

RECENZJA

rozprawy doktorskiej pt.:

„Wpływ technologii łączenia na budowę mikrostrukturalną i własności mechaniczne złączy ze stopów aluminium i stali”

Autor: mgr inż. **Piotr Noga**

Uwagi wstępne

W obecnej produkcji różnorodnych wyrobów przemysłowych wykorzystuje się z jednej strony bogaty asortyment materiałów metalicznych o różnych własnościach, a z drugiej, szeroką gamę metod i technologii spawalniczych. Innowacyjne materiały są opracowywane z uwzględnieniem potrzeb i wymagań użytkowników. Ogromne są możliwości współczesnego spawalnictwa. Nie znaczy to jednak wcale, że spawanie nowych materiałów jest zawsze łatwe, a wprost przeciwnie, są przypadki, w których wymagane jest stosowanie szczególnych procesów i technologii.

Przydatność metali do spawania charakteryzuje spawalność. W ramach badań spawalności określa się wpływ warunków technologicznych spawania na tworzenie i budowę spoin oraz na własności strukturalne, mechaniczne i inne złączy spawanych.

Problematyką spawalności zajął się mgr inż. Piotr Noga w swojej pracy doktorskiej. Wybrał dwa interesujące metale: stop aluminium w gatunku 6082 (wg PN-EN 573-3:2014-02) w postaci blachy przesyconej, sztucznie starzonej i odprężonej oraz stal austenityczną o wysokiej wytrzymałości i bardzo dobrej odporności na korozję w gatunku 316Ti (wg PN-EN 10088-2:2014-12) w postaci blachy. Grubość obydwu blach wynosiła 6,35 mm. Wybór materiałów nie był przypadkowy. Doktorant uczestniczył w realizacji projektu PBS nr B5/43/2015, który był poświęcony badaniom nad łączeniem elementów klimatyzatorów samochodowych. Elementy te były właśnie wykonane z wybranych przez Doktoranta materiałów.

Wybrany stop aluminium charakteryzuje się ograniczoną (trudną) spawalnością, jest skłonny do pęknięcia gorącego i ma niską wytrzymałość zmęczeniową. Wybrana stal austenityczna nie była badana z zastosowaniem nowych metod spawania. Potrzeba ustalenia możliwości wykonywania połączeń spawanych z wybranych materiałów oraz określenia szczegółowych własności wykonanych połączeń stała się zachętą do podjęcia badań ujętych recenzowaną rozprawą doktorską.

Problematyka rozprawy doktorskiej jest istotna zarówno z naukowego, badawczego, jak i użytkowego punktu widzenia. Dlatego uważam, że tematyka rozprawy jest uzasadniona i aktualna.

Uwagi ogólne

Rozprawa rozpoczyna się tradycyjnie od przeglądu literaturowego. Wyjątkowo obszerny zestaw 235 pozycji bibliograficznych jest aktualny, pochodzi bowiem z ostatnich lat.

Literatura została wykorzystana do opisania trzech głównych problemów:

- całego asortymentu metod spawalniczych wykorzystywanych przez Doktoranta; Doktorant nie jest specjalistą w dziedzinie spawalnictwa i poznanie szczegółów tych metod, oczywistych dla osób zajmujących się spawalnictwem na co dzień, było potrzebne dla prawidłowego przeprowadzenia badań,

- charakterystyki stopów aluminium, a zwłaszcza stopu 6082, w tym spawalności i reguł spawania tych stopów,

- charakterystyki stali austenitycznych, a zwłaszcza spawalności i reguł spawania tych stali.

Opisy są prawidłowe i wystarczające. Nie ma natomiast wyraźnego podsumowania przeglądu literatury.

Jak już wspomniano, badania przeprowadzone przez Doktoranta wiązały się z projektem badawczym o tytule: „Dobór materiałów oraz opracowanie konstrukcji elementów przewodów klimatyzacyjnych przeznaczonych do pracy z nowym czynnikiem chłodniczym R744”.

W projekcie przewidziano wykorzystanie do łączenia materiałów czterech różnych metod spawalniczych: spawania laserowego (LB), spawania mikroplazmowego (PAW) i spawania TIG oraz zgrzewania szybkoobrotowego. Doktorant rozszerzył asortyment metod łączenia przewidzianych w projekcie o spawanie elektrodą topliwą w osłonie gazu obojętnego (MIG), spawanie wiązką elektronów (EBW) oraz zgrzewanie tarciove z mieszaniem materiału zgrzeiny (FSW).

