvaru, to umožnilo její řešení na počítači. Velký rozmach zaznamenala metoda konečných prvků v leteckém průmyslu. Širší aplikace i v ostatních odvětvích nastoupily až s napsáním rozsáhlých programů využívajících metodu konečných prvků

v průběhu 60. a 70. let. Nyní je na trhu mnoho programů založených na metodě onečných prvků různé velikosti, s různými možnostmi řešení a za různé ceny.



Průvodce studiem – slovník pro zapamatování

Slovník základních pojmů objevujících se v softwarech využívající metody konečných prvků.

Tabulka základních anglických pojmů			
Název – anglický česky			
Direct	zaměřit, nasměrovat		
Inverse	opačný, převrácený		
Virtual	praktický, faktický		
Manufacturing	výroba		
Prototyp	prototyp		
Drafting	výkres, kreslení, náčrt		



Další zdroje

Pro rozšíření znalostí popisované problematiky prostudujte:

- [1] <u>http://www.mmspektrum.com/clanek/pocitacova-simulace-tvareni-plechu</u>, Rudolf Petrmichl, MM Průmyslové spektrum, 25. 6. 2010.
- [2] <u>http://www.mmspektrum.com/clanek/seriova-vyroba-plosnym-tvarenim-a-numericka-simulace</u>, Rudolf Petrmichl, MM Průmyslové spektrum, 25. 6. 2010.
- [3] MACHÁLEK, J. Návrh technologie lisování plechové součásti nepravidelného tvaru : diplomová práce. Ostrava : VŠB-TUO, 2009. 112 s.
- [4] PETRUŽELKA, J., SONNEK, P. *Tvařitelnost kovových materiálů*. [Upravená verze III.] Ostrava : VŠB Technická univerzita Ostrava, 2006, 184 s.
- [5] ČADA, R. Tvářitelnost materiálů a nekonvenční metody tváření : Plošná tvářitelnost : návody do cvičení : skriptum. 1. vyd. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2002. 148 s. ISBN 80-248-0019-5.
- [6] PETRUŽELKA, J. Tvařitelnost a nekonvenční metody ve tváření : skriptum. 1. vyd. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2000.
- [7] FRODLOVÁ, B. Optimalizace napěťových a kinematických poměrů při tažení výtažku nepravidelného tvaru z tenkého plechu s využitím MKP : diplomová práce. Ostrava : VŠB-TUO, 2009. 247 s.

2 UŽIVATELSKÉ PROSTŘEDÍ SOFTWARU PAM-STAMP

Kapitola se zabývá popisem uživatelského prostředí softwaru tak, aby se uživatel softwaru snadněji orientoval v základních pojmech a nabídkách, které software poskytuje. Jednotlivé nabídky a roletová menu jsou podrobně rozebrány a jsou vysvětleny jejich funkce.

2.1 Popis základního uživatelského prostředí softwaru PAM-STAMP 2G

 Cíl: Po prostudování této kapitoly budete umět orientovat se v základním uživatelském prostředí a vyznat se v poli základníc nabídek softwaru PAM-STAMP 2G. 		Čas ke studiu: 15 minut
	0	 Cíl: Po prostudování této kapitoly budete umět orientovat se v základním uživatelském prostředí a vyznat se v poli základníc nabídek softwaru PAM-STAMP 2G.

Výklad

Uživatelské prostředí softwaru PAM-STAMP 2G je přehledné a pro uživatele, který se seznámí se základními příkazy, je ovládání intuitivní. Základní nabídka příkazů vlastností a voleb zobrazení 3D modelu je zobrazena na Obrázek 2.1. Vše je plně modifikovatelné, jednotlivé nabídky a panely se dají přesouvat, skrývat. To vše pro plný komfort jednotlivce, s ohledem na nároky a požadavky uživatele.

Základní orientace a operace v uživatelském prostředí, tj. pohyb s 3D modelem, přibližování, uchopení a rotace, klávesové zkratky atd., jsou vysvětleny v Tabulka 2.1. Veškeré úkony a pohyby jsou analogické jako v jiných 3D softwarech.

Orientace v uživatelském prostředí softwaru pomocí myši			
Název Provedení			
Uchopení a posun modelu	Stisknutí "Ctrl" a levého tlačítka myši		
Rotace	Stisknutí kolečka myši a posun myši		
Zoom	Rotace kolečkem myši		
Rychlá nabídka	Stisknutí pravého tlačítka myši		

Tabulka 2.1 – Orientace v	prostředí PAM-STAMP	pomocí myši
---------------------------	---------------------	-------------

17



Obrázek 2.1 – Popis uživatelského prostředí softwaru PAM-STAMP 2G

2.1.1 Roletová nabídka

Klasická roletová nabídka obsahující kompletní nabídku všech funkcí softwaru PAM-STAMP 2G spolu se spouštěčem řešiče zadané úlohy s obyčejnou, nebo dvojnásobnou přesností. Nejpoužívanější nástroje pro zadávání úloh a nastavování limitních (okrajových) podmínek se zobrazí v panelech nástrojů (viz Obrázek 2.2).

```
🛜 Project Edit View Geometry Diemaker Material Process Analysis Solver Customize Window Help
```

Obrázek 2.2 – Roletová nabídka

2.1.2 Standardní panel nástrojů

Pomocí panelu nástrojů lze nastavit uživatelsky nejpoužívanější nástroje, které jsou ihned k dispozici na pracovní ploše Obrázek 2.3. Jednotlivé nástroje lze jednotlivě skrývat, nebo vyvolávat dle jednotlivých aktuálních potřeb uživatele softwaru.

V první polovině nabídky nástrojů je k dispozici nabídka uživatelských nástrojů zobrazující se po označení na horní ploše uživatelského prostředí v roletové nabídce. Jedná se o nástroje usnadňující práci při zadávání a úpravě podkladů (entit) pro samotnou simulaci procesu tváření.

Druhá část nazvaná "*Output"* se po označení zobrazuje v levé panelové části uživatelského rozhraní. Zde jsou nástroje sloužící k přípravě úlohy tváření, k zobrazování aktuálních dat, k zadávání okrajových podmínek a k závěrečné analýze simulace.



Obrázek 2.3 – Panel nástrojů

2.1.3 Vlastnosti 3D modelu

Panel vlastností 3D modelu slouží k zobrazení jednotlivých součástí (entit) výpočtu (viz Obrázek 2.4), tj. jednotlivých vytvořených ploch (nástrojů) podílejících se na výpočtu. Tyto vytvořené entity jsou zobrazeny v záložce "*Visibility*", kde si může uživatel podle potřeby jednotlivé plochy zobrazit, nebo skrýt.

V záložce "*Project*" může uživatel, podle nastavených parametrů (viz níže) zobrazit průběh výpočtu v jednotlivých krocích. Počet těchto kroků (stage), na které bude rozdělena daná výpočtová úloha, uživatel předem nadefinuje v parametrech zadávané úlohy.



Obrázek 2.4 – Vlastnosti 3D modelu

2.1.4 Pracovní plocha

Zobrazuje aktuální práci uživatele s úlohou tváření. Dává tedy uživateli plný přehled v jaké fázi zadávání okrajových podmínek, výpočtu, nebo analýzy se úloha nachází (viz Obrázek 2.1).

2.1.5 Výsledky analýzy

V panelové nabídce "*Výsledky analýzy"* jsou k dispozici nástroje, které slouží uživateli k prověření správnosti zadání tvářecí úlohy a k ověření všech nadefinovaných parametrů a vlastností. Rovněž uživatel najde v tomto panelu funkce, které zobrazí výstupy (výsledky) výpočtu dané tvářecí úlohy. Tyto výsledky poté může uživatel analyzovat pomocí velké spousty nástrojů a v nejvhodnějším zobrazení dle potřeb uživatele.



Obrázek 2.5 – Panel zobrazující výsledky analýz

2.1.6 Panel modifikace procesu

Pomocí panelu modifikace procesu (záložka "*Process*") je uživatel schopen s využitím řady maker nadefinovat celou tvářecí úlohu krok po kroku. Tato makra a další funkce jsou seřazeny postupně tak, že při jejich použití je uživatel schopen intuitivně nastavit okrajové podmínky tvářecí úlohy.

Další záložky v tomto panelu (viz Obrázek 2.6) usnadňují práci uživatele při definování tvářecí úlohy bez použití maker (viz definování tvářecí úlohy bez použití maker).



Obrázek 2.6 – Panel nástrojů definující proces tažení

2.1.7 Stavový řádek

Stavový řádek slouží k zobrazení provedených úprav. Každý krok při zadávání úlohy tváření se chronologicky řadí do vytvořených kroků ve stavovém řádku. Při chybném zadání kroku, který chce uživatel opravit, lze použít funkci *"Zpět"*. Tuto funkci lze použít jen jednou. To znamená, že se uživatel vrátí vždy jen o jeden krok zpět. Při práci s jednotlivými příkazy stavový řádek rovněž vypisuje nabídku kroků, které po uživateli chce, aby byl příkaz zadán správně.



Shrnutí pojmů 2.1

Po prostudování této kapitoly by se měl uživatel umět pohybovat v prostředí softwaru PAM-STAMP 2G. Rovněž by měl mít představu, kde se nachází jednotlivé panely nástrojů a co obsahují.



Průvodce studiem – slovník pro zapamatování

Slovník základních pojmů objevujících se v softwarech využívající metody konečných prvků.

Tabulka základních anglických pojmů			
Název – anglický česky			
Output	Výstup (výsledek)		
Visibility	Viditelnost		
Project	Projekt, návrh, úkol		
Process	Průběh, vývoj, postup		

3 PODKLADY PRO DEFINICI TVÁŘECÍ ÚLOHY

Čas ke studiu: 5 minut



Cíl: Po prostudování této kapitoly budete umět

🖊 rozlišit soubory a jejich vlastnosti exportované softwarem při práci s výpočtem



Výklad

Program PAM-STAMP 2G, řešič Autostamp, pracuje s CAD daty. Tato data jsou ostatními programy exportována ve formátech *.*igs*, *.*stp*. Tyto soubory (plochy v řešiči Autostamp) se poté jednoduše importují například "rychlým vkládáním" (viz Obrázek 2.1). Takto vložené plochy slouží jako podklad pro jednotlivé tvářecí úlohy. Importovat se dále mohou nejen základní plochy sloužící jako podklad pro samotný tah, ale i křivky, které slouží např. jako tvary brzdicích žeber, vodicí lišty a další funkční elementy podílející se na tvářecím procesu (viz samotné řešené tvářecí úlohy uvedené dále).

Zadání samotné úlohy a výsledky simulací se ukládají do uživatelem předdefinované složky, tj. složky s aktuálně řešeným projektem (úlohou). V této složce se poté ukládají veškeré pomocné soubory dané simulace. Jednotlivé pomocné soubory, jejich přípony a vlastnosti jsou uvedeny v Tabulka 3.1.

Druhy souborů vytvořených softwarem při výpočtu			
Přípona souboru Vlastnosti souboru			
*.pre	Nejdůležitější soubor obsahující klíčové vlastnosti simulace		
*.his	Soubor vytvářející se během simulací, obsahuje výpočtové matice		
*.out	Textový soubor obsahující identifikaci dané úlohy		
*.res	Soubor odpovídá jednomu výsledkovému stavu úlohy		
*.rst	Díky tomuto souboru lze restartovat úlohu a její výpočet		
*.att	Textový soubor obsahující definované atributy se zadáním úlohy		
*.msh	Pomocný soubor		
*.dct	Pomocný soubor		

Tabulka 3.1 – Druhy	y souborů v	vvtvořených	softwarem	PAM-STAMP	2G

4 NASTAVENÍ ÚLOHY S OBJEMOVÝMI PRVKY PŘI POUŽITÍ MAKER MECAS ESI PRO PAM-STAMP 2G

Kapitola se zabývá rozdílem mezi simulací skořepinovými a objemovými prvky a popisem rozdílů mezi jednotlivými úlohami při použití maker MECAS ESI. Jsou zde popsány i změny, které provedou makra oproti standardnímu nastavení úlohy.

4.1 Popis základního uživatelského prostředí softwaru PAM-STAMP 2G

Čas ke studiu: 20 minut

Cíl: Po prostudování této kapitoly budete znát

4 postup při práci s objemovými prvky s použitím zjednodušujících maker.



Skořepinový prvek (Shell – v 3D programech exportován jako plocha) nepopisuje napjatost ve směru tloušťky materiálu, proto se využívá pro plošné tváření, kde se počítá se zjednodušením – tažením bez ztenčení materiálu. Toto tažení bez ztenčení materiálu (tam, kde je tloušťka materiálu zanedbatelná k rozměrům a velikosti přístřihu) je zejména výhodné pro hluboké tažení. Objemový prvek (Solid – v 3D programech exportován jako objemová součást) má při tvářecích simulacích své opodstatnění v případech, jako je tváření se ztenčením stěny (mezera mezi nástroji je menší než tloušťka plechu), nebo v situacích, kdy jsou použity velmi malé rádiusy vzhledem k tloušťce plechu.

Velikost skořepinového (Shell) elementu by neměla být menší než cca 0,75 tloušťky plechu. V případech, kdy je pro popis geometrie nutné volit menší elementy, je nutné použít objemové prvky. Pro tyto žádné omezení, co se týče velikosti prvku, neplatí. Objemové prvky popisují proces přesněji, a proto zde neplatí žádná omezení, ovšem také je jejich popis a výpočtový čas mnohem náročnější.

4.1.1 Nutná pravidla při práci s objemovými prvky

Při použití maker pro objemové prvky MECAS ESI je nutné dodržet tato pravidla:

- Inormály elementů nástrojů musí být konzistentně (soudržně) orientovány a směřovat směrem k plechu (je použit PENALTY kontakt),
- 4 na přidržovači by neměly být stěny,
- nelze použít materiálová data s normálovou anizotropií (materiálová data musí být izotropní, tedy musí být znám směr válcování a to vždy v jednom směru a to v jednom pro celou úlohu),

- offsetování (odsazení) nástrojů o hodnotu tloušťky plechu (technologická vůle je možná, není však zcela nutné ji použít),
- s objemovými prvky lze počítat s vlivem gravitace a odpružení pouze explicitně (přímo). Výpočet vlivu gravitace je časově velmi náročný, doporučuje se proto nahradit jej přesným umístěním plechu do nástrojů, je-li to možné.

V případě problémů s chováním konečnoprvkové sítě plechu může uživatel zkusit v *Global object/Advanced parameters/Element* změnit *"Solid element integration rule"* z *"Uniform"* na *"Selective reduced"* (použití quazi-plně integrovaného elementu) – tím však vzroste výpočtový čas zhruba na čtyřnásobek. U objemových prvků a jejich výpočtů nelze použít mezioperační ostřih (trimming).

4.1.2 Změny, které provedou makra MECASI ESI pro objemové prvky oproti standardnímu nastavení

Pro typ kontaktu "Penalty" je standardně použita hodnota součinitele tření 0,15 (tato hodnota odpovídá tření bez mazání u Penalty kontaktu) (viz Obrázek 4.1). Hodnota scale faktoru je změněna na 0,1 (standardně 0,03, touto hodnotou se zvyšuje tuhost kontaktu – obecně, pokud jsou elementy plechu větší, hodnota scale faktoru se volí vyšší, neměla by však přesáhnout hodnotu 0,3).

Hodnota konstantní kontaktní tloušťky je nastavena na 0,005 mm (viz Obrázek 4.1), "*Contact acceleration"* je změněno z hodnoty 10 (standardní nastavení) na hodnotu 1. Jedná se o kontakt, který je vyhledáván v každém časovém kroku.

Hodnota *tolerance* v dialogovém okně *Autopositioning* je změněna na 0,006 (viz Obrázek 4.1). Za předpokladu že nástroje jsou napolohovány dále, než je kontaktní tloušťka.

Contact definition	Contact advanced parameters	Autopositioning definition
Impenetrable by (slave) plech Friction coefficient: Scale factor for Penalty and Implicit: Activation: Begin -> End Advanced parameters OK Cancel	Contact type: Penalty Penalty, Lagrangian and Implicit contact Contact thickness: 0.005 Sharp edges Penalty contact Contact acceleration: Damping Mass proportional factor: Image: Stiffness proportional ratio: Contact acceleration: Image: Stiffness proportional ratio: Contact acceleration: Image: Stiffness proportional ratio: Contact acceleration: Image: Stiffness proportional ratio: Image: Stiffness proport	Name: Position Blank. Objects Director Director Director Blank.holder Along Director Along <

Obrázek 4.1 – Změna hodnoty tolerance v dialogovém okně Autopositioning

Makro automaticky nastaví hodnoty rychlostí pohybu nástrojů 2 m/s pro holding a 10 m/s pro camping. U rychlostí jsou náběhy (viz Obrázek 4.2), protože jinak Penalty kontakt nefunguje správně.



Obrázek 4.2 – Nastavení hodnoty rychlostí pohybu nástrojů

Shrnutí pojmů 4.1

Po prostudování této kapitoly by měl uživatel vědět, jaký je rozdíl mezi použitím objemových a plošných prvků při zadávání úlohy, na co dávat pozor u objemových úloh při použití MECAS ESI maker.



Otázky 4.1

- 1. Co je to SOLID?
- 2. Co je to SHELL?

```
\mathcal{X}
```

Průvodce studiem – slovník pro zapamatování

Slovník základních pojmů objevujících se v softwarech využívající metody konečných prvků.

Tabulka základních anglických pojmů			
Název – anglický česky			
Shell	Skořápka		
Solid	Jednolitý, celistvé těleso		
Uniform	Jednotný, stejný		
Reduced	Zredukovaný, omezený		

5 HLUBOKÉ TAŽENÍ S POUŽITÍM MECAS ESI MAKER

Kapitola se zabývá zadáváním úlohy do softwaru, vkládáním podkladů pro simulaci hlubokého tažení s použitím zjednodušujících maker. Tato makra zjednodušují vkládání všech okrajových podmínek. Dále je zde popsáno spuštění samotného výpočtu a práce s výsledky a analýzami lisovatelnosti. Vše je doplněno ilustračními animacemi.



Při práci s plechovými výtažky se předpokládá, že tloušťka materiálu (plechu) je zanedbatelná vzhledem k velikosti celého tělesa. Proto se dále pracuje s 3D plochami výtažku (viz Obrázek 5.1) a tloušťka materiálu se může zohlednit v dalších okrajových podmínkách níže.



Obrázek 5.1 – Výtažek zobrazený v softwaru PAM-STAMP 2G

5.1 Zadání nového projektu v PAM-STAMP 2G

Při zadávání nového projektu (výpočtové úlohy) se musí v roletové nabídce, nebo v panelu nástrojů zvolit:

Project/ New/ Project/ Název projektu

Zadáním názvu souboru (simulace) a potvrzením zadaného názvu se zobrazí uživatelské rozhraní pro práci s úlohou. Tím je založena nová úloha (viz Obrázek 5.2).

New project				? 🔀
Uložit do:	🚞 priklad c1	• 🗢	•	
C podklady				
Název souboru: Uložit jako typ:	programc1_makro PAM-Stamp 2G projects (".psp)	2	- -	Uložit Storno

Obrázek 5.2 – Založení nového projektu

Jako podklady pro simulaci hlubokého tažení se v praxi používají CAD soubory, které jsou exportovány ve formátu *.*igs, nebo* *.*stp* (viz 3). Tyto soubory obsahují plochy 3D modelu výtažku, který musí mít geometrický tvar, jaký má výsledný výtažek. Tyto soubory jsou zpravidla dodány zákazníkem.

Po potvrzení dojde k uložení a do dialogového okna nového projektu se zadá:

Process/ Standard stamping

Jedná se o standardní hluboké tažení. Na výběr je dále válcování (lemování), zakružování.

