

| | |
|--------------|---|
| Title | サブマージアーク溶接におけるスラグからフラックスへの再生利用に関する研究 |
| Author(s) | 児嶋, 一浩 |
| Citation | 大阪大学, 2018, 博士論文 |
| Version Type | VoR |
| URL | https://doi.org/10.18910/70759 |
| rights | |
| Note | |

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

論文内容の要旨

氏 名 (児 嶋 一 浩)

論文題名

サブマージアーク溶接におけるスラグからフラックスへの再生利用に関する研究

論文内容の要旨

本研究は、サブマージアーク溶接 (Submerged Arc Welding; SAW) で生成するスラグを、SAW 用フラックスへと再生利用する技術に関して、従来には殆ど研究知見が無かったスラグ中の微小鋼粒子 (Metallic Steel 粒子; 以下 M. S. 粒子と記載) に注目して検討した。ここでは、SAW 時に鋼板表面に散布される紛体をフラックス、フラックスが溶融して溶接後に溶接金属表面に生成する固形物をスラグと称する。SAW においてフラックスは、欠陥の無い健全な溶接継手の形成、及び溶接金属の機械的特性の観点で極めて重要な溶接材料である。フラックスは地殻から産出される Al, Si, Ca, Mg, Ti, Mn, K 等の酸化物、弗化物、炭酸塩を原料としている。本研究の意義は、1) 上記のような有限の天然資源を永続的に利用すること、2) スラグは産業廃棄物として処理されていると考えられるが、これによる環境負荷を極力抑制すること、3) スラグの再生利用による経済的効果を得ること、の 3 点である。本論文は全 8 章で構成されている。第 1 章は緒論であり、本研究の背景、目的、及び研究の方針を述べた。第 2 章は成分の異なる 2 種類のフラックスを用いて SAW を実施し、生成したスラグとフラックスにおいて成分、結晶構造、溶融挙動の差異を調査した。両フラックスに共通して、成分ではフラックスよりスラグにおいて Fe と P が増加した。Fe の一部はスラグ中で M. S. 粒子として存在しており、M. S. 粒子はアーク熱による Fe と合金元素の蒸発がその生成機構であるとの知見を得た。結晶質のスラグでは M. S. 粒子が $Mg_xMn_{(1-x)}Al_2O_4$ の内部に偏在していた可能性が高いと結論付けた。また、フラックスとスラグの両者は結晶構造と溶融挙動が同一であると確認した。第 3 章では溶接ワイヤと被溶接鋼材 (母材) の一方にトレーサとして Ni を含有させる手法を用いて、M. S. 粒子の主たる発生元が溶接ワイヤであり、母材ではないことを明らかにした。第 3 章は第 2 章と同一のフラックスを使用した。フラックスによってスラグに含有される金属状態の Fe (Metallic Fe; M. Fe) 濃度が異なった。この理由はフラックスによって SAW のアーク温度が異なること、即ち SAW 時に蒸発した Fe 量の違いに起因すると実験的に検証できた。第 4 章でも第 2 章、第 3 章と同一のフラックスで SAW を実施し、スラグ中の P が M. S. 粒子以外の部分に主として分布していることを明らかにした。スラグの再生処理に関して P 濃度の低減は重要な課題である。ここではスラグを電子線マイクロアナライザで解析した結果に基づき、スラグ中の P を M. S. 粒子へ移行させ、これをスラグから分離する手法で P 濃度の低減を意図した。具体的には、P の移行に必要な時間が確保できる「スラグの再溶融」を選定し、再溶融中に M. S. 粒子が粗大化して溶融炉低へ沈降することを提言した。第 5 章では透過型電子顕微鏡 (TEM) の電子線回折でスラグと M. S. 粒子の結晶方位を調査した。その結果、M. S. 粒子と $Mg_xMn_yTi_{(1-x-y)}Al_2O_4$ との間で Baker-Nutting の方位関係と低いミスフィット値が確認できた。第 2 章では M. S. 粒子と $Mg_xMn_{(1-x)}Al_2O_4$ の格子整合性を鑑み、両者間での界面エネルギーを低減できることが M. S. 粒子偏在の理由であると仮説を立てたが、これを実験的に検証できた。また、第 3 章では Fe と Ni の蒸気が不均一に混合している可能性を示したが、TEM の電子線回折と TEM に付属のエネルギー分散型 X 線分析器で M. S. 粒子を解析し、Ni が濃化したオーステナイト相の M. S. 粒子を確認した。本研究以前ではスラグの再生処理において Fe の除去には磁力選鉱が提唱されていたが、オーステナイト相の M. S. 粒子は磁石に付着しない。しかしながら、スラグの再溶融ならこの問題が回避できると提言した。第 6 章では SAW のヒュームと M. S. 粒子の Ni 濃度を直接的に比較する手法を用い、M. S. 粒子が Fe 及び合金元素の蒸発で生成したことを実験的に証明した。また、M. S. 粒子の凝固においては、微小粒子の融点降下は無視できると判断した。第 7 章ではスラグを再溶融してフラックスへ再生できるか否かを実験的に検証した。その結果、スラグの再溶融によって溶接前のフラックスと同等程度までスラグの P 濃度を低減できた。再溶融によって粒状の鋼がスラグから分離され、坩堝の底部及び内面壁に付着した。当該の粒状鋼には P が濃化しており、第 4 章の仮説を実験的に検証できた。第 8 章は総括として本研究の主要知見を纏めて再度記述した。再溶融ではスラグ中の P を M. S. 粒子内へ移行できる時間が確保できたが、この時間が不足であったスラグ中の M. S. 粒子内には P が殆ど存在していないことが解った。このため、スラグを粉砕して M. S. 粒子を単に磁力選鉱で除去してもスラグの P 濃度は明瞭には低減できないとの指針を得た。本研究で検討したスラグの再溶融は工業的な応用が可能であり、地球環境保全への貢献、及び経済効果の発現が期待される。

