

セラミックスを混合した Co-Cr-Mo 合金のプラズマ粉体肉盛溶接時の硬さ*

桑嶋 孝幸**、園田 哲也**、斎藤 貴**

Co-Cr-Mo 合金は優れた特性を有する生体材料のひとつである。CCM 合金は高価であり、加工性も悪いことから安価な材料との複合化、接合技術が不可欠である。本研究では PTA 溶接法で軟鋼へ肉盛溶接を行った。セラミックス粉末を混合して肉盛溶接を行うことによって CCM 合金単体と比較して大幅に硬さを向上させることができた。溶接金属の硬さは、溶接電流の増加によって低くなった。

キーワード：CCM 合金、混合粉末、PTA 溶接

Hardness of Plasma-Transferred-Arc Weld of Mixed Powders of Co-Cr-Mo Alloys and Ceramics

Takayuki Kuwashima, Tetsuya Sonoda and Takashi Saito

Cobalt-chromium-molybdenum (CCM) alloy has excellent properties for use as a biomaterial and can be welded onto mild steel using plasma-transfer-arc welding. This study focuses on using this technique for industrial purposes. A mixed powder of CCM alloy and Cr_2C_3 ceramic is used as welding material. The welded metal is harder than the CCM alloy alone, although the hardness decreases with increasing welding current.

key words : CCM alloy, mixed powder, PTA welding

1 緒 言

Co-Cr-Mo 合金（以下、CCM 合金と記す）は、機械的強度が高く耐食性が良い材料で、人工関節などの生体材料を中心に応用されている。岩手県においても原材料を製造して生体材料メーカーへ供給している企業があり、今後の市場拡大が期待されている。

一方、CCM 合金の優れた特性を一般産業へも応用しようとする試みも盛んに行われており、プラスチック射出成形機用スクリュー等の試作等が行われている。

一般的に CCM 合金は高価であり、加工性も悪いことから安価な材料との複合化、接合技術が不可欠である。岩手県工業技術センターにおいても溶射法やプラズマ粉体肉盛溶接法（以下、PTA 法と記す）などによって、鋼材との複合化技術開発に取り組んでいる¹⁾。溶射法による複合化技術の開発では、CCM 合金単体でマイクロビッカース硬さ 550 が得られた²⁾。加工速度や製品形状の自由度で、溶射法が優れている点もあるが、皮膜と基材は機械的なアンカー効果で接合されているために溶接法と比較して信頼性や接合強度で劣る。反面、PTA 法では溶接金属と基材は冶金的な接合で接合強度が高く、継ぎ手の信頼性は高い。CCM 合金を PTA 溶接した報告はあまりなく、また、セラミックス粉末と混合した粉末を PTA 溶接した報告は見当たらない。

そこで本研究では、CCM 合金とセラミックスとの混合粉末を用いて、PTA 法による CCM 合金の複合化技術に関

する検討を行うとともに、ダイカスト分野での部品等への応用を考慮して Al 溶湯中での耐久性評価を行った。

2 実験方法

2-1 供試材

実験に用いた CCM 合金粉末は、山陽特殊鋼（株）製のガスアトマイズ粉末である。粉末外観の SEM 写真を図 1 に示す。粉末形状は球形で粒径は 63~150 μm である。また、溶接金属の硬さを向上させる目的でセラミックス粉末を CCM 合金粉末と混合して PTA 溶接を行った。用いたセラミックス粉末は、 Cr_2O_3 と Cr_3C_2 の 2 種類である。両粉末外観の SEM 写真を図 1 に併せて示す。セラミックス粉末は、粉砕法で製造されたもので形状が角張っていることがわかる。粉末は V 型混合器で混合して使用した。

