

溶射による機能皮膜作成に関する研究

機械金属室 比嘉 眞嗣
 瀬底 眞優*
 屋良 秀夫**

1. 緒言

溶射皮膜を利用した材料の表面処理技術は大がかりな装置の必要もなく、容易にその目的を達成することが可能である。これまで溶射技術を活用し材料表面の機能性を高めるため、各種溶射法の検討を行ってきた。

平成9年度は、新しく導入した高速フレイム溶射による溶射皮膜の皮膜特性を検討すべく耐摩耗性皮膜として定評のあるタングステンカーバイト系とクロムカーバイト系の溶射材を用い溶射皮膜を作製し、その皮膜評価を試みたので報告する。

また、皮膜評価の対象として、プラズマ溶射皮膜を検討することにしたので同時に評価することとした。

2. 実験方法

本実験は、溶射条件である溶射距離の影響と溶射熱源すなわち溶射方法の違いによる溶射皮膜性能への影響を考慮して実施した。高速フレイム溶射の場合は、他の溶射方法と違い溶射距離が長い場合、溶射パラメーターとして特に溶射距離による影響が大きいのではないかと考えた。

溶射皮膜作製試験片はS S 4 0 0（一般圧延鋼材）の3.2mmの板厚の試験片を用いた。寸法は50×60mmの形状でスチールグリット（#70）で表面を粗面化処理した後溶射を行い各試験に供した。各溶射条件は、表1、2の通りである。

次に、作製した試験片を用い、膜厚測定、表面あらさ、および硬さ測定等を実施し、表面状態のSEM観察、皮膜断面の顕微鏡観察、および画像処理による気孔率の測定等を行い皮膜を評価した。且つ、皮膜の曲げ試験やブラストエロージョン試験を実施し、皮膜の耐摩耗性についても調べた。

2.1 実験装置

高速フレイム装置はTAFSA社製JP5000を使用した。プラズマ溶射装置は、ユーテック社製プラズマ装置を使用し、大気

表1 溶射条件（高速フレイム溶射）

溶射材	WC-12Co	WC-20Cr7Ni	Cr ₃ C ₂ -25NiCr
酸素量(SCFH)	2000	1900	1850
ケロシン量(GPH)	6.0	6.0	6.0
キャリアガス量(SCFH)	26	26	26
バレル長(mm)	203.2	101.6	203.2
溶射距離(mm)	標準：380		
	長い：530		

表2 溶射条件（プラズマ溶射）

溶射材	WC-12Co	WC-20Cr7Ni	Cr ₃ C ₂ -25NiCr
電流 A	500		
電圧 V	50		
作動ガス Ar	60		
(l/min) H ₂	10		
キャリアガス	3.7		
溶射距離(mm)	114.5		

*琉球大学機械システム工学科学生 **琉球大学機械システム工学科教授

中溶射で行った。また、両溶射とも皮膜状態を均一にするため、ロボットに溶射ガンをセットして行った。溶射速度は150mm/minで、横方向に溶射を行い、次に縦方向に5mmピッチの間隔で移動し再度横方向に往復で溶射を行うことで試験片全面を完全に溶射するようにした。なお、1層溶射毎に試験片を空冷し完全に冷却してから次層の溶射を行った。溶射層数は3層である。

2. 2 実験材料

溶射材は、耐摩耗用溶射材であるタングステンカーバイト系2種 (WC-12Co、WC-20Cr7Ni)、クロムカーバイト系1種 (Cr₃C₂-25NiCr) の計3種類を使用した。

3. 実験結果および考察

3. 1 膜厚および表面あらさ

各皮膜の膜厚、および表面あらさの測定結果を表3、4に示す。高速フレイム溶射で作成した皮膜の厚さは、溶射距離を長くした場合がメーカー推奨の標準距離に比べていずれも厚く付着することがわかる。これは高速フレイム溶射が加熱よりも運動エネルギーを重視した溶射方法であることより、距離を伸ばした分運動エネルギーの低下や粒子温度の低下等で粒子が扁平になりにくくなったためではないかと考えられる。一方、プラズマ溶射皮膜の場合の膜厚は高速フレイム溶射と比べて4倍以上の膜厚である。これは、プラズマ溶射の場合は、溶射距離が114.5mmと高速フレイムの380mmとくらべて格段に近い距離のため、供給粉末の損失も少なく、かつ溶射面積も小さいため集中して積層されるからだと考える。

