

アーク放電による高性能膜の特性評価

材料科 材料スタッフ 松野正幸 大竹正寿 萱沼広行*
テクノコート株式会社 桑原吉英

Characterization of high-performance films made by arc discharge process

Masayuki Matsuno, Masatoshi Otake, Hiroyuki Kayanuma and Yoshihide Kuwabara

1. はじめに

図1のように、回転電極棒および基材に電圧をかけて接触させることで、プラズマアーク放電が発生する。この際、電極材料が基材表面に移行・堆積し、高性能の皮膜が作製される。これまでの研究で、この皮膜がアルミダイカスト金型表面処理に適していることが報告された。

本研究では、この高性能厚膜を金型表面処理以外の用途に適用するため、皮膜の特性評価を行い、成膜装置の性能を明らかにすることを目的とした。

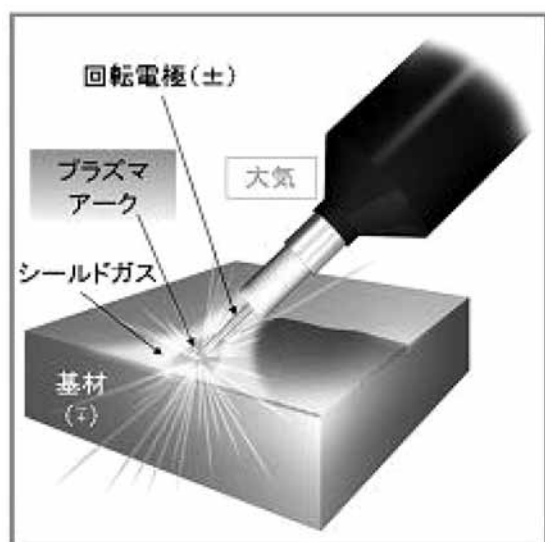


図1 アーク放電による皮膜の作製

2. 実験方法

2.1 皮膜の作製

テクノコート(株)製MicroDepo100を使用して皮膜

を作製した。S45C鋼(40mm×40mm×t3mm)の基材に、表1に示す組成の電極棒を用いて、5種類の皮膜を作製した。未処理の試験片以外は、皮膜処理を30mm×30mmの正方形領域に施した。

2.2 皮膜の表面粗さ測定

触針式表面粗さ計(テラーホブソン(株)製 フォームタリサーフ PGI 840)を用いて表面粗さ測定を行った。

2.3 皮膜および電極材料の組成分析

試験片および電極材料について、樹脂に埋め込み、鏡面研磨した後、電子線マイクロアナライザ(EPMA, (株)島津製作所製 EPMA-8705)を使用してそれぞれの断面の元素マッピングおよび点分析を行った。

2.4 皮膜・電極材料の硬さ試験および皮膜の耐摩耗性試験

2.3で作製した試料(試験片および電極材料)について、微小硬度計(株)明石製作所製 MVK-E)により、押し込み荷重0.98Nで皮膜断面の硬さを測定した。また、摩擦摩耗試験機(CSEM社製 TRIBOMETER)を使用し、SUS304製およびAl₂O₃製ボールに対する皮膜表面の動摩擦係数変化を各々測定した。荷重は2N、周速度は100mm/secとし、動摩擦係数は、値が安定した時点から最終的な値までの平均値をとった。また、試験前後に試験片およびボールの重量を測定した。

*) 現 環境衛生科学研究所

3. 結果と考察

3.1 皮膜の表面粗さ評価

表面粗さ計による平均表面粗さは、Raの値が6.1～8.9 μm、Rzの値が39～59 μmで、5種類とも同程度の値だった。

3.2 皮膜および電極材料の組成分析

EPMAを用いて皮膜断面の元素マッピングを測定したところ、これまでの報告¹⁾と同様、皮膜は基材のFeと電極材料中の元素が混じりあった組成であった。また、電極材料の元素が比較的多く分布している部分について、点分析を行った結果を表1に示す。

表1 皮膜および電極材料の組成 (wt%)

WC	Fe:75, <u>W:18</u> , Co:3.8, C:1.3
WC-Co 電極材料	<u>W:85</u> , Co:10, C:3.8
TiB ₂	Fe:93, C:2.2, <u>Ti:1.5</u> , Co:1.1
TiB ₂ -Co 電極材料	<u>Ti:52</u> , B:24, Co:19, Fe:2.0, C:1.8
VC	Fe:94, <u>V:2.1</u> , C:1.6
VC-Co 電極材料	<u>V:52</u> , Co:20, C:18, Fe:10
TiC	Fe:89, <u>Ti:3.5</u> , Co:3.1, C:2.2
TiC-Co 電極材料	<u>Ti:54</u> , C:26, Co:17, Fe:1.9, Ni:1
ZrB ₂	Fe:86, <u>Zr:5.3</u> , Co:4.0, B:1.5, C:1.1,
ZrB ₂ -Co 電極材料	<u>Zr:59</u> , B:17, Co:14, Fe:5.4, C:2.9
基材	Fe:96

※wt%の値が1.0未満の元素については省略。下線をひいた元素は電極材料の主成分。

電極材料に主成分のWが多く含まれていたWC皮膜では、Wの含有量は18wt%と比較的多かったが、それ以外の4種類については、電極材料の主成分は1.5～3.5wt%程度しか皮膜に含まれておらず、組成の大部分はFeが占めていることがわかった。