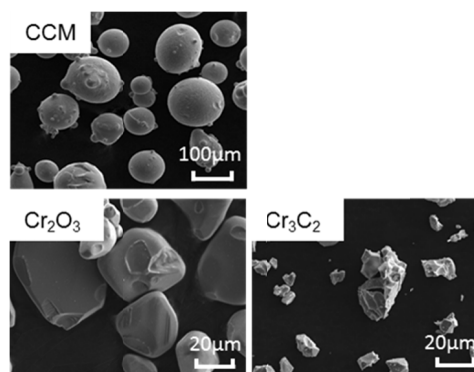


図 1 粉末外観の SEM 写真

* 平成 24~25 年度 JST 復興促進プログラム (A-STEP 探索タイプ)

** ものづくり基盤技術第 1 部 (現 機能表面技術部)

*** ものづくり基盤技術第 1 部 (現 企画支援部)



図2 PTA溶接法の概要

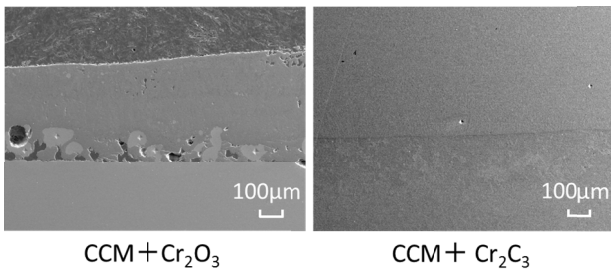


図3 PTA溶接金属断面のSEM写真

混合比は、体積比でCCM合金：セラミックス粉末=60:40である。基材は、SS400(一般構造用圧延鋼材)を用いた。

2-2 溶接方法

使用した溶接機は、日鐵溶接工業(株)製のNW-300ASR(電源)、150PPH(溶接トーチ)である。

溶接トーチは(株)安川電機製の六軸多関節ロボットに取り付けウィングを行いながら溶接を行った。ガスはアルゴンガスを用いて、パイロットガス流量1.5L/min、溶接速度6cm/min、溶接電流を150A、180Aの2水準で溶接を行った。PTA溶接の写真を図2に示す。

2-3 評価方法

溶接した試験片は、精密切断機で切断して樹脂に埋め込み研磨して、組織観察、マイクロビッカース硬さ測定を行った。マイクロビッカース硬さは、(株)ミットヨ製HM-221を用いて、0.1mmステップで硬さ分布測定を行った。試験荷重は200gである。

溶接金属の分析は、日本電子(株)製のFE-EPMA装置(JXA-8530F)を用いて、金属組織観察、面分析を行った。

液体金属中での耐久性を調べるために純アルミ溶湯中に試験片を浸漬して、一定時間ごとに取り出し、断面を観察して評価した。

3 実験結果及び考察

3-1 セラミックス粉末の選択

はじめに混合するセラミックス粉末を選択するために同量混合した Cr_2O_3 と Cr_2C_3 セラミックス粉末を同条件でPTA溶接した。溶接金属断面のSEM写真を図3に示す。 Cr_2O_3 を混合した断面組織は、基材界面付近に白い組織が認められる。これは混合したセラミックス粉末粒子であると思われる。一方、 Cr_2C_3 を混合したものは一様な組織

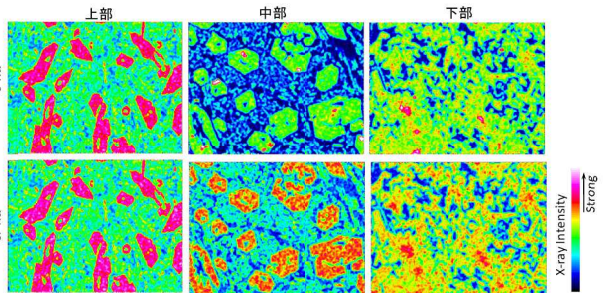
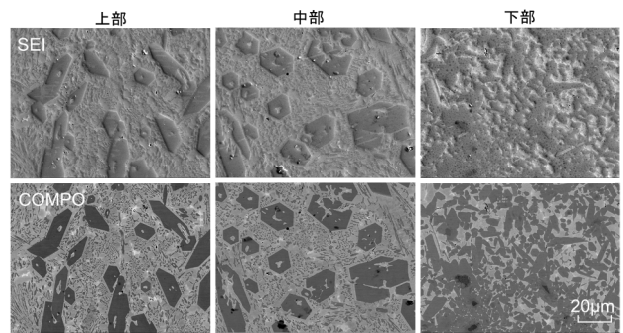