Wybrane do badań blachy: aluminiowa i stalowa, poddane zostały procesom spawania wytypowanymi metodami łączenia. Dodatkowo, tarciove zgrzewano rurki wykonane ze stopu aluminium.

Wykonane połączenia spawane zostały poddane badaniom nieniszczącym w celu sprawdzenia poprawności spawania i wykrycia ewentualnych niezgodności spawalniczych. Następnie połączenia poddano bardzo szczegółowym, można powiedzieć, że wręcz drobiazgowym badaniom strukturalnym. Wykonano również badania mechaniczne. Wyniki badań są bardzo obszerne i przejrzyste usystematyzowane, według tego samego schematu, kolejno dla wszystkich metod spawania i badanych materiałów. Badania strukturalne objęły: mikroskopię świetlną, skaningową mikroskopię elektronową, transmisyjną mikroskopię elektronową, rentgenowską analizę fazową, metalografię ilościową i dodatkowo, dla stali austenitycznej, pomiar zawartości ferrytu. Badania mechaniczne objęły: statyczną próbę rozciągania i statyczną próbę zginania złączy spawanych oraz badania twardości.

Na podkreślenie zasługuje bardzo duża liczba wykonanych prób, pomiarów i badań.

Rozprawę zamykają: „Dyskusja wyników” i „Wnioski”. W zasadzie prawidłowe, jednak odnosi się wrażenie, że wielka ilość badań i ogromna liczba wyników, zwłaszcza szczegółowych badań strukturalnych powinny zachęcić do obfitszej dyskusji i głębszego wnioskowania. Brakuje pogłębionej analizy efektów badań mikroskopowych oraz mocniejszego skojarzenia wyników tych badań z praktyką wykonywania połączeń spawanych. Powiązanie rozprawy z Projektem Badań Stosowanych sugeruje to wyraźnie. Dwa zdania (str. 196, 1-3 w. od góry): „Duże znaczenie procesy spawania odgrywiają w przemyśle motoryzacyjnym. Niniejsza praca jest częścią projektu PBS nr B5/43/2015, dotyczącego badań nad łączeniem elementów klimatyzatorów samochodowych”, to trochę za mało.

Wszystkie próby spawania i połączenia spawane zostały wykonane w laboratoriach Instytutu Spawalnictwa, doskonale wyposażonych w nowoczesne urządzenia do spawania i zgrzewania wszystkimi metodami. Wszystkie badania strukturalne zostały wykonane w Akademii Górniczo-Hutniczej, doskonale wyposażonej w najlepszą aparaturę do tego rodzaju badań.

Uważam, że Doktorant wykazał się dobrą umiejętnością korzystania z różnorodnych metod badawczych oraz z nowoczesnej aparatury badawczej, częściowo samodzielnie, a częściowo z pomocą doświadczonych operatorów.

Rozprawa ma zadowalający poziom merytoryczny. Poszczególne rozdziały, ułożone w logicznej kolejności są proporcjonalne do wagi prezentowanej w nich problematyki. Tekst jest poparty licznymi fotografiami, rysunkami, wykresami i tabelami wyjaśniającymi lub ilustrującymi opisywane problemy.

Uwagi szczegółowe

Moja ogólna ocena rozprawy jest bardzo dobra, jednak przy wnikliwej lekturze ciekawego tekstu nasunęły się dość liczne uwagi szczegółowe, które przedstawiam.

