

擬合金溶射の均一化のための螺旋キャップの開発

Development of Spiral Cap for Uniformity of Pseudo-Alloy Thermal Sprays

橋野慶介* 宮脇克哉** 湯地 実** 丸田康平**

Keisuke Hashino Katsuya Miyawaki Minoru Yuji Kohei Maruta

アーク溶射では溶射線材に異なる2種類の金属材料を使用した擬合金溶射と呼ばれる溶射が可能であるが、擬合金溶射で形成される溶射皮膜状態によって溶射皮膜の性能が大きく左右される。皮膜性能が偏らないよう一般的に各金属粒子は均一に分布していることが望まれるが、異なる金属粒子を均一に分布させることは容易でない。

今回、擬合金溶射において金属粒子を均一化するため螺旋溝構造を持つ溶射キャップを開発した。表面元素分析によりこの螺旋キャップを使用した溶射皮膜について、各種金属粒子の分布の均一性が向上したことを確認した。さらに、均一性の向上により溶射量を少なくしても従来と同等の腐食性を有することを確認したので報告する。

In arc spraying, it is possible to use a different metal material for the thermal spray wire, called quasi-alloy spraying. In general, it is desirable that the metal particles are uniformly distributed so that the film performance is not biased, but it is not easy to uniformly distribute different metal particles. Therefore, we have developed a thermal spray cap with a spiral groove structure that realizes a uniform distribution of metal particles during pseudo-alloy thermal spraying. It was confirmed by surface elemental analysis that the distribution of various metal particles was uniform in the thermal spray coating using this spiral cap. In addition, it was confirmed that even if the amount of thermal spraying is reduced, it has the same corrosiveness as conventional ones due to the homogenization.

1 はじめに

近年、省エネルギーを目的として製品の長寿命化が進められており、溶融した金属材料を被溶射物に吹付け、被溶射物表面に皮膜を形成することで被溶射物の長所（例えば機械的強度、質量特性、材料コストなど）を活かしながら、溶射線材に応じた表面特性（耐食性、耐摩耗性、耐熱性）を付加することが可能である溶射に注目が集まっている。

特にアーク溶射では、各電極の溶射線材に異なる2種類の金属材料を使用した擬合金溶射が可能で、各金属材料の特性に応じた皮膜が形成でき、金属材料の組合せについて研究開発が進められている。しかし、2種類の金属粒子を均一に分布させることは容易ではなく、皮膜性能に偏りが生じやすいという課題があった。

今回、擬合金溶射において金属粒子の分布の均一化を目的に、螺旋溝構造を持つ溶射キャップを開発したため報告する。

2 アーク溶射による擬合金溶射

アーク溶射は、溶射線材と呼ばれる2本の金属材料間でアーク放電を発生させ、この時生じるエネルギーによって溶射線材を溶融させる溶射方式の一種である。溶融した金属材料を高圧空気により被溶射物に吹付け、被溶射物表面に皮膜を形成する表面処理である(図1参照)。

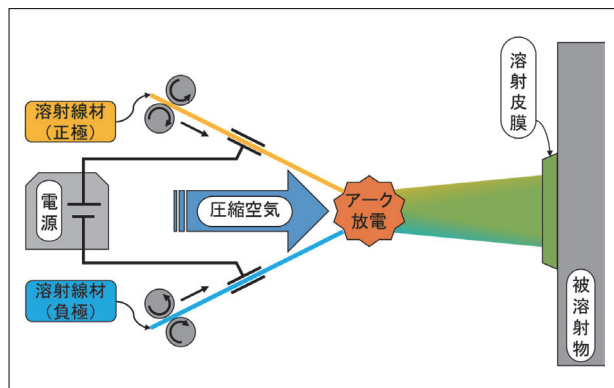


図1 アーク溶射方法

アーク溶射は各電極の溶射線材に異なる金属材料を選択することが可能で、各金属材料の特性に応じた皮膜が形成できる。

3 溶射キャップの構造検討

3.1 従来型キャップの評価

図2に従来型キャップにより擬合金溶射を施工した試験片表面の元素分析の結果を示す。なお、溶射線材には当社製品であるGX継手のダクタイル鉄管およびソフトシール仕切弁の外表面耐食亜鉛系塗装に使用されるZnおよびAl合金の溶射線材を使用した。また、表面分析には島津製作所製電子線マイクロアナライザEPMA-1720を使用した。

*バルブシステム事業部 バルブ製造部 **同 バルブ技術部

試験片の元素分析結果を確認するとアルミニウム元素が天側に偏って分布していることがわかる。このように擬合金溶射においては、直線送りという単純な溶射でさえ、金属粒子を均一に分布させることが容易ではなく、偏りが大きかった。

3.2 螺旋キャップの開発

従来型キャップではエアが放射状に放出されているにも関わらず、溶射皮膜表面の各金属粒子は均一に分散していないことを確認した。

これに対して螺旋キャップでは旋回流により各金属粒子を攪拌し、エアを中央に集めるという逆転の発想により、溶射皮膜表面の各金属粒子の均一性を向上させることに成功した。

