

技術論文

部品再生技術の開発  
Development of Parts Recycling Technology

井 関 利 幸  
Toshiyuki Iseki  
天 野 昌 春  
Masaharu Amano

コマツでは、建設・鉱山機械の主要コンポーネントを新品同等の品質に再生し、CR (Certified Remanufacturing) ユニットとして販売するリマン事業に取り組んでおり、捨てている部品を再使用することは、機械の運転経費の削減と環境保全の両面から重要なテーマと捉えている。そこで、本報では再生技術の一例としてアーク溶射による摩耗部の寸法復元を取り上げ、その皮膜特性について紹介した。

Komatsu has conducted the “Reman” business which aims to recycle used main components of the construction and mining machinery and sell them as the CR (Certified Remanufacturing) units with the quality comparable to those of the new components. Komatsu considers reuse of the parts to be discarded as an important issue in both aspects of machine operating cost and environment preservation. This paper reports the reclamation of worn parts to the specification by arc spray and the characteristics of sprayed coating as an example of our recycle technologies.

1. はじめに

コマツでは、エンジンやトランスミッションなど建設・鉱山機械の主要コンポーネントを新品同等の品質に再生し、CR (Certified Remanufacturing) ユニットとして販売するリマン事業に取り組んでいる。リマン事業は、原材料が再利用されるだけでなく、イニシャルから製品を製造する場合と比較して再生工程で排出される CO<sub>2</sub> の量は 90% 近く削減でき、環境保全にも適している。

リマン事業の主要なテーマの一つとして、損傷してしまった部品を如何に捨てずに再生するか、ということがある。本報では、摩耗してしまった部品の寸法を復元する技術としてアーク溶射を紹介する。

のでは 1 mm 以上摩耗する事例もある。このような部品は、摩耗部を肉盛により寸法復元ができれば廃却せずに再使用が可能となる。

厚膜を形成できる主な手法として、表 1 に肉盛溶接と各種溶射方法の優劣を定性的に比較して示した。この中で、アーク溶射は他の方法よりも有利な点が多く、摩耗した部品の寸法復元に適していると考え、適用を進めている。

表 1 各種補修技術の比較

	密着力	成膜速度	部品の 変形	基材の 組織変化	ランニング コスト	設備費
肉盛溶接	◎	◎	×	×	◎	◎
溶射						
フレーム	△	○	◎	◎	○	◎
アーク	△	◎	◎	◎	◎	◎
HVOF	○	△	◎	◎	×	△
プラズマ	○	×	○	○	×	×

優◎>○>△>劣

2. アーク溶射による部品再生

摩耗による部品損傷の一例として、図 1 にベアリング嵌め合い部の軸が摩耗している様子を示す。



図 1 ベアリング嵌め合い部の摩耗

損傷の大きいも

先ずアーク溶射の原理を簡単に説明する。図 2 にアーク溶射ガンの模式図を、図 3 に溶融した金属を噴射している様子を示す。アーク溶射は、2本の金属ワイヤを送給してその先端でアーク放電を発生させ、この放電エネル

ギーによりワイヤを溶融させる。圧縮空気によりこの溶融金属を微粒化し、基材に吹き付けて連続的に成膜するプロセスである。

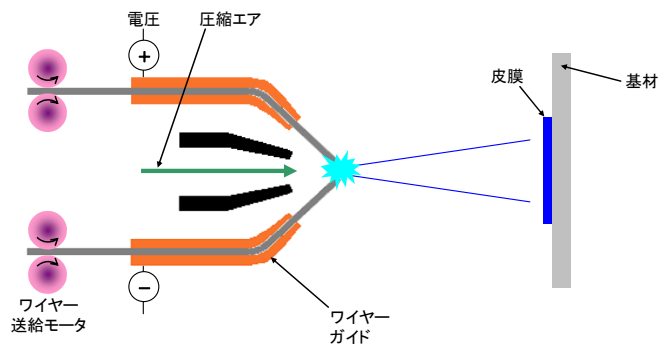


図2 アーク溶射ガン模式図

アーク溶射の一般的な特徴は、

- ①時間当たりの溶射成膜量が大きい、したがって、1 mm 以上の厚膜も短時間で形成可能
- ②電気伝導性に優れた材料は全て溶射可能
- ③溶射材料としてワイヤを使用するため粉末材に比べて材料費が安価
- ④部品への熱影響が小さいため、部品の変形や材質変化が小さい
- ⑤電気・エアで溶射が可能であるため、ランニングコストが安価
- ⑥設備が安価などが挙げられる。