- str. 7, 9 w. od dołu: jest „odporności korozyjnej”, powinno być „odpornością korozyjną”
- str. 12, 12 w. od góry: jest „elektronowego”, powinno być „elektrodowego”
- str. 16, opis na rys.: jest „Strega”, powinno być „Strefa”
- str. 21, w podpisie rys.: jest „przewodnościowego”, powinno być „przewodnościowego”
- str. 29, rys.12: „spawany przedmiot” to „6”, „5” na rys. to nie „dysza gazowa”
- str. 48, 5 w. od góry: jest „sprzeczania”, powinno być „spęczania”
- str. 48, 9 w od góry: jest „plastyczne”, powinno być „plastycznego”
- str. 49, 5 w. od góry: jest „liniową”, powinno być „liniowa”
- str. 52, 7-8 w. od góry: jest „Zhang i in. ... wyznaczył ... opracowali”, powinno być „wyznaczyli”
- str. 53, 5 w. od góry: jest „te”, powinno być „to”
- str. 54, 11-12 w. od dołu: jest „twardości ... była niższa”, powinno być „twardość ... była ...”
- str. 55, 10 w. od dołu: jest „złączy doczołowego”, powinno być „złączy doczołowych”
- str. 55, 3 w. od dołu: jest „spowodowało umocnieniem ... o 20 HV”, jak „spowodowało”, to „umocnienie”, ale „umocnienie o 20 HV”? raczej „wzrost twardości o 20 HV”
- str. 58, 5 w. od dołu: jest „umacniająca”, powinno być „umacniającej”
- str. 60, 6 w. od góry: jest „takich pierwiastków ... takich”, niepotrzebne pierwsze „takich”
- str. 66, 3 w. od dołu: jest „korozje”, powinno być „korozję”
- str. 67, 10 w. od góry: jest „jej”, powinno być „jest”
- str. 67, 13 w. od góry: jest „wykorzystuje dostarczanie ciepła z zewnętrznych źródeł” ???
źródłem ciepła w procesach łukowych jest łuk elektryczny, w spawaniu laserowym – wiązka lasera; jakie zewnętrzne źródła Doktorant miał na myśli?
- str. 68, 5 w. od góry: jest „geometria ta występuje”, o co tu chodzi?
- str. 73, w tablicy: jest „Pęknięcie podłużne ... zasadniczo równoległe” i znowu „Pęknięcie poprzeczne ... zasadniczo równoległe” – to przecież nie tak!
- str. 77, w tablicy: jest „składu”, zamiast „składu”, jest „radiolodyczne”, zamiast „radiologiczne”
- str. 79 oraz str.179: na str. 79 podano, że „Dodatkowo w przypadku stopu aluminium wykonano zgrzewanie tarciove rurek o średnicy zewnętrznej 10 mm i grubości ścianki 1,3 mm.” Na str. 179 podano, że „Twardości złącza uzyskanego metodą zgrzewania szybkoobrotowego przedstawiono na rys. 116. itd.” Trzeba bardzo wnikliwie analizować treść rozprawy, żeby się domyślić, że te dwie informacje łączą się ze sobą. Informację ze str.179 należałoby poprzedzić wyjaśnieniem, że dotyczy ona rurek zgrzanych szybkoobrotowo
- str. 78, 4 w. od dołu: jest „instrukcje”, powinno być „instrukcję”
- str. 85, 11 w. od góry: jest „20 od 20⁰ do 80⁰”, niepotrzebne „20”
- str. 85, 15 w. od góry: jest „ilościowe” zamiast „ilościowej”, jest „faz obszarach” zamiast „faz w obszarach”
- str. 85, 3 w. od dołu: jest „wykorzystuję”, powinno być „wykorzystuje”

