

研究背景・目的

◆研究背景

- 鋼板とアルミニウム合金板の異材抵抗スポット溶接の継手強度を向上させるためには、ナゲット径の拡大と接合界面に形成される金属間化合物(IMC)厚さの抑制が重要とされる

抵抗スポット溶接部のIMC形成に関する従来知見

- 抵抗スポット溶接部に形成されるIMCは、 Fe_2Al_5 および $FeAl_3$ が主体である
- アルミニウム合金板の溶融に伴い鋼板との接合界面に Fe_2Al_5 が形成され、 $FeAl_3$ は主に通電終了後の冷却過程においてAl合金溶融部側に形成される¹⁾
- Fe_2Al_5 および $FeAl_3$ 形成への溶接条件の影響に関する報告例は少ない

◆研究目的

異材抵抗スポット溶接におけるIMC厚さの制御手法確立に向け、接合界面における $FeAl_3$ および Fe_2Al_5 形成状態と溶接条件との関係明確化を目指す。

1) Bo Pan, et al. Journal of Manufacturing Processes 83 (2022) 212-222.

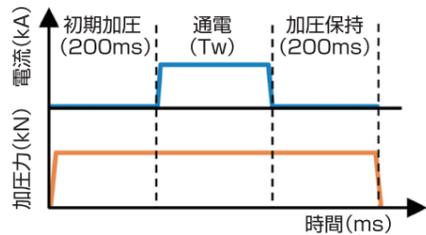
実験方法

◆供試材料

- 6000系Al合金板 A6022(板厚1.0mm)
 - 270MPa級冷延鋼板 SPCD(板厚0.6mm)
 - 980MPa級GA鋼板 JAC980YL(板厚1.6mm)
- 三枚重ね板組み (Al合金板—鋼板—鋼板)