V řešiči (Solver type) se dále nastaví standardní tažení:

Solver type/ PAM-AutoStamp

Dále jsou v nabídce řešič síťování, rychlý řešič (Quick Stamp) (viz Obrázek 5.3) a rozvin výtažku (Inverse), který se využívá pro získání obrysové kontury přístřihu.

New project 🛛 🛛 🔀
Identifier
Name programc1_makro
Location D:\Pam-STAMP-2G\ESF_PAM-STAMP 2G - eleming
Process
Standard stamping Stamp roll hemming Tube
Solver type
Mesh PAM-AutoStamp PAM-Unit Stamp Plus
Title
Comment
OK

Obrázek 5.3 – Nastavení procesu v novém projektu

Potvrzením jsou primární údaje nastaveny a uloženy do základních souborů, do uživatelem zvolené složky. Úloha je tak nastavena na technologii prostého tažení.

Plochy a ostatní externí data jako křivky brzdicích žeber, plochy přístřihu se do softwaru PAM-STAMP 2G importují více způsoby, například pomocí příkazů z roletové nabídky:

Project/Import/ Import tool CAD

Nebo pomocí rychlého importu (viz Obrázek 5.4), kdy uživatel pomocí ikony pro rychlé vkládání zadá:

Project programet_ma
mport part CAD
mport CAD for reengineering
import tools CAD
mport tools mesh
import CAD curves
Edit transfer rules

Import tool CAD...

Obrázek 5.4 – Rychlé vkládání CAD dat

Po zadání příkazu uživatel vybere z uložené pozice CAD soubor a potvrdí příkazem "Import & Transfer" a potvrdí se pomocí příkazu "Transfer".

Po naimportování (načtení) plochy výtažku do programu je úloha nachystána pro další zadávání zpřesňujících okrajových podmínek důležitých pro simulaci úlohy hlubokého tažení.

5.2 Definice limitních podmínek simulace

Pro další simulaci tažení je potřeba vytvořit k importovanému výtažku další plochy. Tyto plochy patří tažníku, tažnici, přidržovači a ploše přístřihu. Tyto plochy tvoří základní schéma nástroje pro prosté tažení (viz Obrázek 5.5).



Obrázek 5.5 – Schéma nástrojů pro prosté tažení

5.2.1 Tvorba tažníku

Tažník (viz Obrázek 5.5) je součást nástroje aktivně se podílející na tažení výtažku. Má tvar dutiny hotového výtažku (jedná-li se o jednokrokový tah). Zpravidla vykonává přímočarý vratný pohyb, který končí tehdy, kdy je materiál přetvořen ve výsledný výtažek.

Pro tvorbu tažníku (i ostatních tvořených ploch) se v panelu 3D modelu označí nabídka *"Elements"* a *"Edges"* (viz Obrázek 5.6).

Tyto funkce slouží k různému zobrazování 3D modelu, který uživatel naimportoval (viz 5.1). *Elements* je funkcí zobrazující vybrané elementy do viditelné polohy. *Edges F*unkce zobrazují 3D model rozložený na rovnoběžné elementy.



Obrázek 5.6 – Funkce výběru

Pro označení plochy tvořící tažník v nástroji slouží sada nástrojů, které uživatel použije pro označení ploch na 3D modelu (viz Obrázek 5.7).

Project Ecit View Geometry Diemaker Material Process Analysis Solver Customize Window Help	
ੇ ☞ 🖬 🗏 🖻 🗟 🖉 🔍 🤤 🕄 🚰 🍡 🖕 🛃 🗖 🗖 🏹 😵 🔽 🖾 🖓 🖾 🖓 🖾	
SPERIE OF MAR DESTINE = = 0 V V V M OF SERVICE	698

Obrázek 5.7 – Standardní panel nástrojů a nabídka "Selection toolbar"

Pomocí jednotlivých funkcí panelu "*Selection toolbar*" může uživatel jednoduše a efektivně vybrat přesně ty entity, které potřebuje k vytvoření dalších objektů (viz Tabulka 5.1).

Selection toolbar		
Zobrazení Vlastnosti		
*	přidávání vybraných objektů	
_	odebírání vybraných objektů	
=	vybírá vždy jednotlivý objekt	
2	Výběr jednotlivých bodů	
2	výběr ploch	
₫	výběr hraničních křivek	

Tabulka 5.1 – Vlastnosti jednotlivých funkcí v nabídce "Selection toolbar"

C	výběr 3D křivek
Ð	výběr celého objektu
B	výběr ploch
ő	výběr entit
P	odebere všechny entity
80	převrácený, inverzní výběr

Uživatel tedy pomocí této nabídky *"Selection toolbar"* označí všechny plochy tak, aby jejich označením vznikla celá kontaktní plocha tažníku (viz Obrázek 5.8). Tedy plocha přímo se podílející na výsledném tvaru hotového výtažku. Jedná-li se o výtažek vyráběný hlubokým tažením, pak označenou plochou není jen kontaktní plocha, která je kolmá na směr tažení, ale i okrajové plochy, tedy plochy rovnoběžné se směrem tažení. Výhodou takového vybírání elementů je, že plocha tvořící tažník nemusí být jednotná, lze počítat s místním odlehčením, vybráním apod.



Obrázek 5.8 – Označování ploch vytvářející kontaktní plochu tažníku

Po označení ploch, které tvoří plochu tažníku, se výběr uloží jako samostatný objekt. Výhodou je, že si uživatel kdykoli během výběru může 3D model natáčet a jednotlivé plochy vkládat nebo vyjímat. Po vybrání všech entit uživatel objekt uloží (viz Obrázek 5.9):





Obrázek 5.9 – Kontextová nabídka

Přidáním označených ploch do objektu a pojmenováním vytvoří uživatel objekt, který je samostatný a nezávislý (není provázán) na původním 3D objektu (viz Obrázek 5.10).

Add selection to object Select an object or dial a name referencni plocha tazniku Remove from other objects Add Replace Cancel

"referenční plocha tažníku"/ Add

Obrázek 5.10 – Přidávání objektů

Tím je vytvořena plocha tažníku (viz Obrázek 5.11) jako samostatný objekt. V nabídce vlastností 3D modelu pak uživatel může zobrazovat jednotlivě vytvořené plochy, nebo výběrem ploch s použitím klávesnice "Ctrl" se zobrazují plochy v jednom dialogovém okně.



Obrázek 5.11 – Plocha tažníku vytvořená v programu PAM-STAMP 2G

5.2.2 Tvorba tažnice

Tažnice (viz Obrázek 5.5) je součást nástroje, který se aktivně podílí na tvorbě výtažku. Má tvar vnější skořepiny výtažku. Oproti tažníku je tedy zvětšen ve směru tahu o tloušťku materiálu výtažku.

Plocha tažnice se vytvářet nemusí, protože vznikla importováním základního modelu (viz Obrázek 5.11 – žlutá 3D plocha). V případě, že si uživatel přeje z nějakého důvodu plochu tažnice změnit, postupuje obdobným postupem jako v předchozím případě (viz 5.2.1). Důvodem k tvorbě tažnice mohou být i neupravená 3D data dodaná jako podklad pro simulaci hlubokého tažení.

Pokud je výtažek symetrický podle některé z hlavích os dle jednotného souřadnicového systému (USS), může uživatel podniknout zjednodušení, které urychlí

výpočet a to pomocí rovin symetrie (viz 5.2.6). Korektní zadání rovin symetrie ve výtažku nemá žádný vliv na správnost výpočtu a neovlivňuje žádnou analýzu lisovatelnosti.

5.2.3 Tvorba přidržovače

Přidržovač (viz Obrázek 5.5) má v nástroji funkci sevřít přístřih k tažnici a následně tažník deformuje přístřih do požadovaného tvaru. Pokud je třeba vyvinout vyšší stupeň přidržení, mohou být v přidržovači navrhnuta brzdicí žebra, která mají za úkol:

- zpomalit vtažení přístřihu mezi tažník a tažnici a zabránit tak vytvoření vln na okraji výtažku,
- zvyšují intenzitu přibrzdění přemisťovaného materiálu v jednotlivých částech tažnice, eventuálně dále i v určité fázi tahu, což způsobuje zvýšení tahového napětí na úkor tlakového napětí. Se zmenšením tlakového napětí se také zmenšuje možnost vzniku vln či záhybů a zvyšuje se tedy jakost povrchu výtažků. Intenzitu brzdění lze ovlivnit různým tvarem, uspořádáním a počtem brzdicích žeber,
- brzdicí žebra přinášejí do schémat deformace polotovaru, sevřený přidržovačem a tažnicí, významný součinitel – ohybu materiálu. Při tažení výtažků složitých tvarů nová složka vhodně působí, protože vyrovnává nerovnoměrnosti přibrzdění polotovaru na různých částech obvodu přidržovače,
- při tažení výtažků složitých tvarů dovolují brzdicí žebra získat v jednotlivých místech výtažků potřebný stav napjatosti a stupeň deformace za účelem maximálního využití zásoby plasticity plechu a dokonalého tvarování výtažku,
- u složitých zborcených prostorových ploch přidržovače brzdicí žebra dovolují snížit nároky na přesnost obrobení povrchu přidržovače.



Zajímavost k tématu

Podle dřívější praxe se u výtažků složitějších tvarů bez předcházejícího zkoušení používaly brzdicí lišty (po celém obvodu výtažku). Postupným zkoušením se dodatečně zjišťovalo, ve kterém místě (na jakém úseku) není třeba tak intenzivního brzdění a část lišty se vysadila. Naopak, v místech s nedostatečnou intenzitou brzdění plechu se umístilo více brzdicích žeber tak, že byla postupně kladena za sebe do doby, než byla intenzita brzdění optimální. Pro ověření správnosti odhadu se vkládá mezi plech a přidržovač smirkové plátno, kterým se částečně modeluje vliv brzdicího žebra. Podle výsledků opakovaných zkoušek se doporučí místa, ve kterých je nutno brzdicí žebra umístit. Aby účinek brzdicího žebra byl co nejefektivnější, je nutné brat v úvahu kromě

polohy, také geometricky tvar brzdícího žebra. Při nevhodné volbě tvaru nebo umístění brzdicích žeber se totiž lisovatelnost výtažků nápadně zhoršuje.

Přidržovač má značný vliv na průběh tažení a jakost výsledného výtažku. Vhodný tvar přidržovače spolu s optimálně volenou přidržovací silou příznivě ovlivňuje celý proces tažení a analýzy lisovatelnosti. Kromě toho u druhého a dalších tahů přidržovač ustřeďuje výtažek proti tažnici. Síla přidržovače musí být tak velká, aby zamezila tvoření vln na výtažku, ale nesmí dojít k utržení dna výtažku.

Vlastnosti přidržovače:

- k deformaci plechu dochází převážně za působení tahových napětí (tahová napětí jsou převážně v oblasti přidržovače),
- pro získání výtažku bez zvlnění, nebo jiných poruch, je třeba plech brzdit s různou intenzitou po obvodu tažné hrany,
- průběh tažení lze ovlivňovat pomocí technologických prolisů, otvorů v přístřihu, orientací přístřihu v nástroji, tvarem plochy přidržovače a někdy i seskupením výtažků.

Plocha přidržovače je plocha (rovina), ze které se bude výtažek tvářet do výsledného požadovaného tvaru. Rovina přidržovače je rovina, ze které se vychází při simulacích tažení výtažků. Z této roviny, bude vycházet simulace tváření do konečné podoby výtažku.

Pomocí standardního panelu a nabídky "*Selection toolbar*" se označí všechny plochy tak, aby jejich označením vznikla celá kontaktní plocha přidržovače (viz Obrázek 5.12).



Obrázek 5.12 – Plocha přidržovače v programu PAM-STAMP 2G

Po označení ploch, které tvoří plochu přidržovače, je třeba vytvořit plochu přidržovače (viz Obrázek 5.13) obdobně jako v předchozích krocích:



Add selection to object	
Select an object or dial a name	
referencni plocha pridrzovace	•
Remove from other of	ojects
Add Replace	Cancel

Obrázek 5.13 – Přidání objektu

Tím se je vytvořena plocha přidržovače (viz Obrázek 5.14) jako samostatný objekt. Zobrazením všech ploch lze shlédnout všechny definované aktivní plochy virtuálního nástroje.



Obrázek 5.14 – Vytvořené plochy tažníku, tažnice a přidržovače

5.2.4 Definice směru tažení

Po určení všech potřebných ploch je nutné definovat směr tažení. Jedná se o směr hlavního tahu (zdvih tažníku), tj. směr hlavních tahových napětí.

Směr tažení je definován vytvořením nového objeku v záložce v panelu modifikace procesu (viz Obrázek 5.15):

Process/ Create object...

Cad)	Transfor	mations	Proce	ss
씅	분	씅	*	
<u>بلا</u> :	4	공	1	2
R			2	
	_	_		

Obrázek 5.15 – Panel modifikace procesu

Při vytvoření nového objektu (viz Obrázek 5.16) uživatel nastaví v roletovém menu typ objektu – nový souřadnicový systém:

Type/ CoordinateSystém/ Ok...

Uživatel poté co vybere typ nového objektu a vytvoří tak souřadnicový systém, může tento systém upravit dle svých požadavků. V poli *"Origin"* je popsána aktuální poloha souřadnicového systému. V poli *"Vector"* jsou uvedeny polohy a směry hlavích os souřadného systému (viz Obrázek 5.17).



Obrázek 5.16 – Nabídka nového objektu

) efini	ition type : 间	rigin and ve	ctor	<u>-</u>
	Origin		Vector	
X:	50		× 0	_
Y:	80	10 .	Y 0	18
Z:	-46.2598		z -1	

Směr hlavního tažení, tedy orientaci osy z, je třeba nastavit na hodnotu -1, tedy tak, aby směr tažení byl stejně orientován jako osa z nově vytvořeného souřadného systému.

Po vytvoření nového souřadného systému, se tento souřadnicový systém přiřadí do seznamu nově vytvořených objektů v panelu vlastností 3D modelu (viz Obrázek 5.18). V tomto panelu jsou všechny objekty znovu editovatelné, proto může uživatel jejich vlastnosti dle potřeb libovolně měnit.



Obrázek 5.18 – Vytvoření souřadného systému v programu PAM-STAMP 2G

5.2.5 Tvorba přístřihu

Přístřih je nedeformovaný tvar materiálu plechu (viz Obrázek 5.5), ze kterého se tvářením získává skutečný výlisek. Tento přístřih má svůj přesný tvar (3D data od zákazníka), který se odvíjí od složitosti výtažku. Optimalizaci přístřihů, jejich velikosti a úsporu materiálu řeší nástřihové plány popřípadě řezací plány.

Definice přístřihu může v programu PAM-STAMP 2G proběhnout dvěma způsoby. V prvním se jedná o import (načtení) přístřihu již existujícího (formát *.igs, *.stp):

Project/Import/Import CAD curves/ uživatel vybere vytvořenou křivku...

Jedná-li se o jednoduché tvary rovinných přístřihů, může uživatel softwaru využít připraveného makra, které pomocí několika kroků pomůže uživateli vytvořit rovinný přístřih (viz níže).

Při vytvoření přístřihu s použitím makra musí uživatel nejdříve v záložce "*Process"* zapnout ikonu s názvem "*Blank editor"*:

Process/ Blank editor / +/ Blank/ Surface Blank/Ok...

"*Blank surface"*, protože se jedná o rovinný přístřih pro tažení bez ztenčení stěny výtažku. Nemusí se volit objemový (Volume) přístřih (viz Obrázek 5.19).

Následuje okno, ve kterém uživatel nastaví mechanické vlastnosti tvořeného přístřihu (viz Obrázek 5.19). V záložce "*Material*" se nastavuje směr válcování dle zvoleného souřadného systému a tloušťka materiálu "*Thickness*".

V záložce "*Material law*" je vytvořená materiálová databáze, která slouží k přiřazení materiálových vlastností danému přištřihu. Tato databáze obsahuje vždy označení materiálu a jeho mechanické a fyzikální vlastnosti (viz Obrázek 5.21).

Blank e	ditor	×
Name		- (- (-) -)
1		
Materia	Definition	
New objec	it .	
Name:	Blank	
Type:	Surface Blank	<u> </u>
	Surface Blank Volume Blank	
OK	Cano	cel

Obrázek 5.19 – Editace přístřihu



Obrázek 5.20 – Mechanické vlastnosti přístřihu

Directory: 🖄 🗙 🗊	Materials:	
- Private	Name	Туре
Public	DC05_0.8mm	Standard stee
aluminium	HES_2.49mm	Standard stee
- high strength steel	HR80_4mm	Standard stee
Salzcitter	If18_1mm	Standard stee
	If18_1mm	Standard stee
E steel	If18_1mm	Special steel
unsorted	Ifhs 0.65mm	Standard stee
- Vegter-Corus	IHZ_0.8mm	Special steel
	IMg3 2mm	Standard stee
	RRSI13_0.75mm	Standard stee
	RSt37-2_3.3mm	Standard stee
	SOLDUR 355 1	Standard stee

Obrázek 5.21- Materiálová databáze

Záložka *"Definition"* slouží k tvarovému definování přístřihu (viz Obrázek 5.22). V případě, kdy je přístřih rovinného tvaru, je nejvýhodnější definovat tvar pomocí čtyř okrajových bodů:

Definition/ Four point/ Mesh size/ Apply

Pomocí "*Mesh size*" uživatel nadefinuje základní velikost elementů, na které se vytvořená plocha rozdělí, pro méně zkušeného uživatele je k dispozici jednoduchý kalkulátor, který vypočte základní rozměr elementu.

ank editor	
Name	
Blank	• • =
Material Defini	ion
Outline	
Outline	
Four points	
Rectangle Disk: / Pie Tube	
	<u>[</u>
Outline: No o	utine I Mark Andrew Andre
Outline: No o Advanced p Element criteric	utine New to The Action State from the Action State from the Action State and State an
Outline: No o Advanced p Element criteric	utine New Solar Control of Contro
Outline: No o Advanced p Element criteric	utine Utine Utine Utine Utine Utine Utine Uceate itom meth Delete al curves Meth size: Automatic mething Uelete meth Prevew

Obrázek 5.22 – Vlastnosti přístřihu

Při použití "tvoření plochy pomocí čtyř bodů" musí uživatel v panelu 3D vlastností vybrat "nabídka zobrazení bodů" a na ploše tažnice potom vybrat čtyři okrajové body, které tvoří okrajové body přístřihu (viz Obrázek 5.23). Tyto okrajové body jsou zvoleny na ploše tažníku tak, aby vytvořená plocha přidržovače mohla přidržovat výtažek po všech stranách s dostatečnou plochou.



Obrázek 5.23 – Umístění přístřihu na tažnici
Definováním okrajových bodů tvořících přístřih a potvrzením "*Apply*" se vytvoří obdelníkový objekt nazvaný Blank, tedy přístřih (viz Obrázek 5.24) se všemi nadefinovanými vlastnostmi (viz výše). Vytvořený přístřih lze zobrazit a editovat rovněž v panelové nabídce ve vlastnostech 3D modelu.



Obrázek 5.24 – Vytvořený přístřih a jeho zobrazení

5.2.6 Zjednodušení výpočtu pomocí rovin symetrie

U výtažků, které jsou symetrické, lze použít řady zjednodušujících kroků, které šetří výpočtový čas i práci uživatele. Například u řešeného příkladu je záměrně použita polovina výtažku a pomocí vytvoření roviny symetrie lze definovat celý tvářecí proces. Pro různé výtažky, může být rovina symetrie jiná, mohou se použít i dvě roviny symetrie (viz Obrázek 5.25).



Obrázek 5.25 – Příklady volby rovin symetrie, použití jedné a dvou rovin symetrie

V tomto případě je plocha tažnice poloviční, protože je již počítáno s polovinou výtažku, proto je třeba přiřadit na hranu výtažku rovinu symetrie (viz Obrázek 5.26). Pokud by se nevytvořila plocha symetrie, výpočet by nezapočítal rovinu symetrie do výpočtu. Hrana by byla považována za volnou hranu výtažku a přistřih by se v místě hrany deformoval zcela jinak, než je tomu s použitím roviny symetrie:



Process/create object/"rovina symetrie"/plane...

