

# NOVÉ MOŽNOSTI MATERIÁLOVÉHO MODELOVÁNÍ PRO NÁVRHY A OPTIMALIZACI KOVÁŘSKÝCH TECHNOLOGIÍ

Bohuslav Mašek<sup>1+2</sup>; Hana Staňková<sup>1+2</sup>; Zbyšek Nový<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, FORTECH, Univerzitní 22, CZ-306 14 Plzeň, Česká republika, [masekb@kmm.zcu.cz](mailto:masekb@kmm.zcu.cz)*

<sup>2</sup> *TU Chemnitz, LWM, 09107 Chemnitz, Německo*

<sup>3</sup> *Comtes FHT, Lobežská E-981, 32 600 Plzeň, Česká republika*

## Abstrakt

Dynamický vývoj a optimalizace tvářecích procesů v sobě zahrnuje řadu technologických a materiálových aspektů. V současné době se objevuje na trhu celá řada nových materiálů, pro které je nutno najít nové optimální technologie a postupy zpracování. Jednou z efektivních možností jak toho dosáhnout, je i materiálové modelování. V oblasti materiálového modelování došlo v poslední době k výraznému pokroku a byla zavedena celá řada inovací. Velký rozvoj zaznamenávají i experimentální zařízení. V tomto roce byl v Plzni uveden do provozu nový simulátor pro přesné modelování náročných termomechanických aplikací.

## Abstracts

Dynamic development and optimization of forming processes encompass many technological and material aspects. Several branches of new material have recently appeared on the market and it is necessary to find new optimal technologies and processing procedures for them. Among the efficient ways which lead to this goal belongs also material modeling. Huge development in the area of material modeling has been noticed in recent years and many innovations have been introduced. Experimental equipment has subsequently also undergone quick development. New simulator for precise modeling of difficult thermo-mechanical applications was put into service in Pilsen last year.

## 1. ÚVOD

Pod pojmem fyzikální modelování technologických procesů rozumíme expozici zkušebního vzorku z reálného materiálu působením vybraných fyzikálních vlivů, které stejným způsobem působí v reálném procesu na polotovar a způsobují změnu jeho tvaru, struktury a vlastností.

## 2. PROBLEMATIKA PŘESNÉHO FYZIKÁLNÍHO MODELOVÁNÍ TECHNOLOGICKÝCH PROCESŮ

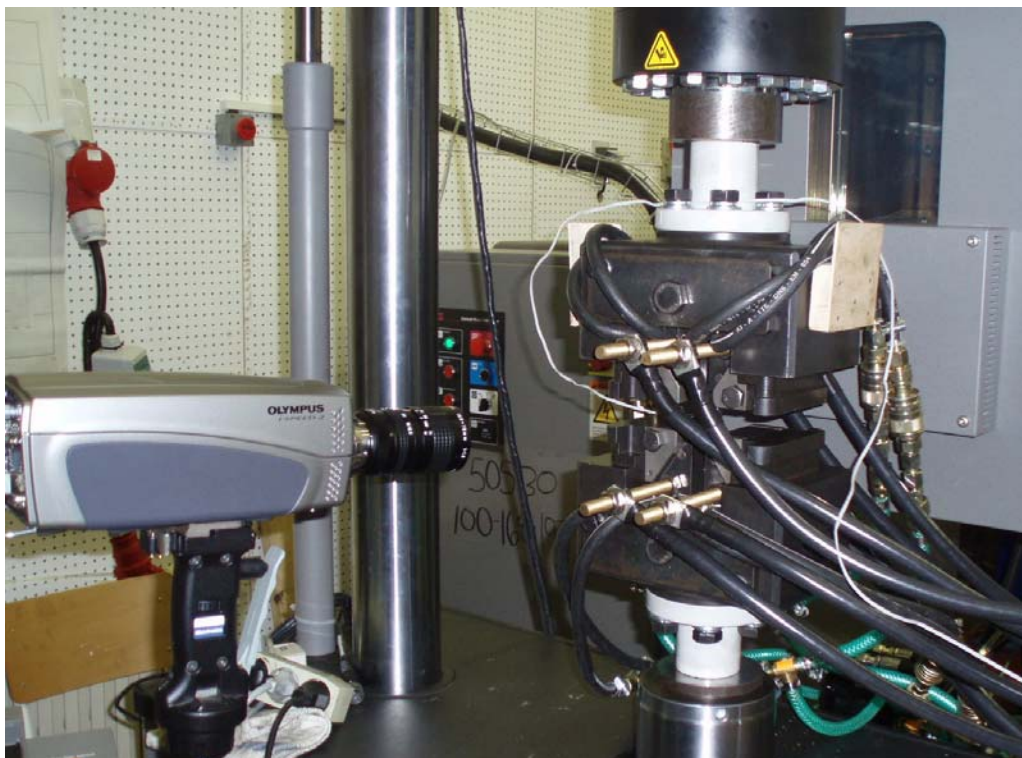
Fyzikální modelování technologických procesů se díky rozvoji zkušebních technik a dalších podpůrných oborů, jako je elektronika, sensorika, řízení procesů a numerické simulace vyvinulo do podoby, kdy je možno s vysokou přesností v modelu napodobit podmínky odpovídající skutečným výrobním procesům. Hlavní problém, který bylo potřeba vyřešit, tkvěl v tom, že procesy tváření, termomechanického zpracování, eventuelně kombinace několika procesů, včetně integrovaného tepelného zpracování se skládají

