



NUMERICKÉ PREDIKCE CHOVÁNÍ SVAŘOVANÝCH PŘÍČNÝCH TÁHLEK

Zpracovali: Ing. Petr Kubiš, doc. Ing. Pavel Ryjáček, Ph.D. (Fakulta stavební VUT v Praze)

Souhrn

Svařování je pro ocelové mosty významný výrobní proces. Při navrhování svařovaných detailů však musí být uváženy také dopady svařování na celou konstrukci. Jedním z problémů typických pro svařové spoje jsou reziduální napětí a deformace. Svařované táhla se pak používají u násobně staticky neutrálních konstrukcí, kde výsledek svařování způsobuje předávané silové namáhání, které je ovšem velmi komplikované stanovit.

Výpočetní simulace svařování se formují od 70. let 20. století, kdy se začaly sdružovat termomechanické úlohy. Poté bylo postihnout teplotní změny materiálových vlastností a přeměny struktury oceli způsobily vznik detailních mikrostrukturálních modelů. Mluvíme pak o takzvaných TMM (thermo-metallurgical-mechanical) analýzách. [1] Zásadní dopad na správné rozmístění výsledných reziduálních napětí a jejich velikost má také zavedení zdroje tepla. Mnoho užitečných informací o tomto problému můžeme najít v publikacích následujících autorů: Goldak [2], Lindren [1], Radaj a další.

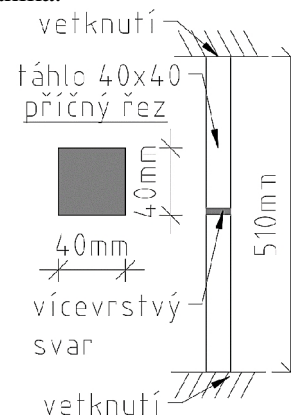
Náplní předšlé inžinierské práce bylo vytvoření zjednodušeného numerického modelu (schéma viz obr. 1.), který by popsal vývoj a přeměny vnitřních sil v táhle od procesu svařování. Tato práce zahrnovala mimo jiné zpracování odborné literatury zabývající se tímto tématem, a to především v oblastech: výpočetní mechaniky svařování (CWM) [1][2], technologie svařování a okrajové také metalurgie kovů. Na které z těchto poznatků byly implementovány do prvotního modelu.

Oblast použití

Svařované táhla se používají zejména na mostních konstrukcích, kdy je hlavním nosným systémem Langrov nosník, nebo u síťových obloukových mostů. Tento typ konstrukce umožňuje realizovat architektonicky zajímavé konstrukce s využitím štíhlých prvků a dosažením dostatečné tuhosti. Výhodou je také snížení potřeby údržby v průběhu životnosti a zlepšení únavových parametrů táhla.

Metodika a postup řešení

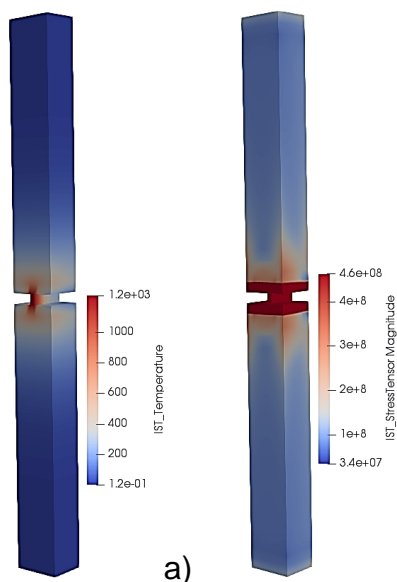
Pro sestavení zjednodušeného numerického modelu byl vybrán software OOFEM [3]. Tento obecný nástroj pro řešení konečných prvkových problémů umožnil vytvoření jednostranně sdružené úlohy termomechanika.



Obr. 1. Schéma modelu – mechanika

Zkoumaný oboustranný přímý svar, který je použit pro montážní spojení táhla tvercového průřezu 40x40 mm se vyznačuje velkým objemem svařovacího materiálu. V modelu byl tento fakt zaveden aktivací elementů v příslušných úsecích. Rychlost aktivace prvku byla plánována dle skutečné rychlosti svařování $v = 8 \text{ cm/min}$. V modelu zjednodušeně odpovídaly objemy odpovídající 5 reálným housenkám najednou. Celkem tedy došlo k 9 numerickým průchodům svařování (45 skutečných svařovacích housenek). Do aktivovaných prvků byl vnášen objemový tepelný zdroj odpovídající parametru svařování $I = 24 \text{ A}$ a $U = 90 \text{ V}$ účinnosti $\eta = 0,8$. A koliv toto řešení respektuje velikost vnesené energie, bylo by vhodnější použít sofistikovanější zavedení zdroje jako například Goldak v dvou elipsoidických zdrojů [2] a jiné. Tato úprava by přinesla v těži numerickou přesnost a stabilitu výpočtu i pro zavádění v těži energií svařování. Jednotlivé modelované průchody byly odděleny technologickou přestávka, kdy táhlo chladne. Dále byla zavedena proměnlivost materiálových parametrů v závislosti na teplotě. Rozsah teplot táhla a svaru se pohybuje cca. od 24

