



VIRTUÁLNE TESTOVANIE V PLOŠNOM TVÁRNEŇÍ

VIRTUAL TESTING IN SURFACE FORMING

Ján SLOTA - Marek ŠISER – Ivan GAJDOŠ

Abstract

The computer simulation of technological processes has become an important tool for searching answers on questions dealing with cost reduction, quality improvement, increasing of productivity, speeding innovation processes or optimalization of production program, what gives company a competitive advantage. It allows to model a real behavior of product during the operation also during production process by the computer. The paper deals with actual trends in the field of computer simulation of sheet metal forming.

Key words

Numerical simulation, sheet metal, forming

Úvod

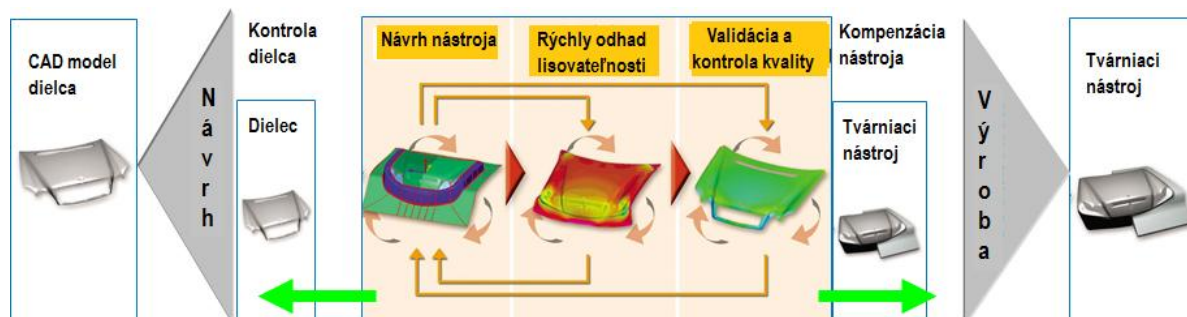
Súčasná strojárka výroba je charakterizovaná automatizáciou všetkých výrobných aj nevýrobných činností, s ktorými je spojené využívanie výpočtovej techniky vo všetkých oblastiach. Počítačová simulácia je dnes už neodmysliteľnou súčasťou pri naplňaní trendov súčasnej výroby a je využívaná hneď v niekoľkých oblastiach. Vývoj simulačného softvéru smeruje k vývoju integrovaného výpočtového prostredia, v ktorom je možné simulovať kompletne skúšky prototypov (napr. nárazové testy), technologické procesy (lisovanie, zváranie, odlievanie, tepelné spracovanie a pod.) a samozrejme k ich vzájomnej interakcii. Vďaka tejto stratégii súčasný softvér môže ponúknuť simulácie v oblasti vibroakustiky, elektromagnetizmu, biomechaniky, alebo dokonca aj multifyzikálne simulácie s vplyvom chemických reakcií a biologických procesov [1]. Súčasným trendom je postupný prechod ku kompletnému virtuálnemu vývoju výrobku, prototypu či výroby.

Workflow pri simulácii procesu tvárnenia

V oblasti plošného tvárnenia sa možno často stretnúť so simulačným systémom PAM-STAMP 2G (PS2G). Uživateľské prostredie je príjemné, intuitívne sa ovláda a vďaka objektivej konštrukcii celého systému ho možno zákaznícky modifikovať. Základnými modulmi sú Meshing, Diemaker, Quikstamp Inverse a Autostamp. Riešený diel vo formátoch IGS, VDA alebo CatiaModel sa otvorí v projekte PS2G. Takto otvorený model dielu alebo už navrhnutá ťažnica obsahuje plochy a konečno-prvkovú sieť. Následne sa dá prepnúť do režimu Quikstamp a riešiť odhad lisovateľnosti z geometrie dielu numerickým riešičom Inverse alebo overiť lisovateľnosť na navrhnutej ťažnici v module Autostamp, či zostať v CAD programe a začať konštruovať technologické plochy novej ťažnice. Po ich vytvorení funkciami Diemaker sa konštruktér nástroja môže prepnúť do režimu Autostamp a riešiť odhad lisovateľnosti výlisku na virtuálnych nástrojoch a vykonávať iteračné kroky zmien geometrie technologických plôch nástroja a polotovaru. Riešič Autostamp pracuje s kompletným modelom náradia. Pomocou makra sa z virtuálnej ťažnice veľmi jednoducho vytvoria ostatné časti tvárniaceho nástroja, prípadne ďalšie náradie. Potom sa využije príslušné makro pre definovanie procesu a spustí sa riešič Autostamp. Pre konštruktéra a technológa je dôležitá interpretácia výsledkov. PS2G ponúka post-processing vybavený funkciami, s pomocou ktorých sa dá rýchlo a jednoducho popísať fyzikálny stav výlisku z



