

ANALIZA NUMERYCZNA MES SPAWANIA WIĄZKĄ PROMIENIOWANIA LASERA ND-YAG EMITOWANĄ W TRYBIE IMPULSOWYM

Pikuła J.¹, Węglowski M. St.¹, Dworak J.¹, Ziobro G.², Szafron A.²

¹ Łukasiewicz - Instytut Spawalnictwa, Gliwice

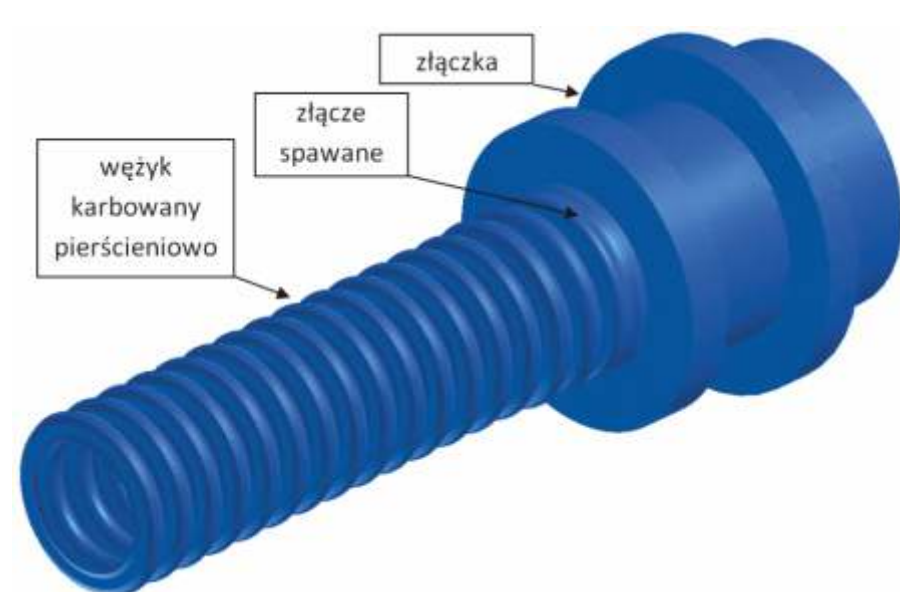
² Maflow Member of Boryszew Group, Tychy

Wprowadzenie

Obecnie są prowadzone prace badawcze mające na celu opracowanie nowych rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych urządzeń klimatyzacyjnych przeznaczonych do pojazdów samochodowych, wykorzystujących alternatywny czynnik chłodniczy (R744) w postaci CO₂. Zakres badań obejmuje dobór materiałów, opracowanie technologii wytwarzania z nich wyrobów i technologii łączenia poszczególnych elementów składowych wraz z technikami ich uszczelniania oraz dobór optymalnej konstrukcji urządzenia z punktu widzenia wymiany ciepła, odporności korozyjnej oraz wytrzymałości statycznej i zmęczeniowej. Opracowane rozwiązania i technologie będą miały zastosowanie w podzespołach urządzenia klimatyzacyjnego w postaci przewodów do transferu czynnika chłodniczego (przewodów klimatyzacyjnych). Będą to w szczególności takie elementy składowe jak: rury metalowe, giętkie przewody gumowe, elementy złączne i rozdzielne, uszczelnienia połączeń oraz akumulatory czynnika chłodniczego. Konieczność podjęcia badań nad opisanymi nowymi rozwiązaniami (materiałowo-konstrukcyjnymi) wynika z ponad standardowych, termodynamicznych parametrów pracy czynnika R744 w urządzeniu klimatyzacyjnym. Podstawowym zagadnieniem w prowadzonych badaniach jest dobór odpowiednich do zastosowania gatunków stopów aluminium, stali odpornych na korozję oraz materiałów pomocniczych (np. materiały dodatkowe do lutowania, uszczelnienia). Jednym z głównych problemów w trakcie spawania niewielkich i cienkościennych elementów jest możliwość ich przetopienia, naruszając ich ciągłość metaliczną, co w przypadku wysokiego ciśnienia pracy i obciążeń zmęczeniowych może doprowadzić do ich uszkodzenia w trakcie eksploatacji. Dlatego jest istotna znajomość pola temperatury w trakcie procesu spawania, na podstawie którego można określić, czy w newralgicznych obszarach nie występują zmiany temperatury mogące mieć wpływ na m.in. utworzenie w materiale niekorzystnej mikrostruktury mogącej osłabić konstrukcję. Wykonanie wielu rzeczywistych prób spawania i związane z tym wymagane badania złącza są czasochłonne i kosztowne. Dlatego rozwiązywanie takich problemów technicznych często jest wspomagane metodami numerycznymi, wśród których najczęściej stosowana jest metoda elementów skończonych (MES).