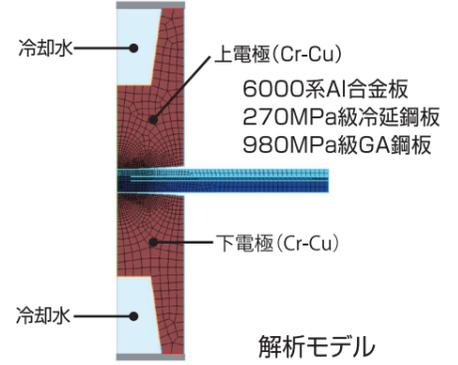
◆溶接条件

溶接電源：インバータ式直流
電極形状：R形(19 mmΦ, R100)
加圧力：7kN
溶接電流：19kA
通電時間：100、150、200、300ms



◆数値解析方法

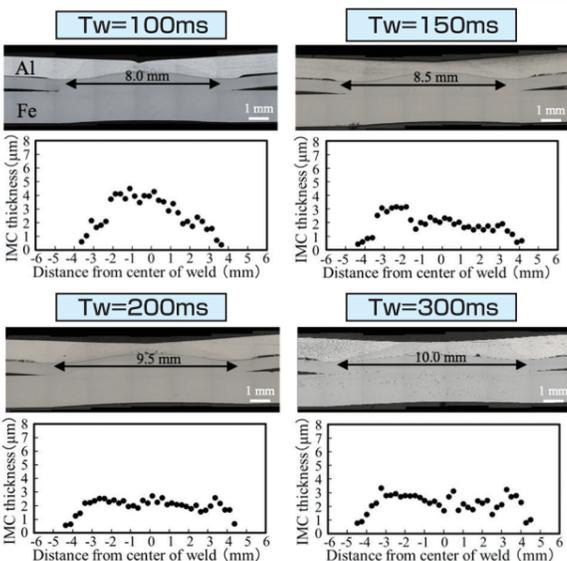
解析ソフト：SWANTEC社 SORPAS 2D



接合界面部の解析結果

◆Al-Fe接合界面のIMC厚さ分布

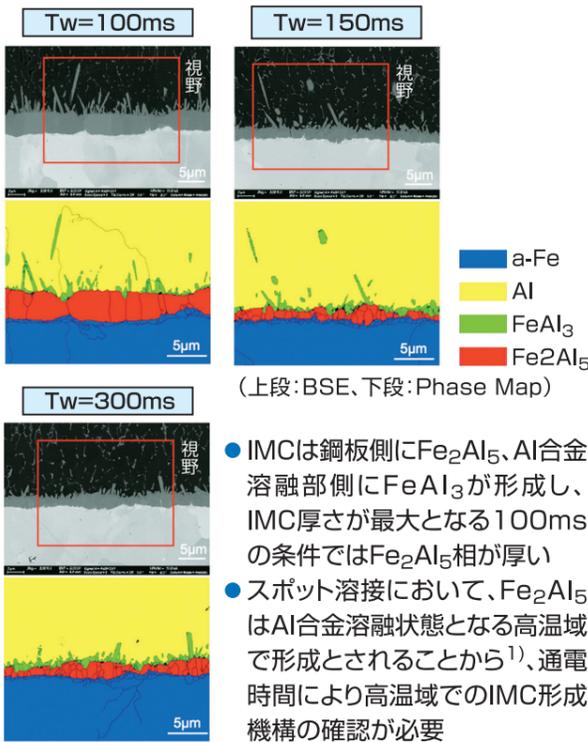
6000系Al合金板と270MPa級冷延鋼板の接合界面に形成されたIMC厚さ分布をSEMにより測定



- 通電時間によりIMC厚さ分布形状が変化
- 通電時間の増加とともにAl合金溶融部径は拡大したが、IMC厚さは100msの条件において最大

◆Al-Fe接合界面の結晶相分布

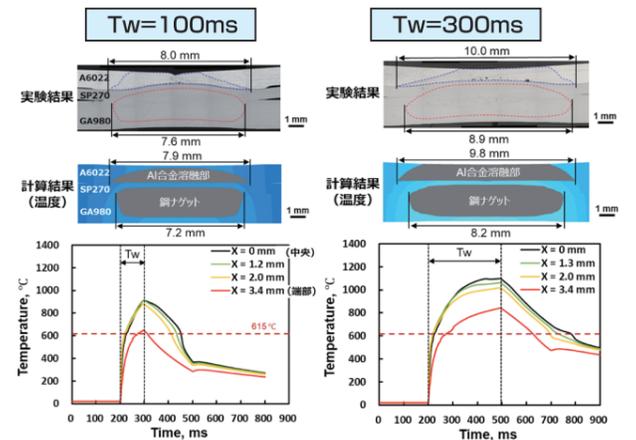
Al溶融部中央の接合界面での相分布をEBSDにより解析



- IMCは鋼板側に Fe_2Al_5 、Al合金溶融部側に $FeAl_3$ が形成し、IMC厚さが最大となる100msの条件では Fe_2Al_5 相が厚い
- スポット溶接において、 Fe_2Al_5 はAl合金溶融状態となる高温域で形成とされることから¹⁾、通電時間により高温域でのIMC形成機構の確認が必要

◆Al-Fe接合界面の温度履歴(数値解析)

数値解析によりスポット溶接部の温度分布および接合界面における温度履歴を推定

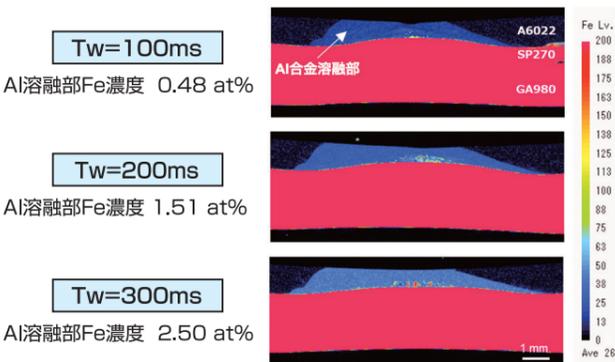


- 100ms、300msの条件の溶接部断面マクロと数値解析において、Al合金溶融部径および鋼ナゲット径は一致しており、数値解析による温度推定結果は妥当
- 通電時間300msの方が、100msよりも接合界面は高温であり、Al合金溶融時間も長時間(⇒温度履歴に基づく推定²⁾)ではIMC厚さは増加するため、不一致)

2) Jin Wang, et al. International Journal of Heat and Mass Transfer 89 (2015) 1061-1072.

