

MOŽNOSTI MATERIÁLOVÝCH MĚŘENÍ A EXPERIMENTÁLNÍCH ZKOUŠEK PRO OBLAST ENERGETIKY - POSOUZENÍ VLIVU SVAŘOVACÍHO PROCESU NA DEGRADACI MATERIÁLU

POSSIBILITIES OF THE MATERIALS MEASUREMENTS AND EXPERIMENTAL TESTS IN THE ENERGETICS SECTION – EVALUATION INFLUENCE OF THE WELDING PROCESS ON THE MATERIAL DEGRADATION

Jaromír Moravec a Iva Nováková

Technická universita v Liberci

Abstrakt

V rámci řešení projektů TACR a MPO bylo provedeno množství svařovacích experimentů a měření materiálových dat na ocelích 10GN2MFA, P91, P92 a X23CrMoV12-1, majících za cíl popsat a pochopit děje, k nimž při svařování dochází. Porozumět celému procesu a ne pouze získanému výsledku pomáhají numerické simulace. K tomu je však třeba získat a naměřit vstupní veličiny a údaje, mezi něž ARA diagram, mechanické zkoušky základních materiálů i materiálů podrobených teplotním cyklům, popouštěcí diagramy a krátkodobé creepové testy, případně testy akcelerovaného creepu. Mimo to byly navrženy a měřeny cílené testy zaměřené na nízkocyklovou a teplotní únavu realizované pomocí fyzikálně – mechanického simulátoru GLEEBLE. Cílem příspěvku je ukázat, jak by měly být koncipovány experimenty z hlediska dostatečné vypovídající hodnoty i z hlediska následné interpretace výsledků.

In terms of solving projects TACR and MPS there were performed a lot of welding experiments and measurement the material data for steels 10Gn2MFA, P91, P92 and X23CrMoV12-1 with aim to describe and understand processes that accompany own welding process. Thus as a major aim there was to understand the whole process, not only to measure results for the numerical simulations. However to achieve such goal, it is necessary to obtain and measure input quantities and data as is e.g. TTT diagram, mechanical tests of basic materials as well as temperature cycles loaded materials, tempering diagrams and short-term creep test, even. in the form of accelerate creep tests. Moreover there were designed and measured tests focused on the low-cycle and temperature fatigue loading by means of the physical – mechanical simulator GLEEBLE. The aim of paper is to show how there should be designed experiments in light of the sufficiently enough significance as well as the subsequent interpretation of results.

Úvod

Při svařování rozměrných konstrukcí, je nezbytné realizovat experimentální měření popisující odezvu materiálu na teplotně-napěťové zatížení. To je zpravidla způsobeno nestacionárními teplotními poli, vlastní tuhostí a způsobem upnutí svařovaného dílu. Takové experimenty je vhodné realizovat již v předvýrobní etapě, aby bylo možné na základě získaných výsledků upravit postup výroby a případně i konstrukční návrh. Vhodnost navržených postupů je pak velmi často verifikována pomocí numerických simulací.

K získání relevantních výsledků je ale nezbytné realizovat množství experimentálních měření. Taková měření mohou být koncipována buď jako experimenty definující vstupní veličiny numerických simulací, případně podklady pro výrobní postupy (velikost natavené oblasti, veličiny potřebné k definování modelu zdroje tepla, podmínky při upnutí vzorku atd.), nebo jako experimenty verifikační určené k potvrzení vhodnosti navrženého postupu, mezi něž patří například strukturní analýzy, hodnoty tvrdosti v definovaných místech, deformace

vzorku atd.). Vhodně navržený je však takový experiment, který v sobě dokáže zahrnout oba zmíněné typy měření.

Prvotní experimenty se zpravidla provádějí před vlastními výpočty a velmi často vycházejí ze svařovacích postupů zavedených ve výrobních firmách. Většinou se jedná o experimenty svařování koncipované na základě normy ČSN EN ISO 15614-1, kdy je známa jak velikost zkušebních těles, geometrie svarových úkosů, postup kladení housenek, tak také rozmezí svařovacích proudů, napětí a rychlosti svařování. Navíc se provádí metalografický rozbor a měření tvrdosti, takže jsou k dispozici údaje o natavené oblasti a tvrdosti ve svaru i TOO.

