

SPIS TREŚCI

WYKAZ OZNACZEŃ I SKRÓTÓW	7
1. WPROWADZENIE	9
2. PRZEGLĄD LITERATURY	14
2.1. Historia analiz numerycznych procesów spawania	14
2.2. Aktualny stan wiedzy o symulacjach numerycznych procesów spawania	17
2.3. Dane wejściowe i wyjściowe w analizach numerycznych procesów spawania	23
2.4. Ciepło w symulacjach numerycznych procesów spawania	25
2.5. Analizy metalurgiczne i mechaniczne w symulacjach numerycznych procesów spawania	28
2.6. Modele i techniki obliczeniowe	32
2.7. Modele spawalniczych źródeł ciepła	40
2.8. Modyfikacje standardowych modeli źródeł ciepła	46
2.9. Weryfikacja wyników obliczeń	51
2.10. Potencjalne kierunki rozwoju analiz numerycznych	56
3. BADANIA WŁASNE	59
3.1. Cel i teza pracy	59
3.2. Materiały i oprogramowanie wykorzystane do badań	62
3.3. Metodyka badań	66
3.3.1. Kalibracja i modyfikacje modelu źródła ciepła w procesie przetapiania metodą TIG	66
3.3.2. Kalibracja i modyfikacje modelu źródła ciepła w procesie spawania metodą MAG	70
3.3.3. Kalibracja i modyfikacje modelu źródła ciepła w procesie przetapiania wiązką lasera dyskowego	74
3.3.4. Kalibracja i modyfikacje modelu źródła ciepła w procesie przetapiania wiązką lasera diodowego dużej mocy	77
3.3.5. Rejestracja cykli cieplnych procesu przetapiania wiązką lasera dyskowego oraz lasera diodowego dużej mocy	80
3.3.6. Rejestracja obrazów termograficznych procesu przetapiania metodą TIG oraz wiązką lasera diodowego dużej mocy	81

3.3.7. Wpływ modelu źródła ciepła na obliczone rozkłady faz w złączach teowych blach ze stali S460MC i S460NL spawanych metodą MAG	82
3.3.8. Walidacja modelu obliczeniowego na podstawie analizy rozkładu twardości złączy teowych blach ze stali S460MC i S460NL spawanych metodą MAG	82
3.3.9. Walidacja modelu obliczeniowego na podstawie analizy odkształceń złączy teowych blach ze stali S460MC i S460NL spawanych metodą MAG	83
3.3.10. Wpływ modelu źródła ciepła na rozkłady naprężeń w złączach teowych blach ze stali S460MC i S460NL spawanych metodą MAG	85
3.3.11. Analizy numeryczne spawania złączy teowych blach ze stali S460MC z wykorzystaniem alternatywnych metod obciążenia modelu	85
3.3.12. Badania metalograficzne	87
4. OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ	88
4.1. Wyniki badań i analiz numerycznych procesu przetapiania metodą TIG	88
4.2. Wyniki badań i analiz numerycznych procesu spawania złączy teowych ze stali S460MC i S460NL metodą MAG	99
4.3. Wyniki badań i analiz numerycznych procesu przetapiania wiązką lasera dyskowego	107
4.4. Wyniki badań i analiz numerycznych procesu przetapiania wiązką lasera diodowego dużej mocy	118
4.5. Wyniki rejestracji cyklu cieplnego procesu przetapiania wiązką lasera dyskowego i lasera diodowego dużej mocy	129
4.6. Wyniki rejestracji obrazów termograficznych procesu przetapiania metodą TIG oraz wiązką lasera diodowego dużej mocy	135
4.7. Wyniki badań i analiz numerycznych wpływu zastosowanego modelu źródła ciepła na rozkłady faz w złączach teowych blach ze stali S460MC i S460NL spawanych metodą MAG	142
4.8. Wyniki walidacji modelu obliczeniowego na podstawie analizy rozkładu twardości złączy teowych blach ze stali S460MC i S460NL spawanych metodą MAG	149
4.9. Wyniki walidacji modelu obliczeniowego na podstawie analizy rozkładu odkształceń złączy teowych blach ze stali S460MC i S460NL spawanych metodą MAG	153
4.10. Wyniki analiz numerycznych wpływu zastosowanego modelu źródła ciepła na rozkłady naprężeń w złączach teowych blach ze stali S460MC i S460NL spawanych metodą MAG	159
4.11. Wyniki analiz numerycznych spawania złączy teowych blach ze stali S460MC z wykorzystaniem alternatywnych metod obciążania cieplnego modelu	166
5. PODSUMOWANIE	170
6. WNIOSKI	181
BIBLIOGRAFIA	184
Streszczenie	201