hládiska stenčenia, resp. zhrubnutia plechu, napätosti a deformácie na hornej a dolnej ploche alebo v stredovej ploche výlisku. Hlavným prínosom PS2G je poskytovanie validačných výsledkov, t.j. výsledkov zhodujúcich sa s výsledkami z reálneho lisovania [4-6].



Obr.1 Workflow simulácie lisovania plechov

Celý proces (workflow) simulácie pozostáva niekoľkých fáz – Obr.1. V prvom rade sa vychádza z CAD modelu finálneho výlisku z ktorého je možné odvodiť plochy potrebné pre návrh lisovacieho nástroja. Po príprave konečno-prvkovej siete, priradení materiálu, zadání okrajových podmienok simulácie a niektorých ďalších nastaveniach môžeme získať rýchly odhad lisovateľnosti, z ktorého posúdime potrebu prípadných zmien vstupných dát. V ďalšom kroku sa vykonáva úplná simulácia procesu, ktorá je detailnejšia a presnejšia. Po zhodnotení vypočítaných výsledkov sa výsledné dáta použijú pre výrobu nástroja. Simulačné programy procesov tvárnenia umožňujú aj iné možnosti optimalizácie, ako napr. optimalizácia nástrihových plánov alebo testovanie robustnosti procesu.

Trendy v simulácii procesov plošného tvárnenia

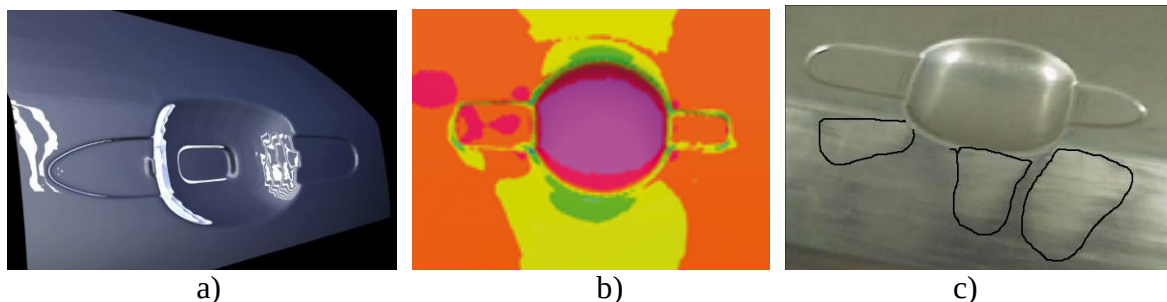
V procesoch tvárnenia a ich simulácii sa neustále stretávame s radom inovácií a nových problémov. Tieto sú spojené najmä s aplikáciou inovatívnych materiálov, nových výrobných postupov, ale aj stále vyššími požiadavkami na presnosť simulácií. Vývoj softvéru preto musí držať krok s týmito inováciami a prístupmi. Medzi najnovšie trendy v simulácii lisovania plechov môžeme zaradiť napríklad predikciu povrchových väd lisovaných dielcov vo virtuálnej svetelnej komore s detekciou hĺbky prepahlíny, simuláciu hotformingu (lisovanie dielca za tepla) s predikciou mikroštruktúry, modul pre kompenzáciu geometrie nástroja vzhľadom na odpruženie výlisku po lisovaní, sofistikované nástroje pre optimalizáciu nástrihových plánov, zohľadnenie stavu materiálu ako dôsledku predchádzajúceho spracovania určujúce pre správanie sa materiálu v procese ďalšieho technologického spracovania (technologická dedičnosť) a iné. Samozrejmosťou sú simulácie lisovania z kombinovaných prístrihov na mieru (laserovo zvarané, valcované, tepelne spracované a preplátované).