Metodyka badań

Elementami łączonymi była złączka i wężyk karbowany pierścieniowo (rys. 1) ze stali odpornej na korozję w gatunku 316L. Celem badań było określenie wpływu warunków technologicznych procesów spawania laserowego elementów na dynamikę nagrzewania, głębokość wtopienia, zakładki i pole temperatury łączonych elementów.



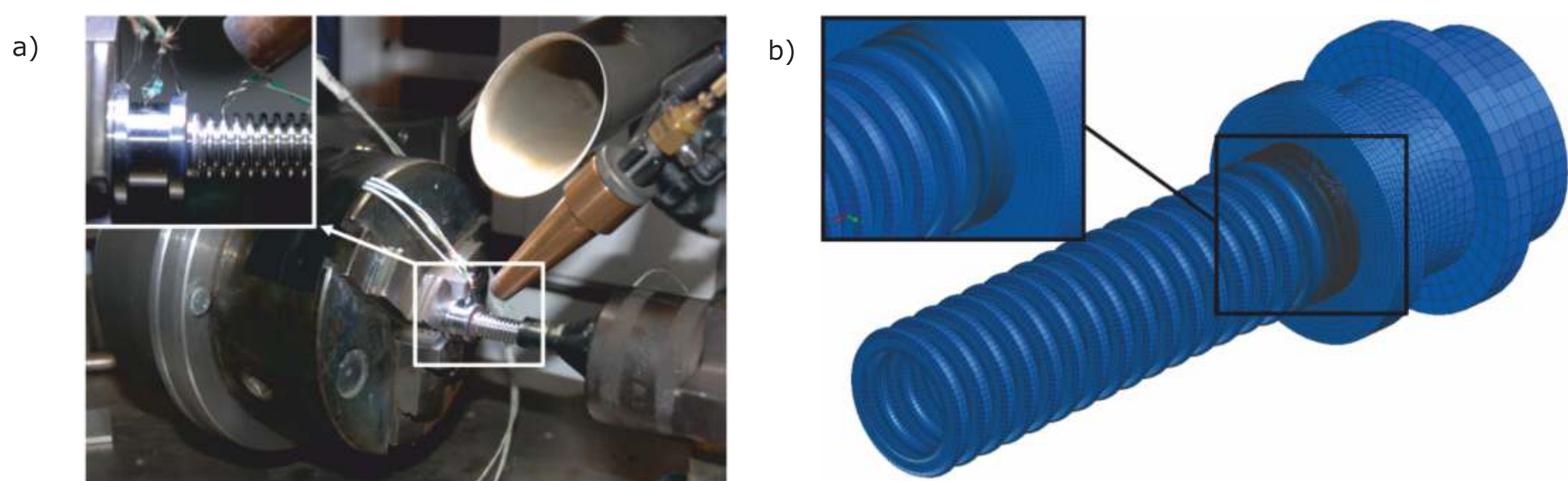
Rys. 1. Geometria spawanych laserowo elementów ze stali w gatunku 316L

Rzeczywisty proces spawania laserowego Nd:YAG

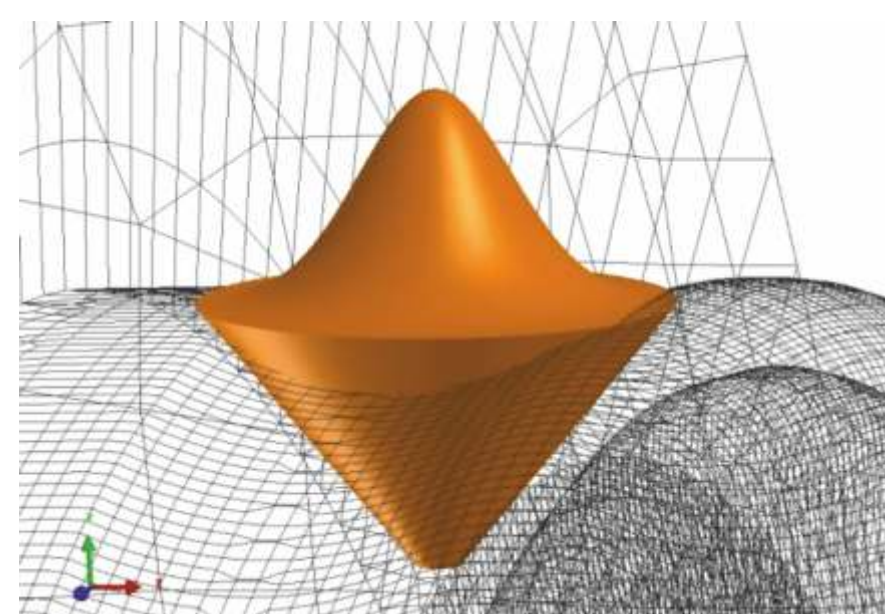
Próby technologiczne spawania wiązką promieniowania lasera Nd:YAG emitowaną w trybie impulsowym przeprowadzono na urządzeniu TruLaser Station 5004. W trakcie procesu spawania wykonywano pomiar temperatury na powierzchni próbki przy użyciu termopar (rys. 2a).

Model numeryczny procesu spawania laserowego Nd:YAG

Modelowanie numeryczne przeprowadzono przy wykorzystaniu oprogramowania SYSWELD. Siatkę elementów skończonych modelu numerycznego MES (rys. 2b) przygotowano w oparciu o geometrię rzeczywistego elementu. Największa długość boku elementu skończonego wynosiła 1,4 mm. Ze względu na duży gradient temperatury w obszarze spoiny i strefy wpływu ciepła oraz wymiary obszaru spoiny, siatka została zagęszczona i długość boków elementów wynosiła około 0,45 mm. Siatkę w obszarze złączki i fragmentu wężyka wykonano z elementów bryłowych. W celu ograniczenia liczby elementów i tym samym skrócenia czasu obliczeń, w dalszej odległości od spoiny siatka obszaru wężyka została wykonana z elementów powłokowych. W modelu uwzględniono następujące własności materiału stali w funkcji temperatury: ciepło właściwe, przewodność cieplna i gęstość stali odpornych na korozję w gatunku 316L i 304. W modelu MES uwzględniono wymianę ciepła z otoczeniem, w tym proces promieniowania cieplnego i konwekcję. Powstawanie jeziorka spawalniczego w trakcie spawania laserowego jest złożonym zjawiskiem, dlatego w praktyce inżynierskiej stosowane jest uproszczone objętościowe źródło ciepła w oparciu o rozkład Gaussa, w postaci cylindra lub ściętego stożka. W przedstawionym modelu źródło ciepła opisano w postaci ściętego stożka (rys. 3), a ilość energii określono na podstawie rzeczywistego procesu spawania.



Rys. 2. a) widok stanowiska do spawania wiązką promieniowania lasera Nd:YAG, b) siatka elementów skończonych wykorzystana w modelowaniu procesu spawania Nd:YAG



Rys. 3. Objętościowe źródło ciepła w oparciu o rozkład Gaussa, w postaci ściętego stożka

Podsumowanie

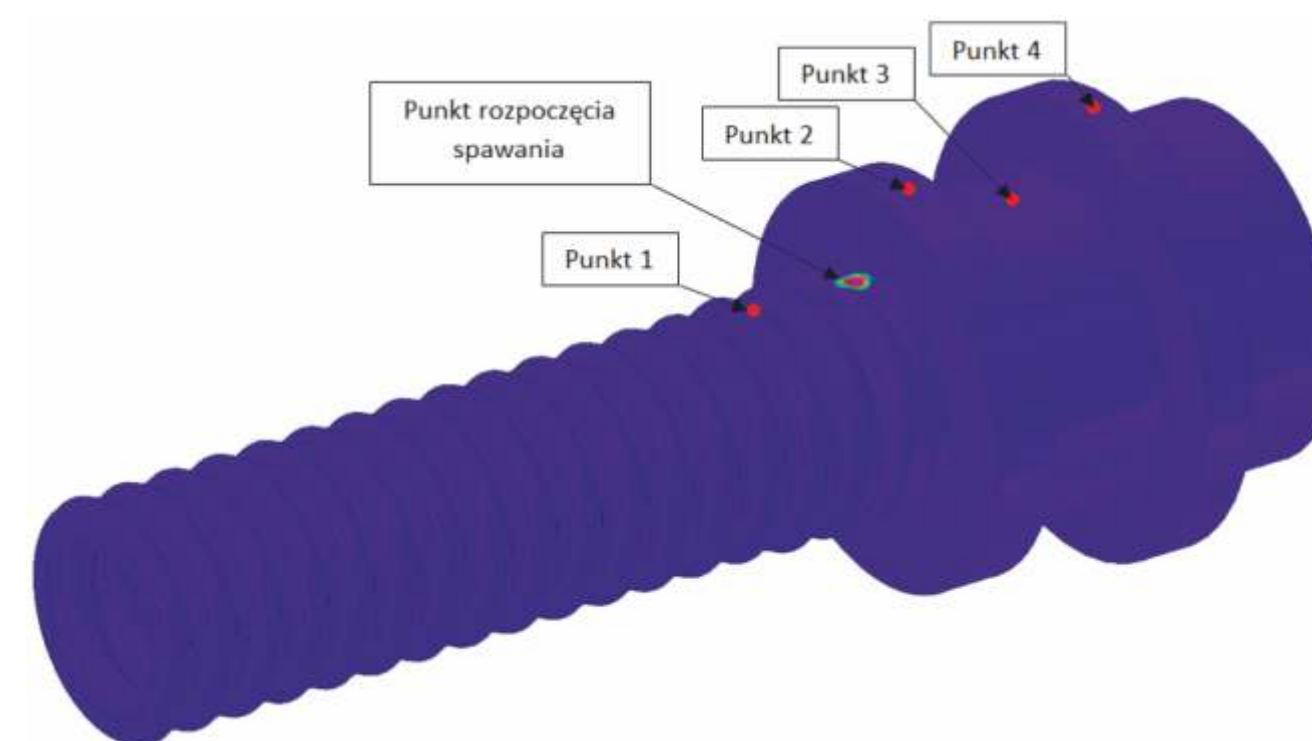
Opracowany i przedstawiony w niniejszym artykule model numeryczny MES procesu spawania laserowego impulsowego wykazuje zgodność z rzeczywistym procesem spawania pod względem pola temperatury i geometrii spoiny. Możliwość uzyskania przy użyciu modelowania MES informacji na temat głębokości wtopienia, temperatury w wybranych newralgicznych punktach oraz efektywnego i maksymalnego wtopienia wskazuje, że model znajdzie zastosowanie w opracowaniu technologii spawania w dalszym etapie prowadzonych badań. Modelowanie impulsowego procesu spawania laserowego charakteryzującego się krótkim czasem trwania impulsów i prędkością spawania powodującą względnie duże odległości pomiędzy kolejnymi impulsami, wymaga potraktowania każdego impulsu jako osobnego złącza, którego powstawanie charakteryzuje się krótkim czasem trwania, natomiast o dużej gęstości energii.

Podziękowania

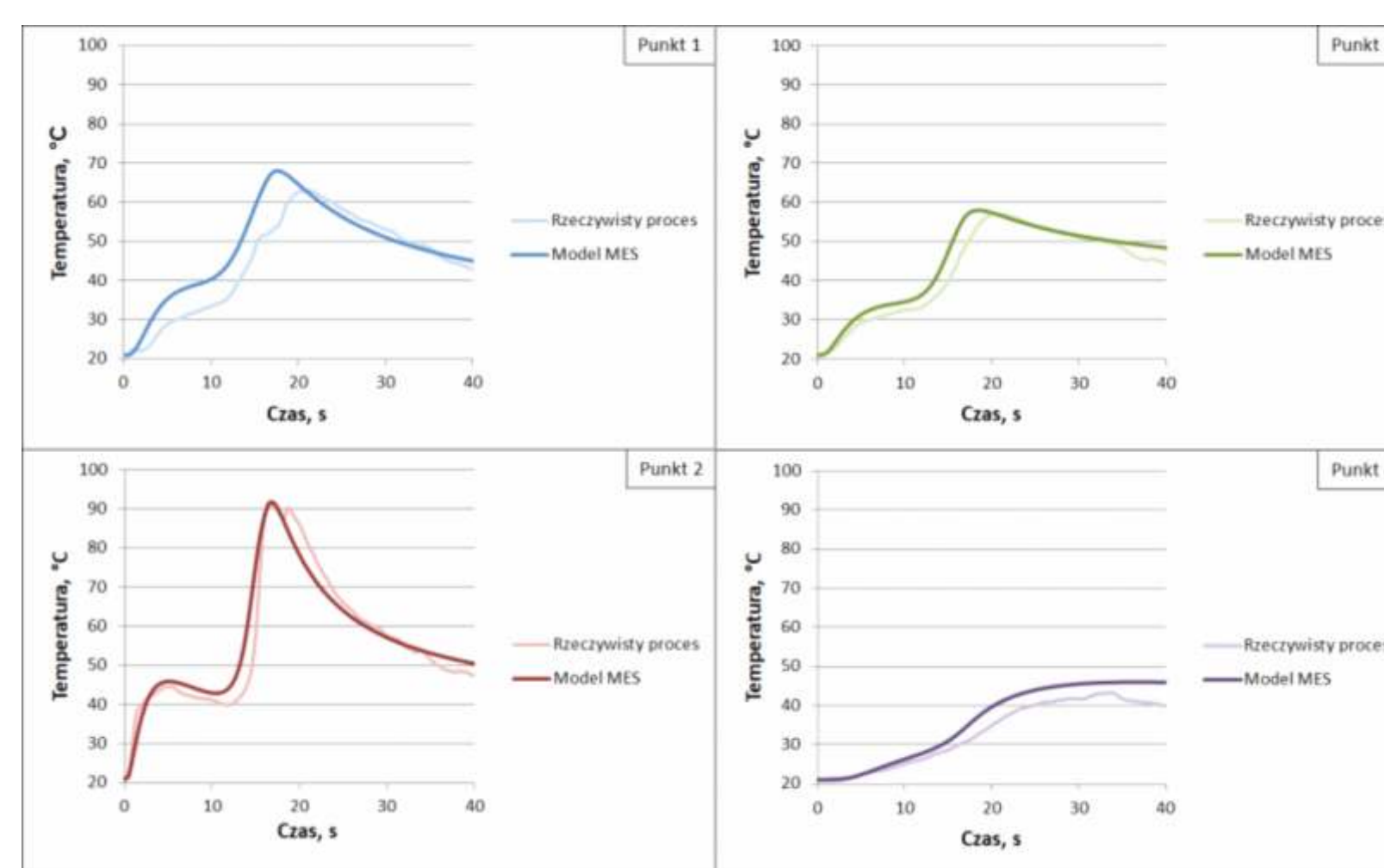
W pracy przedstawiono wyniki badań jakie zostały zrealizowane w ramach projektu finansowanego ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju „Dobór materiałów oraz opracowanie konstrukcji przewodów klimatyzacyjnych przeznaczonych do pracy z nowym czynnikiem chłodniczym R744”, umowa nr PBS3/B5/43/2015.

Wyniki badań

Walidację modelu MES wykonano w oparciu o wymiary rzeczywistej spoiny i wyniki pomiaru temperatury w wybranych punktach spawanych elementów. Największa różnica pomiędzy maksymalną temperaturą zmierzoną w wybranych punktach (rys. 4 i 5) i obliczoną przy użyciu FEM wynosiła 7,9 %, natomiast średnia różnica ze wszystkich punktów pomiarowych wynosiła 3,9 %. Biorąc pod uwagę niewielkie rozmiary elementów łączonych i przez to znaczny wpływ ewentualnych niedoskonałości odwzorowania geometrii na wyniki obliczeń, złożoności zjawiska spawania oraz silnie nieliniowego przepływu ciepła do otoczenia w wyniku przepływu gazu osłonowego, można stwierdzić dobrą zgodność wyników obliczeń temperatury z rzeczywistymi badaniami.



Rys. 4. Punkty pomiaru temperatury podczas spawania wiązką laserową Nd:YAG

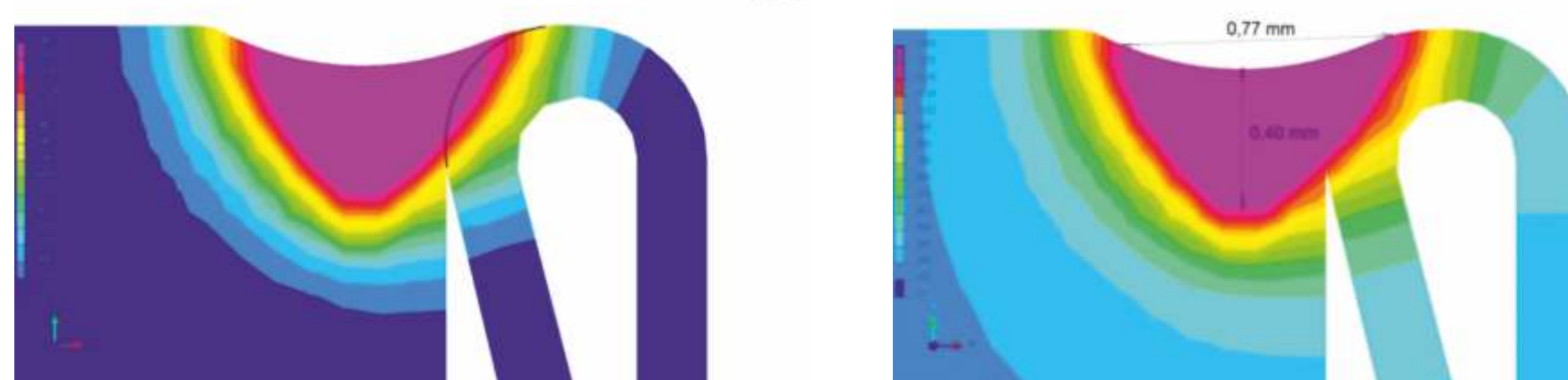


Rys. 5. Wyniki pomiarów temperatury rzeczywistego procesu i temperatury obliczonej w wybranych punktach wskazanych na rysunku 4

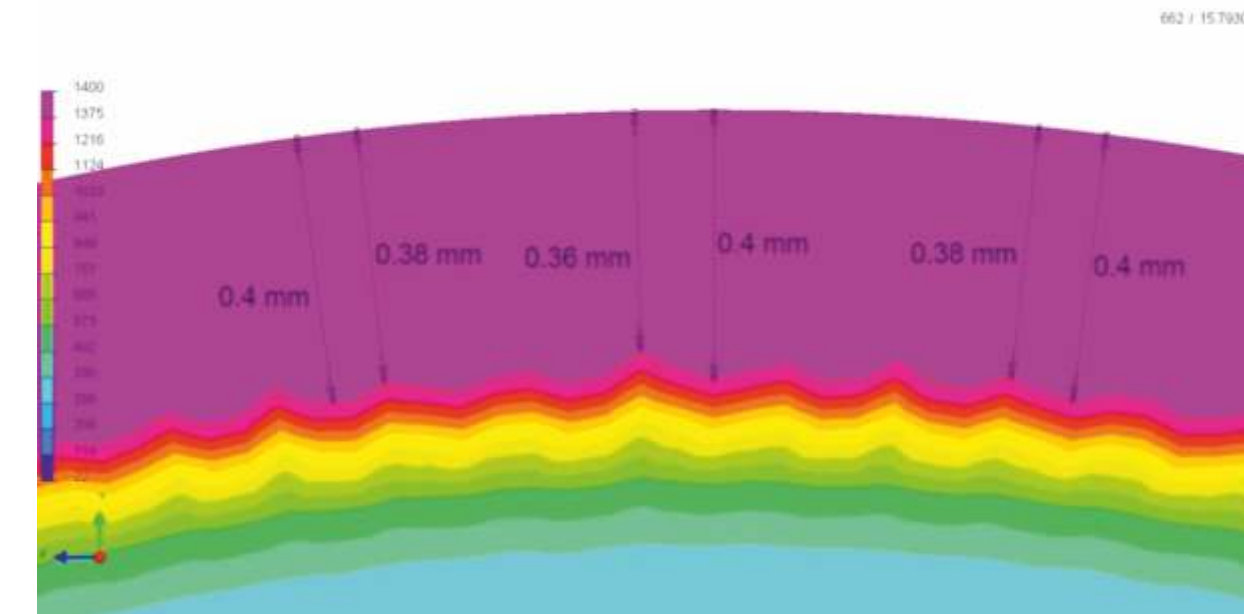
Geometria spoiny została określona w oparciu o zakres temperatury topnienia stali w gatunku 316L wynoszący od 1375°C do 1400°C. W oparciu o pole temperatury określone przy użyciu modelu MES i zdjęcie metalograficzne stwierdzono zgodność wymiarów i kształtu spoiny (rys. 6). Analiza wyników obliczeń numerycznych wykazała również słusność zastosowania zakładki, ponieważ w początkowym etapie spawania głębokość i szerokość spoiny jest za mała i nie obejmowała wymaganego obszaru sprężynki (rys. 7). Symulacja MES umożliwiła również określenie efektywnego i maksymalnego wtopienia, które wyniosło odpowiednio około 0,37 mm i 0,40 mm (rys. 8).



Rys. 6. Geometria i wymiary spoiny obliczonej (z lewej) i rzeczywistej (z prawej)



Rys. 7. Geometria spoiny w punkcie rozpoczęcia procesu spawania bez zastosowania zakładki (z lewej) i po zastosowaniu zakładki (z prawej)



Rys. 8. Efektywne i maksymalne wtopienie w złączu wykonanym laserem Nd:YAG



dr inż. Janusz Pikuła
Łukasiewicz - Instytut Spawalnictwa
Bl. Czesława Str. 16-18
tel. +48 32 33 58 368
44-100 Gliwice
janusz.pikuła@is.gliwice.pl



62.

**MIĘDZYNARODOWA
KONFERENCJA
SPAWALNICZA**

Nowoczesne spawalnictwo
- nowoczesna przyszłość



INTERNATIONAL CONGRESS
Konferencja towarzyszy
Kongres Międzynarodowego
Instytutu Spawalnictwa (IIW)