図4 PTA溶接金属断面のSEM写真と面分析結果(溶接電流:150A)

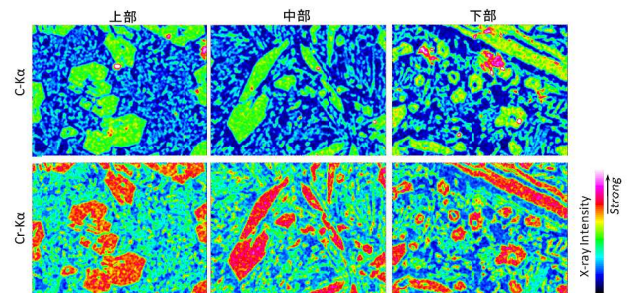
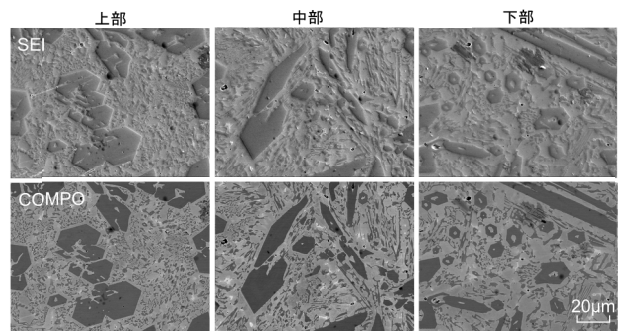


図5 PTA溶接金属断面のSEM写真と面分析結果(溶接電流:180A)

となっており、溶接金属と金属基材界面の状態も良好である。これらの結果から、 Cr_2C_3 を混合するセラミックス粉末として選択し、溶接条件を変化させて、その影響を調査するとともにAl溶湯中での耐久性の評価を行った。

3-2 溶接条件の組織、硬さへの影響

CCM合金粉末と Cr_2C_3 セラミックス粉末の混合粉末で溶接電流を変化させて溶接を行った。溶接電流は150A、180Aの2水準である。図4、図5にそれぞれのSEM写真を示す。観察は、溶接金属の下部、中部、上部の3箇所を観察している。溶接電流150Aでは下部組織が非常に細

かい角張った組織となっている。これに対して、中部、上部は大きな角張った組織の周りに細かな組織が観察されている。溶接電流 180A では、下部組織でも大きな角張った組織が観察されている。面分析の結果からこの角張った組織は、Cr 炭化物であることがわかる。この炭化物の大きさは、混合した Cr_2C_3 よりも大きな物が多くあることから、溶接によって CCM 合金粉末中の Cr と Cr_2C_3 とが反応してできた炭化物である。はじめに大きい炭化物が凝固時に析出し、その後、その周りに細かい炭化物が析出しているものと考えられる。凝固は金属基材側から始まり上部が最終凝固部となると考えられる。溶接金