Simulácia povrchových väd na výliskoch

Pri výbere nového automobilu zohráva zásadnú úlohu úroveň spracovania najmä povrchových dielcov. Tá je bezpodmienečne spojená s kvalitným spracovaním jeho pohľadových plôch, čo má okrem iného zásadný vplyv na reputáciu a vo výsledku aj na postavenie výrobcu automobilu na trhu. Ak chceme vyrobiť kvalitný pohľadový diel, nesmie v ideálnom prípade niest' znateľné stopy nástroja po lisovaní či akékoľvek ďalšie povrchové chyby vrátane kozmetických defektov, ktoré sa môžu následne prejaviť až po finálnej úprave dielu. Kozmetické vady vznikajú v procese tvárnenia najmä po odpružení, ohýbaní a lemovaní. Ich hĺbka je niekoľko desiatok μm . Lokalizácia je veľmi náročná a existuje niekoľko metód.



Defekty možno kontrolovať jednak vizuálne pomocou lúčov svetla vo virtuálnej svetelnej komore (obr. 2a), ďalej pomocou plošného zdrsnenia kritických oblastí, čím sa zviditeľní defekt, ďalším spôsobom je priloženie železného pravítka na skúmanú oblasť (efekt je viditeľný, ak je medzi pravítkom a plochou dielu prepad) a v neposlednom rade je možné využiť optické či mechanické senzory [7].

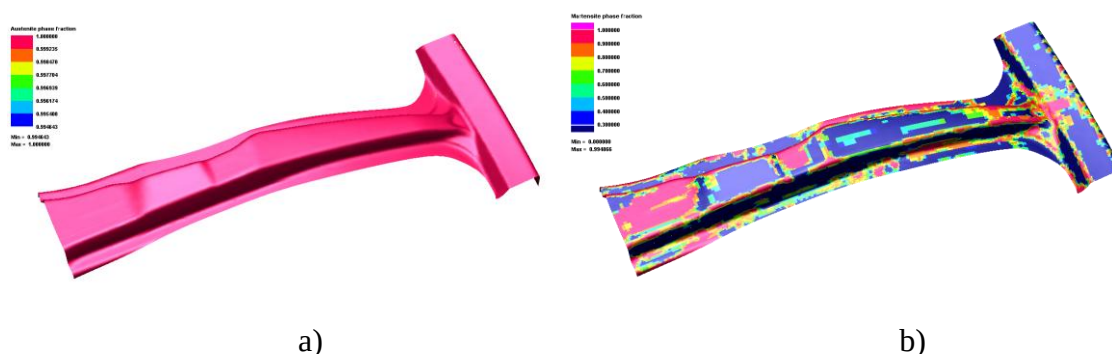


Obr. 2 Typické problémy v oblasti vonkajších dielov karosérie predikované simuláciou, a) Detekcia povrchových väd vo virtuálnom svetelnom tuneli, b) simulácia väd, c) vady na reálnom výlisku

So zvyšujúcimi sa požiadavkami na kvalitu a komplexnosť pohľadových dielov sú kozmetické vady v procese návrhu stále viac a viac brané do úvahy a rastie dôležitosť a potreba ich predikcie. Nedostatočná predikcie povrchových väd vedie k potrebe nápravných opatrení, oneskorenie výroby a vytvára dodatočné náklady. V predchádzajúcich verziách programu PS2G bolo možné lokalizovať kozmetické defekty metódou simulácie nasvietenia dielu vo svetelnej komore, čo bolo nedostatočné, pretože nebolo možné určiť hĺbku defektu. Dnes je na trhu ako súčasť simulačného softvéru PS2G modul, ktorý dokáže detailne analyzovať povrchové chyby pohľadových dielov. Novo vyvinutý modul je schopný na výslednom tvare dielu zo simulácie (obr. 2b) vizualizovať kozmetické defekty a zmerať ich hĺbku. Na obr. 2c sú naznačené kozmetické vady povrchového dielu karosérie na reálnom výlisku.

