

# 廃棄ブラスト用アルミナ研削材の溶射材への適用

## *Reusing Waste Alumina for Abrasive Blasting as Thermal Spray Material*

足立 振一郎\*      藤田 直也\*      花立 有功\*\*  
*Shin-ichiro Adachi      Naoya Fujita      Yuko Hanatate*

(2002年7月16日 受理)

Coatings were prepared by plasma spraying waste powders of white fused alumina for abrasive blasting (coating A), and alumina powders as thermal spray material (coating B), on mild steel. Coating hardness was measured by a microvickers hardness tester. Tribology testing was carried out under unlubricated conditions using an Ogoishi rapid wear-testing machine where a rotor of SUJ-2 was rubbed against a coating on mild steel. Hardness and wear resistance test results showed no mechanical difference between coatings A and B. There is no doubt that coating A can be utilized as a wear resistant coating. Corrosion resistance was evaluated by a soaking test in salt water. Coating A was inferior to coating B in corrosion-prevention performance. This result may be attributed to more pinholes in coating A. Addition of metal powders to waste alumina induced elaborate patterns in the coatings.

キーワード：アルミナ，研削材，プラズマ溶射，再利用，耐食性，耐摩耗性，意匠性，

### 1. はじめに

ブラスト処理とは、研削材を吹き付けることで被加工物表面の酸化物や付着物を除去して清浄化し、また表面の粗面化を行う処理である。鋳物品の表面酸化層の除去や建築壁材の凹凸模様の作製、防せい防食を目的とする塗料などを被覆する前の素地調整など、さまざまな産業分野でブラスト処理が施工されている。また、溶射工程においても皮膜の密着強度を上げるための前処理として一般的に行われている。

ブラスト処理で使用される研削材は、アルミナ、ジルコニア、炭化ケイ素、鑄鉄やけい砂などが一般的である。これらの中でも、アルミナは低価格で抗破碎性が大いことから比較的好く使用されている。しかしながら、研削材はある程度使用すれば粉碎や破砕して研削効果が低下するので、交換が必要である。また、実際のブラスト処理では被研削粉が研削材に混

入するなどして被加工物が汚染されるのを防ぐために、交換することもある。

交換された研削材をブラスト処理に再使用することは困難であり、産業廃棄物として処分されているのが現状である。しかしながら、環境問題などの観点から廃棄処分はあまり好ましくなく、何らかの対応が必用である。そこで、このようなアルミナの廃棄ブラスト用研削材を溶射用の材料として再利用することを検討した。

### 2. 実験

#### (1)アルミナ研削材と溶射用アルミナ粉末

用いたアルミナ研削材は市販されている白色溶融アルミナで、粒度#220 (平均粒径 80 $\mu$ m) である。白色溶融アルミナはパイヤーアルミナを電気炉で溶融して再結晶化したものであり、抗破碎性に優れた研削材として一般的に使用されている。未使用のアルミナ研削材を用いて軟鋼(SS400)の板に対して4hま

\* 材料技術部金属表面改質グループ

\*\* 業務推進部技術普及課

たは6h プラスト処理した後、回収したものを廃棄研削材とした。また、比較のため市販の溶射用アルミナ粉末（平均粒径  $35\mu\text{m}$  程度）も実験に供した。

研削材と溶射用アルミナ粉末の形状を走査型電子顕微鏡((株)日本電子製 JSM-T200)により観察した。また、(株)理学電気製 RINT2000 により X 線回折分析を行った。

粉末の流動性の指標となるタップ密度は試料 50g をメスシリンダーに充填して振動を与えてから見かけの体積を計測することで算出した。

### (2) 溶射皮膜の作製

セラミックスなどの高融点材料の溶射はプラズマ溶射が一般的に行われている。プラズマ溶射はアーク放電を形成してこれにガスを投入することでプラズマジェットを発生させる。このプラズマジェットは最高温度が  $10000\text{K}$  以上あり、プラズマジェット中に粉末材料を投入することで溶融と吹き付けにより皮膜を作製する。実験に用いたプラズマ溶射装置は(株)エアロプラズマ社製 APS7050 である。溶射条件はプラズマ出力  $18\text{kW}$ 、溶射距離  $200\text{mm}$  で、溶射皮膜の基材には厚さ  $3\text{mm}$  の軟鋼(SS400)を使用した。