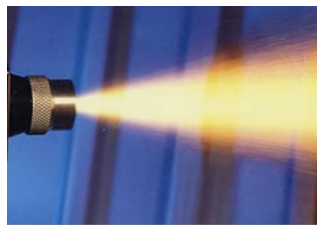


図3 アーク溶射外観

### 3. 部品の再生工程

アーク溶射による部品再生は、図4のフローで進められる。手順は以下のとおりである。

- ①ユーザから返却されたコンポーネントを分解、洗浄する
- ②部品の損傷状態を検査する
- ③前加工で摩耗部位を除去して形状を整える
- ④不要な部位に溶射皮膜が付着しないようマスキングする
- ⑤溶射部位をショットブ

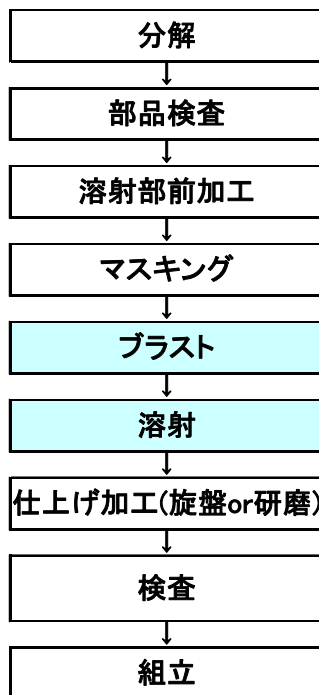


図4 部品再生のフロー

- ラストで粗面にする
- ⑥必要な厚さだけ溶射皮膜を成膜し寸法を復元する
- ⑦旋削や研磨で仕上げる
- ⑧皮膜や寸法を検査する
- ⑨各コンポーネントに組み立てる

### 4. 溶射皮膜の特性

アーク溶射皮膜の断面写真を図5に示す。溶射層は2種類の層で構成されていて、図5で Ni5Al と標記している層を Bond-coat、13Cr ステンレスと標記している層を Top-coat と呼んでいる。一般に基材と溶射皮膜との密着強度を向上させて剥離を防止する目的で Bond-coat を溶射し、その部品に求められる機能を付与するため Top-coat を溶射する。

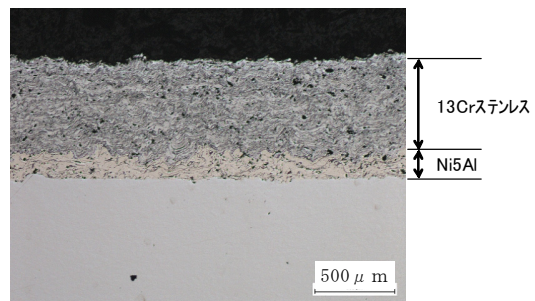


図5 溶射皮膜の断面組織 (Ni5Al+13Cr ステンレス)

本報では、精密機械部品の寸法復元に良く使われる溶射材料として、Ni5Al (Bond-coat) と 13Cr ステンレス (Top-coat) の皮膜特性について述べる。

#### 4.1 Bond-coat の密着強度

基材が鉄系材料の場合、剥離を防止するため Ni5Al を Bond-coat として適用している。ところで、再生される部品は材種、材質が多岐にわたる。そこで、基材の種類によって皮膜の密着強度に差があるかを調査した。

皮膜の密着強度はアンカー効果が支配的であることが知られており、溶射の前処理として行うショットブラスト後の表面状態が密着力に影響を与える。表面状態としては、①粗さ、②硬さ、③黒鉛の有無 (鋳鉄と鋼)、④表面の清浄度などが考えられる。本項では、材種、材質の影響を受けると考えられる①、②、③について比較評価を行った。