Přestože lze díky takto koncipovaným experimentům získat mnoho užitečných informací o procesu, stále ještě existuje značné množství neznámých majících značný vliv nejen na dosažené výsledky a přesnost simulačních výpočtů, ale také na provozní a únavovou životnost svarových spojů. Tyto neznámé lze částečně eliminovat vhodnou volbou okrajových podmínek experimentu. Jedná se především o definování podmínek přestupu tepla do okolí, umístění čidel pro měření teploty a deformací, způsob vzájemného přesazení housenek, atd.

Návrh a realizace svařovacích experimentů

Při experimentech svařování s předehřevem i bez něho je z hlediska správného stanovení nestacionárních teplotních polí problematické především definování podmínek, za nichž dochází k přestupu tepla do okolí. Při svařování bez předehřevu jsou problematická zejména ta místa, ve kterých dochází ke styku svařence s podložkou nebo přípravkem. Při svařování s předehřevem je pak jednou z hlavních podmínek zachování zvolené teploty předehřevu po celou dobu experimentu.

Při návrhu experimentu svařování bez předehřevu je tedy snaha o minimalizaci plochy dotyku vzorku s přípravkem. Proto jsou konstruovány speciální přípravky s bodovým, nebo liniovým dotykem, tak jak je ukázáno na obrázku 1a). Experiment by měl dále být koncipován tak, aby bylo možné měřit zároveň teplotní cykly i deformace v průběhu celého postupu svařování a chladnutí, případně i při následném tepelném zpracování.

Při experimentech svařování s předehřevem je pak jednou z hlavních podmínek zachování zvolené teploty předehřevu po celou dobu experimentu, tedy zajištění konstantního přenosu tepla celou spodní plochou vzorku. Toho lze dosáhnout buď použitím speciálně vytvořených předehřívacích desek, topných deček, nebo přípravků s dostatečně naakumulovaným množstvím tepla. Poslední varianta má ještě další výhody, mezi které patří zejména jednoznačné definování míst a tuhosti připevnění vzorku, nebo možnost jednoduché izolace celého systému, jak je ukázáno na obrázku 1b).

Oba typy experimentů by měly být navrženy pro vícevrstvé svary, protože každá následující vrstva násobí případnou nepřesnost při simulaci vrstvy předchozí. Pak je již po dvou, případně třech svarových housenkách zřejmé, zda je použitý výpočetní model vhodný pro daný typ úlohy. Experiment by měl být také koncipován tak, aby bylo možné jednoduše zjistit geometrii každé svarové housenky, včetně vlivu svarové vrstvy na změnu strukturních a mechanických vlastností, případně na deformace.

To je zpravidla realizováno vzájemným posunutím počátků jednotlivých housenek vůči sobě tak, jak je ukázáno na obrázku 2. Tímto způsobem lze geometricky vyhodnotit nejen každou housenku, ale také definovat, jak bylo konkrétní místo vzorku ovlivněno všemi ostatními housenkami. Vhodnou metodou k definici materiálových změn v místě svařování je měření tvrdosti. Využívá se zpravidla metoda podle Vickerse, kdy je tvrdost měřena v řadách ze základního materiálu, přes TOO až do svarového kovu, tak jak je schematicky znázorněno na obr. 2. Při svařování více vrstev je řada vpichů vedena vždy přes každou vrstvu, aby bylo možné posoudit vliv jednotlivých housenek na libovolné místo vzorku.

Měření materiálových vstupních veličin

Materiálová vstupní data určená pro numerické simulace jsou zpravidla rozdílná oproti údajům zjišťovaným pro návrh postupu svařování WPS. Pro teplotně strukturní analýzy je nezbytné znát chemické složení materiálu a ARA diagram, u něhož jsou pro dané rychlosti ochlazování uvedeny nejen tvrdosti, ale také podíly jednotlivých strukturních fází. Dále pak teplotní závislosti teplotní vodivosti a součinitele přestupu tepla do okolí. K výpočtu hodnot zbytkových napětí a deformací v průběhu svařování jsou pak třeba údaje o teplotní závislosti Youngova modulu pružnosti, meze kluzu, meze pevnosti, Poissonovy konstanty a hodnot deformačního zpevnění. Všechny uvedené údaje je možné zjistit z tahových zkoušek realizovaných za různých teplot. Taková měření jsou prováděna jak pro základní materiál, tak také pro zakalené a případně i popuštěné struktury. K výpočtu deformací je pak určena křivka teplotní závislosti součinitele lineární roztažnosti, zjištěná pomocí dilatometrických měření.