Hotforming

Moderné autá sa vyznačujú nielen lepšími jazdnými vlastnosťami pri nižšej spotrebe paliva, ale musia spĺňať aj požiadavky najnovších noriem nárazových testov. Toto sa okrem iného dosahuje použitím najpevnejších ocelí ako napr. martenziticky vytvrditeľnej zušľachtenej ocele 22MnB5. Pri spracovaní týchto ocelí sa používajú dva postupy.



Obr. 3 Rozloženie mikroštruktúrnych fáz po kalení

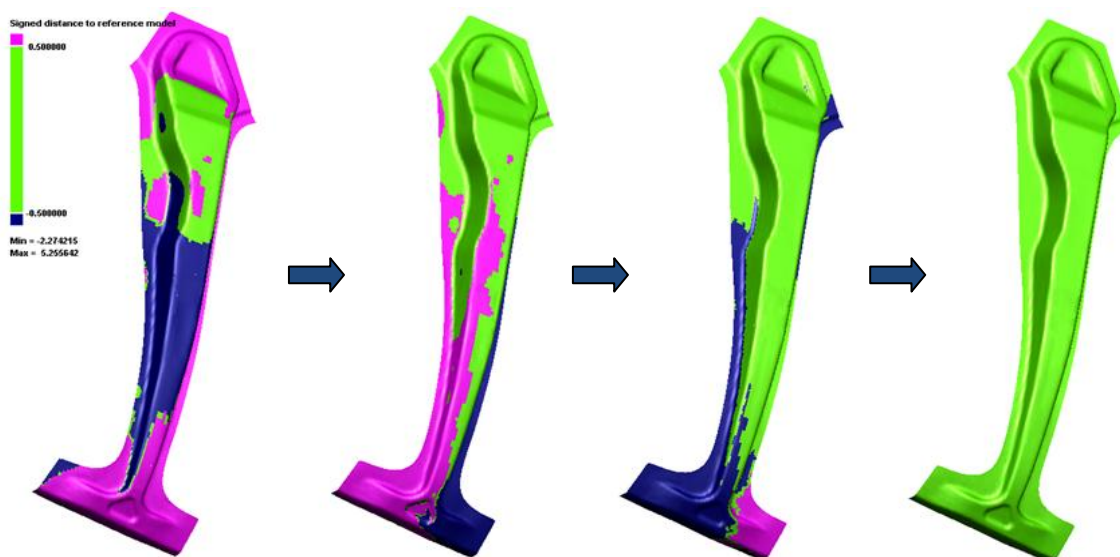
a) úplne martenzitické – OK, b) oblasti s podielom martenzitu nižším ako 80% – NOK



V prvom prípade sa prístrih z plechu pred vložením do nástroja ohreje v priebežnej alebo indukčnej peci na teplotu tvárnenia, ktorá musí byť minimálne 850°C (austenitizácia), po ktorej nasleduje ochladzovanie rýchlosťou väčšou ako 50°C/s. Po vylisovaní a ostrihnutí (orezaní laserom) sa dielec ochladí a vznikne martenzitická štruktúra. Druhou možnosťou je tvárnenie ocele za studena a následné tepelné spracovanie. Takto sa vyrábajú napr. B-stĺpiky alebo výstuhy dverí. Ako súčasť simulačného softvéru PS2G existuje modul, ktorý dokáže simulovať procesy hotformingu s predikciou fázových premien a mikroštruktúry dielca – obr.3 a prúdenia chladiaceho média v chladiacich kanáloch nástroja.

