

Vlastnosti materiálů jako vstupní data pro simulaci svařování

Marek Langr^{1,*}, Petr Vondrouš¹

¹ ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav strojírenské technologie, Technická 4, 166 07 Praha 6, Česká republika

Abstrakt

V příspěvku je představena důležitost simulace svařování kovů. Současně je podrobně uvedeno, proč jsou simulace svařování tak obtížné a doposud považovány za málo přesné. Je to především z důvodu požadavku na znalost velkého množství materiálových vlastností, jako vstupních dat pro simulace, v širokém intervalu teplot, jejichž přesné zjištění je experimentálně velmi složité a nákladné. Doposud tak materiálové databáze softwarů na simulaci svařování obsahují maximálně 10-20 kovů.

Klíčová slova: svařování, simulace, materiálové vlastnosti

1. Úvod

Svařování je velmi významným výrobním postupem a je zastoupeno téměř na všech strojírenských výrobcích. Technologií svařování je mnoho, od odporového svařování karoserií až po laserové svařování lodních trupů. Také vznikají nové materiály, např. vícefázové ocele, vysokoteplotní Ni slitiny atd., a z těchto materiálů jsou vytvářeny nové a nové výrobky. Proto je neustálý výzkum svařování potřebný pro zajištění kvality výrobků. [1]

Podrobná znalost o samotném procesu a tepelných účincích svařování (deformace, napětí) je pro kvalitu svařovaných výrobků podstatná a na místo metody pokus omyl umožňuje rychleji a s menšími náklady dosáhnout kvalitního výrobku. [1]

Numerická simulace svařování je výborný nástroj pro detailní poznání procesu svařování. Umožňuje zkoumání vzorku během procesu svařování bez nákladného experimentu. Zatímco simulace už jsou v různých odvětvích běžným nástrojem, modelování svařování je stále velmi obtížné, jelikož je zde velké množství vlivů, které nám přesnost simulace ovlivňují. Simulace svařování stále nejsou považovány za přesné a navíc jsou nákladné. V tomto příspěvku si představíme důvody, proč jsou simulace svařování považovány za obtížné a málo přesné. [1]

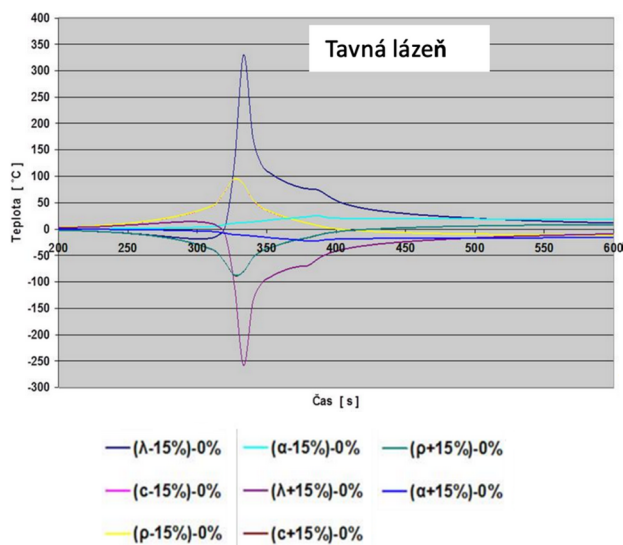
1.1. Vstupní data pro simulaci svařování

Přesnost simulací závisí na kvalitě vstupních dat, proto je třeba jim věnovat zvýšenou pozornost. U simulací svařování se jedná zejména o tyto tři následující oblasti.

- Materiálová vstupní data
- Definice a popis tvaru tepelného zdroje
- Vytvoření simulačního 3D modelu

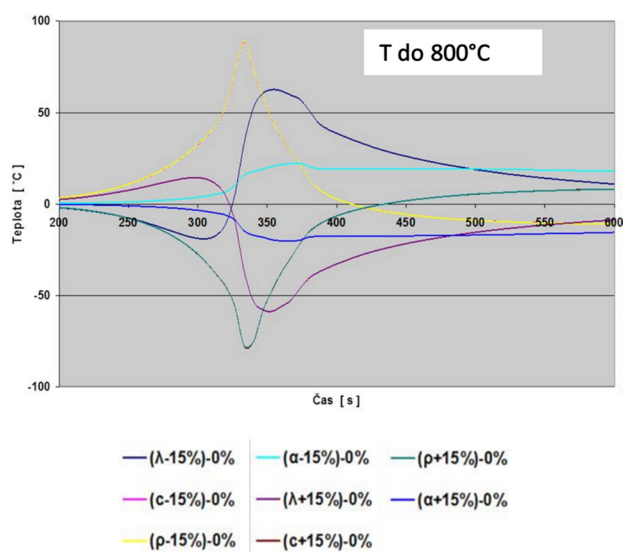
Jedním z nejsložitějších problémů simulace svařování je nedostatek znalostí o přesných vlastnostech materiálu v širokém intervalu teplot. [2]

Důležitost přesných vstupních dat jsou demonstrovány v následujících diagramech. Je zde vidět že i malá odchylka od správné hodnoty nám může zásadně ovlivnit výsledek simulace.