str. 87, 7 w. od góry: brak kropki po „skaningowej”
 str. 87, 9 w. od góry: jest „widoczna”, powinno być „widoczne”
 str. 87, 5 w. od dołu: jest kolumnowa, powinno być „kolumnową”
 str. 87, 3-4 w. od dołu: jest „rys. 35”, chyba powinno być „rys. 38”?
 str. 93, 3 w. od dołu: jest „porwaniu”, powinno być „porównaniu”
 str. 94, 2 w. od góry: jest „... doszło wydzielenia ...”, powinno być „doszło do wydzielenia”
 str. 94, 7 w. od góry: jest „w skutek”, powinno być „wskutek”
 str. 94, 6 w. od dołu: jest „... jasnym cząstkami ...”, powinno być „jasnymi cząstkami”
 str. 100, 1 w. od dołu: jest „została”, trzeba usunąć
 str. 106, 5 w. od góry: jest „wydzielania”, powinno być „wydzielenia”
 str. 108, 5 w. od góry: jest „charakteryzuję”, powinno być „charakteryzuje”
 str. 108, 15 w. od góry: jest „rys. 59”, chyba powinno być „rys. 54”?
 str. 108, 5 w. od dołu: jest „metoda”, powinno być „metodą”,
 str. 108, 4 w. od dołu: jest „charakteryzuję”, powinno być „charakteryzuje”
 str. 114, 14 w. od dołu: jest „Następuję”, powinno być „Następuje”
 str. 114, 6 w. od dołu: jest „rys. 54”, chyba powinno być „rys. 59”?
 str. 114, 2 w. od dołu: jest „tabela”, powinno być „tabelę”
 str. 120, 7-8 w. od góry: „Obszary 63B i 64 H, które są symetryczne ... i reprezentują” – niejasne
 str. 120, 13 w. od góry: jest „Mikrostrukturę”, powinno być „Mikrostruktura”
 str. 120, 6 w. od dołu: jest „Podobne”, powinno być „Podobnie”
 str. 123, 3 w. od góry: jest: „Na rys. 64”, chyba powinno być „Na rys. 65”?
 str. 123, 13 w. od dołu: jest „Obserwację”, powinno być „Obserwację”
 str. 123, 11 w. od dołu: jest „charakteryzująca”, powinno być „charakteryzującej”
 str. 123, 8 w. od dołu: jest „Rys.”, powinno być „rys.”
 str. 131, 8 w. od góry: jest „wyniki”, zamiast „wynikami”, jest „w, której”, zamiast „ , w której”
 str. 138, 4 w. od góry: jest „różne wielkości ziaren”, powinno być „ziarna różnej wielkości”
 str. 143, 2 w. od dołu: jest „morfologie”, powinno być „morfologię”
 str. 145, 3 w. od dołu: jest „rys. 80-82”, chyba powinno być „rys. 85-87”?
 str. 150, 4 w. od góry: jest „charakteryzuję”, powinno być „charakteryzuje”
 str. 152, 3 w. od góry: jest „dwa ściegi, z których wykonano spoinę”, powinno być „dwa ściegi, które tworzą spoinę”
 str. 158, 7 w. od dołu: jest „... zawartości ... obliczoną ...”, zamiast „zawartości ... obliczonej”
 str. 158, 4 w. od dołu: jest „metalograficzna”, powinno być „metalograficzną”
 str. 158, 1 w. od dołu: jest „w złącza”, powinno być „w złączu”
 str. 159, podpis pod rysunkiem: jest „w złączach”, zamiast „w licu, środku spoiny i grani”
 str. 160, 9 w. od góry: jest „wyraźna”, powinno być „wyraźną”
 str. 160, 11 w. od góry: jest „reprezentuję”, powinno być „reprezentuje”
 str. 160, 12w. od góry: jest „bardziej wydłużone wydłużone”, niepotrzebne powtórzenie
 str. 160, 1 w. od dołu: jest „intensywność ... dla ... analizowanych obszarach był”, powinno być „intensywność ... dla ... analizowanych obszarów była”
 str. 161, 1-2 w. od dołu: jest „złącza otrzymanego zgrzewania”, złe sformułowanie, może „złącza zgrzanego tarciowo”
 str. 169, 7 w. od góry: jest „Tabela”, powinno być „Tabeli”
 str. 171, 2 w. od góry: jest „Tabela”, powinno być „Tabeli”
 str. 171, 3 w. od dołu: jest „spawu”, to żargon, powinno być „spoiny”
 str. 172, 4 w. od dołu: jest „spowodowanym”, powinno być „spowodowany”
 str. 172, 1-3 w. od dołu: jest „W obszarach ... gdzie nałożyły się efekty ... oraz odnowa ...” – to co?
 str. 179, 2-5 w. od góry: zdanie źle zbudowane, co wykazuje asymetrię”
 str. 190, 4-5 w. od góry i 7-8 w. od góry: zdania sformułowane niepoprawnie – „Głównym czynnikiem .. wynikają ...” i „Ilość dostarczonej energii ... przedstawione zostały ...”
 str. 191, w.1-2 od góry: jest „Wpływ doprowadzonego ciepła na spawany materiał ...”, powinno być „... do spawanego materiału ...”
 str. 192, 1 w. od dołu: jest „zaobserwowano liczych”, powinno być „... w liczych”
 str. 194, 15 w. od góry: jest „o własności spoiny decyduje”, powinno być „o własnościach ...”
 str. 194, 2 w. od dołu: jest „na rys. 137”, chyba powinno być „na rys. 136”?

