

## OPONENTSKÝ POSUDEK DISERTAČNÍ PRÁCE

**Autorka: Mgr. Tetyana Kavka**

**Název disertační práce:**

**"STUDY OF THERMAL PLASMA JETS GENERATED BY DC ARC PLASMA TORCHES USED IN PLASMA SPRAYING APPLICATIONS"**

Oponent: Prof. RNDr. Milan Tichý, DrSc.

Doktorská disertační práce Mgr. Tetyany Kavky se zabývá diagnostikou plazmatu generovaného výkonovým plazmovým hořákem (plazmatron, plasma torch). V plazmovém hořáku se plazma generuje pomocí stejnosměrného obloukového výboje v pracovním plynu, který systémem proudí. Vzniklé plazma je unášeno proudem pracovního plynu a vytváří charakteristický plazmový „plamen“, vně vlastního výbojového systému, jehož teplota dosahuje i několika desítek tisíc stupňů. Elektrický výkon dodávaný do systému je v řádu desítek kW. Experimentální práce byly prováděny na dvou odlišných plazmatronech: (i) se stabilizací proudem plynu a (ii) s hybridní stabilizací směsí argonu a vody. Zatímco stabilizace proudem plynu je standardní metoda, plazmatron s hybridní stabilizací představoval kvalitativně jiný typ zařízení. Autorka práce strávila proto zhruba dva roky vývojem a vylepšováním vlastností plazmatronu tohoto typu. Teprve pak na něm provedla systematická měření prezentovaná v disertaci. Byly studovány nejen parametry generovaného plazmatu (entalpie, složení, teplota, rychlost, rozměry atd.) v radiálním i axiálním směru, ale i interakce proudu plazmatu s vnějším prostředím (entrainment) jak za atmosférického, tak i za sníženého tlaku. Práce je psána v jazyce anglickém velmi dobré kvality. Na konci práce jsou uvedeny formou dodatků A-D čtyři publikace (jako příklad z celkových 29), které během postgraduálního studia T. Kavky vznikly.

Cíle disertace jsou v písemné zprávě jasně specifikovány v kapitole 2 nazvané „Objectives of the present research“. Jedním z hlavních cílů disertace byl vývoj metody měření entalpie (entalpické sondy) v plazmatu obsahujícím vodní páru. Problémem k řešení byla kondenzace vody v diagnostickém systému entalpické sondy, který negativně ovlivňoval měření složení plazmatu. Disertantka tento problém vyřešila zařazením vymrazovačky, kde je vodní pára vymrzána a její tenze pak již neovlivňuje výsledky měření vzorku plynu z plazmatu entalpickou sondou. Práce přináší značný objem zajímavých experimentálních výsledků, zejména s ohledem na vyvinuté diagnostiky a interpretaci naměřených dat v obou srovnávaných systémech. Tyto výsledky jsou průběžně diskutovány a sumarizovány v závěru práce.

Disertační práce je pro čtenáře příjemná, neboť prakticky všechny pojmy, teoretické vztahy a experimentální metody, potřebné pro pozdější aplikaci při vyhodnocování dat v dalším textu, jsou odvozeny v obsáhlé úvodní kapitole (téměř třetina rozsahu disertace). Zde jsou po řadě vysvětleny způsoby generace proudu termálního plazmatu, specifika generace termálního plazmatu pomocí stejnosměrného obloukového výboje, charakteristické vlastnosti proudu termálního plazmatu a metody jeho diagnostiky. Zde je položen důraz na dokonalé vysvětlení metody entalpické sondy, která je jednou z nejdůležitějších diagnostik použitých v disertaci. Vzhledem k tomu, že většina vědecké komunity, pro kterou je práce určena, se zabývá buď neizotermickým nebo chladným termickým plazmatem, považují tento podrobný úvod za velmi vhodný. Navíc bude možné práci použít jako učební text pro postgraduální studenty, kteří budou ve výzkumu proudu termálního plazmatu pokračovat.

Vlastní experimentální práce disertantky je uváděna počínaje kapitolou třetí. V ní jsou podrobně popsány oba experimentální systémy: (i) proudem plynu stabilizovaný plazmový hořák, na kterém disertantka pracovala v období svých několika pobytů na zahraničním pracovišti Ústavu technické termodynamiky ve Stuttgartu (SRN), a (ii) plazmový hořák s hybridní stabilizací včetně komory umožňující experimenty za sníženého tlaku na pracovišti ÚFP AV ČR v Praze. Značná pozornost je v této kapitole věnována rovněž popisu vlastního systému entalpické sondy, který byl využit pro měření na obou pracovištích. Čtenář opět ocení pečlivost, s jakou disertantka zachytila praktické aspekty své práce a zkušenosti, jaké během experimentů nabyla. I popis jednotlivých experimentálních systémů tak může sloužit jako zdroj znalostí pro pokračovatele tematiky.