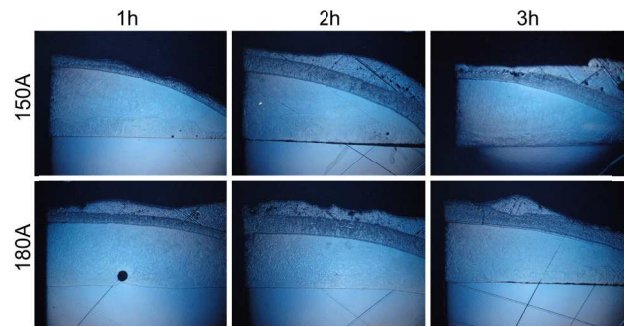


図7 Al 溶湯浸漬試験後の PTA 溶接金属断面のマクロ写真

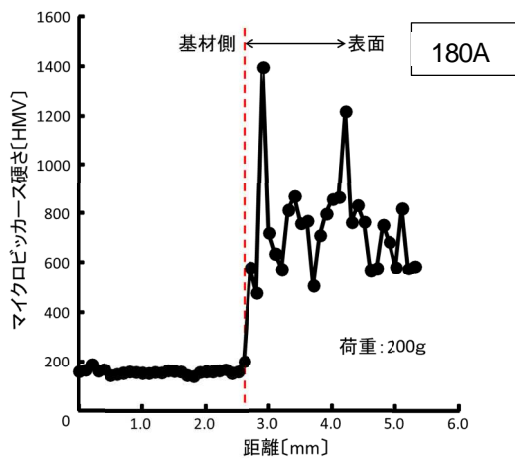
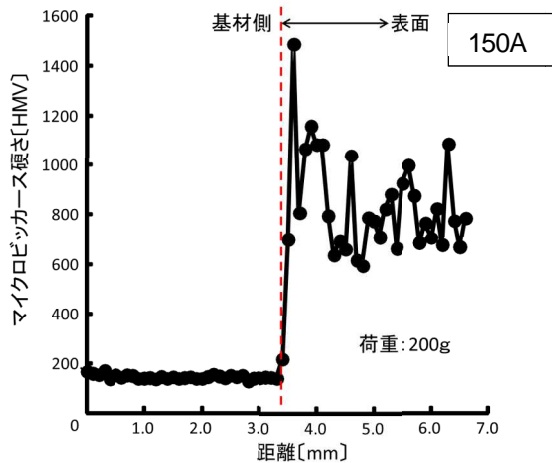


図6 PTA 溶接金属断面の硬さ分布
(溶接電流、上: 150A、下: 180A)

属下部組織が細かいのは、CCM 合金と Cr_2C_3 が十分に反応する時間が短いことが影響しているものと推察される。

3-3 溶接金属の硬さ分布

次に溶接金属の硬さ分布を図6に示す。金属基材の硬さは200程度であるが溶接金属はそれよりも硬くなっている。溶接電流 150A では、溶接金属の硬さは800程度であるが 180A では700程度となっており、少し下がっている。これは溶接電流が大きいため金属基材の溶融量が増加して希釈されたためである。

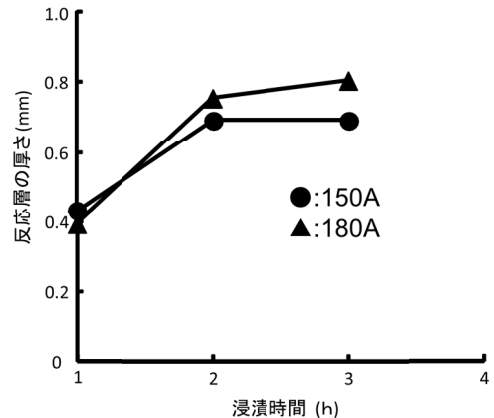


図8 Al 溶湯浸漬時間と反応層厚さの関係

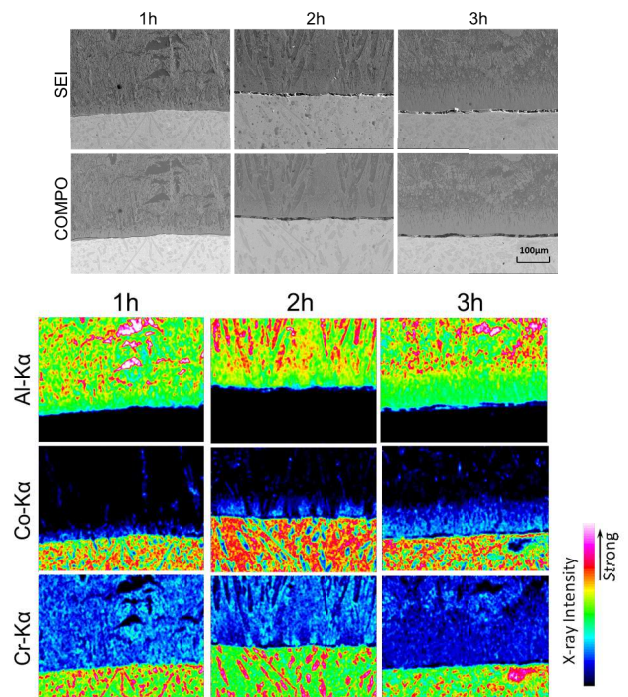


図9 Al 溶湯浸漬後の溶接金属断面の SEM 写真と面分析結果 (溶接電流: 150A)