論文審査の結果の要旨及び担当者

| | | | |
|-----------------|-----|-----|-------|
| 氏 名 (児 嶋 一 浩) | | | |
| 論文審査担当者 | (職) | 氏 名 | |
| | 主 査 | 教 授 | 田中 敏宏 |
| | 副 査 | 教 授 | 宇都宮 裕 |
| | 副 査 | 教 授 | 藤井 英俊 |
| | 副 査 | 講 師 | 鈴木 賢紀 |

論文審査の結果の要旨

本研究は、産業廃棄物として処理されているサブマージーク溶接 (Submerged Arc Welding; SAW) において生成するスラグを SAW 用フラックスへ再生利用するための技術開発に関して、スラグ中の微小鋼粒子 (Metallic Steel 粒子; M. S. 粒子) の除去に着目し、M. S. 粒子の生成要因やスラグ中から M. S. 粒子への P の移行挙動について詳細に検討している。得られた結果は下記の通りである。

- (1) 塩基度の異なる 2 種類のフラックスを用いて SAW を実施し、生成したスラグとフラックスにおいて成分、結晶構造、熔融挙動の差異を調査している。両フラックスに共通して、フラックスよりもスラグにおいて Fe と P の濃度が増加することを見出している。Fe の一部はスラグ中で M. S. 粒子として存在しており、M. S. 粒子は溶接時の飛沫によって生成したものではなく、アーク熱による Fe と合金元素の蒸発がその生成要因である可能性を考察している。また結晶質のスラグでは M. S. 粒子が $Mg_xMn_{(1-x)}Al_2O_4$ の内部に偏在していることを見出している。さらに、フラックスとスラグの両者は結晶構造と熔融挙動が同一であることを確認している。
- (2) 溶接ワイヤと被溶接鋼材 (母材) の一方にトレーサとして Ni を含有させる手法を用いて、M. S. 粒子の主たる発生源が溶接ワイヤであることを明らかにしている。また SAW のヒュームと M. S. 粒子の Ni 濃度を比較することによって、M. S. 粒子が Fe 及び合金元素の蒸発によって生成したことを実験的に証明している。さらにフラックスの種類によって、スラグに含有される金属状態の Fe 濃度が異なることを見出し、この理由として、フラックスの種類によって SAW のアーク温度が異なり、SAW 時に蒸発した Fe 量の違いがその原因であることを実験的に検証している。
- (3) スラグと M. S. 粒子の結晶方位を調査し、M. S. 粒子と $Mg_xMn_yTi_{(1-x-y)}Al_2O_4$ との間で Baker-Nutting の方位関係が低いミスフィット値を示すことを確認しており、M. S. 粒子と $Mg_xMn_{(1-x)}Al_2O_4$ の格子整合の良好性が同相中への M. S. 粒子の偏在の理由であることを実験的に検証している。また、Ni が濃化したオーステナイト相の M. S. 粒子の存在を確認しており、同相の M. S. 粒子は磁性を有しないため、Fe の除去として従来の磁力選別が必ずしも適切でないことを指摘している。
- (4) スラグ中の P が M. S. 粒子以外の部分に主として分布し、粒径の大きな M. S. 粒子中には P が濃化する傾向のあることを見出している。スラグ中の P を M. S. 粒子へ移行させ、スラグ中の P 濃度を低減することを目的として、P の移行に必要な時間が確保できる「スラグの再熔融」が有効であり、さらに再熔融中に M. S. 粒子が粗大化して熔融炉底へ沈降し、スラグからの M. S. 粒子の除去の可能性があることを提言している。
- (5) スラグを再熔融してフラックスへ再生するための実証実験を行い、再熔融によって粒状の鋼がスラグから分離されて、るつぼの底部及び内面壁に付着し、さらに粒状鋼には P が濃化し、スラグの再熔融によって溶接前のフラックスと同程度までスラグの P 濃度を低減できることを明らかにしている。

以上のように、本論文はサブマージーク溶接時に生成するスラグの再利用技術の開発に寄与する新たな知見を多数含んでおり、材料工学の発展に貢献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。