3.2.1 溶射キャップの構造変更

擬合金溶射皮膜の均一化にあたり、金属粒子の飛散状況に大きな影響を与えている空気の流れに注目した。溶射ガンから出た空気の流れを旋回流とし、金属粒子を攪拌することで、溶射皮膜の均一性が向上すると考えた。

通常、溶射ガン内部で空気の供給が行われており、その溶射ガンの出口は溶射キャップによって絞られている(図3参照)。溶射キャップ内面を螺旋形状とすることで、空気の流れを旋回流とした。

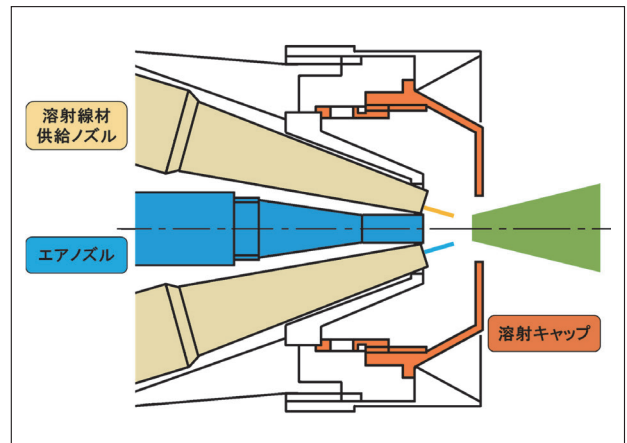


図3 溶射ガンの構造

3.2.2 試作モデルのCFD解析

本開発では、溶射キャップの3Dモデリングを作成し、CFD解析(Computational Fluid Dynamics: 数値流体解析)を用いて空気の流れを視覚化することで溶射キャップ内面の螺旋溝による空気の流れの変化を観察した。

図4は、それぞれ従来型キャップと螺旋キャップによるメインエアの流れを視覚化したものである。

溶射ガンの形状およびメインエアの設定条件は、当社

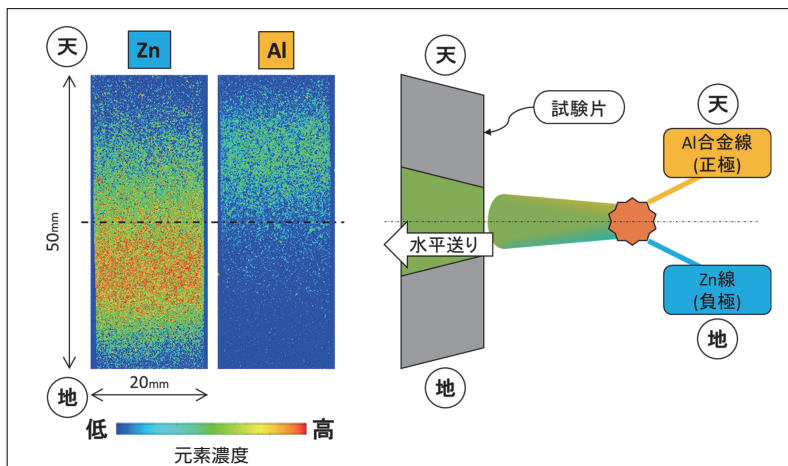


図2 擬合金溶射の表面元素分析結果(従来型キャップ使用)

キャップ形状	従来キャップ	螺旋キャップ
解析キャップモデル (内面から見る)		
CFD解析結果		

図4 CFD解析結果比較

製品のGX継手ソフトシール仕切弁の外面耐食亜鉛系塗装における溶射条件と同一とした。

従来型キャップにおけるメインエアの流れは、放射状に流れている。対して螺旋キャップにおいては、メインエアの流れが旋回流となり広がることなく中央に集まっている。

この解析結果から、溶射キャップ内面の螺旋形状が、効果的に空気の流れを旋回流とすることが確認できた。

3.2.3 表面元素分析

CFD解析にて空気の流れが旋回流となったモデルについて試作品を作成した。完成した試作品内部の形状を図5に示す。

試作品の螺旋キャップを使用して擬合金溶射を行い、表面金属粒子の分布状況の確認を行うこととした。溶射試験は図2に示す試験から溶射キャップのみを変更した試験条件とした。図6に螺旋キャップにより擬合金溶射を施工した試験片の表面元素分析の結果を示す。

図2と図6の表面元素分析結果を比較すると、螺旋キャップを使用した溶射皮膜の表面には広い範囲でアルミニウム元素を確認することができ、螺旋キャップによって生じた旋回流が各金属粒子を攪拌し、従来よりも均一に分布した溶射皮膜を形成したと判断できる。



