

Prof. dr hab. inż. Jacek Senkara

13.10.2010

Politechnika Warszawska
Wydział Inżynierii Produkcji
Zakład Inżynierii Spajania

PN
[Signature]

RECENZJA

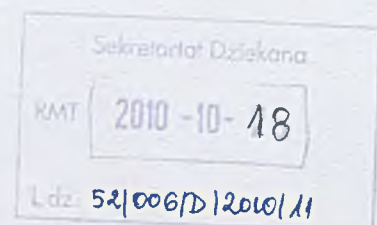
rozprawy doktorskiej mgr inż. Sebastiana Kaffanke pod tytułem
*"Mechanizm tworzenia złącza w procesie
łukowego przypawania kołków"*



1. Tematyka

Rozprawa doktorska mgr inż. Sebastiana Kaffanke dotyczy ważnego, choć być może nie zawsze odpowiednio docenianego pod względem naukowym, zagadnienia łukowego przypawania kołków. Jest to proces stosowany w wielu gałęziach przemysłu, ze względu na swój podstawowy atut: możliwość szybkiego łączenia elementów o małej masie, zwykle cylindrycznych i ewentualnie nagwintowanych, z masywnym podłożem. Dodatkową zaletą jest niewielka strefa wpływu ciepła. Należy jednak zaznaczyć, iż wiedza o tym, co rzeczywiście dzieje się w trakcie procesu jest skromna. Jest to więc klasyczny przykład sytuacji, gdy praktyka inżynierska wyprzedziła teorię.

W dostępnej literaturze przedmiotu dominuje podejście przyczynowo-skutkowe, np. określone jest dla danego układu pojawienie się wad w funkcji jednego z parametrów. Podstawową informację stanowi określenie takiego obszaru na diagramie w układzie współrzędnych natężenie prądu – czas, dla którego można uzyskać poprawne złącza z punktu określonego kryterium, co stanowi pełną analogię dla tzw. "lobe diagrams" określających zakres zgrzewalności w punktowym zgrzewaniu rezystancyjnym. Jest to bardzo ważne z technologicznego punktu widzenia, niewiele jednak mówi o mechanizmach procesu. Przypawaniu kołków poświęcone są tylko niewielkie rozdziały w podręcznikach spawalnictwa i o ile mi wiadomo, nie ma na ten temat na świecie żadnego szerszego opracowania czy



monografii. Sam proces jest złożony, stanowi on swoiste połączenie spawania łukowego ze zgrzewaniem. Zachodzi w jego trakcie cały kompleks zjawisk. W świetle powyższego można uznać, iż podjęta w rozprawie tematyka jest jak najbardziej aktualna.

2. Koncepcja rozprawy, jej teza i cele

Recenzowana rozprawa ma charakter eksperymentalny, liczy 148 stron i można ją podzielić na 2 zasadnicze części: analizę stanu zagadnienia na podstawie literatury (57 stron) oraz opis badań własnych z analizą i wnioskami (91 stron). Bibliografia pracy liczy 108 pozycji, w przytłaczającej większości anglojęzycznych, z obszaru Stanów Zjednoczonych AP.

W części literaturowej Autor charakteryzuje łukowe przypawanie kołków pod kątem technologicznym. Wskazuje na dużą liczbę parametrów procesu (natężenie prądu, napięcie łuku, czas, parametry ruchu kołka, biegunowość, siła docisku, sposób ochrony przed utlenieniem i inne) i ich wpływ na jakość złączy. Omawia wady złączy otrzymanych tą metodą i przyczyny ich powstawania, a w zasadzie istniejące hipotezy na ten temat. W dalszej części przeglądu omówiono obszernie zjawiska zachodzące w łuku elektrycznym, przenoszenie materiału w łuku oraz zjawiska w ciekłym jeziorce spawalniczym.

Na podstawie analizy literaturowej, a zapewne i własnego doświadczenia przemysłowego, Autor opracował uogólnienia, prowadzące do podjęcia badań oraz sformułowania celów pracy i jej tezy. Obok wspomnianej już wcześniej konkluzji o skromnym zasobie wiedzy na temat podstaw procesu i istnieniu szeregu nie w pełni wyjaśnionych obszarów, inspiracją do podjęcia tematu były kłopoty technologiczne związane z przypawaniem kołków o większych średnicach.