### (3) 溶射皮膜の特性評価

#### (A) 分析

アルミナの相を同定するために X 線回折分析を行った。また、元素分析には X 線マイクロアナライザー((株)日本電子社製 JXA-8800)を用いた。

#### (B) 硬さ

研磨した皮膜断面をマイクロピッカー硬さ計((株)島津製作所製 HMV-2000)で測定した。試験条件は押し込み荷重  $0.98\text{N}(100\text{gf})$ 、押し込み時間  $15$  秒である。

#### (C) 耐摩耗性

大越式迅速摩耗試験機((株)JT トーシ社製 OAT-U)で試験した。直径  $30\text{mm}$  で厚さ  $3\text{mm}$  の円盤形状の硬さ HRC56 に調質した SUJ2 鋼を回転させ最終荷重  $22.1\text{N}$ 、摩擦距離  $100\text{m}$  で円周面を溶射皮膜に押し付けて、生じた摩耗痕の大きさから比摩耗量  $W_s$  を算出した。

#### (D) 耐食性

塩水浸漬試験により腐食環境に対する環境遮断性能を評価した。溶射皮膜を基材ごと  $20\text{mm}\times 40\text{mm}$  に切り出して、ピーカーを使用して  $300\times 10^{-6}\text{m}^3(300\text{cc})$  の  $3\%\text{NaCl}$  溶液に浸漬した。そして  $313\text{K}$  の恒温槽で  $72\text{h}$  放置した。なお、 $\text{NaCl}$  溶液は  $24\text{h}$  ごとに新しい溶液と交換した。試験後に皮膜表面における腐食生

成物の発生状況を目視で確認することにより評価を行った。

## 3. 結果と考察

### (1) アルミナ研削材と溶射用アルミナ粉末

研削材と溶射用アルミナ粉末を走査型電子顕微鏡で観察したところ、研削材は角張った形状をしており、使用するに従って角が取れて粒径が小さくなっていった。一方、溶射用アルミナ粉末は円盤に近い形状をしていた。

表1 研削材と溶射用アルミナ粉末のタップ密度

Table1 Tap density of abrasives for blasting and of an  $\text{Al}_2\text{O}_3$  powder for thermal spray.

	密度( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	充填度(%)
研削材(未使用)	1850	46
研削材(4h 使用)	1790	45
研削材(6h 使用)	1850	46
溶射用アルミナ	1610	40

表1にタップ密度の測定結果を示す。研削材の充填度が溶射用アルミナ粉末より若干高いことから、流動性は研削材の方が高いと思われる。

図1にX線回折分析の結果を示す。研削材、溶射用アルミナ粉末ともに  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  が主な相であり、若干  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  が含まれている。研削材はプラスト処理に使用すると色調が白色から灰色へと変化しており、被削物の Fe が混入していると考えられた。そこで、被削物の混入状態を明らかにするために4h使用した研削材の組成像と Fe の X 線像を観察したところ、長さ  $20\mu\text{m}$  と  $5\mu\text{m}$  程度の被削物がわずかに認められた。しかし、この程度の混入では、研削材の色調に影響を与えるとは考えにくいことから、微細な被削物が研削材表面に付着していると考えられる。

そこで、6h使用した研削材を濃塩酸で酸洗いしたところ、粉末の色調は灰色から白色へと変化した。酸洗い処理を施すことで金属の被削物を除去することが可能であった。

### (2) 溶射皮膜

溶射皮膜の X 線回折分析の結果を図2に示す。研削材と溶射用アルミナ粉末は主に  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  であったが(図1)、溶射皮膜には  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  が多く存在している。

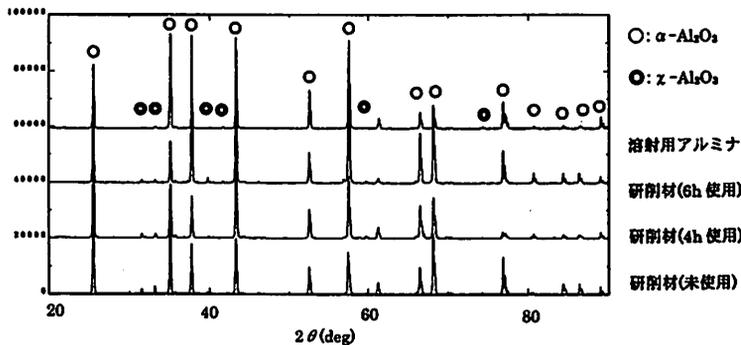


図1 研削材と溶射用アルミナ粉末のX線回折図形

Fig.1 XRD patterns of abrasives for blasting and of an Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> powder for thermal spray.