Obrázek 5.26 – Definice roviny symetrie

Vytvoření roviny symetrie spočívá v definování této roviny. V záložce "*Definition type*" (viz Obrázek 5.27) je celá řada možností jak určit rovinu symetrie. Tyto možnosti vychází z matematického definování rovin:

Definition type /Center and normal/ okrajový bod/ Normal X=1/ Ok

Definition type : 0	Center and no	ormal	2
Center		Normal	
X: 249.007			-
7: 0		20	KB-
		Global Sustem	
		Julobal System	

Obrázek 5.27 – Pozice přístřihu

Definováním okrajového bodu, tedy bodu, kterým bude procházet vytvořená plocha symetrie a definováním normály, tedy osy, na kterou bude daná plocha kolmá, se vytvoří plocha symetrie.

Vytvořená plocha symetrie je uložena v nabídce vlastností 3D modelu jako nový objekt (viz Obrázek 5.28). Takto vytvořená plocha vymezuje hranici části výtažku, po které se přístřih bude tvářet (deformovat) tak, jako by dále byla druhá část výtažku.



Obrázek 5.28 – *Plocha symetrie vytvořená na okraji výlisku a kolmá na osu X*

5.2.7 Nastavení procesu tažení

V panelu modifikace procesu tažení se musí nejdříve vytvořit nástroj, tzn. definovat další vlastnosti tažníku, tažnice, přidržovače, přístřihu atd. Jedná se o provázání nástrojů mezi sebou tak, jak vypadá reálný nástroj. Poté uživatel definuje, jaké výpočty pro danou simulaci požaduje (viz níže).

Nyní jsou všechny objekty vytvořeny a proto se může začít nastavovat tvářecí proces, který začíná vytvořením nástrojů (viz Obrázek 5.29):



Process/ Tool Builder...

Obrázek 5.29 – Nastavení tváření

Pojmy k zapamatování

Konvenční tvářecí nástroj tvoří vždy základní prvky: tažnice, tažník. U hlubokého tažení je nástroj zpravidla doplněn přidržovačem (viz *Obrázek 5.30*) a brzdicími žebry popřípadě vodicími lištami. Snahou uživatele je vždy sladit jednotlivé prvky, jejich vlastnosti a interakci tak, aby výsledný výtažek splňoval všechny geometrické vlastnosti předepsané na výrobním výkresu.



Obrázek 5.30 – Schéma nástroje

Nabídka *"Tool Builder"* slouží k vytvoření nástrojů z referenčních ploch, které doposud uživatel vytvářel jako nové objekty (viz Obrázek 5.31).

Nejprve si uživatel vybere, kterým makrem (*"Macro"*) bude vytvářet nástroje. Je možné vytvoření nástrojů z tažnice (viz níže), nebo z tažníku.

Macro Build tools from die side	Customiz
Group	Parameters
Punch 💌 🗙	Direction from die to punct
Tool name Punch 💌	x
will be built from object(s)	Y 0
	^z l ⁰
	Global System 💌
- A	Diast this has a
	Clean mesh before offset
	🔽 Save initial mesh
And and and	Contact type Accurate -
	✓ Orient mesh Parameters
	Gap
	C on die
	C on punch
	Binder wall height
	Replace entities in targets

Obrázek 5.31 – Tvorba nástrojů

Build tools from die side/ /Punch/+(Add Object)/referenční tažník/Ok

Použitím funkce "*Add Object"* (+), se otevře nabídka přiřazení objektu k označenému nástroji (viz výše). Označením referenčního objektu se přiřadí objekt k danému nástroji (viz Obrázek 5.32).

Blank↔ přístřihPunch↔ referenční tažníkBlank holder↔ přidržovačBox_die↔ tažnice

A	dd objects 🛛 🔀
	Box_die referencni taznik referencni plocha pridrzovace Blank
	OK Cancel

Obrázek 5.32 – Editace objektu

V nabídce *"Tool Builder"* jsou dále nabídky parametrů tažení, kde si uživatel volí směr tahu to v případě, že by byl požadován tah v jiné ose než v ose z jako u tohoto příkladu. Jinou osu by bylo třeba použít například u lemování okraje, přehybu boční strany výtažku apod.

Použitím funkce *"Tool Builder"* a přiřazením jednotlivých ploch k nástrojům se v nabídce vlastností 3D modelu vytvoří nové plochy znázorňující nástroj (viz Obrázek 5.33). Pro tento nástroj je třeba dále definovat tvářecí proces a jeho další vlastnosti.



Obrázek 5.33 – Definované nástroje pomocí maker "Tool Builder"

Pro vytvoření vazeb mezi jednotlivě vytvořenými nástroji slouží funkce "*Data setup macro*" (viz Obrázek 5.34):

Process/ Data setup macro...



Obrázek 5.34 – *Modifikace procesu*

Při aktivaci funkce "*Data setup macro"* se musí přiřadit k procesu tažení makro, které nejlépe popíše daný proces (Obrázek 5.35):

Data setup macro/ +/ Stamp/ Feasibility/DoubleAction...

Mezi další makra patří:

- 👃 Blanking,
- **4** Position, Holding, Trimming,
- Single Action,
- Stamping Only Double Action,
- Stamping Only Single Action.



Obrázek 5.35 – Data setup macro

Fakulta strojní, VŠB-TU Ostrava

V nabídce zobrazující všechny druhy objektů, které jsou v PAM STAMPu nadefinovány, si uživatel vybere ty, které předtím sám vytvořil a nadefinoval jejich vlastnosti (viz Obrázek 5.36). Pokud je uživatel nevybere, výpočet bude probíhat bez těchto objektů:

- 🖶 Blank (přístřih),
- 🖶 Die (tažnice),
- 🖶 Punch (tažník),
- **4** Symetry plane (rovina symetrie).



Obrázek 5.36 – Výběr objektů

V nabídce "*AutoStamp"*, "*Standard forming"* se musí dále nadefinovat (opravit) další atributy, které jsou označeny červeným zvýrazněním (viz Obrázek 5.37):

w/ opravení nedefinovaných butů

atributů

Thickness 0,5; Roling direction 0-1-0; minimum Tool radius 2; Blank holder 10 kN; friction 0,12

V okně "*Group"* jsou definovány plochy nástrojů. Pokud nastane nějaký problém s definicí, je plocha označena. Totéž platí i u okna *"Material"* a *"Parameters"*.



Obrázek 5.37 – Definice prostého tahu

5.2.8 Tření

Dalším parametrem, který nelze zanedbávat, je koeficient tření. V procesu plošného tváření ve fázi zapracování sériových nástrojů, například pro karosérii automobilu, nepostačuje odhadnutý konstantní koeficient tření. Koeficient tření je třeba si představit jako jedno-, dvou- či vícerozměrnou funkci. Koeficient tření je závislý na tlaku přidržovače, na rychlosti tváření a na dalších fyzikálních vlastnostech plechu a nástroje.

Typickým příkladem nelineárního průběhu tření jsou brzdicí lišty. V programu PAM-STAMP 2G lze simulovat tváření s reálnou geometrií brzdicí lišty v kombinaci s nelineárním koeficientem tření. Výsledky simulace analytického modelu brzdných drážek s konstantním třením se odchylují od reality.

Z hlediska technologie je nutné dodržovat určité zásady, mezi které patří:

- 4 výška výtažku má být co nejmenší,
- upřednostňovat výtažky rotačního tvaru s rovným dnem,
- 4 rohy hranatých výtažků velmi zaoblit,
- + příruby na výtažku používat jen v nevyhnutelných případech,
- + tolerovat rozměry tak, aby se výtažky již nemusely kalibrovat,
- 븆 volit materiály s dobrými tažnými vlastnostmi.

Ke snížení tření (a tedy i tažné síly) a ke zlepšení kvality povrchu se používá mazání. Nemaže se celý přístřih. Ze strany tažníku je výhodné mít tření co nejvyšší, ze strany tažnice je třeba tření co nejvíce snížit (viz Obrázek 5.38).

Mezi přidržovačem a materiálem je potřeba co nejlepší mazání. Prostředky, které se používají pro mazání, nesmí poškozovat povrch nástroje a výrobku, musí lehce přilnout a vytvořit tak rovnoměrnou vrstvu.



Obrázek 5.38 – Tření při tažení plechu

Po opravení a předefinování všech červeně označených atributů, je celá definice okrajových podmínek dokončena a úloha je připravena k výpočtu.

Pozdější změna je možná při opětovném použití příkazu:

Process/ Data setup macro.../ změna atributů/ Apply ...

Pokud bude provedena změna atributů (viz Obrázek 5.39) po provedení výpočtu, musí se výpočet provést znovu s provedenými změnami.

Macro	
1.DoubleAction	- + = 🗹 🂖
Information Gravity - Holding - Stamping - Double Action - Feasibility - Automatic refinement - Automatic nease scaling on Blank - v2009.0 Group	Material Blank Thickness = 0 Rolling drection = 01 0 'Global System' Name = DC05_0.8nm' Image: Constant System' Name = DC05_0.8nm'
Ule: Boc de U Punch: Punch UBlankhide: Blank hoder Symmety Plane : rovina symetrie	Parameters Holding Process frame = local trame Minimum tool radius = 3 Friction = 0.12 Stamping Blankholder force = 10

Obrázek 5.39 – Definice atributů

5.3 Simulace prostého tažení

Definováním procesu tažení jsou vymezeny okrajové podmínky simulace tváření. Spuštěním simulace se přístřih přetvoří do konečného tvaru výtažku. Jednotlivé kroky a průběh simulace jsou zaznamenávány tak, aby bylo možno se k jednotlivým krokům simulace vracet a sledovat jednotlivé změny deformace, ztenčení stěny, porušení apod.

Díky diskretizaci výtažku do sítě konečných prvků je možno sledovat i určitou dílčí část výtažku a ne pouze celý výtažek jako komplexní díl (viz Obrázek 5.).



Obrázek 5.40 – Rozdělení výtažku do sítě konečných prvků

Výsledkem simulace tažení plechového výtažku je získání vlastností dílce po procesu tváření. Jedná se o lisovatelnost výtažku, ztenčení plechu, výskyt zvlnění, porušení dílu. Tyto vlastnosti jsou rozhodujícím faktorem, který ovlivňuje celkovou jakost výtažku, jeho použití a životnost. V této fázi simulace je možné, pokud díl nevyhoví, upravit okrajové podmínky tak, aby došlo k lepším výsledkům. Toto je bezesporu výhoda programů pracující na základně metody konečných prvků, protože až po optimalizování okrajových podmínek (procesních veličin) se může konstruovat nástroj. Závěrečné ladění kritických rozměrů a tolerancí součásti je pak mnohem jednodušší.

Pro ověření správného nastavení úlohy co se týče kinematických pohybů nástrojů, jak s nimi bude software PAM-STAMP 2G počítat, slouží funkce "*Kinematic Check*" (viz Obrázek 5.40). Tato funkce se nachází v panelu "výsledky analýzy", pod záložkou "*Analysis*". Aktivováním této funkce si uživatel může přehrát celý kinematický proces, který nadefinoval v procesu "*Tool Builder*".

Analysis/ Kinematic Check/ Animation control ... VIDEO č. 1 uložené na průvodním CD-ROMu (viz níže).



Obrázek 5.40 – Kinematika definovaného nástroje



Animace zobrazující kinematiku pohybu výpočtu daného výtažku je uložena na průvodním CD-ROMu:

X:\PAM-STAMP_2G\Animace\1_PAM_STAMP_priklad_bez_maker_kinematika.avi

Po ověření kinematických vlastností výpočtu se může spustit samotný výpočet.

Solver/ Start/ Hosts...

"Host" je nástroj, který shromažďuje data z probíhajícího výpočtu. Stačí nastavit jednou a při dalších výpočtech je už předdefinován a může se jednoduše vybrat z nabídky "*Hosts*""(viz Obrázek 5.41)

K vytvoření nového nastavení sběru dat z probíhajícího výpočtu "Host" slouží nabídka "*Calculation host*" (viz Obrázek 5.42):

Solver/Start/Hosts.../+

Pomocí konfigurace Maschine (PC), Solveru (řešiče) a Launch (spouštěče) se nadefinuje "Host", který se může využít i při dalších výpočtech podobného charakteru.



Obrázek 5.41 – Nabídka sběru dat

		UN
unfine a stine		Cance
onliguration		
Machine Solver Launc	h	
Host		
• Local	C By address C By name	
C Network		
Operating system		
Windows (32-bit)	C Windows (64-bit)	
C Unix/Linux	C Windows (64-bit) cluster	
C Unix/Linux	C Windows (64-bit) cluster	

Obrázek 5.42 – Nastavení nového sběru dat

Výpočet se spouští dialogovým oknem "*Start a calculation*":

Solver/ Start/ Ok...

"Single host" znamená, že pro každý stav (stage) má program tentýž zvolený solver (tedy řešič). "Multi-host" znamená, že se pro každý stav (stage) může spustit jiný solver. Způsoby zapisování výsledků se mohou ovlivnit funkcemi v okně "*Action"*. Spouštěcí mód (Run mode), spouštění okamžitě (immediately), nebo v sériovém módu *"in batch mode"* (viz Obrázek 5.43).

V dalším kroku se vybere počet procesorů, na kterých bude výpočet probíhat.

Start a calculation	
Run on	
Single host C Multi-host	Hosts
SMP-SP	
inverse rozvin Double presition - explicit gravity- rozvin	springback
Work directory:	
D:\Pam-STAMP-2G\ESF_PAM-	STAMP 2G
Anting	
C Mariana Ramaka	
C Start the coloridation only	
Start the calculation only Write the input file and start th	e calculation
write the input file and start th	e calculation
Check attributes	
Duranda	
Run immediatelu	
C Bun in batch mode	
Run program after simulation	
Program name: no program	•
OK Ca	ncel

Obrázek 5.43 – Dialogové okno výpočtu

5.3.1 Sevření přístřihu

Prvním výsledkem zadané úlohy, dle kinematiky pohybu, je výsledek sevření přístřihu *"Holding"*. V tomto kroku je výsledkem sevření přístřihu přidržovačem k tažnici požadovanou silou (viz Obrázek 5.44). V panelu vlastností 3D modelu, v záložce *"Project"* je výsledek simulace sevření přístřihu, kdy *"State end"* znamená hodnotu, na kterou přidržovač sevře přístřih. Je to tedy hodnota tloušťky plechu, kterou uživatel předdefinoval v předchozích krocích.





Simulace sevření se po vypočtení uloží jako samostatný soubor do složky daného projektu s příponou Holding. Po simulaci sevření přístřihu je automaticky spuštěna simulace tažení výtažku "*Stamping*".

5.3.2 Tažení výtažku

Výpočet tažení výražku (Stamping) je rovněž uložen do samostatného souboru, který lze kdykoli otevřít (viz 3). Výtažek je rozdělen do jednotlivých kroků (State), které jsou zobrazeny v 3D vlastnostech modelu v záložce "*Project"* (viz Obrázek 5.45). Ke každému jednotlivému kroku je přiřazena aktuální hodnota tahu. Jedná se o hodnotu, která určuje zbývající hodnotu v [mm] k dokončení tažení.



Obrázek 5.45 – Vizualizace výsledku tažení (Stamping)

Uživatel tak může v každém kroku sledovat, jak se materiál přetváří do výsledného výtažku. V každém kroku lze vyvolat nabídku výsledků simulace procesu tažení (viz Obrázek 5.45) a tak lze sledovat i průběhy napětí, ztenčení a jiných analýz během tažení výtažku.

Výpočet lze vždy opakovat tím, že se jednoduše restartuje. Restart výpočtu se s výhodou používá při vzniklých problémech při výpočtu, když se vyskytne jakákoli chyba, se kterou si uživatel neví rady nebo záměrně změní některou z okrajových podmínek. Při restartování navíc lze použít upřednostňujících parametrů výpočtu, které ovlivňují výsledek výpočtu.

5.3.3 Restartování výpočtu se změněnou parametrů dotahu

Restartování výpočtu se používá tehdy, pokud uživatel záměrně změní některou z okrajových podmínek ovlivňující výpočet. Restartovanou úlohou může program přepsat stávající úlohu, nebo lze vytvořit novou úlohu se změněnými podmínkami.

Restartovat lze vždy jen výpočet už jednou proběhlý. Proto si uživatel otevře soubor vytvořený při výpočtu (Holding.psp, Stamping.psp ...). Tatu úlohu lze samostatně restartovat s podmiňujícími podmínkami (viz Obrázek 5.46):

Solver/Restart .../Restart paremete rs (nastavení parametrů)/Ok

"Stop criteria to modify" jsou omezující kritéria zastavující výpočet, kterými lze zpřesnit výsledky simulace. Mezi základní patří "Progression", "Distance to object" a "Pinch test".

Hestalt file to use	
At -4.946832 : 'programc1_makro	_02_Stamping.1.rst'
Stop criteria to modify	
Progression	Distance to object
New value	C New value 0
C Turn off	Turn off
Pinch tests	Damping convergence tests
C Turn on all	C New tolerance
Turn off all	C New tolerance Default
	C Turn off
Attribute stop criteria to modify	
Fluid Cell / Contact area	☐ Kinematic path
Turn on all	Turn on all
C Turn off all	C Turn off all
Press force analysis / Maximal	press force
Turn on all	
C Turn off all	
Output parameters to modify	
States interval	Prints cycle value
Restart interval	Max. number of restart files
History interval	-

Obrázek 5.46 – Nabídka restartu výpočtu

"*Progression"* (hloubka) určuje, do jaké hloubky se má výpočet provádět. Na výběr je zde uživatelem stanovená jakákoli hodnota ("*New value"*), anebo provést výpočet přes celou hloubku ("*Turn off"*). Dalším omezujícím kritériem je "*Distance to object"* (mezera mezi objekty) na výběr jsou rovněž 2 možnosti. První je hodnota stanovená uživatelem, druhou možností je "*Turn off"* tzn. mezera mezi objekty je nulová. Pinch test poté znamená, že se proces výpočtu zastaví, jakmile se tloušťka tvářeného materiálu rovná mezeře mezi tažníkem a tažnicí (viz Obrázek 5.47). Pinch test lze při restartování výpočtu vypnout.



Obrázek 5.47 – Pinch test (a – zastavení při zvlnění, b – zastavení při dosažení tloušťky plechu)

5.4 Vyhodnocení simulace procesu tváření

Výsledkem simulace tažení plechového výtažku je získání vlastností součásti v průběhu procesu tváření. Jedná se například o lisovatelnost výtažku (formability), ztenčení plechu (thinning), výskyt zvlnění (wrinkling), porušení dílu (max failure). Tyto vlastnosti jsou rozhodujícím faktorem, který ovlivňuje celkovou jakost výtažku, jeho použití a životnost v provozu a praxi. V této fázi simulace je možné, pokud díl nevyhoví, upravit okrajové podmínky tak, aby došlo k lepším výsledkům a proces restartovat (viz 5.3.3). Toto je bezesporu výhoda programů pracující na základně metody konečných prvků, protože až po optimalizování okrajových podmínek (procesních veličin) se může konstruovat nástroj. Závěrečné ladění kritických rozměrů a tolerancí součásti je pak mnohem jednodušší a méně nákladné.

Z výsledného souboru, který se vytvoří po provedení výpočtu tažení, lze zobrazit různé výsledky, analýzy výpočtu. Rovněž lze z těchto analýz vytvářet videa, která přibližují uživateli průběh tažení výtažku.

Video (viz Obrázek 5.48) z požadované analýzy uživatel exportuje z PAM-STAMP 2G ve formátu *.avi, pomocí jednoduchých kroků:

Standardní panel nástrojů/ Quick states animation/ All the states/ Ok/ Project/ Export/ Animation.../uživatel nazve animaci, zadá další podrobnosti a uloží...



Obrázek 5.48 – Animace v programu PAM – STAMP 2G



CD-ROM

Ukázka exportované animace uložena do formátu *"avi"*. Animace zobrazuje kinematiku pohybu tažení složitého výtažku. Uloženo na průvodním CD-ROMu:

X:\PAM-STAMP_2G\2_Animace\2_PAM_STAMP_exportovana_animace_tah.avi

Jednotlivé analýzy si může uživatel vyvolat v dialogovém okně "výsledky analýzy" v nabídce "*Contour*", která je uvedena v panelu "výsledky analýzy" (Obrázek 5.):

Contours/ Display/ Smoothed/ výběr analýzy...

Nejpoužívanější typy analýz:

Thickness	\leftrightarrow	tloušťka po tažení,
Thinning	\leftrightarrow	ztenčení plechu,
Strain	\leftrightarrow	deformace,
Stress	\leftrightarrow	napětí,
FLD	\leftrightarrow	diagram mezních deformací
Contact	\leftrightarrow	kontaktní místa.



Obrázek 5.50 – *Zobrazení simulace*

Analýzy si uživatel vybírá podle své potřeby. Výsledky jednotlivých analýz lze různě upravovat tak, aby výsledný obraz vypovídal co nejlépe o stavu výtažku (viz Obrázek 5.50). Proto i výslednou barevnou mapu lze upravovat tak, aby barvy určující stav výtažku byly vyhlazené, pruhované, normálové, nebo ve tvaru izočár. Samotná legenda určující numerickou hodnotu analýzy se aktivuje pomocí příkazu *"show legend"*.

U každé analýzy (viz Obrázek 5.49) má uživatel na výběr z několika hodnot. Například u deformace výtažku má uživatel na výběr z různých hodnot (Value), jakými jsou hlavní deformace (Major), což je nejvíce využívané kritérium, vedlejší deformace, směrová deformace, způsob deformace a plastická deformace. Na výběr je i vizualizace tensoru, tedy směrů hlavních napětí (vektorů).

Každá analýza má tedy několik variant, které uživateli nabízejí několik pohledů na řešený problém.



Obrázek 5.49 – Analýzy

Pro jednotlivé analýzy, ať už se jedná o ztenčení, deformaci nebo napětí, je důležité znát mezní hodnoty v daném stavu výtažku. Jedná se o maximální a minimální hodnotu sledované analýzy. Tyto hodnoty naznačují kritická místa výtažku. V případě maximálních hodnot se může jednat o místa s hrozícím roztržením, popřípadě zvlněním výtažku. Opakem těchto hodnot jsou minima, která naznačují oblasti výtažku, jež nejsou dostatečně (nebo vůbec) deformovány tvářecím procesem, nebo v dané oblasti je materiál napěchován. Uživatel má tak představu o trendu, jakým se výtažek při tváření bude chovat a kde jsou jeho kritická místa.

Uživatel si kdykoli může zobrazit maximální a minimální hodnoty v daném výtažku (viz Obrázek 5.50). Tyto hodnoty jsou přesně směřovány na daný element výtažku:

Contours/ \/ Show range/ Highlight the entities that delimit the range...

Hodnoty se interaktivně pohybují s polohou výtažku tak, aby uživatel viděl polohu daných mezních míst vždy v nejpřehlednějším umístění.



Obrázek 5.50 – Vizualizace výtažku s analýzou ztenčení v PAM-STAMP 2G

5.4.1 Deformace výtažku

Analýza deformace výtažku – "*Max. Strain"* ukazuje, která oblast výtažku je nejvíce náchylná na porušení. Označením dané oblasti je možno si vyvolat číselnou hodnotu (viz Obrázek 5.51). Pomocí funkce hledání maxima a minima lze zobrazit minimální a maximální hodnotu u zkoumaného výtažku.



Obrázek 5.51 – Zobrazení výsledků simulace s hodnotami minimální a maximální deformace výtažku

Součástí funkce "*Max. Strain"* je zobrazení deformací jednotlivých elementů konečnoprvkové sítě jako bodů v diagramu mezních deformací (FLD diagramu).

Nejdůležitější v této části analýzy je hodnota maximální deformace (v příkladu na Obrázku 5.53 jde o číselnou hodnotu 0,379). Podle této hodnoty se posuzuje riziko porušení výtažku. Pokud by tento výsledek dosáhnul hodnoty 1, znamenalo by to, že leží na křivce mezních deformací v diagramu mezních deformací a došlo by k porušení výtažku.



V praxi nesmí toto kritérium nabýt hodnoty 0,8 (80 %-ní využití zásoby plasticity materiálu při tažení výtažku), protože při závěrečném ladění kritických rozměrů a tolerancí účelem dodržení součásti za tolerancí předepsaných na výkresu, může docházet ke změnám nástroje, který zpětně ovlivní deformaci výtažku. Hodnotou 0,8 je zajištěna dostatečně velká rezerva pro plastickou deformaci bez porušení, protože při úpravě nástroje při neovlivnitelných vnějších vlivech může dojít k dalším deformacím výtažku.



Obrázek 5.52 – Diagram mezních deformací

Analýza deformací výtažku s využitím diagramu mezních deformací se dnes ustálila na typickém diagramu mezních deformací s osami hlavních logaritmických deformací. Každý element výtažku je v diagramu mezních deformací reprezentován jedním bodem (viz Obrázek 5.53). Uživatel tak má přehled o průběhu a rozložení napětí ve výtažku podle zvoleného materiálového modelu. Podle rozložení bodů a doplňkových barevných map lze snadněji a přehledněji analyzovat výtažek v procesu tváření.

• CD-ROM

Animace zobrazující ukázku FLD diagramu v průběhu tažení. Uloženo na průvodním CD-ROMu:

X:\PAM-STAMP_2G\Animace\3_PAM_STAMP_FLD_diagram.avi

Základní faktory ovlivňující polohu křivky mezních deformací v diagramu mezních deformací použitého plechu:

- čím větší je tloušťka plechu použitého k tažení, tím je křivka mezních deformací v diagramu mezních deformací výše položena (poloha křivky mezních deformací je ovlivněna výrazněji tloušťkou plechu jen u ocelí s mezí kluzu nad 330 MPa),
- čím vyšší je hodnota exponentu deformačního zpevnění n plechu, tím je křivka mezních deformací v diagramu mezních deformací položena výše,

 čím větší hodnotu meze kluzu materiál má, tím níž je křivka mezních deformací v diagramu mezních deformací položena.



Obrázek 5.53 – Vizualizace výtažku a analýza s využitím diagramu mezních deformací v softwaru PAM-STAMP 2G

Diagramy mezních deformací hodně vypovídají o napěťovém stavu výtažku a jeho rozložení ve výtažku. V každé části diagramů mezních deformací (viz Obrázek 5.54) lze vyčíst trend chování materiálu při působení nástrojů a doprovodných elementů jakými jsou brzdicí žebra, přidržovače apod. Body vyskytující se nad křivkami mezních deformací lze označit a interaktivně tak zobrazit přímo na modelu výtažku, tím se ukážou kritická místa s hrozícím nebezpečím porušení. Jednotlivé obrázky a grafy lze samozřejmě exportovat pro další prezentace a zpracování výsledků.

• CD-ROM

Animace zobrazující analýzu popisovaného výtažku, průběhu křivky limitních diagramů (FLD) v závislosti na postupu tažení daného výtažku. Uloženo na průvodním CD-ROMu:

X:\PAM-STAMP_2G\Animace\4_PAM_STAMP_analyza_pretvoreni.avi

X:\PAM-STAMP_2G\Animace\5_PAM_STAMP_analyza_FLD.avi

V první animaci je vidět postup tažení daného výtažku a měnící se deformace v jednotlivých krocích v závislosti na hloubce tahu.



Druhá animace navazuje na první a to tak, že je vidět, jak se v jednotlivých krocích mění stupeň deformace a jak se tvoří diagram mezních deformací.

Obrázek 5.54 – *Diagram mezních deformací vymezující různé způsoby porušení*

5.4.2 Ztenčení výtažku

Analýza ztenčení výtažku – "*Thinning*" ukazuje, o kolik procent se materiál výtažku ztenčil, nebo napěchoval. Jelikož se jedná o technologii tažení se ztenčením stěny, je tento výsledek důležitý při hodnocení lisovatelnosti výtažku. Záporné hodnoty ve výsledku simulace znamenají ztenčení stěny výtažku, naopak kladné hodnoty znamenají napěchování stěny výtažku v daném místě. Maximální a minimální hodnoty lze opět vyvolat pomocí funkce zobrazení maximálních hodnot v simulované soustavě (viz Obrázek 5.55).

Maximální hodnota ztenčení je zde dle simulace tažení 0,2259, což v procentuálním vyjádření znamená 22,59 % ztenčení materiálu v daném místě (viz Obrázek 5.55) a maximální hodnota napěchování materiálu je -0,076 tedy 7,6 % zvětšení tloušťky materiálu.



Obrázek 5.55 – Analýza ztenčení výtažku

CD-ROM

Animace zobrazující analýzu ztenčení zkoumaného výtažku. Uloženo na průvodním CD-ROMu:

X:\PAM-STAMP_2G\Animace\6_PAM_STAMP_analyza_ztenceni.avi



Zajímavost k tématu

V praxi je určena hodnota maximálního ztenčení materiálu, která je ještě vyhovující. Mezní hodnoty ztenčení materiálu používané v praxi jsou uvedeny v Tabulka 5.2. Překročení maximálně přípustné hodnoty ztenčení ohrožuje stabilitu výtažku a ten poté nemusí vyhovovat mechanickým vlastnostem, které jsou požadovány zákazníkem.

Vlastnosti souborů vytvořených softwarem při výpočtu			
Ztenčení (%)	Hodnocení		
do 20	Vyhovující		
20 ÷ 30	Nutnost přezkoumání okrajových podmínek, případně jejich úprava		
nad 30	Nevyhovující		

5.4.3 Lisovatelnost výtažku a stupeň deformace

Analýza lisovatelnosti – "*Formability*" ukazuje deformace daného výtažku (viz Obrázek 5.56). Snahou uživatele je docílit u výtažku co nejvyššího stupně deformace při splnění ostatních podmínek simulace (eliminace porušení, ztenčení, zvlnění). Větší deformace výtažku znamená výhodnější vlastnosti výtažku vzhledem k vyladění kritických rozměrů a tolerancí součásti za účelem dodržení tolerancí předepsaných na výrobním výkresu.

Při lisování zastudena se snižuje plasticita kovu (kov se zpevňuje) a snese bez porušení pouze určitý mezní stupeň deformace, proto se provádí tato analýza. Deformovaná hrana výtažku znamená menší pravděpodobnost odpružení. Součástí této analýzy je barevná mapa označující stupně deformace jednotlivých prvků sítě na výtažku. V Tabulka 5.3 je popsán význam barevných označení jednotlivých prvků výtažku.



Obrázek 5.56 – Analýza stupně deformace výtažku

Lisovatelnost výtažku			
Zobrazení	Význam		
STRONG WRINKLING TREND	Silné zvrásnění (napěchování)		
WRINKLING TREND	Mírné zvrásnění		
INSUFFICIENT STRETCHING Nedostačující protahování			
SAFE	Bezpečně deformovaná oblast		
MARIGINAL ZONE	Deformace na okraji kolize		
CRACK Prasklina, kolize			

Tabulka 5.3 – Kritéria hodnocení stupně deformace materiálu výtažku

Stupeň deformace má přímý vliv na maximální napětí ve výtažku, proto lze vidět u analýzy deformace barevnou mapu zobrazující jednotlivé oblasti s větší nebo menší deformací. U analýzy maximálních napětí jsou samozřejmě zaznamenána i větší napětí v oblastech, kde je větší deformace (viz Obrázek 5.57).



Obrázek 5.57 – Analýza maximálních napětí

• CD-ROM

Animace zobrazující analýzu průběhu maximálního napětí zkoumaného výtažku. Uloženo na průvodním CD-ROMu:

X:\PAM-STAMP_2G\Animace\7_PAM_STAMP_analyza_max_napeti.avi X:\PAM-STAMP_2G\Animace\8_PAM_STAMP_analyza_stupne_pretvoreni.avi



Po prostudování této kapitoly by měl uživatel umět vytvořit nový projekt v softwaru PAM-STAMP 2G, importovat plochu zadaného výtažku a z něj vytvořit jednotlivé plochy nástroje. Jedná se o základní plochy tažnice, tažníku, přidržovače a přístřihu.

Uživatel by dále měl být schopen využít zjednodušení výpočtu, která přinesou zkrácení výpočtového času při korektních konečných výsledcích. Uživatel bude umět samostatně nastavit proces tažení dle požadavků a nastavit parametry tření. Dále bude umět spustit výpočet simulace procesu tažení a v případě potřeby jej restartovat.

Uživatel bude umět vyhodnotit výsledek simulace a provést jednotlivé analýzy, mezi které patří vyhodnocení ztenčení, stupně deformace, napětí a rizika porušení výtažku zobrazením deformací v diagramu mezních deformací použitého plechu.

Otázky 5.1

- 1. K čemu slouží v nástroji přidržovač a uveď te minimálně tři důvody jeho používání.
- Jakým způsobem lze zjednodušit výpočet u symetrických výtažků v programu PAM STAMP 2G?
- 3. Jak ovlivňuje tření proces hlubokého tažení výtažků?
- 4. Jaké analýzy lze provádět u matematické simulace plošného tváření?
- 5. Co je to diagram mezních deformací a k čemu slouží?
- 6. Co je to Pinch test?

Úlohy k řešení 5.1.

1. Nakreslete schéma nástroje pro hluboké tažení a popište princip jeho funkce.

Další zdroje

- [1] ČADA, R. Příspěvek k řešení lisovatelnosti výtažků nepravidelných tvarů z hlubokotažných plechů : kandidátská disertace. Ostrava : Vysoká škola báňská v Ostravě, Fakulta strojní a elektrotechnická, 1989. 145 s.
- [2] MACHÁLEK, J. Návrh technologie lisování plechové součásti nepravidelného tvaru : diplomová práce. Ostrava : VŠB-TUO, 2009. 112 s.
- [3] FRODLOVÁ, B. Optimalizace napěťových a kinematických poměrů při tažení výtažku nepravidelného tvaru z tenkého plechu s využitím MKP : diplomová práce. Ostrava : VŠB-TUO, 2009. 247 s.



Průvodce studiem – slovník pro zapamatování

Slovník základních pojmů objevujících se v softwarech využívající metody konečných prvků.

Tabulka základních anglických pojmů				
Název – anglický	česky	Název – anglický	česky	
Surface	plocha	Thickness	tloušťka	
Punch	tažník	Strain	deformace	
Blank-holder	přidržovač	Stress	napětí	
Holding	přidržení	Insufficient	nedostačující	
Stamping	výtažek	Wrinkling	zvlnění	
Blank	přístřih, polotovar	Crack	prasklina, kolize	

6 HLUBOKÉ TAŽENÍ BEZ POUŽITÍ MECAS ESI MAKER

Kapitola se zabývá zadáváním úlohy do softwaru, vkládáním podkladů pro simulaci hlubokého tažení bez použití zjednodušujících maker. Dále je zde popsáno spuštění samotného výpočtu a práce s výsledky a analýzami lisovatelnosti výtažku. Vše je doplněno ilustračními animacemi.



6.1 Zadání nového projektu v PAM-STAMP 2G

Při zadávání nového projektu (příkladu) se musí v roletové nabídce (viz Obrázek 6.1) zvolit:

Project/ New/ Project

Zadáním názvu souboru (simulace) a potvrzením zadaného názvu se zobrazí uživatelské rozhraní pro práci s úlohou.

New project					?
Uložit do:	🚞 priklad c1	•	⊳ €	Ċ*	.
🚞 podklady					
Název souboru:	programc1_makro				Uložit
	201				

Obrázek 6.1 – Nový projekt

Jako podklady pro simulaci hlubokého tažení se v praxi používají CAD soubory, které se exportují ve formátech *.*igs*, *. *stp* (viz 3). Tyto soubory obsahují plochy 3D modelu konečného výtažku.

Do dialogového okna nového projektu se následně zadá:

Process/ Standard stamping

Jedná se o standardní hluboké tažení, na výběr je dále válcování (lemování), zakružování. V řešiči (Solveru) se dále nastaví standardní tažení (viz Obrázek 6.2):

Solver type/PAM-Sutostamp

Dále jsou v nabídce řešič síťování, rychlý řešič (Quick Stamp) a rozvin výtažku (Inverse).

lew proje	ct	>
Identifier		
Name	Tazeni_Bezmaker	-
Location	D:\Fam-STAMP-2G\ESF_PAM-STAMP 2G · eleming	ī
Process		
Standard	stamping	1
Stamp ro Tube	Ihemming	
Solver typ	e	
Mesh	~	Ĩ
PAM-Aut PAM-Qu	bStamp kStamp Plus	j j
Title		- 11
Comment		
DK	Cancel	

Obrázek 6.2 – Definice nového projektu

Plochy a ostatní externí data se do softwaru PAM-STAMP 2G importují více způsoby. Pomocí příkazů z roletové nabídky:

Project/ Import/ Import tool CAD

Nebo pomocí rychlého importu (viz Obrázek 6.3), kdy uživatel pomocí ikony pro rychlé vkládání zadá.



Obrázek 6.3 – Rychlé vkládání

Po zadání příkazu uživatel vybere z uložené pozice CAD soubor a potvrdí příkazem "*Import & Transfer*" a potvrdí se pomocí příkazu "*Transfer*".

Po importování (načtení) plochy výtažku do programu je úloha nachystána pro další zadávání zpřesňujících okrajových podmínek důležitých pro simulaci úlohy tažení.

6.2 Definice tvářecích nástrojů v PAM-STAMP 2G

6.2.1 Definice přidržovače

Pomocí standardního panelu a nabídky "*Selection toolbar*" uživatel označí všechny plochy tak, aby jejich označením vznikla celá kontaktní plocha přidržovače (viz Obrázek 6.4)



Obrázek 6.4 – Výběr plochy přidržovače

Pro správné vytvoření plochy přidržovače se využije funkce "*Offset"*, kde se musí zadat hodnota vzdálenosti *x* (viz níže):

 $x = 0.1 \cdot t \qquad (Rovnice 1)$

Kde jsou:	x	 hodnota vzdálenosti posunu plochy 	(mm),
	t	– tloušťka zadaného plechu	(mm),
	0,1	– konstantní hodnota (10 % tl. plechu)	(-).

Funkce "*Offset*" se nalezne v panelu "modifikace procesu", kde jsou i další funkce pomáhající upravovat nastavení tvářecího procesu (viz Obrázek 6.5).

Cad]	Transfo	rmation	s Pro	cess]	12
<u>°</u>		Po	Y	▲^ ▲	
2-1	+		- Contraction of the second se	• •	
	~	D.D			

Obrázek 6.5 – Úprava procesu

Funkcí "*Offset"* se aktivuje nabídka vlastností posunu neboli odsazení plochy přidržovače. Jako určení kontaktu přiržovače s tažníkem je třeba zadat přesný typ "*Accurate"* a hodnotu vzdálenosti 10 % tloušťky plechu. V dalším kroku je třeba určit směr odsazení (viz Obrázek 6.6) a do jaké plochy se má daný objekt uložit "*Generate in"*.



Obrázek 6.6 – Použití funkce "Offset" při definování plochy přidržovače

Jelikož je přidržovač v těsném kontaktu s přístřihem a v některých operacích by mohlo dojít ke kontaktu hrany přidržovače s materiálem, který by se tak mohl o tuto hranu rozříznout, nebo jinak poškodit, musí se plocha přidržovače vytáhnout do objemového prvku (viz Obrázek 6.8):

Funkce "*Walls creation"* se nalezne v panelu "modifikace procesu".

