

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/cm². 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:

1. W tekście rozprawy kilkakrotnie Doktorant powołuje się na źródła literaturowe pisząc „...powołując się na pracę [] przyjmuję...” albo „...patrz rys. 12 w pracy []...” itp. Mając przed oczami tylko tekst rozprawy trudno jest zrobić to, do czego namawia Autor. Należałoby przed lekturą rozprawy zaopatrzyć się również w oryginalne teksty prac cytowanych.
2. Doktorant często używa sformułowania „spawanie żelaza”. Jest to zapewne skrót myślowy, gdyż żelazo jako pierwiastek nie występuje w postaci metalu technicznego, więc się go nie spawa. Spawa się natomiast stopy na bazie żelaza, np. różnego rodzaju stale. Wyjątkiem jest tzw. żelazo Armco, które jest metalem niespawalnym.
3. Do badań Doktorant użył stali nierdzewnej nie podając jakiego była ona gatunku. Należałoby przypuszczać, że była to austenityczna stal chromowo-niklowa o dość znacznych zawartościach zarówno chromu (zazwyczaj od 18 do 25%) jak i niklu (zazwyczaj od 10 do 12%) i niewielkich zawartościach innych składników stopowych. Czy zatem badając skład obłoku plazmowego i udziału w nim par żelaza można było pominąć pary innych metali – składników stopowych stali? Czy obecność par chromu, niklu lub innych nie miała wpływu na dokładność wyników badań?
4. Na rys. 3.3 brak jest linii czerwonej wymienionej w podpisie pod rysunkiem, co prawdopodobnie jest błędem wydruku.
5. Doktorant nie uniknął pewnych niezręczności językowych, np.
 - „... plazma paląca się w argonie...” na str. 53
 - „... wartości są zaniedbywanie małe...” na str. 67
 - „... plazma maleje o 0,3 mm...” na str. 68
 - „... obserwujemy wydłużenie się plazmy ...” na str. 71
 - „... wielkość plazmy maleje...” na str. 73
 - „... czoło plazmy ustala się ...” na str. 73
 - „... plazma argonu pali się w czystym argonie...” na str. 93W tekście rozprawy Doktorant nie uniknął też szeregu błędów literowych i stylistycznych, które oczywiście nie wpływają na ocenę merytoryczną rozprawy, a zapewne są wynikiem pośpiechu w jej przygotowaniu.

5. Wniosek końcowy

Recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Tomasza Mościckiego nt. „Badania właściwości fizycznych obłoku plazmowego powstającego przy spawaniu laserowym stali” jest interesującą pracą badawczą o aktualnej tematyce. Doktorant wykazał się umiejętnościami wykorzystywania zarówno aparatu matematycznego, jak i programu komputerowego FLUENT do modelowania zjawisk fizycznych. Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że recenzowana rozprawa spełnia wymagania ustawy o tytule i stopniach naukowych i wnioskuję o jej dopuszczenie do publicznej obrony.