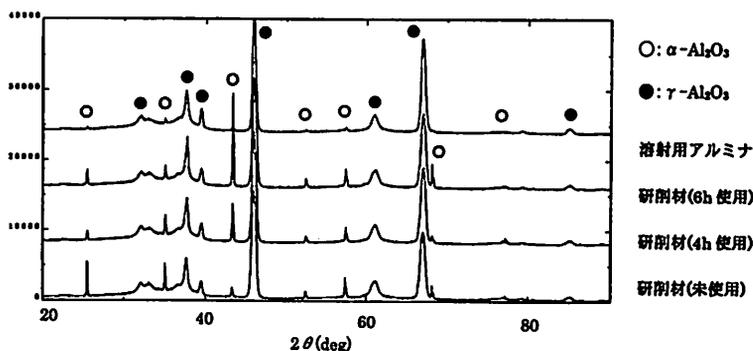


図2 溶射皮膜のX線回折図形

Fig.2 XRD patterns of thermal spray coatings.

これは熔融状態からの急冷凝固により、準安定相であるγ相が室温まで持ちこたされるためと考えられる。6h使用した研削材による皮膜断面の組成像とFeのX線像を観察したが、Feは皮膜中に若干分布しているものの、皮膜に悪影響を与えるような凝集などは認められなかった。また、酸洗いした研削材による

皮膜ではFeがほとんど認められず、酸洗処理が有効であることが認められた。

(3) 溶射皮膜の特性評価

(A) 硬さ

溶射皮膜の硬さを図3に示す。硬さの平均値は未使用の研削材による皮膜が最も硬く、ついで溶射用アルミナ粉末、6h使用研削材、4h使用研削材、酸洗いした研削材による皮膜の順番であった。

研削材による皮膜は溶射用アルミナ粉末による皮膜と比較して硬さに顕著な違いは認められなかった。未使用の研削材による皮膜に比べて廃棄研削材による皮膜の硬さには低下が認められるが、大きな低下はない。また、被削物を除去した酸洗い研削材による皮膜よりも廃棄研削材による皮膜の方が硬い結果が得られた。

(B) 耐摩耗性

種々の皮膜に対する比摩耗量曲線を図4に示す。摩耗速度により比摩耗量は変化するが研削材と溶射用アルミナ粉末による皮膜では顕著な違いがなく、研

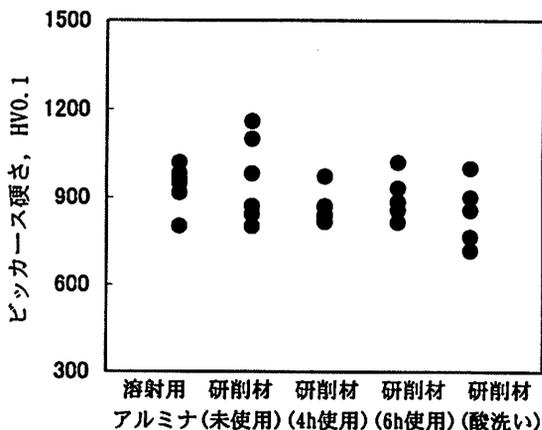


図3 溶射皮膜の硬さ

Fig.3 Microhardness of thermal spray coatings.