Definováním stěny pridržovače uživatel určí hranici přidržovače a v jakém směru bude přidržovač přístřih uzavírat (viz Obrázek 6.7).



Obrázek 6.7 – Definice stěny přidržovače



Obrázek 6.8 – *Definice stěny tažníku*

6.2.2 Definice tažníku

Pomocí standardního panelu a nabídky *"Selection toolbar"* se označí všechny plochy tak, aby jejich označením vznikla celá kontaktní plocha tažníku (viz Obrázek 6.9).



Obrázek 6.9 – Označená plocha tažníku

Obdobně jako v předchozím případě pomocí funkce "*Offset"* je třeba vytvořit plochu tažníku, který bude rovněž odsazen o 10 % (viz nahoře) tloušťky plechu proti směru tažení (viz Obrázek 6.10).



Obrázek 6.10 – Tvorba plochy tažníku

Tímto jsou vytvořeny plochy tažníku, tažnice a přidržovače. Obdobně jako v předchozím příkladu (viz 5) musí uživatel definovat plochu přístřihu a plochu symetrie pro zjednodušení výpočtu (viz 5.2.6).

6.2.3 Definice přístřihu

Pokud již uživatel má přístřih definovaný z minulých simulací, nebo z externích dat, může jej jednoduše importovat do úlohy.

Project/ Import/ Import tool mesh

Nebo pomocí rychlého importu (viz Obrázek 6.11), kdy uživatel pomocí ikony pro rychlé vkládání zadá:

Import tool mesh...



Obrázek 6.11 – Rychlé vkládání entit

Pokud uživatel nemá data k importu přístřihu, musí vytvořit přístřih v softwaru pomocí jednotlivých funkcí (viz Obrázek 6.12):

Panel modifikace procesu/ Create object/ New object/ Blank/ Blank Editor ...



Obrázek 6.12 – *Definice přístřihu bez použití maker*

Po potvrzení naší volby se přidá objekt přístřihu do dialogové nabídky "Vlastnosti 3D modelu" nový objekt přístřihu (Obrázek 6.13).



summetru r	Information	
synnieny p	Attributes	
	Groups	
	Transparent	
	Add object	
	Delete object(s)	
99	View for 'pristrih')
0000	Lock all selected	
	Unlock all selected	
	Transfer content to	
Conto	Exchange content with	
	Move 'pristrih'	

Obrázek 6.13 – Vlastnosti přístřihu

V dialogovém okně atributů přístřihu se musí definovat základní vlastnosti přístřihu. Jedná se o definici samotného tvaru přístřihu s materiálovými vlastnostmi, dále směr válcování polotovaru přístřihu a tloušťka plechu.

V nabídce *"Blank editor"* se nejprve definují materiálové vlastnosti daného přístřihu a poté v záložce *"Definition"* se definuje vlastní tvar přístřihu.

Hluboké tažení bez použití MECAS ESI maker



Cuttine \leftrightarrow vnejší krivka, Rectangle \leftrightarrow čtyřúhelník, Disk \leftrightarrow kruhový tvar,

Tube \leftrightarrow trubice,

Definice rozdělení přístřihu do sítě konečných prvků se může provést automaticky anebo pomocí jednoduché kalkulačky, kde stačí zadat stupeň přesíťování (viz 6.5).

Name		
Box_die		- + -
LL .: Definition		
Material		
Four points		
Outline		
Four points Bectangle		
Disk / Pie		
Tube		
Z: 🕂	Ar Z:	÷
	TB	
		Llear positions
×	-* Jc	
Y. 3	NL V.	
7.		
	Y:	
	Z:	<u> </u>
Element criterion		
	Mesh size: 2	998486
	Automatic meshing	
	, Harding in the fille	
Apply Dele	te mesh Preview	
51		
		Close

Obrázek 6.14 – Definice přístřihu

Potvrzením všech nastavených parametrů se na tažnici vytvoří přístřih, který má požadované vlastnosti a je rozdělen do základní konečnoprvkové sítě. U takto vytvořeného přístřihu lze pomocí vlastností atributu libovolně měnit jeho vlastnosti a rozměry.



Obrázek 6.15 – Přístřih vytvořený bez použití maker

6.2.4 Definice roviny symetrie

Rovina symetrie je další z objektů, které uživatel musí přidat pomocí funkce "*Create object"*.:

Panel modifikace procesu/ Create object/ New object/ Plane/ Symetry plane...

Definování orientace roviny v prostoru může uživatel provést několika způsoby. V uvedeném případě (viz Obrázek 6.16) pomocí tří bodů ležících na hranici roviny symetrie výtažku.

	Center		
	X: 0		
	Y: 0	↓	
D 11	Z: 0		
Position	n I	Position	
		× 1	- NI
Z: 0		Z: 0	
- 1		- 1-	

Obrázek 6.16 – *Definice roviny symetrie*

Potvrzením volby se přidá rovina symetrie do prvků nástroje a vytvoří tak samostatný objekt (viz Obrázek 6.17). Díky volbě definování (určení) roviny symetrie pomocí tří bodů je tato rovina spolehlivě uchycena na výtažek a při výpočtu korektně popíše daný proces.



Obrázek 6.17 – Vytvořená rovina symetrie s vyznačením bodů definující tuto rovinu

6.3 Definice okrajových podmínek a procesu bez použití maker

Definici okrajových podmínek bez použití maker MECAS ESI je složitější v tom, že uživatel musí spoustu věcí zadat sám bez automatického procesu makra. Má tak ale větší možnosti různých voleb a přednastavení procesu tažení. Používá se tedy většinou při řešení nestandardních procesů tažení.

Protokol, ve kterém uživatel definuje jednotlicé objekty a proces tažení, se zobrazí pomocí funkce "*Objects atributes*" (viz Obrázek 6.18).

Panel modifikace procesu/ Objecst atributes ...



Obrázek 6.18 – Definice okrajových podmínek

Aktivováním volby "*Object atributes*" se uživatel dostane k listu všech vlastností objeků (viz Obrázek 6.19), které v předchozích krocích vytvořil.

V prvním kroku se musí aktivovat zobrazení "*Display mode"* tzn. zobrazení vlastností objektu ve stromu. A zvolit první volbu u "*Display list mode"*. Dále pak zobrazení všech stupňu (*All stages*).

Tažnice, Tažník, přidržovač, se nadefinuje:



Přístřih je definován z předchozích kroků jako "*Surface blank"*. I materiál a definice tvaru je dána z předchozich kroků, lze ovšem zkontrolovat, případně změnit.

Objects attributes (tazeni_bez-makra)	
isplay list mode	
stage C object C stage	
Lobject Lstage Lattribute	
Lattribute Lobject	
P	
ly stages: All stages	_ _
y objects: All object	
y attributes: All wributes	
Manage striges	
All stages	~
Box_die	
😑 🌢 Object type	
Surface Tool with material	
🖻 🎽 pridrzovac	
- • Object type	
Surface Tool with material	
🗖 🇃 taznik	
- • Object type	
Surface Tool with material	
E Blank	
Direct type	
Surface Blank	
- Material	-
Name = 'DC05_0.8mm'	
Type = Standard steel	
Law = Hill 48	
Hardening = isotropic	
Bolling direction = 0.1.0	
Thickness = 0.8	
Blank definition	
Diact tune	
Plane	
Contex = 250.0.0	
Lenter = 200 0 0	
Normal = 1 U U	
ulobal advanced parameters	
🖃 🛡 Unit system	
Lipit quators used = rars k.d. ras	

Obrázek 6.19 – Definice atributů

V dalších krocích se definují vlastnosti objektů vzhledem k procesu tedy tahu výtažku (viz Obrázek 6.20). U každého objektu jsou základní atributy, které se musí nadefinovat.

Rigid body: striktní zadání tvaru objektu, mezi další volby jsou opakující se tělesa, zjednodušené a uživatelem dále definované tvary. Lze zvolit "automatické".

Cartesian kinematic: jedná se o uzamčení posunu objektů v osách, v tomto případě jsou všechny objekty uzamčeny proti ohybu, překladu a rotaci ve všech osách.

Contact: u jednotlivých prvků se musí definovat, který prvek je s jakým v přímém kontaktu.

U přístřihu se může předefinovat *"Refinement" level"*, který znamená, míru dělení přístřihu do konečnoprvkové sítě (viz Obrázek 6.21). Plochu symetrie, která byla vytvořena, je třeba aktivovat.

"*Global refinement*" znamená konečnoprvkové přesíťování globálně všech ostatních prvků kromě přístřihu.

Posledním definovaným atributem je "*Control*" vedení celého procesu. Určuje, kdy se výpočet rozběhne, při jakých podmínkách, jakým způsobem a kdy ze zastaví, v jaké chvíli, za jakých podmínek.



Obrázek 6.20 – *Definice tahu*



Obrázek 6.21 – Definice přístřihu

Panel "*Control"* je vedoucím prvkem celého procesu tažení (viz Obrázek 6.22). Po definování okrajových podmínek u všech objektů podílejících se na procesu tváření je právě tato funkce stěžejní pro spuštění, vedení a ukončení celého procesu výpočtu.

Progression type: určuje, jakým způsobem bude probíhat tažení.

- *Time:* zadáním hodnoty času tahu se určí doba tažení výtažku,
- Real time: Tažení probíhá v opravdovém čase, kdy lze sledovat tah v závislosti na uplynulé době,
- Stroke of object: Zdvih nebo tažení do určitého momentu, tedy do kontaktu s vytvořeným objektem, v tomto případě tažníkem.



Obrázek 6.22 – Panel ovládající celý proces výpočtu

"Stop kriteria" určují, v jaké fázi výpočtu se má proces zastavit. Je třeba určit "Progression", což je hodnota, do jaké hloubky má být výtažek vysunut (v jaké hodnotě od konce se má proces zastavit). "Distance", jedná se o hodnotu vzdálenosti mezi určenými objekty (tažník \leftrightarrow tažnice), v jakém směru a jakého souřadného systému. Posledním kritériem, které je schopno zastavit proces tažení, je "Pinch test", který po definování objeků (tažník \leftrightarrow tažnice) zastaví proces výpočtu tehdy, kdy při tažení výtažku mezera mezi tažníkem a tažnicí je plně vyplněna materiálem.

Atributy zastavovacích kritérií lze rovněž definovat. Jedná se o zastavení, pokud definovaná tažná síla překročí určitou hranici (*Press force analysis/Maxima press force*). Dalším kritériem může být kontakt určité oblasti nástroje (*Fluid Cell/Contact area*).
Ověřováním dat lze měnit atributy zastavení procesu po kontrole všech dat (*Stop after data check*), nebo po počátečním testu tažení (*Initial penetration test*).

6.4 Definice velikosti prvků a kvalita sítě nástrojů

Při definování tvářecích elementů musí být sledován rádius na nástrojích. Tento rádius by měl být popsán dostatečným počtem elementů tak, aby výsledek simulace byl korektní a byl popsán celý tvářecí proces, který nebude ovlivněn nepřestnostmi na hranách nástroje. Proto doporučená hodnota při síťování (meshování) nástrojů pro maximální úhel mezi sousedními elementy je 7,5°. (Při použití maker ESI, viz 5, je nastavená defaultní hodnota 15°). Maximální velikost elementu je doporučena 10 mm. (viz Obrázek 6.23).

I Apply to all objects	* =	a second parameters	
		Algorithm Algorithm	Parapetric
		Progression ratio	1.2
 Asignal oritera beforea 	na King	🔽 Quad surface detector	
Paraneters		Density variation	1.2
Algorithm	د <u>م</u>	Node: only	
- Progression ratio 1.	2	Ste	P.S.
- Density variation 1.	2 +	Maimum elemen size:	[U.1
		Makinum Beneri Size.	Tin
▼Impor. I⊽ Join	🔽 Mesh 🛛 T Berresh	Chordal eror	k dour east te tracku
	Advanced parametes		
		Maximum Tistance	IL DESTERIO S
	Clase	Maximum distance:	10.13

Obrázek 6.23 – Nastavení maximální velikosti elementu

V panelu nástrojů "*Výsledky analýzy"* v záložce "*Contour – Shell" / joining/ angle – angle/ between shlells...* si uživatel může graficky zkontrolovat velikosti úhlů mezi jednotlivými elementy (viz Obrázek 6.24).



CD-ROM

Animace zobrazující analýzu kvality přesíťování přístřihu je uložena na průvodním CD-ROMu:

X:\PAM-STAMP_2G\ Animace\ 9_PAM_STAMP_analyza_urovne_presitovani_pristrihu.avi



Obrázek 6.24 – Kontrola velikosti úhlů

U kvality sítě nástrojů je důležité:

- dodržet vysokou kvalitu konečnoprvkové sítě nástrojů, která je respektována při adaptivním meshování,
- unusí být zajištěna vůle mezi tažníkem a tažnicí (10 % tloušťky plechu),
- ➡ přidržovač musí mít svislé stěny.

6.5 Definice optimální velikosti deformované sítě – mass scaling

Aby se výsledek simulace co nejvíce přiblížil skutečnosti, musí být síť elementů optimální pro daný výtažek a daný proces tažení. Do programu musí být zadány všechny okrajové podmínky jako tvar a rozměr přístřihu, pohyb a dráha nástrojů, síla přidržovače, rychlost tažníku, materiálové vlastnosti plechu a koeficient tření.

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

- 4 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,

- 4 velikost elementů přístřihu má vliv na přesnost a kvalitu výpočtu,
- 4 čím je výpočet náročnější, tím více se prodlužuje čas výpočtu.



Obrázek 6.25 – Příklad rozdělení výtažku do konečnoprvkové sítě a její analýza

Optimální nastavení konečnoprvkové sítě (viz Obrázek 6.25) je obtížné, protože nevhodně zvolená jemnost sítě znamená buď mnohonásobné navýšení výpočtového času celé úlohy, nebo nepřesný výsledek procesu z důvodu velmi hrubé sítě.

Časový krok musí být menší než doba, za kterou projde elastická deformace nejmenším deformovatelným elementem konečnoprvkové sítě. Časový krok může být zvětšen umělým navýšením hmoty elementů, jejichž skutečný časový krok je menší, než definovaná hodnota. Tato hodnota je označována jako *"mass scaling"*. Hodnota mass scalingu definovaná uživatelem koresponduje s charakteristickou délkou elementu. Toto zvětšení časového kroku vede k redukci počtu cyklů, tudíž ke snížení výpočtového času.

Hodnota mass scalingu může být definována uživatelem, nebo pomocí wizardu. Všem elementům s charakteristickou délkou menší než tato hodnota bude navýšena hmota, tedy jejich časový krok odpovídá elementu, jehož charakteristická délka je rovna hodnotě, která byla zadána uživatelem. Navýšení hmoty elementu a změna časového kroku elementu je provedena po přesíťování (zjemnění sítě refinementu).



tvaru přístřihu).

6.5.1 Zásady pro volbu velikosti elementu a počtu úrovní přesíťování

Fakulta strojní, VŠB-TU Ostrava



Příklad č. 1: Je dána tažnice s nejmenší velikostí tažného rádiusu $R_{min} = 6 mm$ (viz Obrázek 6.26). Plech o rozměrech (470x360) mm a tlouščce 0,5 mm. Úkolem je navrhnout finální velikost elementu, počet úrovní přesíťování a hodnotu mass scalingu.



Obrázek 6.26 – Tažnice

Výpočet finální velikosti elementu (po přesíťování) podle vztahu (viz 6.5.1):

$d = 0.5 \cdot (R_{\min} + 0.5 \cdot th)$	(Rovnice 2)
$d = 0.5 \cdot (6 + 0.5 \cdot 0.5)$	
$d = 3,125 \Longrightarrow \underline{3} \text{ mm}$	

Kde jsou:	d	– velikost elementu	(mm),
	R_{\min}	– minimální tažný rádius	(mm),
	th	– tloušťka plechu	(mm).

- Počet úrovní přesíťování se volí 4 (viz Tabulka 6.1) v závislosti na velikosti přístřihu, tedy počáteční velikost elementu je 24 mm.
- Tabulka 6.1 Stupně přesíťování

Úr	oveň přesíťo	vání (refinem	ent level)	
Úroveň přesíťování	1	2	3	4
Velikost elementu	24	12	6	3
<i>d</i> (mm)	počáteční	12	0	finální

Hodnota mass scalingu odpovídá charakteristické délce elementu při konečné úrovni přesíťování (viz Obrázek 6.27).



Obrázek 6.27 – Síťování plechu vlevo začátek výpočtu, vpravo v průběhu výpočtu (4. úroveň přesíťování)



Příklad č. 2: Geometrií nástrojů je dána výsledná velikost elementu 2,5 mm při konečné úrovni přesíťováni. Počáteční velikost elementu je zvolena 10 mm vzhledem k velikosti nástřihu Úkolem je navrhnout počet úrovní přesíťování a hodnotu mass scalingu.

V každé úrovni přesíťování se zmenšuje velikost elementu na polovinu (viz Obrázek 6.28), tudíž budou použity 3 úrovně přesíťování. Charakteristická délka elementu 2,5 mm v poslední úrovni přesíťování je hodnotou mass scalingu (viz Tabulka 6.2).



Obrázek 6.28 – Příklad rozdělení elementů dle úrovně přesíťování

	Úroveň přes	síťování (refin	ement level)		
Úroveň přesíťování	1	2	3	4	5
Velikost elementu	40	20	10	5	2,5
<i>d</i> (mm)	počáteční	20	10	5	finální

Tabulka 6.2 – Stupně přesíťování na hodnotu mass scaling 2,5 mm

Hodnota mass scalingu odpovídá charakteristické délce elementu 2,5 mm v poslední úrovni přesíťování.

Pojmy k zapamatování

Zvyšování hmoty elementů vede zároveň ke zvýšení setrvačných účinků plechu, což může vézt k chybným výsledkům. Proto by měl být *"mass scaling"* používán uvědoměle a se zvýšenou opatrností především u simulací s odpružením.

6.6 Spuštění výpočtu simulace tažení

Po ověření správnosti nastavení kinematických vlastností výpočtu (viz Obrázek 6.29) je možno spustit samotný výpočet.



Analysis/ Kinematic Check/ Animation control ...

Obrázek 6.29 – Zkouška správnosti nastavení kinematiky nástroje



Animace zobrazující kontrolu nastavené kinematiky tažení výtažku při výpočtu bez použití MECAS ESI maker. Uloženo na průvodním CD-ROMu:

X:\PAM-STAMP_2G\Animace\10_PAM_STAMP_kinematic_check_bez_makra.avi

Výpočet se spouští jako v předchozím příkladu pomocí nabídky:

Solver/ Start/ Hosts...

"Host" je nástroj, který shromažďuje data z probíhajícího výpočtu. Stačí jej nastavit jednou a při dalších výpočtech je už předdefinován a může se jednoduše vybrat z nabídky "*Hosts*""(viz Obrázek 5.41).

Funkce "*Gravity*" je výpočet, který předchází výpočtu samotného tahu, kdy u tvarově velkých výtažků má vliv hmotnost přístřihu. Umístění přístřihu do tažnice u rozměrných přístřihů může mít za následek zdeformování samotného přístřihu. Tato funkce s tímto případem počítá a výpočet je potom přesnější.

6.7 Vyhodnocení výpočtu simulace tažení

Výsledkem simulace tažení plechového výtažku je získání vlastností součásti v průběhu procesu tváření. Jedná se například o lisovatelnost výtažku posuzovanou dle stupně deformace, ztenčení plechu (thinning), výskyt zvlnění (wrinkling), porušení dílu (max flailure). Tyto vlastnosti jsou rozhodujícím faktorem, který ovlivňuje celkovou jakost výtažku, jeho použití a životnost v provozu a praxi.

Vyhodnocení výsledků výpočtu u tažení bez použití MECAS MSI maker je obdobné jako v předchozím příkladu (viz 5.4), protože byly nastaveny stejné okrajové podmínky pro oba výpočty.