z poměrně dlouhých teplotních expozi, ohřevu a ochlazování a zpravidla z několika velmi krátkých časových úseků tváření s velmi rychlou deformací. Z toho důvodu bylo nutno vyřešit řadu technických komplikací, spojených s realizací a přesným uřízením takovýchto nesourodých procesů. Příkladem může být například kování, kdy celý proces expozice materiálu od počátku do konce trvá několik desítek minut nebo i hodin. Přitom deformace proběhne v časech řádu desetin sekundy až několika sekund. Často se navíc jedná o sled deformací, které jsou v jednotlivých krocích odlišné. Typickým příkladem je například zápusťkové kování. Pro modelování je důležité, že se deformační kroky od sebe zpravidla výrazně odlišují svými parametry. Veškeré procesy navíc probíhají za rozdílných a navíc nekonstantních teplot.

### 3. SIMULÁTOR TERMOMECHANICKÉHO ZPRACOVÁNÍ

Díky pokročilé technice, kterou v současné době představuje simulátor termomechanického zpracování (TMZ simulátor), se podařilo dosáhnout toho, že současný stav modelování umožňuje nastavit přesné teplotní průběhy a parametry deformace tak, jak je tomu ve skutečném procesu, nebo jak by tomu mohlo ve skutečném procesu být v případě, že se jedná o vývoj nových technologií nebo materiálů, resp. struktur.

Současná zařízení (Obr. 1) dovolují realizovat velmi rychlé změny parametrů a přesně napodobit podmínky procesu. V současné době je připravováno urychlení deformačního členu na rychlost 3 m za vteřinu s možností opakování přesně řízeného libovolného průběhu deformace až 20-krát v průběhu několika vteřin. Co se změn teplot týče, jsou dosahovány u ocelí gradienty přes 100°C za vteřinu při ohřevu a 250°C za sekundu při ochlazování. Samozřejmostí je přesné monitorování procesu. Vedle vlastní vysoce přesné sensoriky TMZ simulátoru jsou k dispozici i další externí monitorovací prostředky. Ty lze propojit s řídicím systémem. Jedná se například o optický pyrometr s automatickou korekcí emisivity nebo o vysokorychlostní kameru, která dokáže zaznamenat detaily z průběhu rychlého deformačního procesu, eventuálně pomůže při analýze procesu tvorby trhlin.