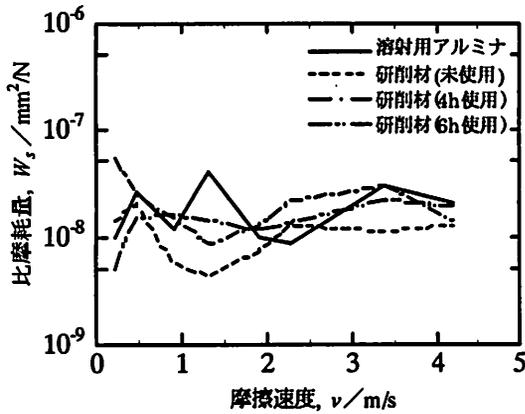


図4 溶射皮膜の摩耗試験

Fig.4 Sliding wear performance of thermal spray coatings.

削材と溶射用アルミナ粉末による溶射皮膜はほぼ同程度の耐摩耗性があることが認められた。

#### (C) 耐食性

塩水浸漬試験の結果、研削材による皮膜は表面がほとんどすべて赤褐色に変色していた。一方、溶射用アルミナ粉末で作製した皮膜の表面は一部だけ赤褐色に変色していた。すなわち、研削材による皮膜の方が溶射用アルミナ粉末による皮膜よりも腐食環境における環境遮断性能に劣ることが認められた。先に示した皮膜のX線回折の結果(図2)から研削材による皮膜の方が溶射用アルミナ粉末による皮膜よりも $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ の回折ピークの強度が大きい。 $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ は熔融状態から急冷されると $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ となるので、皮膜中の $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ はプラズマジェット熱で熔融しなかった粒子が皮膜に混入することで存在する。溶射用アルミナ粉末より研削材の方が粒径が大きいため、研削材の皮膜の方に多くの未熔融粒子を含むためと考えられる。未熔融粒子は成膜の際に変形しないため皮膜に気孔をもたらすが、皮膜表面から基材まで貫通している気孔、すなわち開気孔が研削材の皮膜の方が多く存在するために、環境遮断性能が低下したと考えられる。対策としてアルミをアンダーコートしてから研削材を溶射したところ、環境遮断性能が著しく向上する結果が得られた(特願2000-397612)。

#### 4. 廃棄研削材による溶射皮膜の用途の開発

廃棄研削材による溶射皮膜の用途として、意匠や

装飾を目的とする用途についての可能性について検討した。例えば金属などの表面に廃棄研削材を溶射することで、質感を向上させて重厚感や高級感を出すことが可能であると考えられる。最近は大石などの

表2 研削材へのTiとAlの添加量

Table2 Content of additive metal for abrasive.

	Ti(mass%)	Al(mass%)
皮膜 a	0.5	0
皮膜 b	1	0
皮膜 c	2	0
皮膜 d	1	1

石模様に対するニーズが高まっており、台所の流し台、風呂の内装や部屋の壁材などに大理石や人工大理石などの素材が多く使用されている。そこで研削材に金属などを添加することで、石模様を有する溶射皮膜の開発を行った。

研削材にTiとアルミを表2に示す所定量添加して、これをプラズマ溶射することで得られた皮膜を図5に示す。

皮膜には御影石のような模様が認められる。Tiは窒化チタンの金色と酸化チタンの黒色のバランスにより模様を形成している。また、アルミは溶射皮膜に適度な光沢を与えている。Tiの添加量を増やすと模様の量が多くなり、色調も白色から灰色に近い色へと変化する。Tiの添加量で色調を任意に変化させることができる。

また、プラスチックや木材などに研削材を溶射することで、意匠性の向上だけでなく耐摩耗性や耐熱性の改善にも効果が期待できる。そこで、段ボール、ベニヤ板と塩化ビニールに対して溶射を試みた。溶射の基材は高温のフレームや熔融した材料が付着することで熱影響を受けるため、ある程度の耐熱性が必要である。塩化ビニールに対して研削材をプラズマ溶射したところ、塩化ビニールはプラズマジェットの熱で溶けて燃えた。また、ベニヤ板は炭化して溶射できなかった。

そこで、耐熱性の低い段ボール、ベニヤ板と塩化ビニールに対しては、熱影響の少ないアーク溶射により低融点金属である亜鉛を溶射してから、その上に研削材のプラズマ溶射を試みたところ良好な皮膜が得られた(図6)。