do 1500°C. Pro teplotní část úlohy byla nastavena teplotní proměnná tepelná vodivost ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$) a má tepelná kapacita C ($Jkg^{-1}K^{-1}$). Deformační a pevnostní materiálové charakteristiky nebyly pro tento model v prvním kroku zavedeny jako závislé na teplotě. Tento fakt způsobil výrazně vyšší výsledné napětí v táhle. Program OOFEM však toto zavedení umožňuje a v dalším kroku bude tento vliv doplněn.



Obr. 2. a) Rozložení teploty v průběhu svařování [°C]
b) rozložení napětí v průběhu svařování [Pa]

Jak je vidět na obr. 1. a obr. 2., byla i výrazně zjednodušena geometrie, což umožnilo jednoduché a dynamické generování sítě. Vykreslení hodnot normálových napětí a teplot uprostřed svařování ilustruje obr. 2.

Výsledky

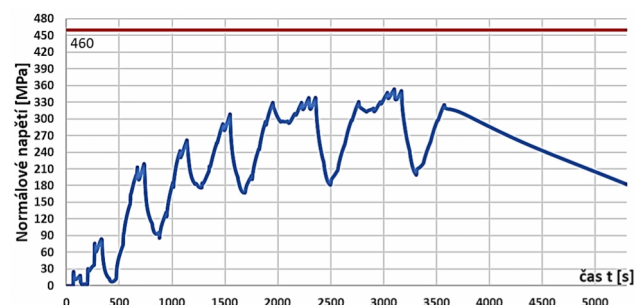
Základem pro tuto činnost bylo studium odborné literatury týkající se svařování a přístup pro samotné modelování tohoto procesu. Výsledkem je zjednodušený pilotní model, který má za úkol reálně provést:

- Možnosti a fungování sdružené úlohy termomechanika.
- Zohlednit, které materiálové nelinearity pro široký rozsah působících teplot.
- Provést numerickou stabilitu v závislosti na délce výpočetního kroku, nastavení řešení, zadávaném zdroji.
- Zjednodušeně zavést zdroj tepla a připravit podklady týkající se parametrů svařování.
- Stanovit hodnoty napětí v průběhu svařování a chladnutí táhla viz obr. 3.

Na základě prvotního modelu byly odhaleny tyto problémy, které bude nutné do výpočtu v budoucnu zahrnout:

- Zavést nelineární materiálové modely pro výpočet mechanické části úlohy.
- Zlepšit geometrii v místě svaru. Zjemnit síť v okolí svaru a použít vhodnější prvky. Zvláště detailně modelovat jednotlivé průchody svarových housenek.
- Zásadní vliv na celý výpočet má model zdroje tepla. Tomuto tématu je nutné v novat zvláštní pozornost.
- Zavést poddajné okrajové podmínky pro řešení mechaniky. Poddajnost podpěr bude jedním z hlavních parametrů nadcházející parametrické analýzy.

Přehledným výsledkem je také graf na obr. 3., kde je vykresleno normálové napětí v průřezu vzdáleném od místa svařování. Na grafu je také naznačena mez kluzu oceli táhla. Je patrné, že výsledné napětí je nezanedbatelné.



Obr. 3. Průběh normálového napětí od svařování v závislosti na čase (Průřez vzdálený 0,25m od svaru).

Závěr

Sestaven byl pilotní numerický model svařování táhla, viz obr. 1., který poskytuje prvotní výsledky, viz obr. 2 a obr. 3. V tomto modelu byla použita celá řada významných vlivů, které zásadním způsobem ovlivňují napětí v táhle. Na základě výpočetných výsledků již může být plánován experiment svařování táhla s proměnnou tuhostí uložení. Tato činnost by měla být náplní práce pro nadcházející období.

Literatura

- [1] Lindgren, L. *Numerical modelling of welding* Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 1st ed.; Woodhead Publishing, 2007.
- [2] Goldak, J.; Akhlaghi, M. *Computational Welding Mechanics*, 1st ed.; Springer US, 2005.
- [3] OOFEM Copyright © 1994-2017 Božek Patzák