図5 螺旋キャップ（試作品）

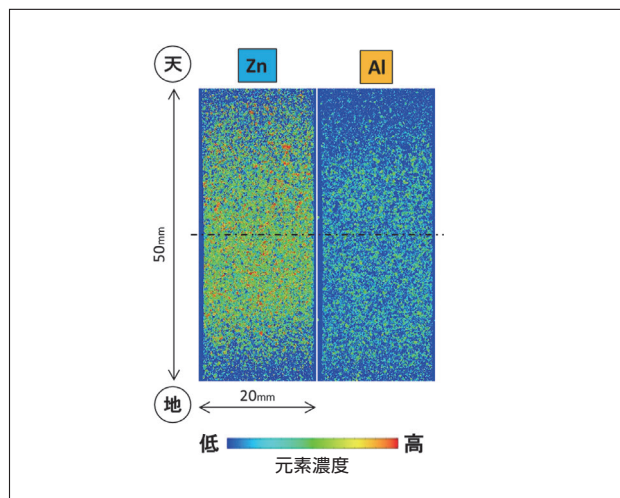


図6 擬合金溶射の表面元素分析結果（螺旋キャップ使用）

4 螺旋キャップを用いて施工した溶射皮膜の耐腐食試験

4.1 試験条件

従来よりも金属粒子を均一に分布させた溶射皮膜の耐腐食性について有効性を確認するため、表1に示す試験片Aと試験片Bを製作し、塩水噴霧／乾燥／湿潤を繰り返す複合サイクル試験を行った。複合サイクル試験は、実際の使用環境で耐久試験を行うと非常に膨大な試験時間を要するような場合に用いられる腐食促進試験である。実際の使用環境よりも厳しい条件下に置き、腐食や損傷の経過を観察し相当使用年数を算出する試験方法である。今回の試験では試験片にクロスカットを施した後、「JIS K 5600 7-9 塗料一般試験方法サイクル A（表2参照）」に規定されるサイクル腐食条件により360サイクル（120日）実施した。

表1 試験片製作条件

製作条件		試験片 A	試験片 B
溶射	キャップ	従来型キャップ	螺旋キャップ
	線材（正極）	Al 合金線	
	線材（負極）	Zn 線	
	時間比率 ^{*1}	100%	85%
	使用線材比率 ^{*1}	100%	85%
試験片	材質	FCD450-10	
	寸法	約 185 × 約 50 × 約 9 t	
	封孔材	クリモトコート FP ガード	
	合成樹脂塗装	1層目：クリモトコート NT#100 新 H グレー 2層目：ダクタイト # 100S	

※1：当社、GX継手ソフトシール弁標準溶射条件を100%とする。

表2 複合サイクル試験条件

複合サイクル試験条件（JIS K 5600 7-9 サイクル A）			
No	時間 (h)	温度 (°C)	条件
I	2	35 ± 1	塩水噴霧
II	4	60 ± 1	乾燥 20 ~ 30%RH
III	2	50 ± 1	湿潤 95%RH およびそれ以上
No. I ~ III を合計 360 サイクル（120 日）行う。			

4.2 試験結果

複合サイクル試験終了後における試験片のクロスカット部拡大写真を図7に示す（クロスカット部は犠牲陽極作用により溶射の消耗が早くなり、腐食が最も発生しやすい箇所となる）。

螺旋キャップを使用した試験片Bは、従来型キャップを使用した試験片Aよりも溶射量を15%低減させたが、従来と同様の耐食性を示した。これは、螺旋キャップにより溶射ガンから金属粒子が従来よりも均一に分布しているため、必要以上に溶射を重ねる必要がなく、より効率的に溶射できるためである。

また、溶射量を15%低減することは、溶射時間を15%短縮することにもつながるので、溶射工程のリードタイム短縮が可能となった。

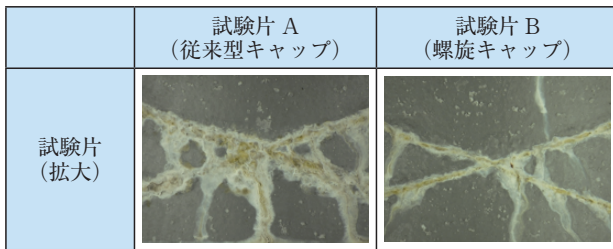


図7 複合サイクル試験結果

5 おわりに

今回開発を行った螺旋キャップは、擬合金溶射における金属粒子の分布を従来よりも均一にする能力が非常に高いことを示した。従来型キャップから螺旋キャップへ切り替えることによって、皮膜性能の偏りを防ぐとともに、これまで必要以上に重ねていた溶射量を最適化することが可能であることも示唆している。

今回の開発では、耐食亜鉛系塗装に使用される Zn-Al 系の擬合金溶射を対象に開発を進めたが、本螺旋キャップは耐食目的にとどまることなく、さまざまな用途の溶射においても効果を発揮するものと考えている。

執筆者：

橋野慶介

2015 年入社

バルブ設計・開発に従事

2019 年よりバルブ製造に従事



宮脇克哉

1970 年入社

バルブ設計・生産技術に従事



湯地 実

2020 年入社

バルブ開発に従事



丸田康平

2002 年入社

バルブ設計・開発に従事

