



Oponentský posudek dizertační práce

„Posuzování životnosti svarových spojů VT parovodů z martenzitických ocelí v podmínkách creepového poškozování“

Autor práce: Ing. Michal Junek, IWE
Školitel: doc. Ing. Jiří Janovec, CSc.
Školící pracoviště: Ústav materiálového inženýrství, Fakulta strojní, ČVUT Praha
Studijní program: Strojní inženýrství; Studijní obor: Materiálové inženýrství
Oponent: prof. Ing. Eva Schmidová, Ph.D.
Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera

Práce je věnována problematice degradace ocelí 9%Cr martenzitických ocelí v aplikaci pro parovodní systémy vysokoparametrických elektráren. Svým zaměřením na vymezení možností prodloužení projektované životnosti reaguje na aktuální problém - zvyšování účinnosti cestou zvyšování provozních parametrů elektráren, zároveň potřebu inovace technologie svařování.

1. Postup řešení, použité metody

V teoretické části autor stručně a s úzkým zaměřením na předmětný typ materiálů podává precizní kompletaci dostupných dat zejména o procesech destabilizace studovaných ocelí. Do teoretické části je zpracována rovněž problematika svařitelnosti ocelí daného typu, pozitivní je opět úzké a věcné zaměření na specifika studovaných ocelí P91, P92 a na očekávané rozdíly ruční vs. orbitální svařování.

Cíle disertační práce jsou jasně formulovány, velice dobře je uvedena motivace výzkumu a celkové zasazení cílů práce do aktuálního stavu; autor zdůrazňuje nedostatek informací o strukturní stabilitě ovlivněných vrstev svarových spojů zejména u orbitálního svařování, a potřebu ověřit možnosti provozní diagnostiky reálného stavu svarů.

Stanovené cíle práce i samotná podstata degradace předmětných ocelí si vyžádaly metodicky velice pestrou kombinaci experimentálních i analytických postupů. Degradovaných stavů svarových spojů bylo dosaženo kombinací svařování s následným dlouhodobým teplotním zatížením simulujícím provozní exploataci.

Ze zařazených mechanických zkoušek je evidentní snaha o maximální možné podchycení vyvolaných procesů. Kromě standardních zkoušek jsou zařazeny zkoušky pro evidenci lokálních změn mechanických parametrů vlivem svařování. Provedeny byly zkoušky miniaturizovaných vzorků. Zde je zřejmé, že byl průběžně optimalizován přístup v průběhu vyhodnocování zkoušek pro upřesnění vstupů pro simulační výpočty; vzhledem ke zvoleným rozměrům vzorků je problematrická srovnatelnost výsledků. Rozdíly rozměrů přinášejí rozdíly v rychlosti deformace i stavu napjatosti/deformace, tj. ovlivněny jsou jak pevnostní, tak plastické parametry.

Práce dále obsahuje simulace subvrstev tepelně ovlivněných zón na zařízení GLEEBLE na vzorcích pro tahové a rázové zkoušky, což si vyžádalo náročná měření teplotních cyklů. Zkoušky tečení do lomu byly provedeny na svarových spojích ve výchozím stavu i po vyvolané degradaci.

Celkově použité metody řešení představují komplex špičkových analýz, vzájemně provázaných v ucelený program zkoušek. Sortiment a doba zkoušek kladly zvýšenou náročnost na interpretaci a i když část zkoušek byla realizována v kooperaci, zpracování jejich výsledků tak, aby směřovaly k záměru práce a především jejich souhrnnému vyhodnocení bylo velice náročné.

2. Výsledky a přínos disertační práce

Práce přináší řadu významných zjištění. Vedle potvrzení některých teoretických předpokladů, kupř. výraznější hrubnutí karbidů $M_{23}C_6$ u oceli P91 bez tvorby Lavesovy fáze, převážná část výsledků dokumentuje specifika procesů degradace.

Důraz je kladen na kvantitativní vyhodnocení výskytu Lavesovy fáze u oceli P92, stereologický propoččet na prostorové vyjádření vybraných geometrických parametrů umožnil analýzu kinetiky hrubnutí fáze. Otázku mám k vyčísleným chybám měření; jsou dány počtem částic nebo měření? V diskuzi s teoretickými výsledky jiných autorů vyvozuje disertant závěry ohledně řídicího mechanismu hrubnutí karbidů vs. Lavesovy fáze. Dokládá vliv změn precipitace Lavesovy fáze na creepovou odolnost, ve smyslu omezené možnosti zpevnění a naopak podílu na iniciaci kavit.

Strukturní a fázové analýzy přinesly popis působících degradačních mechanismů vlivem svařování, ve velice užitečném propojení s intenzitou poklesu mechanické únosnosti. Autor definuje limitující proces, jeho teplotní podmínky i jeho pozici v rámci tepelně ovlivněné vrstvy svarů- zhrubnutí vlivem dlouhodobé expozice při 650°C v pásmu normalizace, přednostně u oceli P91. Výsledky mechanických zkoušek autor konfrontuje s normativními požadavky a zahrnuje i vliv laboratorně provedené degradace.

Přínosná jsou data i zkušenosti s predikcí provozního stavu svarových spojů numerickým modelováním pro identifikaci kritického místa ve smyslu vlivu vzniklých strukturních heterogenit na rozložení napjatosti v oblasti svarového spoje. Zjištěná lokalizace se zásadně liší v závislosti od výsledků měření lokální tuhosti v subvrstvách TOO, vyhodnocení komplikuje velký rozptyl naměřených hodnot modulu pružnosti, použitých formou výrazně rozdílných variant průběhů napříč TOO. Nebyla uvažována reziduální napětí samotným procesem svařování, která mohou být významnou složkou.

Cenné jsou poznatky na konto samotné technologie, např. zanedbatelný vliv polohy svařování, homogenita po tloušťce stěny apod.

Významným výsledkem z hlediska praktické aplikace je posouzení možnosti diagnostiky stavu svarových spojů v provozu použitím semidestruktivních zkoušek. Výsledky upozorňují na rizika vzniku strukturních a následně mechanických nehomogenit vlivem svařování, které vedou k předpokladu preferenční creepové deformace i k lokalizaci napětí mimo dosah povrchové detekce. Autor v práci řeší i otázky průběžné (provozní) kontroly stavu degradace; vychází z vlastních měření tvrdosti ultrazvukem a korelací s pevnostními parametry.

Chci vyzvednout podrobnou diskuzi, ve které autor propojuje výsledky v celém sortimentu zkoušek. Detailně a s odkazy na aktuální literární zdroje konfrontuje naměřená data degradace oceli P92 s dostupnými výsledky experimentů jiných autorských prací, diskutuje možné vlivy na kinetiku precipitace především Lavesovy fáze i na creepovou odezvu. Celkově je z práce evidentní, že autor absorbovat velký rozsah i hloubku problematiky.

Formální úroveň práce

Práce má vysokou úroveň zpracování, vč. kvality fotodokumentace ze strukturních a fázových analýz. Vzhledem k velkému rozsahu výsledků přispívá k přehlednosti práce i to, že část výsledků autor pouze diskutuje s odkazem na vlastní publikace, které de facto dokumentují systematickou práci na daném problému.

Mezi formální nedostatky patří chybějící obrázky v Příloze (C2, C3). U výsledků z numerické simulace (pole napjatosti) mi chybí geometrie – dosah subvrstev ovlivněné zóny svaru, kdy tyto výsledky vedly k závěrům že „je zde riziko, že maximum napětí může být lokalizováno v interkritické oblasti, kde nejčastěji dochází k porušení.“

Přehlednost a zároveň vypovídající hodnotu zpracování autor zabezpečil zařazením popisných částí některých postupů a výsledků separátně do příloh, práce se soustřeďuje na interpretaci a diskuzi pouze formou grafického vyhodnocení. Vhodně jsou strukturovány závěry práce, jednotlivé poznatky autor vztahuje přímo k cílům práce.

Teze disertační práce jsou přehledně zpracované a obsahují všechny zásadní informace. Disertant je autorem, resp. spoluautorem celkem 8 publikací, z toho 4 v databázích WOS a SCOPUS, převážně se vážou k tématu disertace.

3. Dotazy a připomínky k práci

Diskutované fáze (MX vs $M_{23}C_6$) u zařazených výsledků světelné metalografie nejsou rozlišitelné, předpokládám, že byly identifikovány „zpětně“ - na základě transmise, popř. BSE jak je uvedeno v metodice práce. Intenzita popouštění je dle mého názoru obtížně hodnotitelná světelnou mikroskopií (str.68).

Poznámku, resp. dotaz mám k obr.44, kde jsou viditelná pásma (pravděpodobně výchozí vliv tváření). Bylo by vhodné uvést (pokud se nejedná o artefakt), o jakou heterogenitu se jedná a uvést názor, zda může mít vliv na studované procesy destabilizace.

Uváděné hodnoty velikosti zrn by bylo vhodné dle mého názoru stanovit metodou EBSD, alespoň v případech, kde je následně zminována role hranic zrn a především subzrn.

Hodnocení statických tahových zkoušek (s.74) je provedeno dle požadavků normy, tj. omezuje se na pevnost s poznámkou „bez nároku na bližší interpretaci“; minimálně tažnost by ale sloužila jako užitečný údaj ohledně odolnosti k tepelné únavě.

Kromě několika výše uvedených poznámek, mám k obhajobě práce následující dotazy a náměty do diskuse:

- (1) Zajímavá je jednotná lokalizace lomů při tahových zkouškách, částečně v kontrastu se zjištěnými strukturními efekty. Byla zjištěna nějaká spojitost s precipitací fází, možnost iniciace podélných trhlin jako zdroj frézovitého lomu?
- (2) Důležitá je poznámka autora ohledně nemožnosti provozní detekce oblastí zhrubnutí. Jaké jsou možnosti UV detekce? Doporučena je důkladná lokalizace inspekčních činností do oblasti svarových spojů, variantně pak snížení provozních parametrů. Lze na základě vlastních výsledků odhadnout, na jakou úroveň, s jakým vlivem na životnost a zda je to reálné ve stávajících podmínkách?
- (3) Autor navrhuje „Ověřit vliv degradačního stárnutí na modul pružnosti a Poissonovu konstantu ...“; jakou metodu lze doporučit při uvažování omezení, která byla zjištěna samotnou disertační prací?

5. Závěr

Závěrem možno konstatovat, že stanovené cíle práce byly splněny. Práce přináší konkrétní a původní výsledky, které mají praktické uplatnění a jsou nesporným příspěvkem k poznání v dané oblasti.

Na základě výše uvedeného doporučuji práci k obhajobě a v případě úspěšné obhajoby doporučuji udělit Ing. Michalu Junkovi, IWE titul Ph.D. v daném studijním oboru.

V Pardubicích, 25.8. 2021