Teza pracy ujmuje możliwość uzyskania połączeń kołków średnicy większej od 20 mm bez ochronnych osłon ceramicznych, przy czym stabilność wyładowania łukowego i związana z nim jakość połączeń miałaby być uzależniona od parametrów cyklu, rodzaju gazu ochronnego i "cech fizykochemicznych" materiałów łączonych.

Cele rozprawy przedstawiono w rozbiciu na cel naukowy, którym jest określenie wpływu różnych parametrów procesu i właściwości materiałów na zjawiska

zachodzące w jego trakcie, oraz użyteczny (modyfikacja istniejących technologii).

Dla realizacji założonych celów opracowany został bardzo obszerny program badań własnych, obejmujący badania procesowe i materiałowe. Koncepcja eksperymentów polegała na wykonaniu szeregu złączy kołek-podłoże w różnych wariantach technologicznych (różne średnice, materiały, polaryzacja kołków, zastosowanie Ar i CO₂ jako gazów osłonowych), z rejestracją przebiegów elektrycznych i filmowaniem szybką kamerą, a także badaniami materiałów i struktury złączy. Skonstruowano specjalne stanowiska badawcze do obserwacji łuku i filmowania, opracowano oprzyrządowanie. Obok aparatury i metod instrumentalnych analizy wykorzystano metodę wnioskowania Red X, metodę 6 Sigma optymalizacji procesu oraz metodę elementów skończonych dla modelowania naprężeń.

Na podstawie dyskusji uzyskanych wyników Autor usiłował zidentyfikować mechanizmy procesu w funkcji szeroko rozumianych parametrów procesu, identyfikować wady złączy i ustalić, co odpowiada za ich powstawanie. Wyniki badań posłużyły do opracowania wytycznych technologicznych dla przypawania kołków o dużej średnicy. Ukoronowaniem rozprawy jest analiza całości i wnioski.

3. Ocena merytoryczna

W części literaturowej rozprawy analizowane są wszystkie istotne aspekty podjętego zagadnienia i należy ją niewątpliwie ocenić pozytywnie. Jest napisana ze znajomością rzeczy; Doktorant potrafił dokonać niezbędnych uogólnień i zachować krytyczny stosunek do publikowanych informacji. Rozważania oparte są na solidnych źródłach bibliograficznych. Cytowane pozycje nie są przypadkowe i zostały wybrane z takich periodyków jak *Welding Journal*, *Metallurgical Transactions*, *Journal of Applied Physics*, *ASME Journals* i innych. Przywołane są referaty z konferencji AWS, TWI, DVS, a także patenty USA. Autor miał dostęp do prac Edison Welding Institute z Columbus i szeregu opracowań Ohio State University, gdzie realizowany jest czołowy w USA program kształcenia spawalników. Autorami cytowanych publikacji są takie autorytety w spawalnictwie światowym jak T. Eagar, W. Baeslack III, N. Tsai czy A. Matsunawa. Z innych istotnych źródeł należy wymienić prace pod kierunkiem T. Zachariji z Oak Ridge National Lab. – lidera znanej grupy z zakresu modelowania

cieczy powstałej w trakcie spawania. Doktorant nie zawahał się także odwołać do klasycznych, ale ciągle aktualnych prac z lat 1970-90. Wszystko to świadczy o dojrzałości Autora.

Przegląd stanu zagadnienia stanowi dobry punkt wyjścia do części badawczej. Pozostawia on jednak poczucie pewnego niedosytu, gdyż obok dyskusji procesu przypawania jako całości i jego etapu z jarzącym się łukiem elektrycznym (odpowiednik spawania), nie ma w nim fragmentu odnoszącego się do etapu docisku kołka (odpowiednika zgrzewania).

Teza i cele pracy wskazują na podjęcie istotnego zagadnienia naukowego i zawierają elementy nowości, co świadczy o dysertabilności podjętego przedsięwzięcia.