V kapitole čtvrté autorka předkládá výsledky experimentálního studia obou systémů za atmosférického a sníženého tlaku. Podrobně jsou studovány charakteristiky proudu plazmatu v podélném směru na obou systémech za atmosférického tlaku. Dále efekt proudu obloukem a vliv druhu plynu použitého pro stabilizaci. Charakteristické vlastnosti plazmatu generovaného oběma typy hořáků za atmosférického tlaku jsou navzájem srovnány. Práce pokračuje experimentálními výsledky a srovnáním parametrů plazmatu v obou systémech za sníženého tlaku a za použití stínicí vrstvy plynu (gas shrouding). Pro praktické aplikace je významná další podkapitola (4.6) věnovaná vlivu injekce pracovního plynu na vlastnosti proudu plazmatu. Jednou z důležitých aplikací plazmových hořáků je totiž nanášení ochranných povrchových vrstev těžko tavitelných materiálů (keramik). V závěru čtvrté kapitoly jsou prezentovány výsledky studia tvaru proudu plazmatu na aplikovaném výkonu, tlaku a proudu pracovního plynu.

Jedním z důležitých přínosů práce je podrobné studium a popis efektu průniku okolního vzduchu (air entrainment) do proudu plazmatu a srovnání tohoto efektu v obou systémech plazmových hořáků. Hlavní závěry ze studia tohoto jevu plynoucí jsou sumarizovány v závěru disertační práce. Autorka tak projevila nejen schopnost systematicky experimentálně pracovat, důmyslně vylepšovat diagnostické systémy a s invencí získaná data vyhodnocovat, ale také schopnost dedukovat ze získaných dat obecně platné závěry. Paní Mgr. Tetyana Kavka tak prokázala schopnost samostatně vědecky pracovat.

Disertační práce má široký záběr a autorka se během práce na zadaných úkolech musela seznámit s řadou experimentálních metod a nastudovat množství specializované literatury. Z tohoto hlediska je nutné práci autorky ocenit. Ostatně tuto skutečnost dokládá i řada publikací se spoluautorstvím disertantky, jejichž seznam je uveden na konci písemné zprávy.

Písemná zpráva je obsáhlá. Nepočítáme-li 25 stran vložených publikací, má 137 stran. Po formální stránce je provedena velmi pečlivě. I když jsem našel několik překlepů a typografických chyb, měl jsem při čtení práce dobrý dojem z toho, že jak vlastním experimentům, tak i zpracování písemné zprávy věnovala autorka maximální pozornost a úsilí. Ocenit je třeba autorčinu schopnost výkladu problematiky a jsem si jist, že se proto její práce stane cenným zdrojem informací pro případné následovníky.

K práci mám následující dotazy:

- Na straně 58 dole se hovoří o měření koncentrace plazmatu pomocí Starkovského rozšíření čáry  $H_{\beta}$ . V práci jsem ale žádné grafy koncentrace nenalezl. Byly prováděny v tomto smyslu nějaké experimenty, a pokud ano, v jakém řádu byly měřené koncentrace?

- K měření složení plazmatu hmotovým spektrometrem, str. 62-67. Proud termálního plazmatu je intenzivním zdrojem záření, které by při dopadu na kolektor hmotového spektrometru mohlo vyvolat sekundární emisi a tím ovlivnit pozadí signálu měřených iontů. Byla provedena nějaká opatření k zamezení průniku záření do měřicího systému hmotového spektrometru?
- Strana 85, k obrázku 4.5. Jak se měří proud vzduchu zachycený (entrained) do proudu plazmatu (na obrázku je několik experimentálních bodů)?
- Strana 88, obrázek 4.7 a doprovodný text. Lze kvalitativně vysvětlit, proč je koncentrace plazmatu na okrajích proudu (jet fringes) vyšší než na ose?

Disertaci Mgr. Tetyany Kavky hodnotím jako velmi kvalitní. Není pochyb o tom, že během postgraduálního studia vykonala velký kus experimentální práce a přispěla k rozvoji poznání ve studovaném vědním oboru. Podle mého názoru rovněž nepochybně prokázala svou schopnost samostatně vědecky pracovat. Za klad práce považuji i fakt, že disertantka měla možnost pracovat v zahraničním vědeckém ústavu, že tam získala podstatnou část experimentálních dat, která ve své disertaci využila. Disertaci Mgr. Tetyany Kavky "Study of thermal plasma jets generated by DC arc plasma torches used in plasma spraying applications" proto doporučuji k obhajobě.



V Praze, dne 6. května 2006

Prof. RNDr. Milan Tichý, DrSc.