表面あらさへの影響は、高速フレイム溶射の場合、距離による影響は、距離が長くなるほど粗さが粗くなる傾向である。WC系で5~6ミクロン、クロム炭化物系で10ミクロンほど粗くなる。しかし、いずれの溶射材もプラズマ溶射よりは粗くはならないことがわかる。

次に、走査電子顕微鏡(SEM)による皮膜表面の観察結果を図1に示す。これによると、高速フレイム溶射の場合は、WC系では、距離による形態の違いは見られなく、溶射粒子の形状があまり崩れなく結合しているのが観察される。クロム炭化物の場合は、WC系と比べて熔融状態が観察されるが同様に距離による違いは明瞭ではない。

一方、プラズマ溶射の場合は、いずれの溶射材でも写真からもわかるように溶射粒子はほぼ完全に熔融状態になってから試験片表面に積層しているのが観察される。高速フレイム溶射皮膜とプラズマ溶射皮膜とは皮膜形態に大きな違いがあることがこの観察結果から明らかである。

表3 各溶射皮膜の平均膜厚

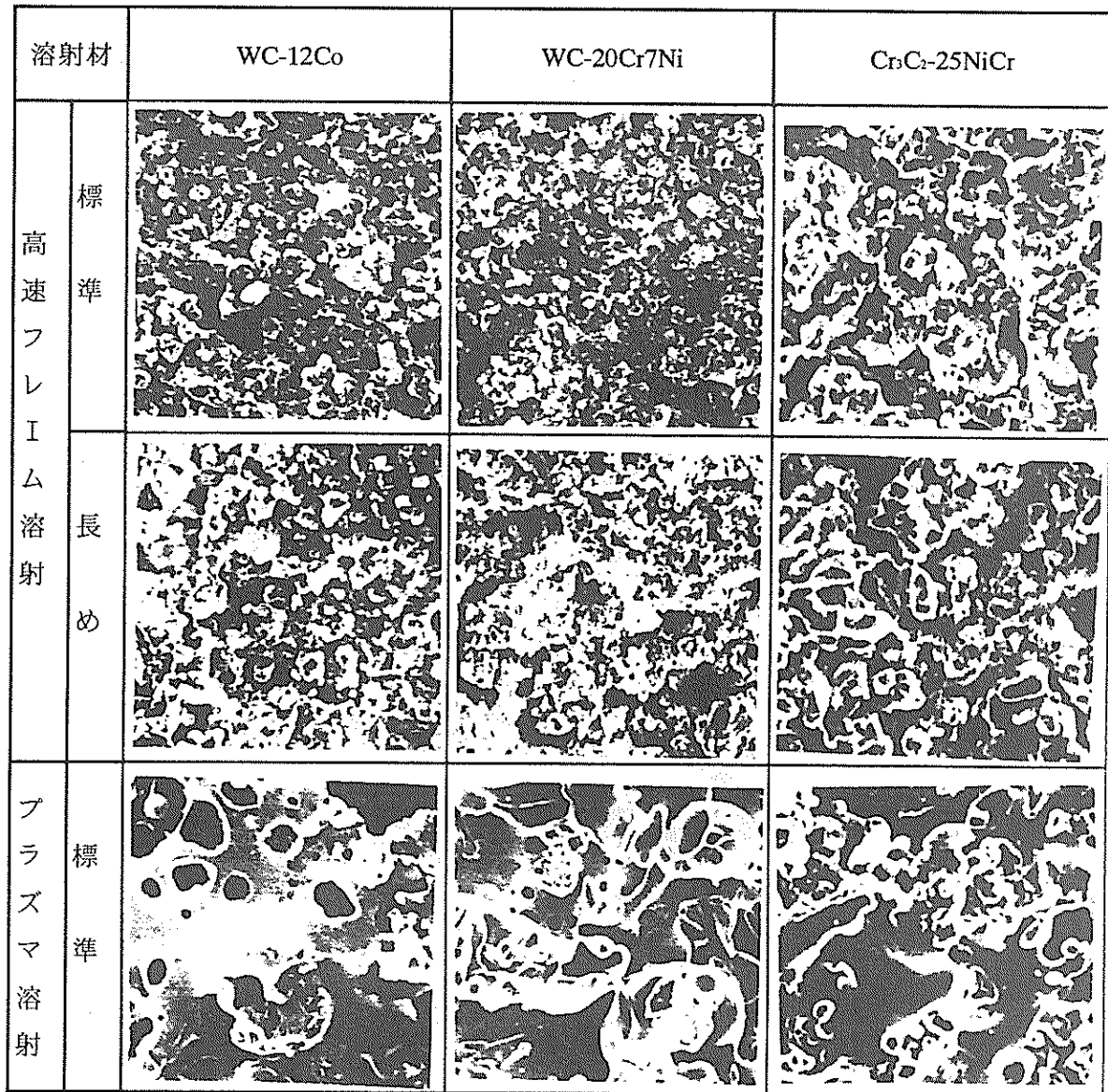
(単位: μm)

溶射材	WC-12Co	WC-20Cr7Ni	Cr ₃ C ₂ -25NiCr
高速フレイム溶射:標準	80	70	150
高速フレイム溶射:長い	110	115	175
プラズマ溶射	315	130	230

表4 各溶射皮膜の表面あらさ (Rmax)

(単位: μm)

溶射材	WC-12Co	WC-20Cr7Ni	Cr ₃ C ₂ -25NiCr
高速フレイム溶射:標準	17.88	25.52	26.78
高速フレイム溶射:長い	23.79	29.09	35.10
プラズマ溶射	27.91	32.41	45.43



10 μm

図1 各溶射皮膜の表面写真 (SEM) (×1000)

3.2 断面観察および気孔率

各溶射皮膜の断面写真を図2に示す。高速フレイム溶射皮膜はWC系溶射材の場合、プラズマ溶射皮膜と比べて緻密で均一な溶射膜となっており、溶射距離を長くした場合は、標準距離と比べて気孔が増えているのが観察される。

一方、プラズマ溶射の場合はWC系の皮膜で気孔の発生が多く観察されるが、クロム炭化物ではそれと比較して気孔の発生は少ない傾向を示す。

次に、実際に画像処理装置を用い、気孔率を測定した結果を図3に示す。これから判断すると、高速フレイム溶射の場合、溶射距離を長くした場合がいずれの溶射材でも標準距離と比べて約2～3倍も気孔率が高くなっている。また、溶射材による違いもそれほどない。すなわち、溶射距離を長くしたことで皮膜形成中に巻き込まれる空気の量の増大と、距離が長いことにより、

溶射粒子の運動エネルギーの低下で衝突エネルギーが減少することによる粒子の圧縮・扁平力の減少が大きく影響しているのではないかとと思われる。

プラズマ溶射の場合は、WC-12Coの場合が一番気孔率が高く、次にWC-12Cr7Niとつづき、クロム炭化物系は高速フレイムの長い条件での値とほぼ同じ少ない気孔率であった。今回のプラズマ出力は、25 Kwでどちらかといえば低出力領域のため、その影響で、皮膜状態も緻密さに欠ける傾向にある。プラズマ溶射の場合は出力状態で皮膜性能に大きく影響するとの報告もあり、その影響が特に強くでたためと思われる。

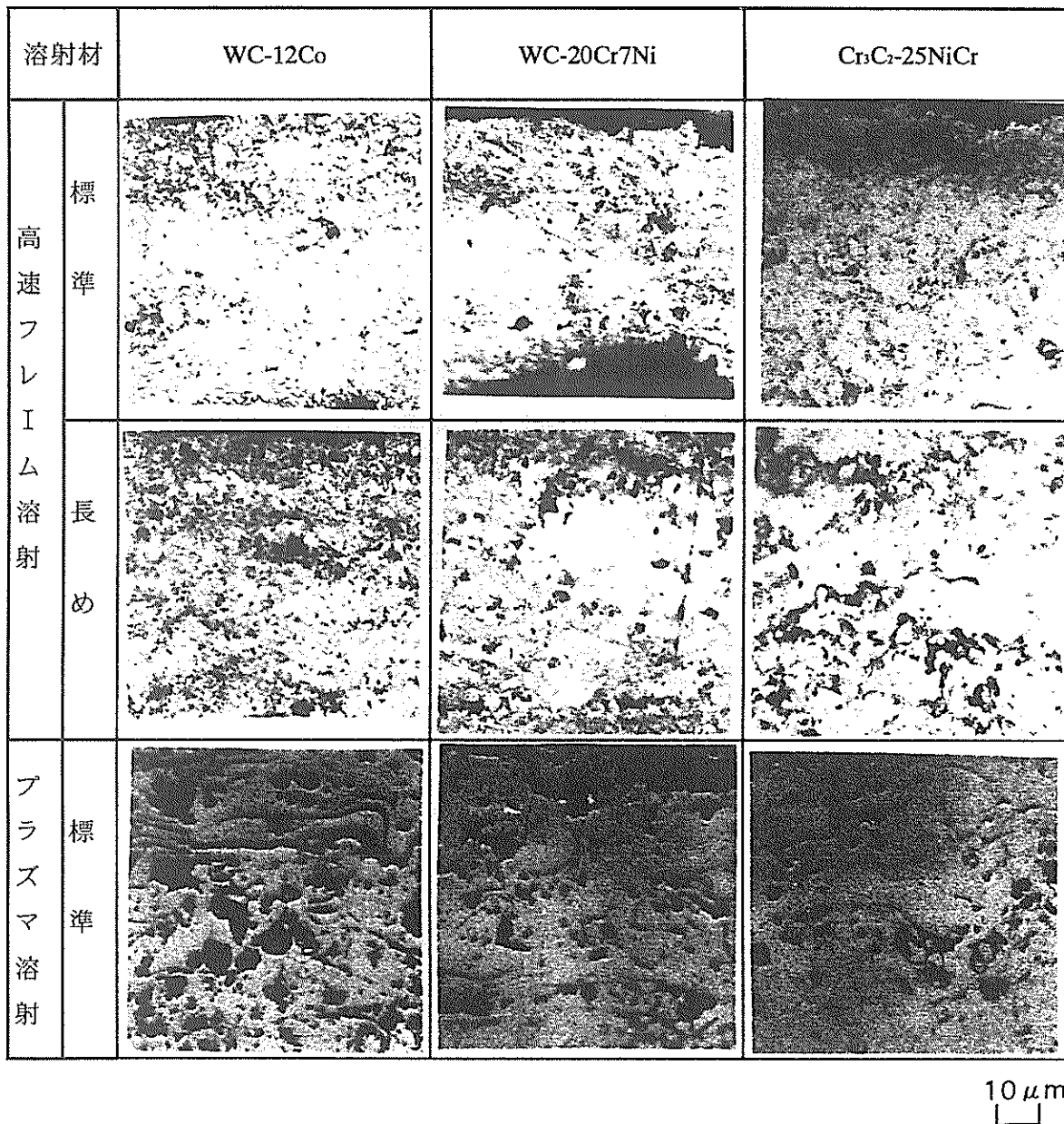


図2 各溶射皮膜の断面写真 (×400)