3.3 皮膜および電極材料の硬さおよび皮膜の耐摩耗性試験

図2に、電極材料、皮膜および基材の硬さを示す。

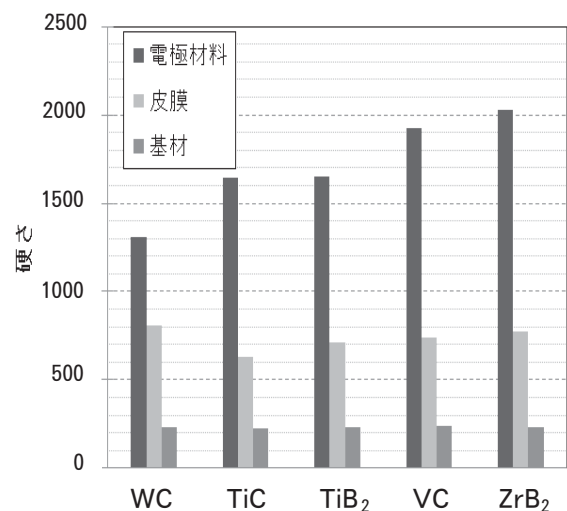


図2 電極材料、皮膜および基材の硬さ (HV0.1)

どの皮膜も基材よりは硬さが増しているが、電極材料ほどの硬さはなかった。これは、組成分析で得られた皮膜の組成が電極材料と基材のFeが混在している結果と対応していた。

摩擦摩耗試験を行ったところ、皮膜処理をしていない基材に対しては、SUS304ボールおよびAl₂O₃ボールどちらに関しても、摩擦係数が1以上の値に達し、一定の値にならなかった。これは、ボールと基材との間に焼き付きが起こったためと考えられる。一方、皮膜処理済みの試験片について、SUS304およびAl₂O₃ボールに対する動摩擦係数を図3に示す。また、試験片およびボールの摩耗量、試験片の比摩耗量をまとめた結果を表2、3に示す。なお、比摩耗量は、表1の結果から皮膜の理論密度を算出し、摩耗重量を体積に換算して、次の式から算出した。

$$\left[\begin{array}{l} V_r = V/LD \\ V_r: \text{比摩耗量}(\text{mm}^3/\text{N}), V: \text{摩耗量}(\text{mm}^3), \\ L: \text{荷重}(\text{N}), D: \text{摺動距離}(\text{mm}) \end{array} \right]$$

動摩擦係数は、どちらのボールに対してもWC皮膜が突出して大きいことが分かる。一方、表2より、WCはAl₂O₃、SUS304ボールの両方に対して比摩耗量が最小であり、耐摩耗性が大きかった。WC皮膜が他の皮膜より耐久性が高かったのは、皮膜に含

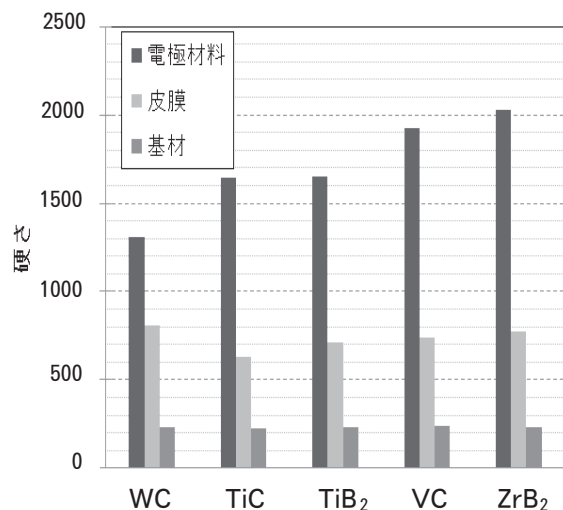


図3 各皮膜の動摩擦係数

表2 試験片およびボールの重量変化 (mg)

皮膜	Al ₂ O ₃ ボール		SUS304ボール	
	試験片重量変化	ボール重量変化	試験片重量変化	ボール重量変化
基材	-0.5	1.8	-10	-1
TiB ₂	-1.1	0	-0.4×10 ⁻³	-6
VC	-1.1	0.3	-2.2	-7.5
ZrB ₂	-1.8	0.1	-0.5×10 ⁻³	-12.2
TiC	-0.4	0	-2.8	-6.5
WC	-0.3	0.3	-0.3×10 ⁻³	-10.2

表3 試験片の比摩耗量 (×10⁻⁶ mm³/N)

皮膜	Al ₂ O ₃ ボール	SUS304ボール
基材	0.96	0.78
TiB ₂	2.24	3.27×10 ⁻⁵
VC	2.24	0.18
ZrB ₂	3.48	3.91×10 ⁻⁵
TiC	0.81	0.23
WC	0.46	2.17×10 ⁻⁵

まれるWの重量が比較的多く、超硬合金の特徴を残していたためだと考えられた。

4. まとめ

アーク放電により、5種類の電極材料基材表面に移行・堆積させて皮膜を作製した。これらの皮膜について組成分析および硬度試験、摩擦摩耗試験を行い、以下の結果を得た。

①皮膜は、電極材料と基材の元素が混じりあった組成だった。

②皮膜は、基材と電極材料の中間の硬さを示し、①の結果を反映していた。

③耐摩耗性試験の結果、基材では起こった焼き付きが皮膜処理したものでは起こらず、皮膜が耐焼き付き性の向上に効果があることが明らかとなった。また、今回調査した5種類の皮膜の中では、WC皮膜が最も硬く、耐摩耗性も高いことがわかった。

謝辞

本研究を進めるにあたり、御助言いただきました東京大学工学部 毛利尚武教授、武蔵工業大学工学部 白木尚人准教授に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 大竹正寿他：静岡県工業技術研究所研究報告，第1号，9-14 (2008)。

※本研究は、しずおか産業創造機構による平成20年度産学官共同研究開発助成事業の採択を受け実施した。