Mimo hlavní analýzy rozhodující o jakosti a vlastnostech výtažku jsou v programu PAM-STAMP 2G k dispozici i další analýzy tváření výtažku.

6.7.1 Tlaková napětí

Analýza maximálních tlakových napětí zobrazuje tlakovou napjatost ve výtažku (viz Obrázek 6.30).

Znalost rozložení tlakových napětí ve výtažku se může využít k jinému rozmístění brzdicích žeber. nebo změně přidržovacích sil na přístřih. V ideálním případě bv tlaková napětí měla být stejná v celém rozsahu výtažku.

Stress/ Value/ Major...



Obrázek 6.30 – Analýza napjatosti

U analýzy tlakových napětí je nejdůležitější zobrazení intenzity a místa, kde ve výtažku dochází k největším tlakovým napětím. U tažení tvarově nesymetrických součástí dochází k největším tlakovým napětím na hranách tvarových přechodů výtažku, zatímco tahová napětí jsou indikována logicky na stěnách rovnoběžných se směrem tahu (viz Obrázek 6.31).



Obrázek 6.31 – Analýza maximálních tlakových napětí

6.7.2 Kinematika tváření

Analýza kinematiky tváření (viz Obrázek 6.32) prozrazuje, jakým směrem a o jakou vzdálenost od nominální (počáteční) hodnoty se výtažek přemístil (vytáhnul).

V některých případech právě uživatele zajímá, jaká je závislost tlakových napětí, potažmo deformace na vzdálenosti (kinematiky) od počáteční hodnoty (přístřihu).

Kinematic/Displacement/ Vector ...



Obrázek 6.32 – Kinematika

U kinematiky pohybu lze zobrazit dva základní pohledy. Kinematika pohybu vektorově (viz Obrázek 6.33) zobrazuje posun jednotlivých elementů konečnoprvkové sítě. Každému elementu je přiřazen vektor pohybu, ten je zobrazen a je mu přiřazena hodnota posunu od nominální hodnoty.

Dalším zobrazením kinematiky pohybu výtažku je normálové zobrazení (viz Obrázek 6.34), které ukazuje pomocí barevné mapy jen intenzitu pohybu a maximální a minimální hodnoty posunu tvářeného materiálu.

Vektorové zobrazení se používá u tvarově složitých výtažků, kde uživatel chce vidět, jakým směrem se daná část výtažku posouvá a s jakou intenzitou. Rovněž se využívá tohoto zobrazení při analýzách odpružení (viz 8.3.1).



Obrázek 6.33 – Analýza kinematiky pohybu tváření, vektorové zobrazení



Obrázek 6.34 – Analýza kinematiky pohybu tváření, normálové zobrazení

6.7.3 Intenzita kontaktu nástroje s výtažkem

V průběhu tváření dochází ke kontaktu přístřihu s nástrojem, díky tomu dochází k deformaci přístřihu do konečného tvaru výtažku. Sledování intenzity kontaktu nástroje (tažníku) s tvářeným materiálem může být důležité pro optimalizaci tvářecího procesu. Příliš intenzivní kontakt nástroje s tvářeným materiálem může vést ke tvorbě nežádoucích defektů na povrchu výtažku. Jedná se například o praskliny, zvlnění apod.

Zobrazení maximální intenzity kontaktu nástroje s výtažkem v čase se provede (viz Obrázek 6.35):

Display/ Contact/ Pressure/ Normal magnitude – Max. over time...

K dispozici jsou dále vektorové zobrazení intenzity kontaktu nástroje v místě interakce nástroje s výtažkem (normálové a tangentní zobrazení).



Obrázek 6.35 – Intenzita kontaktu nástroje

Analýza intenzity kontaktu nástroje s výtažkem vykazuje minimální hodnoty v místě přidržovače, zatímco maximální hodnoty v místě, kde tažník táhne výtažek do tažnice (viz Obrázek 6.36) a poté pak v nejmenších rádiusech a u tvarových nerovností.



Obrázek 6.36 – Analýza intenzity kontaktu nástroje s výtažkem

CD-ROM

Animace zobrazující analýzu tlakových napětí, kinematiky tváření a intenzity kontaktu nástroje s výtažkem jsou uloženy na průvodním CD-ROMu:

X:\PAM-STAMP_2G\Animace\11_PAM_STAMP_dopInkove_analyzy.avi

Shrnutí pojmů 6.1

Po prostudování této kapitoly by měl uživatel umět vytvořit nový projekt v softwaru PAM-STAMP 2G bez použití zjednodušujících maker MECAS ESI. Proto bude schopen nastavit i složitější úlohu sám. Dále bude schopen předefinovat jednotlivé okrajové podmínky pomocí funkce "*Object atributes"*. Uživatel bude rovněž ovládat "*Control panel"*, který definuje samotný průběh výpočtu, jeho zastavení a spuštění. Uživatel bude efektivně rozhodovat o stupni přestíťování přístřihu v závislosti na složitosti úlohy a jejímu průběhu a v závislosti na času výpočtu.

Uživatel bude umět vyhodnotit výsledek simulace a provést jednotlivé analýzy, mezi které patří vyhodnocení ztenčení, stupně deformace, napětí a rizika porušení výtažku zobrazením deformací v diagramu mezních deformací použitého plechu a další doplňkové analýzy jakými jsou vyhodnocení intenzity tlakových napětí, kinematiky pohybu a vyhodnocení intenzity kontaktu nástroje s výtažkem.

Otázky 6.1

- 1. Jak velká mezera se volí mezi jednotlivými nástroji a proč (např. mezi tažníkem a tažnicí)?
- 2. Jakým způsobem ovlivňuje velikost přesíťování přístřihu výsledek simulace?
- 3. K čemu slouží "Object atributes" při definici okrajových podmínek?
- 4. K čemu se používá vektorové zobrazení analýz u výsledků simulace?
- 5. Má velikost přesíťování přístřihu vliv na vektorové zobrazení analýzy kinematiky tvářeni?
- 6. Proč se používají stop kritéria při výpočtu a jaké druhy jsou k dispozici v softwaru PAM-STAMP 2G?



Úlohy k řešení 6.1.

1. Je dána tažnice s nejmenší velikostí tažného rádiusu $R_{\min} = 9,1$ mm (viz Obrázek 6.37). Plech o rozměrech (470x360) mm a tloušče 3 mm. Úkolem

je navrhnout finální velikost elementu, počet úrovní přesíťování a hodnotu mass scalingu.



Obrázek 6.37 – Zobrazení nejmenšího rádiusu na tažníku

) Další zdroje

- [1] MACHÁLEK, J. Návrh technologie lisování plechové součásti nepravidelného tvaru : diplomová práce. Ostrava : VŠB-TUO, 2009.
- [2] 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.
- [3] FRODLOVÁ, B. Optimalizace napěťových a kinematických poměrů při tažení výtažku nepravidelného tvaru z tenkého plechu s využitím MKP : diplomová práce. Ostrava : VŠB-TUO, 2009. 247 s.
- [4] ČADA, R. *Plošná tvářitelnost kovových materiálů : skriptum* 1. vyd. Ostrava : REPRONIS, 2001. 346 s. ISBN 80-86122-77-8.
- [5] HRUBÝ, J., RUSZ, S. a ČADA, R. Strojírenské tváření : skriptum.
 1. vyd. Ostrava : VŠB v Ostravě, 1993. 160 s. ISBN 80-7078-201-3.
- [6] ČADA, R., FRODLOVÁ, B. Analysis of elements network influence 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.



Průvodce studiem – slovník pro zapamatování

Slovník základních pojmů objevujících se v softwarech využívající metody konečných prvků.

	Tabulka základní	ch anglických pojmů	
Název – anglický	česky	Název – anglický	česky
Smooth	vyhladit	Constraints	omezení
Banded	pruhovaný	Bar	prut
Tension	tah	Transfer	přemístit
Directional	směrový	Tube	trubka, roura
Mass	hmota, objem	Refinement	zdokonaleni
Scaling	sestavení	Default	automaticky
Angle	úhel	Which	který, co
Between	mezi	Fillet	výřez
Warping	zborcení	Limit state	mezní stav
Yield stress	mez kluzu	Entities	entita
String	struna	Guide	vodicí lišta
Limit state	mezní stav	Spring back	odpružení
Flattening	ustálit, srovnat	Creation	tvořit, vytvořit
Clearance	vůle	Contours	obrys, křivka
Compression	tlak	Range	škála, rozmezí

7 VÝPOČET ROZVINU VÝTAŽKU DO ROVINY

Kapitola se zabývá zadáním úlohy rozvinu výtažku do roviny přístřihu, definicí speciálních okrajových podmínek, vyhodnocením a prací s výsledky simulace a závěrem využitím rozvinu výtažku do roviny.

	Čas ke studiu: 30 minut	
\bigcirc	Cíl: Po prostudování této kapitoly budete umět	
	připravit úlohu výpočtu rozvinu výtažku do roviny v softwaru STAMP 2G,	PAM-
	🔱 spustit a vyhodnotit výsledek simulace,	
	🖶 vytvořit nástřihové plány.	

Výpočet rozvinu výtažku do roviny přístřihu, je důležité zejména u tvarově složitějších výtažků. U takto tvarově složitých nesymetrických výtažků není jednoduché určit optimální velikost přístřihu. Tato velikost je důležitá zejména u velkosériové výroby, kdy vhodně zvolená velikost přístřihu ovlivňuje celkové náklady na nástroj a na samotnou výrobu a cenu výrobku. Pomocí výpočtu rozvinu výtažku je možno určit optimální velikost přístřihu a tím optimalizovat nástřihové plány pro výrobu.

7.1 Zadání vstupních parametrů při výpočtu rozvinu

Před zahájením samotné úlohy je třeba nastavit používané aplikace pro další, tedy novou úlohu:

Výklad

Customize/Licenses.../Customize tokens/ Inverse environment/ Ok ...

Nastavením reverzního prostředí výpočtu (inverse environment) (viz Obrázek 7.1) je software připraven na výpočet rozvinu výtažku do roviny.



Obrázek 7.1 – Nastavení úlohy

Do dialogového okna nového projektu se zadá:

Project/ New/ Project.../ Název projektu/ Uložit ... / Process/ Standard stamping

Jedná se o standardní hluboké tažení, na výběr je dále válcování (lemování), zakružování. V řešiči (Solveru) se dále nastaví (viz Obrázek 7.2) inverzní tažení (rozvin), tzn. rozpínání (rozvin):

Solver type/ Inverse...

ew proje	ict .
Identifier	
Name	rozvin
Location	D:\Pam-STAMP skoleni\zaloha\PAM-STAMP\pam-st
Process	
Standard	stamping
Stamp ro	ll hemming
1.000	
Solver typ	e
PAM-Aut	oStamp
PAM-Qui	kStamp Plus
Inverse	×
Title	
1	
Comment	
1	
01	
UK	Cancel

Obrázek 7.2 – Zadání u nového projektu

Plochy a ostatní externí data se do softwaru PAM-STAMP 2G importují více způsoby. Pomocí příkazů z roletové nabídky:

Project/ Import Import tool CAD (*. igs, *.stp), nebo Import mesh (*.bf)

Výtažek může být importován do softwaru v podobě konečného stavu tažení, nebo ve stavu, kdy je tažení výtažku nasimulováno a potom jeho výsledek naimportován jako výchozí stav (viz Obrázek 7.3) určený pro simulaci rozvinu materiálu. Rozvin materiálu může být vypočítán do roviny určené uživatelem, to pro případ, kdy je třeba přesně znát přístřih v určité rovině. Pro případ, kdy uživateli postačuje okrajová křivka přístřihu na další zpracování, software automaticky výtažek rozvine do primárního souřadného systému "*Global system*" (viz níže).



Obrázek 7.3 – Importovaný výtažek, ze kterého se počítá rozvin materiálu

7.2 Vkládání okrajových podmínek pomocí maker

Po načtení modelu do prostředí softwaru je důležité určit zbývající okrajové podmínky úlohy tak, aby byly všechny materiálové a mechanické parametry definovány.

Process/ Data setup macro/ Inverse standard forming /+/ stamp/ Inverse/ Flat_Blank.ksi/ úprava dalších okrajových podmínek/Apply...

Mezi další vymezující podmínky patří určení materiálu, tloušťky materiálu, tření a určení roviny, do které se má daný výtažek rozvinout.



Obrázek 7.4 – Definice procesu rozvinu výtažku

7.3 Spuštění simulace rozvinu výtažku

Úloha je tak připravena ke spuštění rozvinu výtažku do roviny, jsou zadány všechny okrajové podmínky pro výpočet:

Solver/ Host.../ +/ pojmenovat úlohu/solver type: inverse solver/Launch: Binary / Solver-32Bit/pamstamp/ Ok

Nastavení spouštěcího skriptu stačí natavit jen jednou, poté zůstává uložený v softwaru pro další použití. Samotný výpočet se pak spouští:

Solver/ Start/ spouštěcí script (viz výše)/ Ok

Výsledek výpočtu je v panelu vlastnosti 3D modelu zobrazen v záložce "*Project*" (viz Obrázek 7.5) jako State 1. Výchozí stav výtažku je druhý krok State 2. Rozvinutí výtažku do přístřihu je tedy vypočteno na dva kroky, přičemž s rovinou přístřihu lze dále pracovat. Pro další práci se může využít celá plocha přístřihu, nebo jen kontura přístřihu.



Obrázek 7.5 – Výsledek simulace rozvinu výtažku

7.4 Vyhodnocení a práce s výsledky simulace

Výsledkem výpočtu rozvinu materiálu je do roviny rozvinutý výtažek, který má podobu rovinného 3D modelu. Z 3D modelu lze vytvořit obrysovou konturu (viz Obrázek 7.6), se kterou se výhodněji pracuje při dalším zpracováváním dat:

/Curve manager / Curve 1/ Add to object/ "rozvin_kontura"/ Close ...



Obrázek 7.6 – Tvorba kontury

Vytvořená kontura přístřihu (viz Obrázek 7.7) je uložena jako nový objekt v panelu vlastností 3D modelu. Nyní může uživatel jednotlivé objekty, ať se jedná o model přístřihu, nebo jeho konturu, exportovat jako jednotlivé entity:

Project / Export/ Mesh.../ výběr format uložení (*.igs, *.bf)/ Save ...

Tyto entity se dále využívají zejména při tvorbě nástřihových plánů, umístění výtažků do postupových nástrojů, plánů pro řezání plamenem či paprskem, konstrukci nástrojů a navrhování technologií (viz níže).



Obrázek 7.7 – Extrahovaná obrysová křivka rozvinutého výtažku

CD-ROM

Animace zobrazující kroky rozvinu výtažku je uložena na průvodním CD-ROMu: *X:\PAM-STAMP_2G\Animace\12_PAM_STAMP_rozvin_vytazku.avi*

7.4.1 Tvorba nástřihových plánů

Při stříhání je velmi důležité výstřižky rozmístit na pásu nebo tabuli plechu tak, aby odpad byl co nejmenší. Rozmístění výstřižků na pásu plechu je potom označováno jako nástřihový plán (viz Obrázek 7.8). Odpad, ať už technologický nebo konstrukční, je nedílnou součástí technologie stříhání, která patří mezi hromadné výrobní procesy, proto se musí rozmístění výrobků věnovat velká pozornost. Materiál totiž tvoří zhruba 60 až 75 % celkových nákladů výroby.

Zajímavost k tématu

Dříve se velikost přístřihu stanovovala různými způsoby. Například rozvinem výtažku podle neutrální osy a to u výtažků rovinných s jednoduchými tvary, podobnými metodami dále jsou rozvin výtažku dle ČSN22 7303, metoda řezů, nebo využívající trajektorie maximálních smykových napětí.

Metoda dle ČSN 22 7303: pro stanovení tvaru a velikosti přístřihu se postupuje dle norem ČSN 22 7301 a ČSN 22 7303. Výpočet přístřihu rotačních symetrických výtažků stanovuje norma ČSN 22 7301. Při určování průměru přístřihu se předpokládá, že tloušťka stěn při tažení se nemění, takže plocha přístřihu se rovná ploše výtažku. Vzhledem k anizotropii mechanických vlastností plechu je nutné rozměry přístřihu zvětšit o (5 ÷ 7) %. Pro tažení složitých tvarových výtažků neválcových ploch (kužel, paraboloid, polokoule atd.) se velikost přístřihu počítá podle Guldinova pravidla graficko-analyticky nebo graficky.

Norma ČSN 22 7303 určuje směrnice pro výpočet přístřihu dutých výtažků obdélníkového nebo čtvercového tvaru. Opět vychází z předpokladu, že tloušťka stěn výtažku se během tažení nemění, takže plocha přístřihu se rovná ploše výtažku. Musí se ovšem zohlednit anizotropie mechanických vlastností plechu.

Z tohoto důvodu je pro zajištění zadaných rozměrů výtažku nutné zvětšit výšku výtažku o technologický přídavek na ostřižení. Ten se volí podle velikosti výtažku a ostřihovacího zařízení v rozmezí 2 mm ÷ 20 mm.

Metoda řezů: Tato metoda se používá pro zjištění tvaru a velikosti přístřihu výtažků libovolného tvaru. Je vhodná převážně pro velkorozměrné výtažky a pro výtažky s členitou čelní plochou (plocha tažníku), kde se předpokládá, že některé plochy bude nutné táhnout se ztenčením stěny.

Princip metody spočívá v rozvinování povrchových křivek v jednotlivých řezech, vedených konečným tvarem výtažku. Délka povrchových křivek se upravuje s ohledem na předpokládané prodloužení vlivem tažení. Maximální prodloužení se předpokládá 25 % a odpovídající velikost koeficientu pro přepočet je tedy 0,75. V praxi se pro výpočty doporučuje hodnota v rozmezí 0,75 \div 0,9 [4]. Vzhledem k anizotropii mechanických vlastností plechu se pro zajištění rozměrů výtažku zvětšují rozměry vypočítaného přístřihu o technologický přídavek na ostřižení. Ten se volí v intervalu 2 mm \div 20 mm podle velikosti výtažku a podle ostřihovacího zařízení. Jestliže se konstruuje přístřih pro výtažek s přírubou, připočítává se k rozměrům výtažku i její šířka.

Metoda řezů je velmi pracná, je nutné vyhodnotit velké množství řezů, délka povrchové křivky se zjišťuje obtížně a zpravidla je třeba mít k dispozici definitivní tvar tažníku pro poslední tah. Problémem je i vhodná volba polohy řezů a vhodná volba koeficientů pro přepočet jednotlivých rozvinutých délek povrchových křivek. Z těchto důvodů nelze stanovit optimální tvar a velikost přístřihu touto metodou.

4 Metoda trajektorií maximálních smykových napětí využívá vzájemné shodnosti kluzových čar, které se objevují na tělese při plastických deformacích s charakteristikami parciálních diferenciálních rovnic. Tyto charakteristiky se nazývají trajektorie maximálních smykových napětí (TMSN). Jde o křivky, jejichž směr v každém bodě odpovídá směru maximálních smykových napětí τ_{max} . Síť TMSN, která se sestrojuje kolem obrysu oblasti kontaktu tažníku s přístřihem na počátku tažení, je tvořena dvěma osnovami. TMSN jsou spojité, ortogonální a protínají směry hlavních napětí pod úhlem 45°. Podstatou je, že do sítě TMSN se zakresluje obrysová křivka přístřihu při dodržování podmínky, aby protínala síť

TMSN pod úhlem $\pm 45^{\circ}$ a aby se plocha takto stanoveného přístřihu shodovala s plochou konečného výtažku.

Volba nástřihového plánu závisí na tvaru a konstrukci výrobku, na dodržování zásad konstrukce, na minimálních vzdálenostech mezi výrobky a od okraje pásu.

Nástřihový plán může být buď kusový, kdy se určuje nejvýhodnější způsob stříhání nebo skupinový, kdy se budou stříhat různé tvary a součásti jednoho výrobku. Nástřihové plány mohou mít různé tvary a podobu (viz Obrázek 7.8), to podle toho jakou technologií se bude výtažek tvářet, jestli se jedná jen o vystřihování, nebo i tažení a to jednoduché, nebo postupové, jedno nebo víceodpadové atd. Vše závisí na složitosti výtažku, použitém materiálu a strojovém vybavení.



Obrázek 7.8 – Uspořádání výtažků v nástřihovém plánu

Shrnutí pojmů 7.1

Po prostudování této kapitoly uživatel bude schopen pomocí softwaru rozvinout tvarově složitý výtažek do roviny, vytvořit si tak obrysovou konturu výtažku a exportovat ji. Uživatel bude schopen konturu vhodně umístit do nástřihových plánů a racionalizovat tak výrobní proces.



Otázky 7.1

- 1. K čemu slouží rozvin výtažku?
- 2. Jaký je význam nástřihových plánů?

Další zdroje

- [1] ČADA, R. *Plošná tvářitelnost kovových materiálů : skriptum.* 1. vyd. Ostrava : REPRONIS, 2001. 346 s. ISBN 80-86122-77-8.
- [2] HRUBÝ, J., RUSZ, S. a ČADA, R. *Strojírenské tváření : skriptum*. 1. vyd. Ostrava : VŠB v Ostravě, 1993. 160 s. ISBN 80-7078-201-3.
- [3] ČADA, R. Příspěvek k řešení lisovatelnosti výtažků nepravidelných tvarů z hlubokotažných plechů (kandidátská disertace). Ostrava : VŠB v Ostravě, 1989. Bez ISBN.
- [4] KOTOUČ, J. Nástroje pro tváření za studena : skriptum. 3. vyd. Praha : ČVUT v Praze, 1982. 158 s. Bez ISBN.
- [5] 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.
- [6] HRUBÝ, J., RUSZ, S. a ČADA, R. *Strojírenské tváření : skriptum.* 1. vyd. Ostrava : VŠB v Ostravě, 1993. 160 s. ISBN 80-7078-201-3.



Průvodce studiem – slovník pro zapamatování

Slovník základních pojmů objevujících se v softwarech využívající metody konečných prvků.

	Tabulka základní	ch anglických pojmů	
Název – anglický	česky	Název – anglický	česky
Rigid	přísný, pevný	Default	automaticky
Refinement	vylepšení, zlepšení	Advanced	pokročilý
Progression	vývoj, růst	Perform	provést
Stroke	zdvih, ostřihnout	Remove	vyjmout
Fluid	plynulý	Hemming	lemování
Initial	počáteční	Annotator	poznámky

8 VÝPOČET ODPRUŽENÍ VÝTAŽKU PO TAŽENÍ

Kapitola se zabývá zadáním úlohy odpružení, definicí speciálních okrajových podmínek, vyhodnocením a prací s výsledky simulace a závěrem využitím dat odpružení a použitím tohoto výpočtu v praxi.

	Čas ke studiu: 30 minut	
\bigcirc	Cíl: Po prostudování této kapitoly budete umět	
	připravit úlohu výpočtu odpružení výtažku po tahu v softwaru F STAMP 2G,	PAM-

- + spustit a vyhodnotit výsledek simulace,
- 🖶 použít výsledek simulace v praxi.

Výklad

U běžných simulací odpružení provede konstruktér jednu až dvě simulace s úpravou dat vzhledem k hodnotám odpružení. Pak už většinou nastupuje nástrojař a dolaďuje geometrii nástroje ručně. PAM-STAMP 2G disponuje funkcí *"Die kompenzátor"*, která automaticky naladí geometrii nástroje v zadaném tolerančním poli odpružení výlisku. PAM-STAMP 2G porovná výsledek simulace odpružení s požadovanou geometrií řešeného dílu a navrhne inverzní změnu geometrie nástroje podle různých parametrů odečtených na výlisku z prvního výsledku odpružení. Automaticky se spustí další výpočet a PAM-STAMP 2G vyhodnotí, jak se přiblížil k požadované geometrii dílu. Pokud byl návrh správný a výsledek se zlepšuje, pokračuje v úpravách až do hodnot nastavených v tolerančním poli odchylky geometrie dílu. Pokud ne, navrhne jiné řešení a provádí opět iterační výpočty.



Obrázek 8.1 – Výpočet odpružení v softwaru PAM-STAMP 2G

8.1 Zadání nového projektu odpružení v PAM-STAMP 2G

Při zadávání nového projektu (příkladu) se musí v roletové nabídce (viz Obrázek 8.2) zvolit:

Project/ New/ Project

Zadáním názvu souboru (simulace) a potvrzením zadaného názvu se zobrazí uživatelské rozhraní pro práci s úlohou.

V záložce "*Process"* se nastaví standardní tažení:

Process/ Standard stamping...

V záložce "*Solver type"* se nastaví automatický tah:

Process/ PAM-Auto Stamp...

Name	odpruzeni
_ocation	D:\Pam-STAMP-2G\ESF_PAM-STAMP 2G - eleming
Process	
Standard	d stamping
Stamp ro Tube	ll hemming
Solver typ	08
Mesh PAM-Au	toStamp ikStamp Plus
T AN QU	
Title	
Title	
Title Comment	
Title	
Title Comment	

Obrázek 8.2 – Nový projekt

Jelikož odpružení výtažku je proces, který logicky následuje až po samotném tahu výtažku, musí se do nového projektu definovat parametr, že bude software PAM-STAMP 2G vycházet už z vypočítaného příkladu. Nejprve se tedy vypočte prostý tah s použitím, nebo i bez použití MECAS ESI maker a poté se zadá nová úloha na odpružení výtažku.

Nastavení sběru vypočtených dat z modelu výtažku, pro úlohu odpružení, se nastaví pomocí:

Project/ Picking of computed model...

Qpen Qiose Close all Save gs Save variations Import Import Export
Qpen ⊆lose Close all Save gs Save variations Import Import Import annotations Export
Close all Close all Save gs Save variations Import Import Import annotations Export
Close all Save as Save variations Import Import Import Export
Save ctrl- Save as Save variations Import Import annotations Export
Save as Save variations Import Import annotations Export
Save variations Import Import Import annotations Export
Import Import annotations Export
Import annotations Export
Export
Back
Next
Change mesh strategy

Obrázek 8.3 – Nastavení sběru dat

V dialogovém okně "*Picking"* se nastaví výchozí soubor výpočtu. Výchozími daty jsou soubory vytvořené při výpočtu tažení bez použití, nebo s použitím MECAS ESI maker (viz Obrázek 8.4).

Tyto soubory jsou exportovány softwarem PAM-STAMP 2G ve formátu *.rst (viz 3).

Picking/ .../ data*.rst / Otevřít...

	File name:		
	Restart file content		
	Progression:		
	Objects		
Dtevřít			? 🛛
Oblast hledán	í: 🔁 priklad c1	- 🗢 🗈	
🚞 obrazky			
podklady			
programc1	_makro_01_Holding.1.rst		
programer	Turque Tes Terreurburdist usual		
Název souboru:	programc1_makro_02_Stamp	ing.1	Otevřít

Obrázek 8.4 – Vložení výchozích dat pro výpočet odpružení

Importováním vypočtené úlohy se načtou do "*Objekts"* všechny vytvořené entity. Uživatel poté vybere entitu, která byla počítána a ze které chce následně vypočítat odpružení (viz Obrázek 8.5).

V možnostech poté může uživatel definovat další vlastnosti.

Pick nodes velocities \leftrightarrow proces bude sledovat jen vybrané uzlové body na výtažku.

Performannealing \leftrightarrow procesprovede žíhání výtažku.

Multiply stress by factor \leftrightarrow znásobí napětí.

Pick temperature ↔ zobrazí teplotu při odpružení.

Pickattributes \leftrightarrow zobrazíjednotlivé atributy.



Obrázek 8.5 – Výběr objektu pro odpružení

Importovaným výtažkem je výsledek simulace tažení z předešlého výpočtu, proto si uživatel může zobrazit libovolné analýzy simulace tažení (viz Obrázek 8.6). Může tak porovnat oblasti, které vykazují lokální extrémy pro danou analýzu s analýzou po odpružení, nebo jaký má vliv deformace výtažku na jeho pozdější odpružení (viz níže).



Obrázek 8.6 – Importovaný výtažek pro simulaci odpružení

Protokol, ve kterém uživatel definuje jednotlicé objekty a proces odpružení, se zobrazí pomocí funkce *"Objects atributes"* (viz Obrázek 8.7).

Panel modifikace procesu/ Objects attributes ...

Aktivováním volby "*Object atributes*" se uživatel dostane k listu všech vlastností objeků (viz Obrázek 8.8).

V prvním kroku se musí aktivovat zobrazení "*Display mode*", tzn. zobrazení vlastností objektu ve stromu. A zvolit první volbu u "*Display list mode*". Dále pak zobrazení všech stupňů (*All stages*).



Obrázek 8.7 – Atributy odpružení



Obrázek 8.8 – Definice odpružení

Aktivováním nabídky *"Blank"* se uživatel dostane do změn atributů výtažku, zde musí aktivovat funkci odpružení (viz Obrázek 8.9):

Add object attributes/ Springback/ Stage/Add ...

Mezi další atributy, které se výtažku mohou přiřadit, patří:

Pressure ↔ tlakové napětí, Thermal ↔ tepelné vlastnosti, Values scaling↔rozdělení do stupnic.

Výpočet odpružení se nastaví na implicitní výpočet, jedná se totiž o nejrychlejší způsob výpočtu odpružení.

Implicit ↔ skryté, absolutní,

Explicit ↔ otevřený výpočet,

Advanced ↔ pokročilé.

V posledním kroku před samotným spuštěním výpočtu se musí nastavit okrajové podmínky (viz Obrázek 8.11), hranice (okraje) výtažku a ustavovací body.

Uživatel tyto okrajové podmínky nastaví opětovným použítím funkce "*Objects atributes*" (viz Obrázek 8.7).

Object attributes/ Blank/ Add object attribute/ Boundary conditions on points/ Stage/ Add ...



Obrázek 8.9 – Odpružení výtažku

Calculation type:	iniplicit 💌
	Explicit
	Implicit Advanced implicit
	Buckling analysis

Obrázek 8.10 – Výpočet odpružení



Obrázek 8.11 – Vlastnosti okraje výtažku

Funkce *"Boundary conditions on point"* slouží pro definování bodů, které budou fixovány k výchozímu stavu, tzn., že výtažek bude odpružen mimo tyto záchytné body. Tyto body jsou záchytné a někdy uživatele může zajímat, jak se výtažek zachová (odpruží), když bude v definovaných místech ustaven (zamknut).

V tomto případě nebude výtažek nikde ustaven, proto se zvolí *"Isostatic"* parametr (Obrázek 8.12), který znamená, že výtažek odpruží tak, jak bude vytažen z nástroje.



Obrázek 8.12 – Definice záchytných bodů

8.2 Spuštění simulace odpružení výtažku

Simulace odpružení se spouští přes standardní panel "*Start a calculation*" (viz Obrázek 8.13) pro přesnost výpočtu se zvolí "*Double presition – explicit gravity springback*", to znamená výpočet odpružení s dvojitou přesností výpočtu.

"Single host" znamená, že pro každý stav (stage) má tentýž zvolený řešič (solver). Způsoby zapisování výsledků se mohou ovlivnit funkcemi v okně "*Action*". Spouštěcí mód (Run mode) lze nastavit na spouštění okamžitě "*immediately*", nebo v sériovém módu "*in batch mode*".

V dalším kroku se vybere počet procesorů, na kterých bude výpočet probíhat.



Obrázek 8.13 – Spuštění výpočtu odpružen

8.3 Vyhodnocení výsledku simulace odpružení výtažku

Odpružení materiálu je nedílnou součástí každé technologie tváření zastudena. Vzhledem k tomu, že nelze docílit stejného stavu deformace v celé geometrii výtažku, každý druh výtažku odpruží jinak. Odpružení je dáno materiálovými vlastnostmi výtažku. Deformovaný materiál výtažku se snaží dostat do rovnovážné polohy. Rovnovážná poloha je spojena s mikrostrukturou materiálu, kdy jednotlivé atomy navzájem mezi sebou vyrovnávají potenciální energii.

Snahou je docílit co největší deformace materiálu výtažku tak, aby výtažek po vyjmutí z nástroje co nejméně odpružil. V softwaru PAM-STAMP 2G existuje několik způsobů vyhodnocení odpružení.



Zajímavost k tématu

Po provedení a vyhodnocení simulace procesu tažení se v praxi zvolí místa, kde bude sledováno odpružení výtažku. Ze simulace tažení je určeno kritické místo, kde je předpokládána vysoká míra odpružení. Již před simulací odpružení se musí na ideální model výtažku v CAD softwaru např. Catii definovat řezy, ve kterých bude odpružení sledováno a porovnáváno s odpružením reálného výtažku. Měření se provádí pomocí 3D měřicího stroje. Řezy, definované na konečném ideálním tvaru výtažku, který odpovídá výrobnímu výkresu, se označují jako "*nominalni"*.

Po definování řezů na ideálním tvaru výtažku lze přistoupit k výpočtu odpružení v simulačním softwaru. Jakmile proběhne výpočet odpružení výtažku, získá se nová, odpružená geometrie výtažku. Tato geometrie se znovu importuje do CAD softwaru a plochy výtažku se přemodelují dle odpružených řezů (scanů).

Pokud výpočet odpružení výtažku v softwarech ukáže velké odchylky výtažku od jeho ideálního tvaru, je nutné provést korekci modelu nástroje k zamezení tohoto odpružení. Problém se řeší zmenšením či zvětšením úhlu, mezi výtažkem a nástrojem, případně přemodelováním části výtažku tak, aby se daná hrana po odpružení dostala do požadované tolerance předepsané na výkresu a aby řezy na výtažku po vylisování byly shodné s řezy definovanými na ideálním tvaru výtažku. Jedná se tedy o korekci ploch nástroje na stranu opačnou od odpružené plochy ve velikosti takové, jaká byla naměřena v CAD softwaru. Tím se zamezí odpružení mimo předepsané hranice a výtažek se vylisuje v tolerancích, které jsou požadovány na výkresu.

Po této korekci se tedy již simulace odpružení neprovádí, protože metodou korekce ploch nástroje se bezpečně zamezí danému odpružení výtažku. Případné následující odchylky se už korigují přímo na nástroji nástrojařem, který má na starosti celý nástroj a jeho funkci. Na základě volby technologie výroby, analýzy simulace procesu tváření a po korekci modelu nástroje je vyroben nástroj pro lisování výtažků. Po jeho funkčním sladění se vylisuje první sada výtažků, většinou 8 až 10 kusů. Ty jsou poté proměřeny na kontrolním přípravku, který je speciálně vyroben pro tento tvar výtažku

8.3.1 Analýzy odpružení

U analýzy odpružení se tedy posuzuje jen stav odlišný od posledního kroku po vytažení.

Display/ Kinematic/ Normal ...

Zobrazením maximální a minimální hodnoty v daném výpočtu uživatel dostane přehled, jak se výtažek bude chovat po vyjmutí z nástroje.

Contours/ \bigvee Show range/ Highlight the entities that delimit the range...



Obrázek 8.14 – Zobrazení odpružení

Zobrazením nominální plochy výtažku (viz Obrázek 8.15, šedá plocha), i plochy odpružené dává uživateli přehled, jak se výtažek zachová po vyjmutí z nástroje. Hodnota deformace je dána v [mm]. Jedná se o rozdíl mezi odpruženou plochou a nominální.



Obrázek 8.15 – Analýza odpružení výtažku po tažení

Uživatel softwaru PAM-STAMP 2G má i další volbu zobrazení odpružení výtažku. Jedná se o zobrazení vektorového posunu elementů konečnoprvkové sítě výtažku. Uživatel poté vidí, jakým směrem výtažek odpružil (viz Obrázek 8.16), naznačuje tedy trend posunu jednotlivých částí výtažku. Toto zobrazení je nejvhodnější u tvarově složitých dílů, kde uživatel není schopen na první pohled určit směr odpružení.



Display/ Kinematic/ Vector ...

Obrázek 8.16 – Vektorové zobrazení analýzy odpružení

Jelikož vstupními daty jsou výsledky simulace tažení a výsledkem je odpružení, může uživatel sledovat i ostatní analýzy procesu.

Hodnota deformace "*Strain"* však bude nezměněna (viz Obrázek 8.17), protože během odpružení výtažku nedojde k deformaci materiálu. Výtažek se nedeformuje, jen se ustálí na mezi plasticity.



Obrázek 8.17 – Analýza deformace odpruženého výtažku

Hodnota hlavních tahových hlavních napětí *"Major stress"* však bude rozdílná, protože účinkem vnitřních napětí výtažek odpruží (změní svůj tvar). V počátečním stavu je výtažek téměř bez známek tahových napětí (viz Obrázek 8.18).



Obrázek 8.18 – Hlavní tahová napětí v počátečním stavu

Po výpočtu odpružení se hlavní tahová napětí změní (viz Obrázek 8.19), výtažek se ustálí, ale zůstane v něm vnitřní napětí. Hodnoty vnitřních napětí jsou zde zobrazeny, největší napětí se kumulují kolem rádiusů a ohybových hran výtažku.



Obrázek 8.19 – Analýza hlavních tahových napětí ve výtažku po odpružení



Animace zobrazující analýzu odpružení výtažku je uložena na průvodním CD-ROMu:

X:\PAM-STAMP_2G\Animace\13_PAM_STAMP_odpruzeni_vytazku.avi

Shrnutí pojmů 8.1

Po prostudování této kapitoly uživatel bude schopen pomocí softwaru zadat výpočet odpružení výtažku. Toto je důležité zejména u tvarově složitých součástí, kdy je třeba znát chování výtažku po procesu tažení. Uživatel bude umět vyhodnotit výpočet odpružení a exportovat dané plochy výtažku do souborů, se kterými pracují další CAD systémy.



Otázky 8.1

- 1. Jaká vstupní data je třeba mít k dispozici pro správný výpočet odpružení?
- 2. Lze u odpružení sledovat analýzu ztenčení, hlavních napětí a deformace výtažku?
- 3. K čemu slouží ustavovací body ve výpočtu odpružení výtažku?



Další zdroje

- [1] MACHÁLEK, J. Návrh technologie lisování plechové součásti nepravidelného tvaru : diplomová práce. Ostrava : VŠB-TUO, 2009. 112 s.
- [2] 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.
- [3] FRODLOVÁ, B. Optimalizace napěťových a kinematických poměrů při tažení výtažku nepravidelného tvaru z tenkého plechu s využitím MKP : diplomová práce. Ostrava : VŠB-TUO, 2009. 247 s.
- [4] ČADA, R. *Plošná tvářitelnost kovových materiálů : skriptum* 1. vyd. Ostrava : REPRONIS, 2001. 346 s. ISBN 80-86122-77-8.
- [5] HRUBÝ, J., RUSZ, S. a ČADA, R. Strojírenské tváření : skriptum. 1. vyd. Ostrava : VŠB v Ostravě, 1993. 160 s. ISBN 80-7078-201-3.
- [6] TIŠNOVSKÝ, B a MÁDLE, L. *Hluboké tažení plechu na lisech*: 1. vyd. Praha : SNTL, 1990. Bez ISBN.
- [7] EVIN, E., HRIVŇÁK, A. a KMEC, J. Získavanie materiálových údajov pre numericků simuláciu. In *Zborník prednášok 7. medzinárodnej konferencie TECHNOLÓGIA 2001 : I. diel.* Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislavě, 2001, s. 281-284. ISBN 80-227-1567-0.

9 POMOCNÉ FUNKCE PROGRAMU PAM-STAMP 2G

Kapitola se zabývá zadáním pomocných funkcí v softwaru PAM-STAMP 2G tak, aby zjednodušily práci uživateli tohoto softwaru, nebo jej zpřesnily či jinak optimalizovaly výpočet.

