

Warszawa, 10 października 2006 r.

Dr hab. inż. Andrzej Kolasa  
Profesor nzw. Politechniki Warszawskiej  
Instytut Technologii Materiałowych, Zakład Inżynierii Spajania  
ul. Narbutta 85, 01-524 Warszawa

## **RECENZJA**

### **rozprawy doktorskiej mgr inż. Piotra Mościckiego nt. „Badania właściwości fizycznych obłoku plazmowego powstającego przy spawaniu laserowym stali”.**

#### **1. Podstawa opracowania**

Niniejsza recenzja opracowana została na podstawie zlecenia Dyrektora Instytutu Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk z dn. 25 lipca 2006 roku.

#### **2. Uwagi wstępne**

Spawanie laserowe jest jednym z najszybciej rozwijających się w ostatnich latach procesów spawalniczych, a sama wiązka laserowa jednym z coraz częściej stosowanych narzędzi technologicznych w różnych procesach obróbki materiałów. Jest to zrozumiałe, jeśli weźmie się pod uwagę właściwości samej wiązki laserowej wynikające z możliwości koncentracji energii nawet do  $10^8$  W/cm<sup>2</sup>. Takie wysokoenergetyczne źródło energii pozwala na zwiększenie szybkości obróbki materiałów, ograniczenie stref wpływu ciepła, a tym samym ograniczenie naprężeń powstających i ewentualnych odkształceń materiału w miejscu obróbki. Wysoka koncentracja mocy oraz krótkie czasy nagrzewania i chłodzenia materiału mają wpływ na zmiany struktury materiału w miejscu obróbki wynikające z bardzo dużych gradientów temperatur, tworzenia struktur nierównowagowych, a nawet amorficznych. Wszystkie te cechy laserów są obecnie wykorzystywane w praktyce, chociaż wiele procesów fizycznych towarzyszących obróbkom laserowym do dnia dzisiejszego nie znalazło pełnego wyjaśnienia. Dlatego też podjęcie badań w tym zakresie przez Doktoranta uważam za aktualne i interesujące. Przedmiotem zainteresowania Doktoranta są właściwości obłoku plazmowego tworzącego nad miejscem padania wiązki laserowej na powierzchni przedmiotu obrabianego. I jakkolwiek problematyka ta była przedmiotem badań prowadzonych w wielu ośrodkach naukowych na świecie, to ciągle jeszcze wiele jej aspektów nie znalazło wyjaśnienia. Większość opublikowanych dotychczas prac polegała na doświadczalnym wyznaczaniu właściwości obłoku plazmowego, a otrzymywane w ten sposób wyniki, publikowane w przedmiotowej literaturze, często bardzo się między sobą różniły. Przykładowo wyznaczone tak wyniki rozkładu temperatury plazmy oraz gęstości elektronów różnią się czasem aż kilkakrotnie. Trudno jest też wyniki te skorelować z efektami technologicznymi np. procesu spawania.

Prawdopodobnie z tych powodów Doktorant postanowił zbudować model teoretyczny, za pomocą którego można byłoby wyznaczać podstawowe właściwości obłoku plazmowego, takie jak jego skład, rozkład temperatury czy gęstość elektronów, które to parametry

z kolei można byłoby skorelować z właściwościami i strukturą wykonanych spoin. Dla praktycznej realizacji pracy Doktorant przyjął model stacjonarny uwzględniający różne funkcje materiałowe i straty promieniste plazmy. Jako materiał spawany przyjął stal, a gazem osłonowym był argon i hel. Takie podejście do realizacji badań jest racjonalne i należy je ocenić jako poprawne, chociaż na pewno uwzględnianie zmian dynamicznych obłoku plazmowego byłoby bardzo interesujące, ale na razie zbyt trudne do rozwiązania, nawet przez młodego, ambitnego badacza.

### 3. Charakterystyka i ocena rozprawy

W swojej rozprawie doktorskiej mgr inż. Tomasz Mościcki podjął próbę zbudowania modelu teoretycznego obłoku plazmowego powstającego podczas laserowego spawania stali. Model oparto o równania zachowania masy, pędu i energii oraz równania dyfuzji z wykorzystaniem komercyjnego programu FLUENT 6.1 bazującego na metodzie skończonych objętości. Do rozwiązania przyjęto układ osiowo symetryczny. Tak przyjęte założenia i dobór programu nie budzą zastrzeżeń.

Układ rozprawy jest przejrzysty, logiczny i typowy dla tego typu opracowań. Po krótkim wstępie Doktorant opisał stosowany program obliczeniowy i przedstawił układy równań, z których zamierza korzystać. Następnie scharakteryzował źródło energii – wiązkę laserową i określił warunki brzegowe przyjęte do obliczeń.

Rozdział 3 rozprawy poświęcono całkowicie obliczeniom promieniowania plazmy (strat promienistych). Dokonano tego poprzez wyznaczenie współczynnika emisji netto dla par żelaza, argonu, helu i ich mieszanin.

W rozdziale 4 Doktorant wyznaczył funkcje stałych materiałowych dla określonego zakresu temperatur. Dla par żelaza, argonu i helu, głównych składników obłoku plazmowego wyznaczono gęstości masowe, ciepła właściwe, lepkości, przewodnictwo cieplne, współczynniki dyfuzji i współczynniki pochłaniania. Uzyskane wyniki przedstawiono w formie graficznej i w postaci tabel.

W rozdziale 5 Doktorant prezentuje wyniki weryfikacji programu dla plazmy argonowej i helowej. Wyniki przedstawiono w postaci graficznej jako rozkłady temperatur w obłoku plazmowym, rozkłady gęstości elektronów i rozkłady ciśnień. Przeprowadzono obliczenia wpływu temperatur par metalu, wpływu prędkości par metalu, wpływu prędkości gazu osłonowego oraz wpływu parametrów wiązki laserowej na zachowanie obłoku plazmowego.

W rozdziale 6 Doktorant porównał wyniki obliczeń z danymi doświadczalnymi. Dokonał tego poprzez połączenie współczynników emisji plazmy z określeniem kolorów plazmy, a następnie porównanie ich z zarejestrowanymi szybkimi zdjęciami rzeczywistego obłoku plazmowego. Przeprowadzono też badania spektroskopowe obłoku plazmowego. Stwierdzono znaczną zgodność wyników obliczeń teoretycznych i danych doświadczalnych, co świadczy o poprawności opracowanego modelu.

Taka metodyka rozprawy doktorskiej nie budzi zastrzeżeń i wydaje się być poprawną, o czym świadczy zgodność otrzymanych wyników teoretycznych i praktycznych, umożliwiających jednocześnie wyjaśnienie niektórych zjawisk wpływających na kształt i jakość spoin.

### 4. Uwagi szczegółowe

Lektura przedstawionej do recenzji rozprawy prowokuje do zgłoszenia kilku uwag o charakterze krytycznym lub polemicznym. Oto niektóre z nich:

