



Title	ステンレス鋼FCAW溶接金属における再熱割れに関する研究
Author(s)	岡崎, 司
Citation	大阪大学, 2002, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/43500
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名	おが さま つかさ 岡 崎 司
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学位記番号	第 17024 号
学位授与年月日	平成14年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科生産科学専攻
学位論文名	ステンレス鋼 FCAW 溶接金属における再熱割れに関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 西本 和俊 (副査) 教授 豊田 政男 教授 菊地 靖志 助教授 才田 一幸

論 文 内 容 の 要 旨

本研究では308系ステンレス鋼 FCAW 溶接金属における再熱割れ機構を解明し、その改善策の指針を得ることを目的とした。まず、溶接部における詳細な組織解析を行い、再熱割れ発生の原因となる材料側の因子を特定することを試みた。それらの因子が再熱割れ感受性に及ぼす影響を明らかにするため、再熱割れ感受性評価のためのパラメータを確立し、割れ発生の主要因となる因子の特定を行い、再熱割れ発生機構を考察した。さらに、再熱割れの防止を目的として、数理計画法により耐再熱割れ性に優れかつ良好な溶接作業性となる最適フラックス組成を求め、改良ワイヤの試作を行い、その品質を確認した。

第1章は、緒言であり、FCAW 溶接金属で発生した再熱割れ現象に関連する問題点と本研究の必要性ならびに目的について述べた。

第2章では、ステンレス鋼 FCAW の問題点と FCAW 溶接金属の再熱割れに関する研究の現状を記述し、その問題点を整理することによって解明すべき点を明確にし、本研究の必要性について指摘した。

第3章では、再熱割れ発生に関与する材料因子の抽出を目的として、再熱割れの発生した実機溶接金属について詳細な組織観察を行い、割れの特徴の把握を行うとともに、高温環境下での組織変化について検討を行った。さらに、試作ワイヤを用いて作製した溶接金属において、自己拘束型割れ試験片を用いて再熱割れを実験的に再現し、Bi が再熱割れ感受性に大きな影響を与えていることを確認するとともに、再熱割れの発生条件を明確にした。

第4章では、再熱割れの発生に関与する材料側の主因子を特定することを目的に、材料側の諸因子として、Bi 以外に析出物および介在物を対象とし、それぞれの因子が高温延性に及ぼす影響を高温引張試験およびグリーンブル試験により調査した。さらに、これらの諸因子の再熱割れ感受性に及ぼす影響を定量的に把握し、再熱割れ感受性の増大につながる主因子を特定するため、ノッチ付き試験片を用いた定荷重引張試験を実施し、粒界割れ発生時のノッチ部の限界開口変位を測定した。この測定結果に基づき再熱割れの材料側の諸因子について割れ感受性に及ぼす影響を定量的に検討し、Bi による粒界強度の低下が再熱割れの主たる原因であることを明らかにした。

第5章では、FCAW 溶接金属中の Bi の挙動を明らかにすることを目的として、TEM による観察を行い、Bi が単体の凝集物として粒界に存在することを明らかにした。さらに、グリーンブル試験機を用いてあらかじめ、予き裂を入れた試料をオージェ電子分光分析装置内で破断することによって得た破面において、オージェ電子分光分析により Bi の濃化を確認し、Bi の粒界拡散による粒界偏析の再熱割れ発生に対する直接の関与を明らかにした。

第6章では、Biによる粒界脆化機構の解明を目的として、粒界偏析したBiがステンレス鋼溶接金属の表面エネルギーを低下させる元素であることを確認し、この結果を踏まえてBiの粒界偏析が粒界強度を低下させる機構について理論的な考察を加えた。

第7章では、FCAW溶接金属の再熱割れ防止を目的として、その主原因となるBiを添加しないフラックス入りワイヤの開発を目指し、その際最も障害となる溶接作業性の改良について検討を行った。すなわち、フラックスを構成する原料の溶接作業性に及ぼす影響を定量的に評価したうえで、数理計画法を用いて最適フラックス組成を探索し、同組成で試作した改良ワイヤを用いて、その溶接作業性の確認を行った。さらに、試作改良ワイヤを用いて得た溶接継手を対象として高温強度、常温での機械的特性、スラグ巻込みやブローホールなどの溶接欠陥に関する調査を行い、ワイヤが実溶接施工に適用可能であることを確認した。

第8章では以上の結果を総括した。

論文審査の結果の要旨

石油プラントにおける308系ステンレス鋼FCAW溶接部では供用下における再熱割れの発生が問題となっている。308系ステンレス鋼FCAW溶接部における再熱割れの原因や機構の詳細は不明である。さらに、その防止に有効な対策も確立されていない。本論文では308系ステンレス鋼FCAW溶接金属における再熱割れ機構を解明し、その改善策の指針を得ることを目的としている。まず、溶接部における詳細な組織解析を行い、再熱割れ発生の原因となる材料側の因子を特定することを試みている。それらの因子が再熱割れ感受性に及ぼす影響を明らかにするため、再熱割れ感受性評価のためのパラメータを確立し、割れ発生の主要因となる因子を特定し、再熱割れ発生機構を考察している。さらに再熱割れ防止の対策として、数理計画法によりBi₂O₃無添加で良好な溶接作業性となる最適フラックス組成を求め、新開発ワイヤの試作を行い、その品質を確認している。

本研究で得られた結果を以下に総括する。

- 1) 石油精製装置から採取したFCAW溶接金属に生じた割れは、破面解析結果より固相状態で発生した再熱割れであることを明らかにしている。また、この割れは、柱状晶粒界および柱状晶粒内の δ/γ 粒界を伝播するものの、ビード内を直線的に進展する比較的大きな割れは柱状晶粒界における割れであることを明らかにしている。
- 2) 限界開口変位 Φ_c を用いた評価から、Biの添加により Φ_c の値が大幅に低下することを明らかにしている。これに対して、熱処理による炭化物や σ 相の析出は、 Φ_c の値にほとんど影響を与えないことを示している。すなわち、再熱割れの材料側の因子としてはBiに起因するものが最も影響が大きいことを明らかにしている。
- 3) Biの添加がステンレス鋼の表面エネルギーを低下させることを実験的に証明している。また、表面エネルギーの低下が粒界固着力を減少させることを理論的に示し、Biの粒界偏析が表面エネルギーを低下させることにより粒界固着力を低下させ、粒界脆化の原因となることを推察している。
- 4) 再熱割れは、溶接部に作用する応力が塑性歪に変化する際、その歪が割れ発生に至る材料側の限界塑性変形能を上まわる結果生じることから、1000K付近のFCAW溶接金属の再熱割れはBiの粒界偏析に起因した粒界固着力の低下が原因となることを明らかにしている。
- 5) フラックス入りワイヤにおいて、溶接作業性を定量的に評価することにより、数理計画法によるスラグ構成成分組成の最適化が可能であることを明らかにしている。
- 6) 数理計画法による最適化で得られた開発ワイヤは、Bi無添加で良好なスラグ剥離性を示し、溶接金属の耐再熱割れ性、クリープ破断性能も良好であることを示している。また、実継手の溶接を想定した開発ワイヤによる板厚20mmのSUS304の継手溶接部において、欠陥のない健全な溶接が可能であることを確認し、開発ワイヤが実施工に適用可能であることを実証している。

以上のように本論文は、オーステナイト系ステンレス鋼FCAW溶接金属における再熱割れについて、その現象を

実験的に解明し、割れ発生の主たる要因を特定するとともに、理論的解析に基づき、再熱割れ発生過程を説明している。さらに、ステンレス鋼 FCAW において再熱割れ防止を意図したフラックス入りワイヤを数理計画法を用いた手法で開発している。これらの知見は石油精製装置に代表される高温環境下でのステンレス鋼溶接部における損傷の防止に対して重要な示唆を与えることが展望され、その成果は、材料加工工学及び生産加工工学の発展に寄与するところが大きい。よって本論文は、博士論文として価値あるものと認める。