表 2 皮膜密着強度の評価水準

材質	熱処理 (硬度)	ねらい
SCM415H	GCQT (HRC62)	浸炭焼入 (硬度) の影響
SCM440H	QT (HRC50)	焼入 (硬度) の影響
SCM440H	QT (HRC30)	焼入 (硬度) の影響
S45C	なし	一般鋼材の調査
FC250	なし	片状黒鉛の影響
FCD450	なし	球状黒鉛の影響

評価した基材は、表 2 に示すように硬さの異なる 4 種類の鋼と 2 種類の鋳鉄を準備した。図 6 に密着強度の測定方法を示す。

表 2 の基材で、面粗さを変えた下側試験体端面に Bond-coat を溶射し、上側試験体 (S45C) と接着剤で接合して引張試験を行った。破断荷重/断面積を密着強度とした。

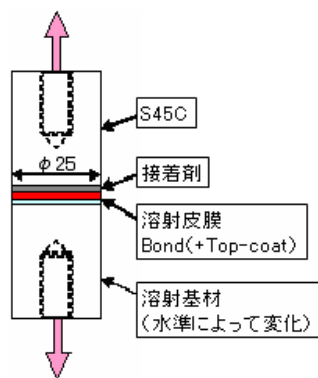


図 6 密着強度評価方法

図 7 に試験結果を示す。横軸に基材の面粗さ、縦軸に密着強度を示した。破断位置はいずれも Bond-coat と基材の界面であった。面粗さの大きな試験体では基材の材質や硬さにかかわらず、密着強度は安定して 5 kgf/mm<sup>2</sup> 以上が得られる。

FC250 は他の材料と比較して強度が若干低い傾向にあり、黒鉛の形態が影響しているものと考えられる。また、極端に面粗さを大きくしても、密着強度の向上には寄与しないようである。

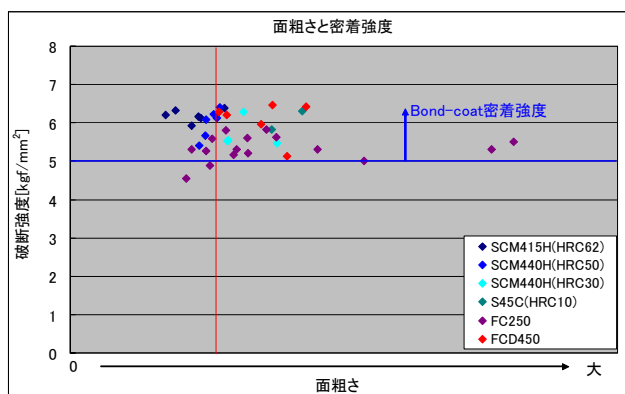


図 7 Bond-coat の密着強度試験結果

4.2 Top-coat の特性

Top-coat は部品に求められる機能を付与するために溶射するものであり、寸法復元には耐摩耗性、耐食性に優れた 13Cr ステンレスを適用するケースが多い。以下は、Ni5Al の Bond-coat 上に Top-coat として 13Cr ステンレスを

溶射した皮膜 (前述図 5 に断面組織を示す) の特性について述べる。

(1) 硬さ

図 8 に Bond-coat と Top-coat のマイクロビッカース硬さを示す。平均硬度は Ni5Al が MHv150、13Cr ステンレスが MHv470 であった。バラツキが大きいと感じられると思うが、これは溶射皮膜に 1~3% の気孔を含んでいるためである。