Velmi důležitým typem experimentu udávajícím informace o změně vlastností při tepelném zpracování jsou tzv. popouštěcí diagramy. Popisují změnu tvrdosti v závislosti na popouštěcí teplotě a době výdrže. Příklad takového diagramu je pro materiál GX23CrMoV12-1 a popouštěcí teploty 500; 550 a 600 °C uveden na obrázku 3.

Doplňkovými měřeními jsou pak informace o creepovém chování materiálu. Ty jsou získávány buď z klasických creepových testů, nebo (především z důvodu časové a finanční náročnosti) pomocí krátkodobých creepových, případně relaxačních testů. Zatímco při creepu je pro danou teplotu a zatížení sledováno prodloužení vzorku, u relaxačních testů jsou při dané teplotě a dosažené hodnotě napětí zafixovány čelisti a sleduje se časová změna hodnot napětí v testovaném vzorku. Pro krátkodobé creepy i relaxační testy je zpravidla využíván teplotně napěťový simulátor Gleeble.

Závěr

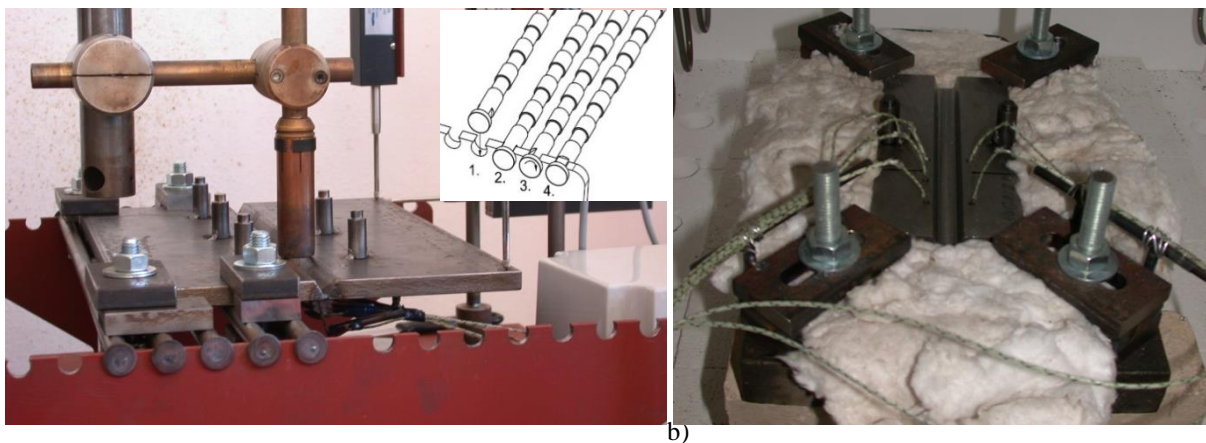
Materiálová měření a experimenty svařování patří mezi nejčastěji realizovaná měření určená k získání informací o materiálových změnách a nepřímo také k pochopení celého procesu za pomoci numerických simulací. Hlavním cílem příspěvku bylo ukázat, jakým způsobem by měly být navrženy a realizovány experimenty, aby byly získány relevantní informace. Pozornost byla zaměřena především na okrajové podmínky týkající se sdílení tepla do okolí, ale popsány byly i typy materiálových měření potřebných pro teplotně – metalurgické a napěťovo – deformační analýzy.

Na popis změn, k nimž dochází v materiálu při svařování, mají největší vliv nestacionární teplotní pole a podmínky, za nichž je realizován přestup tepla do okolí. To se týká jak míst styku svařovaného vzorku s pracovním stolem nebo přípravkem, tak míst vzorku předehřátých na technologicky požadované teploty. Teplotní cykly při svařování i případném následném tepelném zpracování ovlivní a částečně i degradují materiálové vlastnosti svařovaných dílů. V rámci prezentace proto budou představeny postupy a dosažené výsledky experimentálních měření a materiálových analýz pro výše uvedené materiály.