Zaproponowany program badań jest obszerny, kompleksowy i interdyscyplinarny. Służy on dobrze realizacji postawionych celów, aczkolwiek podjęto w nim szereg wątków, które można by opuścić bez szkody dla zasadniczego kierunku pracy. Tym niemniej trzeba podkreślić umiejętności eksperymentatorskie Autora w jego opracowaniu i realizacji, w tym zwłaszcza zastosowanie szybkoobrotowej kamery filmowej do obserwacji łuku elektrycznego, budowę nowych stanowisk i zastosowanie metod statystycznych. Chciałbym w tym miejscu szczególnie podkreślić zamysł Doktoranta, który dla realizacji technologicznego celu pracy – opanowania przypawania kołków o dużej średnicy – zdecydował, iż właściwą drogą jest odpowiedź na pytanie "Dlaczego?" i poznanie mechanizmów procesu z ujawnieniem przyczyn leżących u podstaw pojawiania się nadmiernej porowatości złączy, a nie skoncentrowanie się na sekwencji przyczyn i skutków bez wniknięcia w istotę rzeczy.

Praca wzbogaca stan wiedzy na temat łukowego przypawania. Jej wynikiem jest szereg wartościowych osiągnięć i wartościowych przyczynków. Zaliczyłbym do nich szczególnie:

- o Potwierdzone eksperymentalnie wyjaśnienie, iż przyczyną powstawania wad połączeń przypawanych jest zwiększona zawartość tlenu lub siarki w materiale kołka, co przy określonej biegunowości powoduje niekorzystne jarzenie się łuku wokół pobocznicy walca w atmosferze argonu,
- o Zaobserwowanie charakterystycznych faz jarzenia się łuku i wpływu nań

różnych czynników, a także dyskusja sił działających na kroplę metalu w celu uniknięcia zwarć.

- Porównanie mechanizmów tworzenia się złącza w osłonie gazów aktywnych i obojętnych, a w efekcie powiązanie wpływu rodzaju gazu osłonowego, biegunowości kołka i zawartości tlenu w materiale na kształt łuku elektrycznego oraz emitowanego natężenia światła (powstanie łuku o małym i dużym natężeniu światła).
- Opracowanie zaleceń technologicznych dla przypawania kołków o dużej średnicy, eliminujących przyklejenie wypłytki i powstawanie jamy skurczowej, rozszerzające tym samym możliwości tej techniki. Nowatorskim elementem jest mechaniczne kształtowanie wypłytki przy pomocy specjalnego oprzyrządowania w osłonie helu wraz z precyzyjnym doбором parametrów, przy zaleceniu monitorowania chwilowych fluktuacji, wskazujących na niestabilność procesu, a nie tylko średnich wskazań prądu i napięcia. Pozwoliło to na rezygnację z osłon ceramicznych.
- Wykazanie, iż nie długość karbu, ale odległość jego dna od powierzchni kołka ma znaczenie z punktu widzenia naprężeń.

Lektura pracy nasuwa także kilka pytań i uwag:

- Jak powstała tablica wariantów procesu przypawania (Tab. 3 str. 73)? Jest w niej kilka zmiennych – czy stosowano metodę planowania eksperymentu? Skąd wzięły się zakresy poszczególnych parametrów?
- Dlaczego przebiegi pokazane na rys. 62 i 75 są różne pomimo zastosowania tego samego wariantu?
- Jak wyjaśnić powstawanie porowatości w przypadku zvarciowego charakteru procesu?
- Czy porowatość złączy określano na podstawie jednego przekroju podłużnego?
- "Opracowanie technologii" jest znacznie bardziej wymagającym określeniem niż jest to używane w pracy.

4. Wniosek końcowy

Doktorant wykazał się interdyscyplinarną wiedzą i jest dobrym specjalistą w swojej dziedzinie. Recenzowana rozprawa spełnia ustawowe wymagania stawiane pracom doktorskim i wnosi wkład do rozwoju techniki przypawania kołków. Stanowi rozwiązanie nowego zagadnienia o charakterze naukowym, jej cele zostały osiągnięte i dowiedziono słuszności postawionej tezy. Rozprawa prezentuje bardzo dobry poziom, a jej efektem oprócz wniosków poznawczych są istotne, możliwe do szybkiego wdrożenia w przemyśle i przynoszące efekt ekonomiczny zalecenia technologiczne.

Wnioskuje o dopuszczenie pracy do publicznej obrony z sugestią do Rady Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Śląskiej o jej wyróżnienie.