Al溶融部の元素分析結果

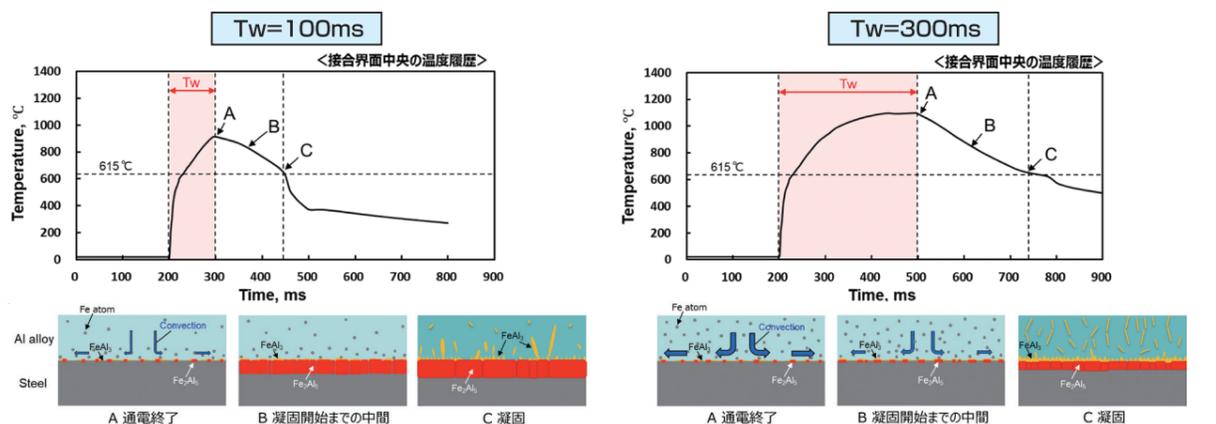
スポット溶接部のFe分布をEPMAにより解析



- Al合金溶融部内に生じた対流³⁾により、接合界面から拡散したFeは溶融部全体に分布
- 通電時間の増加によりFe濃度は増加しており、300ms通電までは接合界面からのFe拡散抑制に効果的なIMCは未形成

3) Muneyoshi Iyota, et al. Journal of Manufacturing Processes 94 (2023) 424-434.

Al-Fe接合界面中央部でのIMC形成機構



- 通電時中のAl合金溶融時間は70ms程度と短いため、溶接電流が19kAと高電流であるが、対流速度は遅い
- 通電直後から150msでは対流のない状態になるため、接合界面での温度履歴と応速度式²⁾にしたがいIMCは形成
- 中央部のIMC厚さは増加し接合界面のIMC分布は凸形状
- 通電時中のAl合金溶融時間は270ms程度と長く、対流速度は急激に増加するため、接合界面のIMC形成は抑制
- IMCが形成され難いためAl合金溶融部へのFe拡散は継続
- 通電終了後も対流が維持されることで、IMC形成も抑制され、IMC厚さの増加は少なくなりIMC分布は平坦形状

結論

- 短時間高電流条件のAl合金板/鋼板/鋼板の三枚重ねスポット溶接では、通電時間100~300 msの条件で比較すると、IMC厚さ分布は100 msで最も厚く凸形状に、300 msではIMC厚さは減少し中央部が平坦な形状となった。また、300 msではAl溶融部内の対流が大きく、接合界面でのIMC形成は抑制されたと推察された。
- 一方で、通電時間100 msではAl溶融部内での対流が少なく、IMCが形成され易い状態になったため、通電時間が短いにもかかわらずIMC厚さが増加したと推察された。