

ノート

ステンレス鋼と異種金属のレーザ溶接界面の高信頼性化

青沼 昌幸*¹⁾ 岩岡 拓*¹⁾ 寺西 義一*²⁾ 森河 和雄*³⁾

Improvement of reliability in joint interface between stainless steel and dissimilar metal by YAG laser welding

Masayuki Aonuma*¹⁾, Taku Iwaoka*¹⁾, Yoshikazu Teranishi*²⁾, Kazuo Morikawa*³⁾

キーワード：ステンレス鋼，銅，異種金属溶接，YAGレーザ溶接，接合界面

Keywords：Stainless steel, Copper, Dissimilar metal welding, YAG laser welding, Joint interface

1. はじめに

異種金属との接合需要の高い市販合金として，ステンレス鋼が挙げられる。特に，ステンレス鋼と銅合金の異材接合は高い需要を有し，産業において最も普及している組合せの一つといえる。ステンレス鋼と銅との溶接は，実用化されているものの破断トラブルが多く，また，溶接可能といった報告も従来から多く認められるが，接合強度に最も影響を及ぼす接合界面の微細構造を含めた報告例は少ない⁽¹⁾⁽²⁾。本研究では，主成分が同一（Fe）で合金元素が異なる，純鉄，フェライト系ステンレス鋼，オーステナイト系ステンレス鋼とタフピッチ銅とのYAGレーザ溶接部について，接合界面の比較検討を行い，溶接条件と母材組成が，異材溶接性と溶接部の信頼性に及ぼす影響について明らかにする事を目的とした。

2. 実験方法

表1に本研究で用いた母材の化学組成と機械的性質を示す。この他，比較用に純鉄（99.99 mass%Fe）を用いた。溶接においてはYAGレーザの平均出力を600 W，ビーム径を0.6 mmと固定し，溶接速度を50～450 mm/minと変化させる事で入熱量を制御した。母材の形状は，長さ150 mm，幅50 mm，厚さは1 mmとした。溶接では純鉄，SUS430及びSUS304を上側に配置し，下側にC1100（以下Cuと表記）を配置して，純鉄及びSUS側からレーザを照射して重ね溶接を行った。溶接後，光学顕微鏡による組織観察，走査型電子顕微鏡（SEM）及びエネルギー分散型X線分光分析器（EDS）による観察と分析を行い，溶接部での元素分布状態について検討した。接合界面については，集束イオンビーム加工装置（FIB）を用いて，透過型電子顕微鏡（TEM）観察用の薄片試料を作製し，STEM-HAADF像での観察とEDSに

よる元素分析を行った。また，静的強度評価として，5 mmの試験片による引張せん断試験を行った。

3. 実験結果及び考察

純鉄/Cu，SUS430/Cu及びSUS304/Cuの重ね接合部の，純鉄及びSUS側溶融部の光学顕微鏡組織を図1に示す。Cuは，Feのオーステナイト領域を拡大するオーステナイト安定化元素として知られる。しかし本研究においては，純鉄の組織にCuは影響を及ぼしておらず，全てフェライトとなり，結晶粒の粗大化のみが認められた。SUS430/Cu溶融部では，急冷により一部がマルテンサイト化し，フェライトとマルテンサイトが混在した組織が形成された。SUS304/Cu溶接部では，フェライトとオーステナイトによるデンドライト組織が認められ，粒界に沿って部分的に割れが認められた。図2に，各溶接部の接合界面断面の光学顕微鏡組織を示す。純鉄/Cu及びSUS430/Cu溶接部の接合界面において，それぞれ，純鉄とCu，SUS430とCuとの混在領域が生成しており，溶接割れ等の欠陥は認められなかった。しかし，SUS304/Cuの接合界面では，接合界面近傍のSUS304側に割れが認められた。この割れは溶接速度150 mm/min以上では発生しないが，100 mm/min以下に溶接速度が減少すると発生し，入熱量の増加により，割れを生じる領域は増加した。SEM-EDSによる分析の結果，SUS304/Cu溶接部では，溶接割れを生じた部分でCuの濃化が明瞭に認められた。以上の結果から，SUS304/Cu溶接部の割れについて検討した結果を以下に示す。SUS304母材はオーステナイト単相であるが，溶接した場合，溶融部の凝固はFAモード（初晶フェライト＋二相凝固）となり，フェライトとオーステナイトが混在した組織となる。しかし，オーステナイト安定化元素のCuが多

表1. 供試材の化学組成と機械的性質

母材	Chemical Composition (mass%)								Tensile Strength (MPa)	Hardness (HV)
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Fe		
SUS430	0.02	0.16	0.73	0.027	0.004	16.12	0.10	Bal.	447	153
SUS304	0.06	0.41	1.11	0.031	0.002	18.00	8.00	Bal.	660	172
C1100	(99.97% Cu)								242	89

事業名 平成24年度 基盤研究

*¹⁾ 機械技術グループ*²⁾ 表面技術グループ*³⁾ 高度分析開発セクター

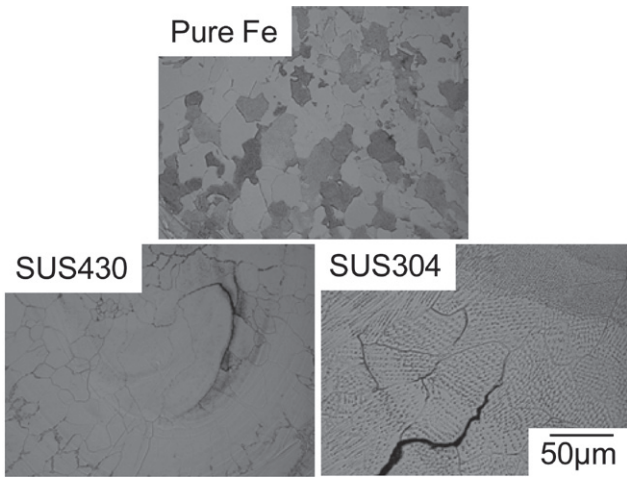


図1. 重ねYAGレーザー溶接による、純鉄及びSUS側溶融部の光学顕微鏡組織 (溶接速度 50 mm/min)

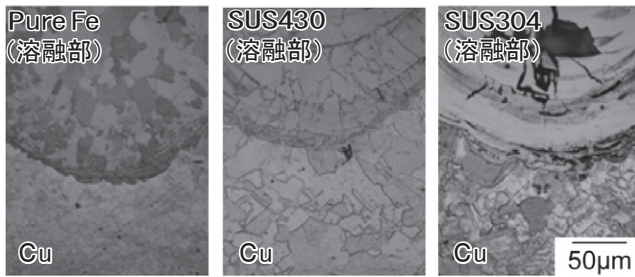


図2. 接合界面断面の光学顕微鏡組織 (溶接速度 50 mm/min)

く含まれる領域においては、フェライト量が減少してのFAモード、AFモード (初晶オーステナイト+二相凝固), あるいはAモード (オーステナイト単相凝固) となる。この場合、S, Pなどの低融点不純物を固溶するフェライトが減少するために、デンドライト粒界にこれらの低融点元素が偏析し、高温割れを生じやすい。また、これらの領域ではCu量が過剰となっており、融点の低いCuは、粒界に偏析し、遅れて凝固する事となる。以上の事から、凝固前後の高温状態において、粒界に偏析して凝固したCuが要因となり、溶融部で凝固割れを生じたと考えられる。

図3に、SUS304/Cu溶接部の接合界面での、STEM-HAADF像及び特性X線像を示す。SUS304/Cu溶接部では、NiとCuを含む幅1.5 μmの領域が認められた。しかし、光学顕微鏡観察で認められた著しい高温割れや、マイクロクラックは確認されなかった。この事から、溶接部での割れは、凝固時にCuが粒界に偏析する事が主な要因で、CuとNiとの固溶体生成は割れの要因にはならないと考えられる。以上から、急冷となるYAGレーザー溶接においても、主成分のFeとの固溶度が小さいCuとの溶接では、入熱量が過剰となった場合に高温割れを生じる事が判明した。

図4に各溶接部の引張せん断強さを示す。純鉄/Cu及びSUS430/Cu溶接部では、溶接速度を減少して入熱量を増加する事で強度は増加するが、SUS304/Cu溶接部では入熱量が過剰となった場合に強度が著しく減少した。これらの結

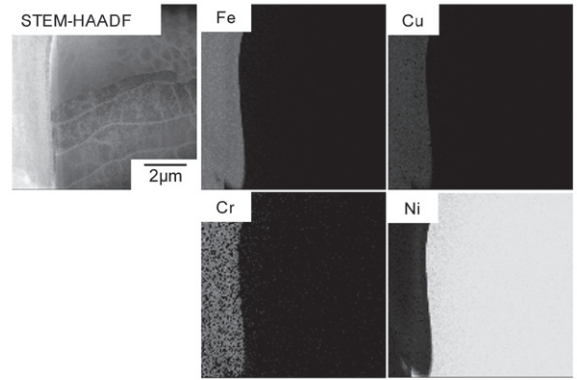


図3. SUS304/Cu溶接部の接合界面での、STEM-HAADF像及び特性X線像

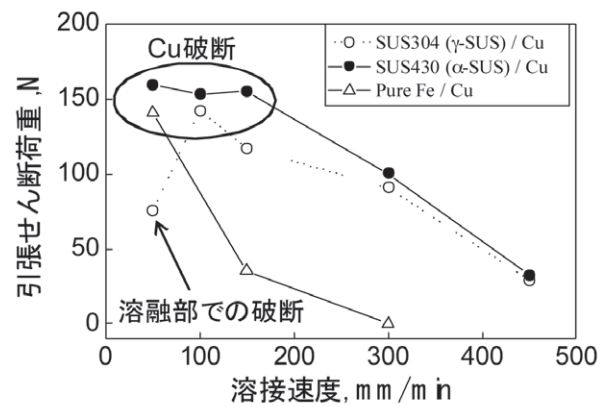


図4. 溶接部の引張せん断強さ

果は組織観察による結果と良く対応しており、接合強度の安定には、入熱量の制御によるCuの溶融量制御及び組織制御が重要である事が明らかとなった。

4. まとめ

ステンレス鋼の合金元素と溶接条件が、銅との異材溶接性と溶接部の信頼性に及ぼす影響について組織要因を中心に検討した結果、接合強度の安定と高信頼性化には、Cuの溶融量制御による組織制御が重要である事が判明した。

(平成25年7月17日受付, 平成25年8月15日再受付)

文 献

- (1) C. Yao, B. Xu, X. Zhang, J. Huang, J. Fu, Y. Wu: "Interface microstructure and mechanical properties of laser welding copper-steel dissimilar joint", Optics and Lasers in Engineering, Vol.47, Issues 7-8, pp.807-814 (2009)
- (2) M. Sahin, E. Çıl, C. Misirli: "Characterization of Properties in Friction Welded Stainless Steel and Copper Materials", Journal of Materials Engineering and Performance, Vol. 22, Issue 3, pp.840-847 (2013)