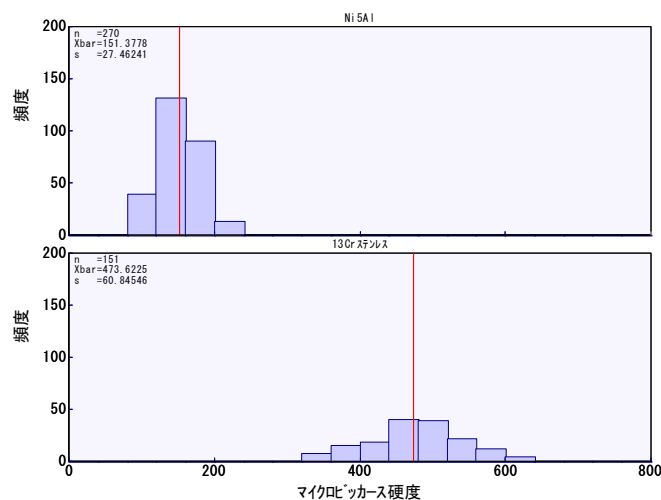


図 8 アーク溶射皮膜の硬さ

(2) 破断強度

図 9 は、前記 4.1 の Bond-coat の密着強度の評価と同様に、Ni5Al 層にさらに 13Cr ステンレス層を溶射して相手試験体と接着剤で接合し、引張試験した結果である。いずれの場合も Top-coat 内で破断し、その強度は 3.5kgf/mm<sup>2</sup> 程度である。

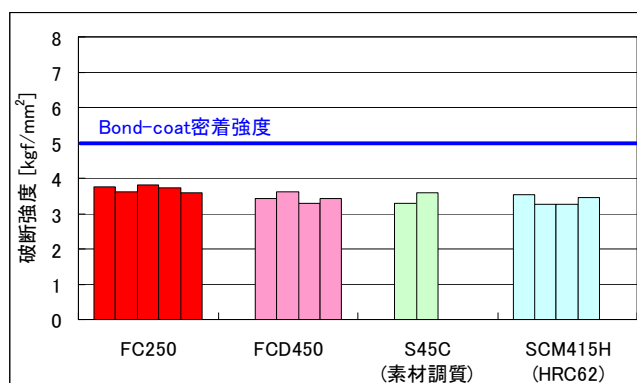


図 9 Bond-coat+Top-coat の密着強度試験結果

(3) 耐面圧強度

相手部品からの面圧によってへたりや陥没が生じてはならないため、耐面圧強度を評価した。図 10 に試験方法を示す。溶射皮膜に φ 9 mm のピンを 1 mm/min の変位速度で押し込み、試験荷重で 10 秒保持した後、へこみ量を

測定した。比較材として FC250 についても同様の評価を実施した。

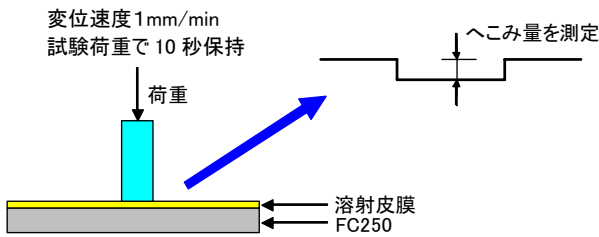


図 10 アーク溶射皮膜耐面圧強度評価方法

図 11 に試験結果を示す。横軸にピンの押し込み面圧、縦軸にへこみ量をプロットした。ある面圧までは皮膜に変形はなく FC250 と同等に使用することが可能であることがわかる。それ以上の面圧ではへたりを生じる恐れがある。前述のとおり溶射皮膜には気孔を含んでいるため、気孔が潰れて変形するものと考えられる。

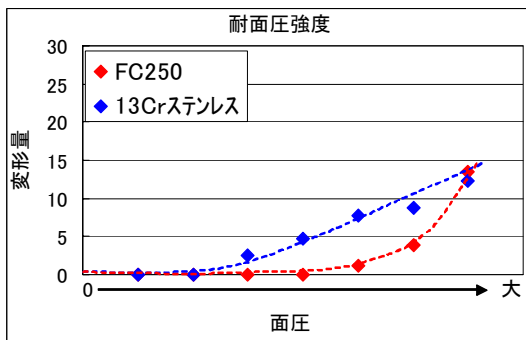


図 11 アーク溶射皮膜の耐面圧強度

(4) 耐フレッチング摩耗性

摩耗形態の一つとして、接触する 2 固体間に微小な接触線方向の振動が与えられたときに生ずる摩耗、いわゆるフレッチング摩耗がある。そこで、図 12 に示すように、0.05kgf/mm<sup>2</sup>の面圧で振幅 0.35mm、周波数 20Hz の振動を与えてフレッチング摩耗を再現した。比較材として FC250 も評価した。