	Čas ke studiu: 30 minut
0	 Cíl: Po prostudování této kapitoly budete umět nastavit úlohu pro objemový prvek (přístřih), zjemnit lokálně přesíťování přístřihu, pro lokální přesnost výpočtu, lokalizovat určitou oblast z výtažku na přístřih.
	Výklad

9.1 Objemové prvky

Výpočet s objemovými prvky se používá tehdy, pokud nelze zanedbat tloušťku přístřihu vzhledem k rozměrům výtažku. Použitím zjednodušení (plochy) dojde k nepřesnostem ve výpočtu a výsledek by neodpovídal realitě. Použití objemových prvků, kdy jsou při definici nástroje použity i vodicí lišty, je vidět na Obrázek 9.1.



Obrázek 9.1 – Tváření objemových prvků

Objemové prvky se používají tehdy, pokud tloušťka materiálu není zanedbatelná vůči délkovým rozměrům výtažku. Pokud je přístřih 10x větší než tloušťka materiálu výtažku, uvažuje se o plošném přístřihu a nepočítá se s objemem.

Samotné definování objemového prvku přístřihu uživatel provede pomocí následujících kroků (viz Obrázek 9.2):

Blank editor/ Blank/ Objects attributes ...

Ostatní definice přístřihu zůstává stejná jako v předchozích případech, tzn. materiál výtažku, směr válcování a tloušťka materiálu.

Přístřih je zpočátku definován jako "*Surface Blank"*, tedy plošný prvek, jeho objemové vlastnosti nastaví až uživatel.

Objemové vlastnosti elementu uživatel nastaví pomocí otevřené nabídky "*Object attributes"*, kdy v definici vlastností přístřihu nastaví v typu objektu, objemový prvek.

Objects attributes/ Blank/ Object type/ Volume Blank ...

Tímto je nastaven výpočet s definovaným objemovým prvkem přístřihem.



Obrázek 9.2 – Definice objemového prvku



Obrázek 9.3 – Objemové vlastnosti elementu

CD-ROM

Animace zobrazující kinematiku pohybu nástroje při nastavení procesu tažení s objemovými prvky "kinematic check" a analýzy matematického výpočtu jsou uloženy na průvodním CD-ROMu:

X:\PAM-STAMP_2G\Animace\14_PAM_STAMP_objemove_prvky_kinematic_check.avi X:\PAM-STAMP_2G\Animace\15_PAM_STAMP_objemove_prvky_analyzy.avi

9.2 Lokální zjemnění sítě konečných prvků

Lokální zjemnění sítě konečných prvků se provádí za účelem zpřesnění výsledků v určitém místě. V některých případech uživatele zajímá pouze přesný výsledek v některých oblastech výtažku, zatímco celek není podstatný. Tímto způsobem zadání dochází k podstatnému urychlení výpočtového času. Zpravidla se nejprve provede komplexní matematický výpočet celého výtažku, poté se určí kritická místa, jež vykazují nesrovnalosti, nebo překročení mezních hodnot u výsledků a poté se provede nový výpočet. U nového výpočtu jsou zpřesněna kritická místa a důkladněji analyzována.

Uživatel pomocí nabídky *"Selection toolbar"* (viz 5.2.1) označí všechny elementy plochy tak, aby jejich označením vznikla oblast, která uživatele bude zajímat z hlediska přesného výpočtu (viz Obrázek 9.4).

Po označení ploch, které tvoří zpřesněnou oblast výpočtu, se výběr uloží jako samostatný objekt. Výhodou je, že si uživatel kdykoli během výběru může 3D model natáčet a jednotlivé plochy vkládat nebo vyjímat. Po vybrání všech entit uživatel objekt uloží (viz Obrázek 5.9:

/ Add selection to object/ "zpřesněna_oblast_01"/ Add ...


Obrázek 9.4 – Vybrané plochy pro zjemnění sítě konečných prvků

Definice zjemnění konečnoprvkové sítě se provede v panelové nabídce "*Objects attributes*".

Blank editor/ Blank/ Objects attributes ...

V atributech objektů, v záložce "*Blank"*, jsou definovány vytvořené objekty, kterým uživatel musí přiřadit síťování:

Objects attributes/ Refinement/ Stamping/ Add ...

Takto přiřazeným atributům uživatel nyní pouze určí, jak přesný chce mít výpočet (viz 6.5). Čím větší hodnota maximálního stupně se zvolí, tím přesnějšího výsledku uživatel dosáhne.



Obrázek 9.5 – Definice zjemnění konečnoprvkové sítě přístřihu

Definované oblasti mají stejné vlastnosti materiálu výtažku a chovají se jako jeden přístřih, rozdíl je jen v tom, že v určité definované oblasti je přesíťování přístřihu hustější než ve zbylé ploše (viz Obrázek 9.6).



Obrázek 9.6 – Síťový model výtažku s definovaným zjemněním

Výsledky simulace procesu tažení jsou obdobné jako v předchozích případech s tím rozdílem, že nyní je oblast s jemnější úrovní přesíťování více přesná (viz Obrázek 9.7). Na Obrázek 9.7 je analýza deformace výtažku, kde je patrný rozdíl v úrovni přesíťování výtažku. Zatímco v levé části výtažku (hrubá síť) je úroveň deformace relativně stabilní, tak při zpřesnění výpočtu (jemná síť) vpravo, už je patrné riziko roztržení výtažku.



Obrázek 9.7 – Analýza deformace výtažku pomocí zjemnění sítě konečných prvků

• CD-ROM

Animace zobrazující výpočet s lokálním zjemněním konečnoprvkové sítě je uložena na průvodním CD-ROMu:

X:\PAM-STAMP_2G\Animace\16_PAM_STAMP_lokalni_zjemneni.avi

9.3 Lokalizování určené oblasti z výtažku na přístřih

U tvarově složitých výtažků, které se vyrábí více tvářecími operacemi, potřebuje uživatel znát místo na přístřihu, kde dochází k prasklinám, zvlněním či jiným defektům. Určením tohoto místa na přístřihu a následujícím technologickým zásahem lze předejít následujícím defektům. Takovou funkcí v softwaru PAM-STAMP 2G je funkce *"Flattening"*. Pomocí této funkce si uživatel ve výtažku vyznačí cílové místo a pomocí zpětných kroků toto místo přenese do přístřihu.

Efektivním způsobem lze využít tuto funkci v kombinaci s předchozím příkladem zjemnění úrovně přesíťování přístřihu. Nejprve si uživatel určí místo defektu (Obrázek 9.8), přenese jej do přístřihu a zde provede lokální zjemnění úrovně sítě a provede výpočet znovu. Dosáhne tak nejpřesnějších výsledků s maximálním využitím výpočtového času.

Na Obrázek 9.8 znázorňujícím analýzu maximálních napětí, je zobrazena maximální hodnota napětí pro daný výtažek. Tato oblast bude v následujících krocích přenesena do rovinného přístřihu, tedy do vstupních dat.



Obrázek 9.8 – Určení maximálního napětí ve výtažku

Oblast, kterou chce uživatel vyznačit pro přenesení do přístřihu, se musí označit křivkou. Tato křivka (viz Obrázek 9.9) bude v následujících krocích přenesena na přístřih:

/ Curve manager	

See entity in top view
Edit curve
Curve manager
Add curve in object , . ,
Remove curve from object
Information on
Show
Hide
Add selection to object
Remove selection from object
Section
Work plane
Design Part
Feature line tangency

Obrázek 9.9 – Tvorba křivky

New R

3D Curve Editor

Name : Curve 1

Pro vytvoření křivky ohraničující oblast zájmu slouží jednoduchý editor *"3D Curve Editor"* (viz Obrázek 9.10).

Pomocí funkce nová křivka "*New*", umístění ve struktuře "*On structure*" a uzavřením křivky "*Closed curve*" uživatel definuje křivku na modelu výtažku. Tato křivka bude přidána jako nový objekt.

křivka/ Add selection to object...



Obrázek 9.10 – Definice křivky

Křivka uložená jako nový objekt je automaticky přidána do panelu vlastností 3D modelu a zobrazena v pracovní ploše (viz Obrázek 9.11).



Obrázek 9.11 – Vytvořená křivka na výtažku

Takto vytvořená křivka je definována v posledním kroku tahu. Uživatel nyní musí křivku naprojektovat (přichytit) na výtažek tak, aby se změnou tvaru výtažku se měnil tvar křivky. K tomu slouží funkce *"Flattening*", která se nachází v panelu "Výsledky analýzy".

Contours/ Flattening/ 3D curves to project – křivka/ Target mesh – Blank/ Orthogonal flattening – yes/ Apply ...

Tímto postupem se vytvořená křivka připojí na elementy konečných prvků výtažku (viz Obrázek 9.12).



Obrázek 9.12 – Projektování křivky na výtažek

Nyní je obrysová kontura pevně uchycena k výtažku a může se sledovat průběh posunu křivky v závislosti na měnícím se tvaru výtažku v jednotlivých krocích matematického výpočtu (viz Obrázek 9.13). Konturu lze dle potřeby uživatele kdykoli smazat, nebo jinak editovat.



Obrázek 9.13 – *Obrysová kontura naprojektovaná na výtažek*

V posledním kroku je vytvořená obrysová kontura přenesena na přístřih (viz Obrázek 9.14). Uživatel softwaru nyní má přehled o místech výtažku, které ho zajímají.



Obrázek 9.14 – Křivka zobrazená na rovinném přístřihu

CD-ROM

Animace zobrazující lokální projekci kontury je uložena na průvodním CD-ROMu: *X:\PAM-STAMP_2G\Animace\17_PAM_STAMP_lokalni_projekce_kontury.avi*

Shrnutí pojmů 9.1

Po prostudování této kapitoly uživatel bude schopen pomocí softwaru zadat matematický výpočet pro objemové prvky (tj. výpočet s tloušťkou materiálu). Dále bude uživatel schopen provést výpočet se zjemněním konečnoprvkové sítě přístřihu a používat funkci lokalizování určité zvolené oblasti z výtažku na přístřih.



Otázky 9.1

- 1. Kdy je vhodné uvažovat o použití objemových prvků přístřihu?
- 2. U jakých výtažků a proč má význam používat zjemňování sítě přístřihu?
- 3. Jakým způsobem lze využít funkce "Flattening" (projekce křivky na výtažek)?



Průvodce studiem – slovník pro zapamatování

Slovník základních pojmů objevujících se v softwarech využívající metody konečných prvků.

Tabulka základních anglických pojmů						
Název – anglický	česky	Název – anglický	česky			
Node	uzel	Velocity	rychlost			
Annealing	žíhání, chlazení	Factor	prvek, okolnost			
Compute	vypočítat	Pressure	tlak, tlačení			
Scaling	vážení	Flattening	vyrovnání, zahlazení			
Volume	objem, množství	Location	poloha, umístění			

Klíč k řešení

1 Software PAM-STAMP 2G

- 1. Metoda konečných prvků (MKP) je numerická metoda pro analýzu struktur a těles. Zpravidla je možné řešit touto metodou problémy, které klasickými postupy nelze úspěšně řešit. Metoda pokrývá celou šíři fyzikálních aplikací: statiku, dynamiku, akustiku, teplo, elektromagnetické pole, elektrostatiku, piezoelektrické jevy a proudění. Základním principem metody konečných prvků je diskretizace (rozdělení) tělesa na malé části (prvky), které jsou matematicky snadno popsatelné.
- 2. Metody konečných prvků se využívají u celé šíře fyzikálních aplikací: statika, dynamika, akustika, teplo, elektromagnetické pole, elektrostatika, piezoelektrické jevy a proudění.
- CAE je výpočtová podpora procesů plošného tváření, jež slouží celé řadě lisoven, kde napomáhá jak ke snižování nákladů na přípravu výroby, tak ke zvyšování odbornosti technických pracovníků.

CAD – z angličtiny computer-aided design, česky počítačem podporované projektování, nebo míněno na obecný CAD systém jako computer-aided drafting – počítačem podporované kreslení. Jde o velkou oblast IT, která zastřešuje širokou činnost navrhování.

4 Popis základního uživatelského prostředí softwaru PAM-STAMP 2G

- Objemový prvek (Solid ve 3D programech exportována jako objemová součást) má při tvářecích simulacích své opodstatnění v případech, jako je tváření se ztenčením stěny (mezera mezi nástroji je menší než tloušťka plechu), nebo v situacích, kdy jsou použity velmi malé rádiusy vzhledem k tloušťce plechu.
- Skořepinový prvek (Shell ve 3D programech exportován jako plocha) nepopisuje napjatost ve směru tloušťky materiálu, proto se využívá pro plošné tváření, kde se počítá se zjednodušením, tažení bez ztenčení materiálu.

5 Hluboké tažení s použitím MECAS ESI maker

- 1. Přidržovač (viz Obrázek 5.5) má v nástroji funkci sevřít přístřih k tažnici a následně tažník deformuje přístřih do požadovaného tvaru. Spolu s brzdicími žebry má za úkol:
 - zpomalit vtažení přístřihu mezi tažník a tažnici a zabránit tak vytvoření vln na okraji výtažku,
 - zvyšuje intenzitu přibrzdění přemisťovaného materiálu v jednotlivých částech tažnice, eventuálně dále i v určité fázi tahu, což způsobuje zvýšení tahového napětí na úkor tlakového napětí,
 - brzdicí žebra přinášejí do schémat deformace polotovaru, sevřeného přidržovačem a tažnicí, významný součinitel – ohybu materiálu,
 - při tažení výtažků složitých tvarů dovolují brzdicí žebra získat v jednotlivých místech výtažků potřebný stav napjatosti a stupeň deformace za účelem maximálního využití zásoby plasticity plechu a dokonalého tvarování výtažku,
 - u složitých zborcených prostorových ploch přidržovače brzdicí žebra dovolují snížit nároky na přesnost obrobení povrchu přidržovače.
- 2. U výtažků, které jsou symetrické, lze použít řady zjednodušujících kroků, které šetří výpočtový čas i práci uživatele. Například u řešeného příkladu je záměrně použita polovina výtažku a pomocí vytvoření roviny symetrie lze definovat celý tvářecí proces. Pro různé výtažky může být rovina symetrie jiná, mohou se použít i dvě roviny symetrie.
- 3. Tření je jeden z faktorů ovlivňujících tvářecí proces. Při vhodném mazání lze zlepšit jakost povrchu při stejných, nebo i nižších provozních podmínkách. Někdy je tření nezbytnou součástí výrobního procesu. Při tažení je tření v oblasti příruby žádoucí v míře, aby se na daném výtažku netvořilo zvlnění apod. Koeficient tření je jedno-, dvou- či vícerozměrná funkce. Koeficient tření je závislý na tlaku přidržovače, na rychlosti tváření a na dalších fyzikálních vlastnostech plechu a nástroje.
- 4. Jedná se například o vyhodnocení stupně deformace výtažku, ztenčení plechu (thinning), výskyt zvlnění (wrinkling), rizika porušení dílu (max flailure).

- 5. Analýza deformací výtažku s využitím diagramu mezních deformací se dnes ustálila na typickém diagramu mezních deformací s osami hlavních logaritmických deformací. Každý element výtažku je v diagramu mezních deformací reprezentován jedním bodem (viz Obrázek 5.53). Uživatel tak má přehled o průběhu a rozložení napětí ve výtažku podle zvoleného materiálového modelu. Podle rozložení bodů a doplňkových barevných map lze snadněji a přehledněji analyzovat výtažek v procesu tváření.
- 6. "Pinch test" je proces, který zastaví výpočet, jakmile se tloušťka tvářeného materiálu rovná mezeře mezi tažníkem a tažnicí (viz Obrázek 5.47).
- Tažník vykonává přímočarý vratný pohyb (vektor FT), kdy se během jednoho zdvihu vytvoří jeden výtažek (při jednoduchém tažení na jednu operaci). Tažník má tvar skutečného dílu, průměr výtažku DT. Přidržovač drží plech na tažnici pomocí přidržovací síly FP a je zvětšen o tažnou mezeru DDT.



6 Hluboké tažení bez použití MECAS ESI maker

- Mezi jednotlivými nástroji se volí mezera, která je rovna 10 % tloušťky plechu. Příliš malá mezera by zapříčinila porušení výtažku, nebo další nežádoucí defekty.
- Velikost přesíťování přístřihu má vliv na přesnost výpočtu, jeho délku. U simulací nevhodně zvolená velikost přesíťování ovlivňuje výsledky

analýz, při použití příliš velkých elementů vzniká nedostatečně popsaná geometrie výtažku zejména v rádiusech.

- "Object atributes" je funkce, která zobrazí všechny definované proměnné při zadávání úlohy. Díky tomuto panelu lze definovat materiálové, geometrické, kinematické a fyzikální vlastnosti všech vytvořených objeků a jejich vzájemnou interakci.
- Vektorové zobrazení se používá u tvarově složitých výtažků kde uživatel chce vidět, jakým směrem se daná část výtažku posouvá a jakou rychlostí.
- 5. Každému elementu je přiřazen vektor kinematiky deformace. Zvětšením počtu elementů se zvýší čas výpočtu simulace tváření.
- 6. Stop kritéria se v softwaru PAM-STAMP 2G využívají pro zastavení procesu výpočtu při nežádoucích okolnostech. Mezi tzv. stop kritéria patří: *Progression, Distance* a *Pinch test.*
- 1. Výpočet finální velikosti elementu (po přesíťování) podle vztahu

$$d = 0.5 \cdot (R_{\min} + 0.5 \cdot th) \qquad , \qquad d = 0.5 \cdot (9.1 + 0.5 \cdot 3)$$

$$d = 5.3 \Longrightarrow 6 \text{ mm}$$

Úroveň přesíťování (refinement level)						
Úroveň přesíťování	1	2	3			
Velikost elementu	24	12	6			
<i>d</i> (mm)	počáteční	12	finální			

Hodnota mass scalingu odpovídá charakteristické délce elementu 6 mm v poslední úrovni přesíťování (úroveň 3).

7 Výpočet rozvinu výtažku do roviny

- Rozvin výtažku do roviny slouží k definici obstřihové kontury přístřihu. Tato obstřihová kontura se poté zařazuje a uspořádává do nástřihových plánů.
- 2. Nástřihové plány slouží k racionalizaci výroby tím, že spoří náklady na výchozí polotovary (plechy, pásy).

8 Výpočet rozvinu výtažku do roviny

- 1. Vstupními daty jsou soubory s příponou *.rst, které software PAM-STAMP 2G exportuje při výpočtu prostého tahu.
- 2. Analýzu ztenčení NE.

Analýzu hlavních napětí ANO,

Analýzu deformace výtažku NE.

3 Ustavovací body ve výpočtu odpružení slouží pro definování bodů, které budou fixovány k výchozímu stavu, tzn., že výtažek bude odpružen mimo tyto záchytné body. Tyto body jsou záchytné a někdy uživatele může zajímat, jak se výtažek zachová (odpruží), když bude v definovaných místech ustaven (zamknut).

9 Pomocné funkce programu PAM-STAMP 2G

- Použití objemových prvků se provádí tehdy, když tloušťka materiálu není zanedbatelná vůči délkovým rozměrům výtažku. Pokud je přístřih 10x větší než tloušťka materiálu výtažku, uvažuje se o plošném přístřihu a nepočítá se s objemem
- Zjemňování úrovně přesíťování přístřihu se provádí u tvarově složitých výtažků, kde uživatel potřebuje znát přesné výsledky simulace jen v určitých kritických místech. Optimalizuje se tím výpočtový čas a zvyšuje efektivita výpočtu.
- 3. Efektivním způsobem lze využít tuto funkci v kombinaci se zjemněním úrovně přesíťování přístřihu. Nejprve si uživatel určí místo defektu (kritické místo) a přenese jej do přístřihu. Zde provede lokální zjemnění úrovně sítě a provede výpočet znovu. Dosáhne tak nejpřesnějších výsledků s maximálním využitím výpočtového času.