Obr. 1 Vliv vstupních materiálových dat v tavné lázni - [2]

Zde si například můžeme všimnout, že pokud bude odchylka součinitele teplotní roztažnosti v rozsahu 30 %, tak nám výsledná teplota kolísá v rozmezí 550 °C.



Obr. 2 Vliv vstupních materiálových dat při teplotě do 800 °C [2]

* Kontakt na autora: Marek.Langr@fs.cvut.cz

2. Potřebná materiálová vstupní data

Simulace svařování probíhají ve 2 následných krocích, 1. teplotně-metalurgická a 2. mechanická analýza. Každý z těchto kroků má jiné požadované materiálové vstupní vlastnosti a výpočet mechanické analýzy je podmíněn výsledky teplotní analýzy. [2]

2.1. Teplotně-metalurgická analýza

Popisuje chování materiálu při vnášení tepla ze zdroje. Teplotně-metalurgická analýza umožňuje:

- Výpočty nestacionárních (generovaných) teplotních polí v prostoru a čase
- Výpočty rozložení fází v průběhu celého svařovacího cyklu
- Výpočty tvrdosti a velikosti austenitického zrna

Nutná materiálová data

- Součinitel tepelné vodivosti - λ
schopnost materiálu vést teplo
- Měrná tepelná kapacita - c
je množství tepla potřebného k ohřátí 1 kilogramu látky o 1 teplotní stupeň
- Hustota - ρ
Měrná hmotnost je definována jako podíl hmotnosti a objemu tělesa
- Koeficient přestupu tepla - U
vyjadřuje, kolik tepla unikne konstrukcí o ploše 1 m² při rozdílu teplot jejích povrchů 1 K (tedy vyjadřuje, jak rychle bude materiál chladnout během svařování i po něm).
- ARA diagram „in situ“
popisují fázové přeměny v materiálech za podmínek svařování. [2,3]

2.2. Mechanická analýza

Následuje až po vyřešení teplotně-fázové analýzy a umožňuje:

- Výpočty zbytkových napjatostí a elastických i plastických deformací
- Výpočty jednotlivých složek tenzoru napětí (normálová a smyková napětí)
- Výpočty trojosého stavu napjatosti [2]

Nutná materiálová data

- Poissonova konstanta - γ
označuje poměr relativního prodloužení tyče k jejímu relativnímu příčnému zkrácení – zúžení při namáhání tahem.
- Koeficient teplotní roztažnosti – α
popisuje jev, při kterém se po dodání/odebrání tepla tělesu (po zahřátí/ochlazení tělesa o určitou teplotu) změní délkové rozměry (objem) tělesa. Většina látek se při zahřívání rozpíná, to znamená, že jejich molekuly se pohybují rychleji a jejich rovnovážné polohy jsou dále od sebe.
- Modul pružnosti - E

je charakteristikou materiálu používanou při studiu pružnosti. Podle způsobu namáhání (zatížení) materiálu se rozlišuje na tři složky, ale pro simulace se používá hlavně modul pružnosti v tahu (tzv. Youngův modul),

- Deformační zpevnění materiálu - n
tahový diagram za různých teplot a fází. [2,3]

3. Měření materiálových vlastností

Všechny tyto vlastnosti musíme získat v závislosti od pokojové teploty do teploty solidu, likvidu a výše. Teploty zdroje tepla dosahují až tisíců °C a předpokladem pro simulaci je, že program všechna tato data zná.

Zjišťování těchto dat je velmi obtížné v některých případech nemožné, zvláště pro termomechanické vlastnosti.

Běžně se tedy provádí měření od pokojové teploty po 0,8 teploty solidu. Dále musíme znát, kdy a jak dochází k fázovým přeměnám.

Jediným způsobem, jak můžeme získat spolehlivá data o materiálu, je provádění různých zkoušek.

Je nutné také vědět, že dvě ocele se stejným chemickým složením, ale poskytované dvěma různými dodavateli, nebudou mít přesně stejné vlastnosti

Tedy určit materiálové vlastnosti je náročný úkol co se týče času, nákladů a přesnosti (zejména s rostoucími teplotami). [1]

4. Závěr

Simulace svařování jsou v současné době považovány jako nejsložitější simulace výrobního procesu a to především z toho důvodu, že neexistují dostatečně přesně naměřené materiálové vlastnosti pro široké spektrum materiálů. Např. knihovna materiálů simulačního softwaru Esi VisualWeld obsahuje pouze okolo 10 materiálů, které sice zastupují základní materiálové skupiny, ale pravděpodobnost, že tam najdete přesně ten váš materiál je malá.

Seznam symbolů

α	koeficient teplotní roztažnosti (1/K)
c	měrná tepelná kapacita (kJ/kg·°C)
E	modul pružnosti v tahu (MPa)
U	koeficient přestupu tepla (W/(m ² ·K))
γ	Poissonova konstanta
λ	součinitel tepelné vodivosti (W/(m·K))
ρ	hustota (kg·m ⁻³)

Literatura

- [1] SCHWENK, C. a M. RETHMEIER. Material Properties for Welding Simulation — Measurement, Analysis, and Exemplary Data. *Welding Journal*: November 2011. 2011.
- [2] BRADÁČ J., Simulace svařování: vyukové prezentace. TUL Liberec.
- [3] MECAS ESI. Materiálová databáze k programu VisualWeld.