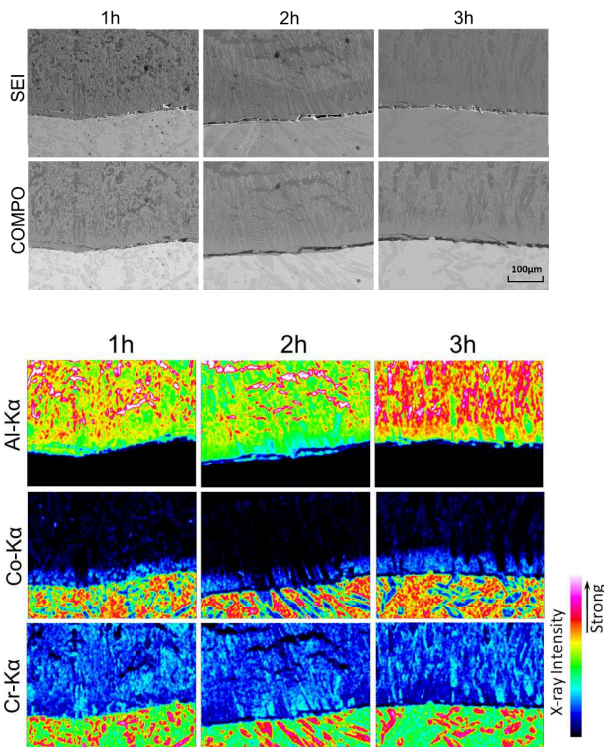


図10 Al 溶湯浸漬後の溶接金属断面のSEM写真と面分析結果 (溶接電流: 180A)

3-4 Al 溶湯中での耐久試験結果

次にAl 溶湯中での耐久試験結果について述べる。図7に試験片断面のマクロ写真を示す。溶湯に触れている上部に溶接金属とAlの反応層が観察されている。反応層は時間の経過とともに厚くなっている。浸漬時間と反応層の厚さの関係を図8に示す。時間の経過と共に反応層厚さの増加は少なくなっている。このことから反応速度は徐々に遅くなっていることがわかる。また、溶接電流に

よる差はあまり大きくない。

次にこれらの試験片のAl 溶湯と溶接金属界面のSEM写真と面分析結果を図9、図10に示す。Coの濃度が界面で変化している。溶接金属中の Cr_2C_3 は安定な化合物であることから、はじめにAl 溶湯と接触しているマトリクス中の金属成分がAl 溶湯と反応して、反応層が形成されているものと考えられる。

4 結 言

本研究では、CCM合金をPTA溶接法でSS400と複合化することを目的として実施した。得られた知見をまとめると以下のとおりである。

- (1) CCM合金と Cr_2C_3 セラミックスの混合粉末をPTA溶接することでマイクロビッカース硬さ800が得られ、CCM合金単体と比較して大幅に硬さを向上させることができた。
- (2) Cr_2O_3 セラミックスの混合粉末は均一な溶接金属が得られなかった。
- (3) 溶接電流を高くすると硬さは低下する傾向が認められた。これは金属基材の希釈効果によるものと考えられる。
- (4) Al 溶湯中での浸漬試験では、時間の経過と共に反応層の増加が確認された。

文 献

- 1) 地域イノベーション戦略支援プログラム(グローバル型)研究成果集、財団法人いわて産業振興センター(2013)
- 2) 桑嶋孝幸、柳原圭司、飯村崇、園田哲也、岩淵明、千葉晶彦:溶射、日本溶射学会誌、第50巻、第1号(2013)