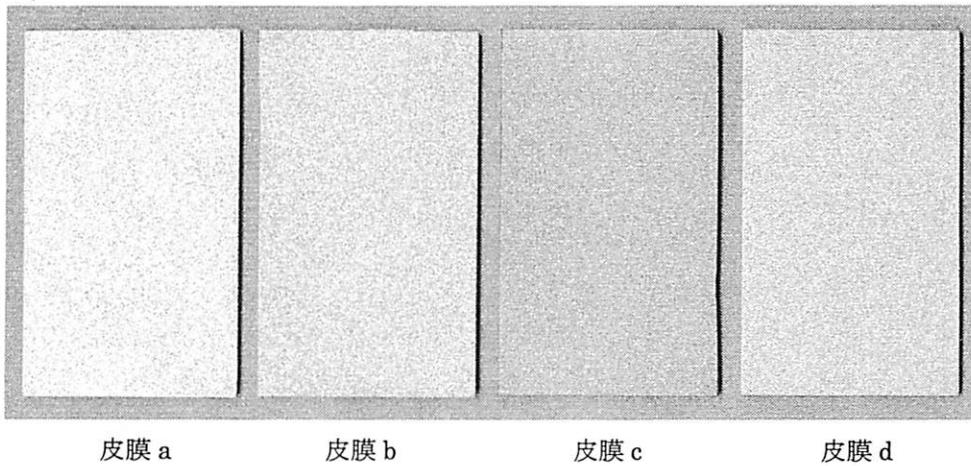


図5 金属を添加した研削材による溶射皮膜

Fig.5 Thermal spray coatings of mixtures of an abrasive and metal powders.

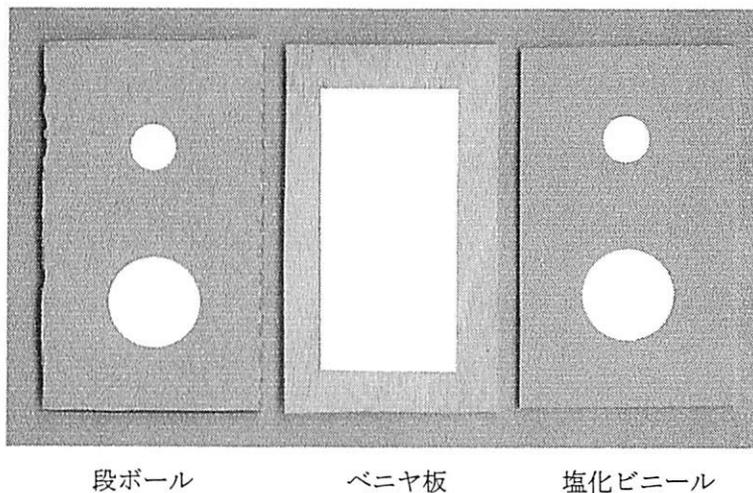


図6 各種基材への溶射

Fig.6 Thermal spraying on various substrates.

## 5. まとめ

廃棄アルミナ研削材を溶射用のアルミナ材料として再利用することについて検討した。研削材による皮膜と溶射用アルミナ粉末による皮膜では、硬さに顕著な違いが認められず、大越式迅速摩耗試験による耐摩耗性の評価でも顕著な違いは認められなかった。皮膜の環境遮断性能は研削材による皮膜の方が溶射用アルミナ粉末による皮膜よりも劣る結果が得られた。これは、研削材の粒径が大きいので、プラズマの熱で溶融しなかった粒子が皮膜に混入して、このために開気孔が皮膜中に多く存在するためと考えられる。

これらの結果から、廃棄アルミナ研削材による溶

射皮膜は環境遮断性能を要求される箇所への適用は困難であるが、従来のアルミナ溶射皮膜による耐摩耗性コーティングの用途に対しては適用することが可能であると考えられる。

その他の用途として、研削材に Ti などの金属を添加することで石模様を有する意匠性の高い皮膜を作製することができた。研削材の皮膜は耐熱性のある基材だけでなく、亜鉛のアンダーコートを施工することで塩化ビニールなどのような耐熱性の低い基材に対しても、プラズマ溶射で成膜することが可能であった。

本研究により、廃棄研削材を溶射用の材料として再利用することは十分に可能であり、多くの需要が見込めると期待できる。