**Obr. 1.** TMZ simulátor na pracovišti v Plzni s vysokorychlostní kamerou

#### 4. VIRTUÁLNÍ TECHNOLOGICKÉ ZAŘÍZENÍ A TVORBA MODELU

V prvním kroku je zpravidla vytvořeno tzv. virtuální technologické zařízení. To je tedy sice fyzicky neexistující zařízení, například kovací linka, ze kterého však za pomoci TMZ simulátoru vycházejí vzorky se stejnými, resp. velmi podobnými vlastnosti jako má skutečný produkt.

Materiál je zpracován za „velmi podobných“ podmínek, jako je tomu ve skutečnosti. „Velmi podobných“ znamená v tomto případě, že v některých ohledech je nutno akceptovat jistá zjednodušení modelu. Aby bylo možno dodržet parametry deformace, zejména rychlosti a velikosti deformací a neztratit při tom stabilitu zkušební vzorku (Obr. 2), např. přetržením, používá se tzv. kumulovaná deformace. To znamená, že vzorek je deformován tak, že je do něho vložena stejná deformační energie, která je jedním z rozhodujících prvků při vývoji struktury, pouze jednotlivé deformační kroky jsou realizovány ve smyslu tah a tlak (Obr. 3). Tím je umožněno modelovat i velké deformace, např. až 15 (skutečná logaritmická deformace =  $\ln(h/h_0)$ ), které se v moderních inkrementálních tvářecích procesech často vyskytují. Inkrementálními procesy rozumíme postupné tváření v po sobě následujících krocích. Typickým příkladem je opět kování. Díky tahu-tlakové deformaci v modelu nemusí docházet k plnému souhlasu výsledné tažnosti, pokud dochází k tvorbě výrazných textur. Ostatní pevnostní charakteristiky i struktura je u modelu a reálného produktu ze skutečného zařízení shodná. V okamžiku, kdy dojde k postupnému odladění modelu, je virtuální technologické zařízení připraveno k dalšímu použití.



**Obr. 2.** Zkušební těleso s průměrem aktivní části 8 mm v počátečním stavu



**Obr. 3.** Zkušební těleso po termomechanickém zpracování

S použitím virtuálního technologického zařízení je možno provádět na modelu:

- 1) modifikace technologie
- 2) vývoj nových strategií zpracování
- 3) vývoj nových materiálů
- 4) modifikaci struktur a vlastností

Výhodou tohoto postupu je možnost exaktního rozboru procesu, neboť jsou monitorovány všechny potřebné parametry. Zároveň není potřeba pro zkoušky odstavovat výrobní linku, nevzniká nebezpečí přetížení bucharů, či lisů, není třeba měnit zápustky, měnit dynamiku ohřevu chladících linek a linek pro tepelné zpracování, je zjednodušen odběr vzorků a proces zkoušení materiálových vlastností.



**Obr. 4.** Zkušební tělesa pro mechanické zkoušky odebrané po TMZ, minitahovka 1,2x2mm

Další výhodou proti klasickým postupům vývoje je to, že jsou všechny společně působící materiálově-technologické procesy přímo integrovány do modelu. Doposud se provádělo více či méně separátních zkoumání jednotlivých parametrů jako přetvárné odpory za konstantních teplot, rekrystalizace nebo transformace za definovaných konstantních podmínek, atd.. Z toho se pak usuzovalo na celkové výsledné chování. Nové techniky umožňují provést globální modelování s respektováním velmi širokých parametrů reálných procesů a zjistit přímé vlivy na vývoj struktury a mechanických vlastností (Obr. 4).

#### **4. ZÁVĚR**

Fyzikální modelování technologických procesů s využitím moderních simulátorů umožňuje vytvoření virtuálního technologického zařízení. S jeho pomocí lze ověřovat chování materiálů a stanovovat praxí velmi často požadované rozsahy parametrů tzv. technologických oken, tedy rozsahu parametrů, ve kterých proces stabilně spolehlivě funguje, a kde začíná hranice jeho selhání. Stejně tak lze velmi hospodárně modifikovat a optimalizovat stávající technologie, vyvíjet nové strategie zpracování, vyvíjet nové materiály i legovací koncepty, modifikovat struktury a optimalizovat mechanické vlastnosti bez provozních rizik.