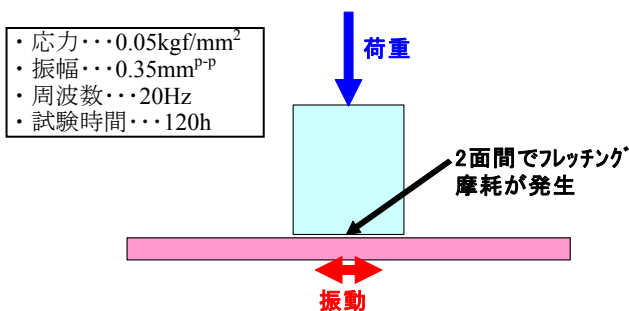


図 12 フレッチング摩耗試験

図 13 に試験結果を示す。13Cr ステンレス溶射皮膜の耐摩耗性は FC250 の 10 倍で、格段に耐フレッチング摩耗性が優れている。

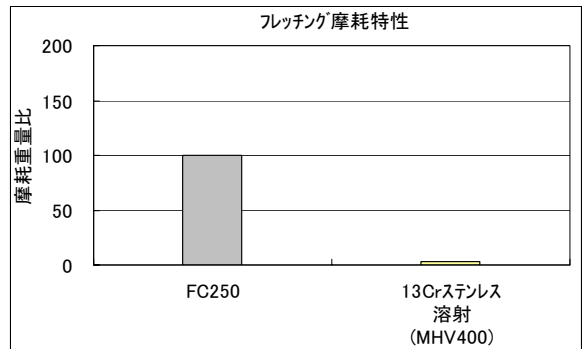


図 13 フレッチング摩耗試験結果

図 14 に 13Cr ステンレス溶射皮膜断面の EPMA による鉄、クロム、酸素濃度分布を示す。皮膜内には高硬度なクロム酸化物が認められ、アーク発生から成膜するまでの過程で生成したものである。この微細なクロム酸化物が耐摩耗性向上の一因と考えられる。

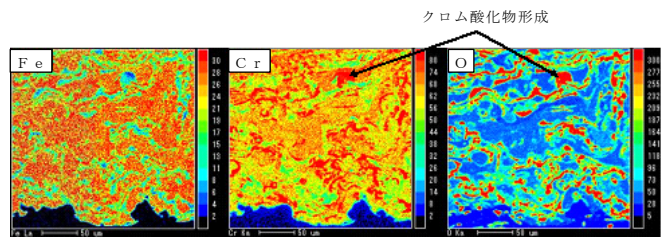


図 14 13Cr ステンレス溶射皮膜の EPMA 分析

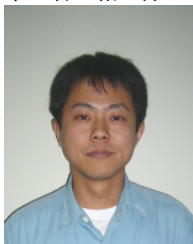
5. まとめ

摩耗した部品の寸法復元方法としてアーク溶射を取り上げ、13Cr ステンレス皮膜の特性を評価し、以下のことがわかった。

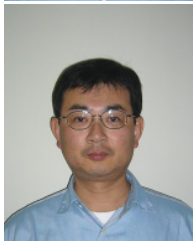
- ・硬さは MHv470 程度である。
- ・密着強度は 3.5kgf/mm<sup>2</sup> である。
- ・ある面圧まではへたりが発生しない。
- ・耐フレッチング摩耗性は FC250 の 10 倍である。
- ・ブラスト後の面粗さを大きくすると、Ni5Al を Bond-coat とすることで、基材の材質に関わらず安定した密着強度の皮膜を得られる。

上記の特性で強度・機能を満足する部品、部位であれば、アーク溶射で摩耗部を再生することが可能である。

## 筆者紹介



Toshiyuki Iseki  
いせき としゆき  
**井 関 利 幸** 2003年、コマツ入社。  
現在、生産本部 生産技術開発センター  
材料 Gr リマン・摺動材チーム所属。



Masaharu Amano  
あま の まさはる  
**天 野 昌 春** 1989年、コマツ入社。  
現在、生産本部 生産技術開発センター  
材料 Gr リマン・摺動材チーム所属。

## 【筆者からひと言】

本報では、損傷してしまった部品を如何にして再生し、再使用するかという観点からアーク溶射を紹介したが、如何にして損傷を低減するかということも、また、重要なテーマである。様々な部品の様々な損傷形態をよく観察し、損傷予防、損傷低減についても取り組んでいきたい。