str. 195, opis na rysunku: jest „częsiowa”, powinno być „częściowa”
str. 195, 2 w. od dołu: jest „przejawiły się”, powinno być „pojawiły się”
str. 197, w tabeli jest „Głębokość wysoka”? lepiej „duża” lub „znaczna”, bo „głębokość” nie kojarzy się z „wysokością”, co znaczy „Maflow”? w przedostatnim wierszu dwa razy jest „Gazu”, powinno być „Gazy”
str. 198, 7 w. od góry: jest „Kierując się tymi parametrami ...”, którymi?
str. 199, 10 w. od góry: jest „tabela”, powinno być „tabeli”, 13 w. od góry: jest „mierzę”, powinno być „mierze”, 6 w. od dołu: jest „wiec”, powinno być „więc”, 3-4 w. od dołu: jest „Nierównomierne ilości energii wprowadzanego do złączy” nieprawidłowa budowa zdania
str. 201, 9 w. od góry: jest „Wykonane badania próby zginania ...”, badano próbę?
str. 202, 25 w. od góry: jest „Pilarczk”, powinno być „Pilarczyk”
str. 211, poz. 191: nie podano źródła
str. 213, poz. 227: nie podano źródła

Wymienione uwagi szczegółowe powinny być uwzględnione przy ewentualnym publikowaniu wyników rozprawy. Na temat błędów prostych i „literówek”, nie ma co dyskutować. Zadziwia tylko liczba tych błędów. Wielokrotnych pomyłek w numeracji rysunków nie można usprawiedliwić. Natomiast wybrane, następujące uwagi powinny być omówione w trakcie obrony Doktoranta:

- na str. 67 napisano: „W celu uzyskania połączenia potrzebna jest odpowiednia ilość ciepła z zewnętrznego źródła energii (spawanie acetylenowo tlenowe) lub jest generowane w miejscu łączenia (metoda MIG, TIG). W niektórych przypadkach wywiera się również nacisk na łączone elementy tak, aby odległość między nimi w momencie spawania była jak najmniejsza. Większość metod wykorzystuje dostarczanie ciepła z zewnętrznych źródeł – poprzez przewodzenie, konwekcję oraz radiację”. – O ile zdanie pierwsze jest poprawne, to drugie, choć prawdziwe, nie ma żadnego związku z pierwszym, natomiast trzecie jest błędne. Prośba o wyjaśnienie, o co tu chodzi.

- podpis pod rys. 30 (str. 68) brzmi „Geometria złączy wykonanych przy użyciu różnych technologii spawania”, a w 5 w. od góry napisano „geometria ta występuje ...”; chodzi oczywiście o wykazanie różnic pomiędzy wielkościami złączy uzyskanych różnymi metodami spawania, ale czy jest to „geometria” i czy ta : geometria” „występuje na znacznie większym obszarze”?

- w nawiązaniu do str. 79 i str. 179 prośba o wyjaśnienie, jak prowadzono zgrzewanie tarciove rurek ze stopu aluminium i jak oceniano jakość wykonanych zgrzein.

- w nawiązaniu do str. 120 (7-8 w. od góry) oraz fotografii na str. str. 121 i 122 prośba o wyjaśnienie co oznacza zdanie, wydaje się niedokończone: „Obszary 63B i 64H, które są symetryczne względem osi zgrzeiny i reprezentują strefę wpływu ciepła.”

- w nawiązaniu do str. 152, (3 w. od góry), gdzie napisano: „dwa ściegi, z których wykonano spoinę” oraz str. 159, gdzie w podpisie pod rysunkiem jest: „w złączach”, prośba o wyjaśnienie, jak Doktorant rozumie pojęcia: „ścieg”, „spoina” i „złącze”; przecież spoiny nie wykonuje się ze ściegów, a „lico, środek i grań spoiny” to nie jest złącze.

Wnioski końcowe

Rozprawa jest interesująca i zawiera szereg ciekawych wyników. Na podkreślenie zasługuje szeroki zakres przeprowadzonych badań oraz duża ilość wykonanych próbek i pomiarów. Prawidłowy jest ogólny układ rozprawy oraz zestawienie rozdziałów i podrozdziałów.

Wnikliwa analiza rozprawy przyniosła liczne uwagi szczegółowe, które nie wpływają zasadniczo na ocenę ogólną rozprawy.

Biorąc pod uwagę:

- ciekawą i aktualną tematykę rozprawy,
- jasny cel rozprawy,
- obszernie i dogłębne badania,
- interesujące wyniki badań,
- wysnute wnioski

stwierdzam, że rozprawa spełnia wymagania stawiane ustawą o stopniach i tytule naukowym i może być dopuszczona do publicznej obrony.

Prilamy