Kompenzácia odpruženia

Odpruženie výlisu je geometrická zmena jeho tvaru vznikajúca v záverečnej fáze tvárniaceho procesu, keď sa výlisok uvoľní od pôsobenia sily tvárniaceho nástroja. Tým sa ovplyvní rozmerová presnosť výsledného výťažku. V dôsledku toho vznikajú vo výrobe hneď dva problémy, a to predikcia výslednej geometrie výlisu po odpružení, a taktiež návrh nástrojov tak, aby sa tieto nedostatky odstránili. Simulačný program umožňuje výpočet odpruženia a tiež kompenzáciu geometrie nástroja v postupných krokoch (iteráciách) - obr. 4 už počas vývoja nástroja.



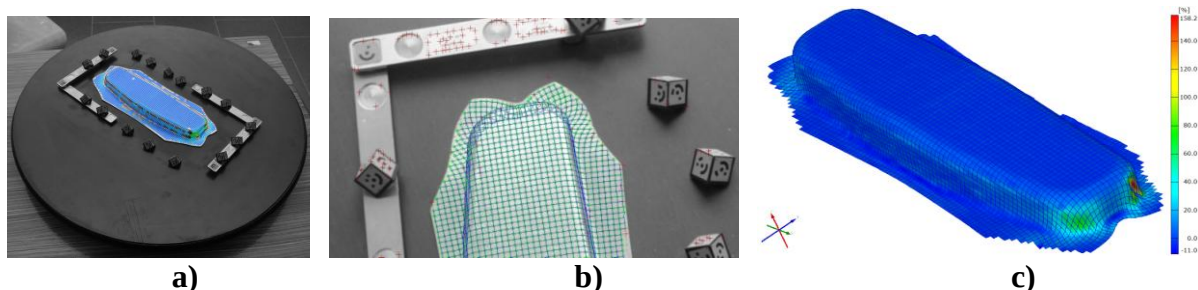
Obr. 4 Kompenzácia odpruženia dielu prostredníctvom postupných iterácií

Validácia výsledkov simulácie

Po vykonaní počítačovej simulácie na virtuálnom modeli a vyhodnotení výsledkov simulácie je z dôvodu zhodnotenia presnosti simulácie nutná validácia. Jednou z metód validácie je 3D optická fotogrametria, ktorou vieme získať potrebné dáta pre validáciu. Táto fáza má tiež niekoľko častí. V prvom kroku je nutné ešte pred tvárnením plechu naniesť na snímaný objekt sieť bodov prostredníctvom elektrolytického značkovania. Vďaka tejto sieti bodov optický systém rozpoznáva rozsah deformácií na povrchu snímaného objektu. Takto nasnímaný plech sa následne vylisuje do požadovaného tvaru a nasníma sa pomocou optického systému. Poznáme dva spôsoby optického zisťovania stavu procesu. Je to buď snímanie konečného stavu prostredníctvom fotoaparátov, resp. kamier alebo priebežné snímanie stavu objektu počas procesu, a teda dynamické správanie sa daného objektu počas procesu výroby. Tieto systémy dokážu na základe orientačných kódovaných značiek definovať umiestnenie objektu



v priestore. Je potrebné nasnímať výlisok pod rozličnými uhlami, aby bola dobre viditeľná celá sieť bodov na požadovanej úrovni rozlíšenia. Táto fáza je kritická z hľadiska kvality a presnosti výsledkov. Táto metóda získavania informácií o objekte sa nazýva digitalizácia. Ako posledný krok pri verifikácii údajov je vyhodnotenie výsledkov. Softvér vytvorí obraz objektu, kde sú vyznačené kruhové elementy vytvorené pomocou nekódovaných referenčných bodov. Z týchto elementov sa vytvorí štvorcová mriežka (grid), zobrazená na obr. 5b. Systém z týchto bodov dokáže určiť hlavné a vedľajšie deformácie materiálu, ako naznačuje obr. 5c. Taktiež je možné pomocou zákona zachovania objemu určiť aj stenčenie materiálu. Z nameraných bodov sa vytvorí FLD diagram. Je možné vytvoriť aj rezy snímaným objektom a takto analyzovať diskkrétne oblasti na výlisku. Výsledné údaje sa porovnávajú s údajmi zo simulačných programov a na základe týchto hodnôt je možné proces tvárnenia optimalizovať, nájsť kritické deformačné oblasti alebo verifikovať návrh (geometriu) tvárniaceho nástroja [7]8-11].