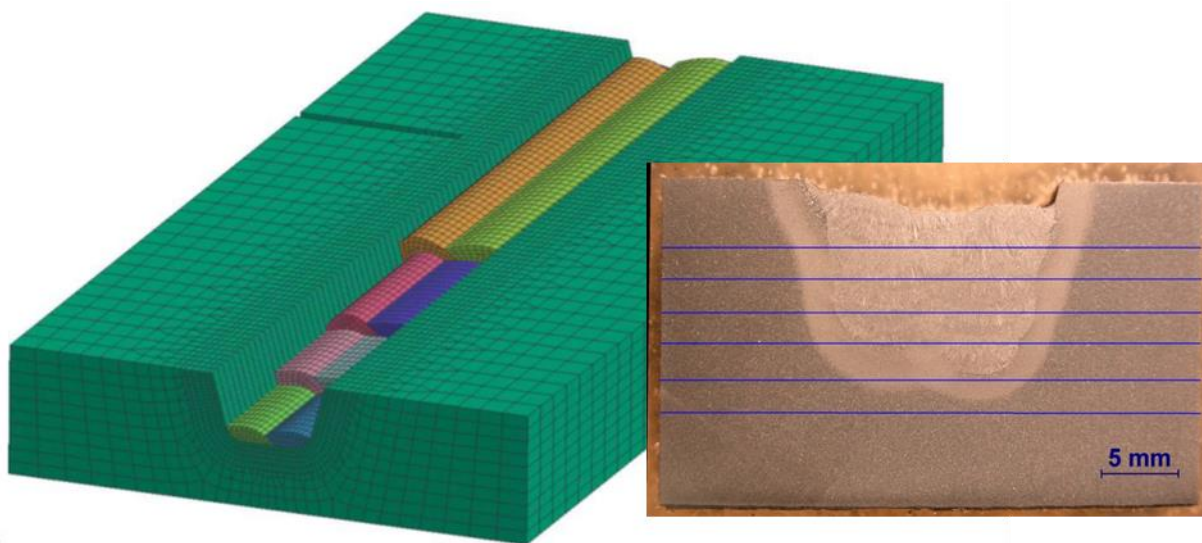
Příspěvek vznikl za podpory grantového projektu MPO TRIO FV10510

Literatura

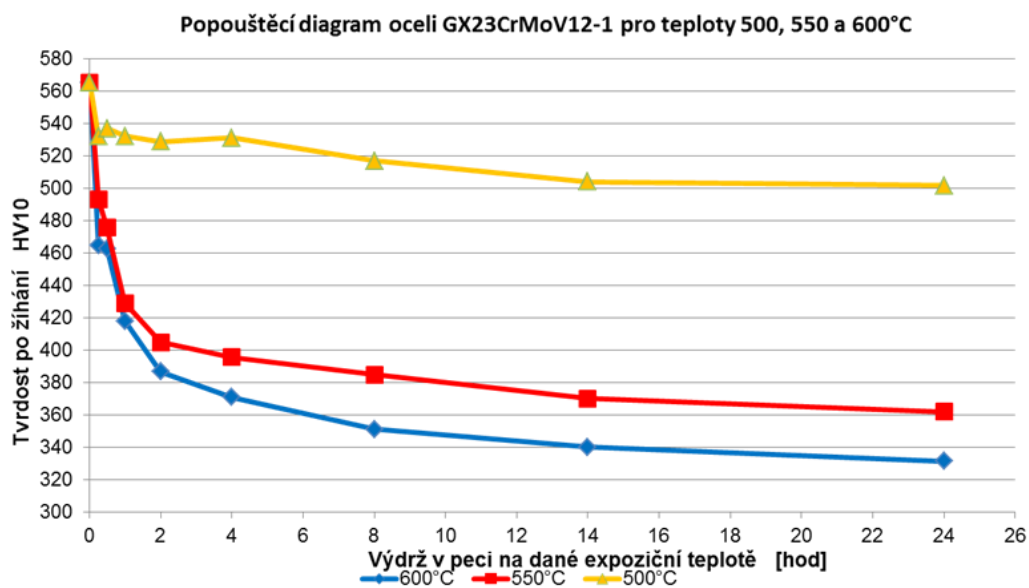
- [1] Moravec, J. (2015): *Metodické postupy využitelné k získání vstupních veličin numerických simulací svařování a tepelného zpracování*. Habilitační práce, Liberec, TUL.



Obr. 1. a) Přípravek pro svařování bez předehřevu; b) Přípravek pro svařování s předehřevem



Obr. 2. Experiment s vícevrstvým svařováním, vzájemně posunutě housenky



Obr. 3. Popouštěcí diagram materiálu GX23CrMoV12-1 pro teploty 500; 550 a 600 °C