Obr. 5 Optický 3D systém Argus od fy. GOM: a) Fotogrametické meranie, b) Grid vytvorený systémom ARGUS c) Výsledky skenovania – deformácie na reálnom výlisku

Súhrn

Virtuálne simulácie sú významným nástrojom používaným vo väčšine oblastí priemyselnej výroby. Pomocou simulácie úplného procesu lisovania a následnej analýzy je možné včas optimalizovať proces tvárnenia a tým konkrétne určiť, ktorá zmena v procese povedie k eliminovaniu nežiadúcich javov alebo zlepšeniu procesu. To všetko vo vývojovej fáze ešte pred vyrobením reálneho prototypu nástroja. Vyvinuté moduly predstavené v príspevku sú plne využívané najmä v automobilovom priemysle.

Kľúčové slová

Numerická simulácia, plech, tvárnenie

Pod'akovanie

Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj, pre projekt: Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií, kód ITMS: 26220220182, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Použitá literatúra

- [1] ROLL, K.: Simulation of Sheet Metal Forming – Necessary Developments in the Future, In.: Numisheet, 2008, Interlaken – Switzerland, p. 3-11.
- [2] BOBOVSKÝ, V. – JEZR, V.: Aktuálny stav a perspektívy simulácie v podmienkach strojárskych podnikov. Počítačom podporované systémy v strojárstve, [WEB časopis], ISSN 1335-3926



- [3] BRUSCHI, S. – ALTAN, T. at all: Testing and modelling of material behavior and formability in sheet metal forming. CIRP Annals – Manufacturing Technology, 749 s., ISSN 0007-8506.
- [4] KRUTIŠ, V., et al.: Virtuální numerické simulace výrobních procesů, In: Technika a trh, 9(2012), s.2-3.
- [5] STAMPING: PAM-STAMP 2G User's Guide, ESI Group, 2014
- [6] SPIŠÁK, E.: Matematické modelovanie a simulácie technologických procesov - tvárnenie.
- [7] DRAHOŠ, Z.: Inovativní predikce povrchových vad pohledových dílů v softwaru PAM-STAMP 2G. In: Technický týdeník 11(2012), s.32.
- [8] SLOTA, J., et al.: The Sensitivity of a Photogrammetric Method in Formability Analysis. In: Acta Mechanica et Automatica. Vol. 7, No. 2 (2013), ISSN 1898-4088, p. 117-123.
- [9] MCAE Systems. Argus. [online]. 2011, [cit. 2014-12-17]. Dostupné na internete: <<http://www.mcae.cz/argus>>.
- [10] ARGUS: User Manual v6.2.Braunschweig. GOM GmbH, 2009. 149 s.
- [11] EU CLASSIC: Operation manual. Solingen. Brolihauser. 2005. 27 s.

Kontaktná adresa

doc. Ing. Ján Slota, PhD.

TU, Strojnícka fakulta, Katedra počítačovej podpory technológií

Mäsiarska 74, 040 01 Košice

e-mail: jan.slota@tuke.sk

Ing. Marek Šiser

TU, Strojnícka fakulta, Katedra počítačovej podpory technológií

Mäsiarska 74, 040 01 Košice

e-mail: marek.siser@tuke.sk

Ing. Ivan Gajdoš, PhD.

TU, Strojnícka fakulta, Katedra počítačovej podpory technológií

Mäsiarska 74, 040 01 Košice

e-mail: ivan.gajdos@tuke.sk