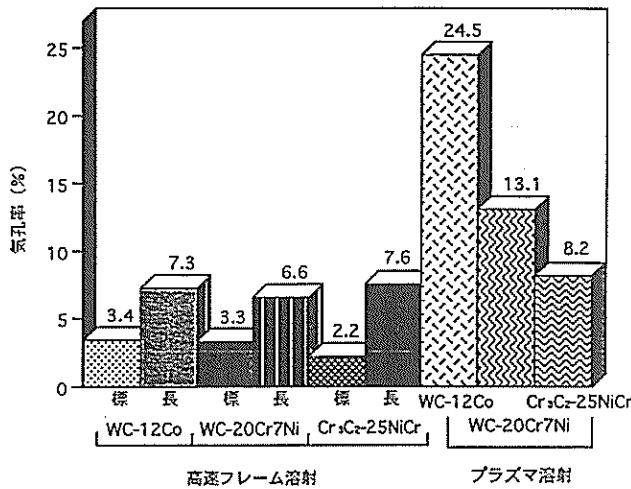


図3 各溶射皮膜の気孔率

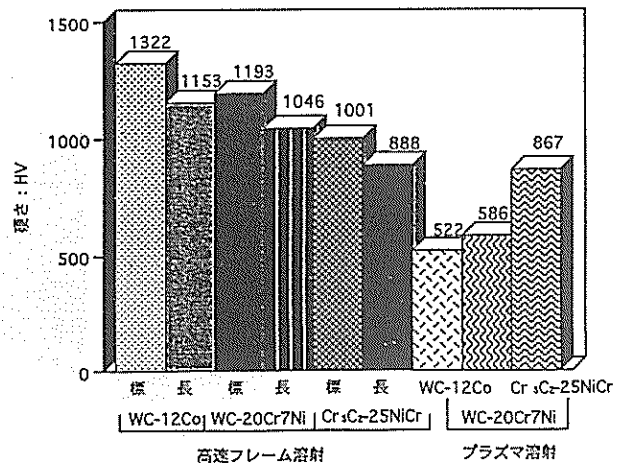


図4 各溶射皮膜のビッカース硬さ (荷重: 300g, 時間: 15s)

3.3 硬度測定

各溶射皮膜の表面硬度を測定するために、表面をエメリー紙で研磨した後、微小硬度計で測定した。測定結果を図4に示す。高速フレイム溶射の皮膜は、標準条件では、カタログデータである各溶射材の硬度の数値をほぼ満足したが、溶射距離を長くした場合はそれよりも約100~150低めの数値であった。溶射距離による影響はかなりあることがわかった。

逆に、プラズマ溶射の場合は、WC-12Coの場合が一番低く高速フレイムの半分の硬さもないことがわかる。WCの場合、プラズマ溶射ではプラズマの高熱により、Cが燃焼しWCが減少するとも言われており、その影響も大きいのではないと思われる。また、高速フレイムと比較して気孔率も高いため、その影響もでていると思われる。

3.4 曲げ試験

図5のように3点支持での曲げ試験を行い皮膜の曲げ特性を調べた。曲げ角度は90度とした。曲げ試験後、溶射皮膜の皮膜状態を観察した。皮膜表面の写真を図6に示す。高速フレイム溶射の場合はWC系では標準および長め溶射距離での試験片とも溶射膜に細かい亀裂が走り皮膜が破壊されているのが観察されるが、完全な剝離には至ってなく、溶射距離による差もそれほど顕著ではない。クロム炭化物系は明らかに距離による影響があり、亀裂幅も大きく亀裂の溝も深い状態である。逆に、プラズマ溶射の場合は、WC系が亀裂が大きく、剝離も見られ、クロム炭化物系がそれと比較して亀裂は少ない傾向を示した。

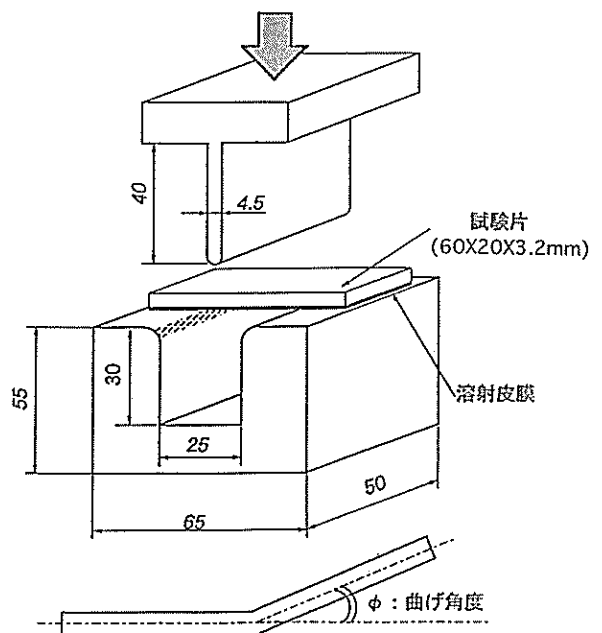


図5 曲げ試験装置

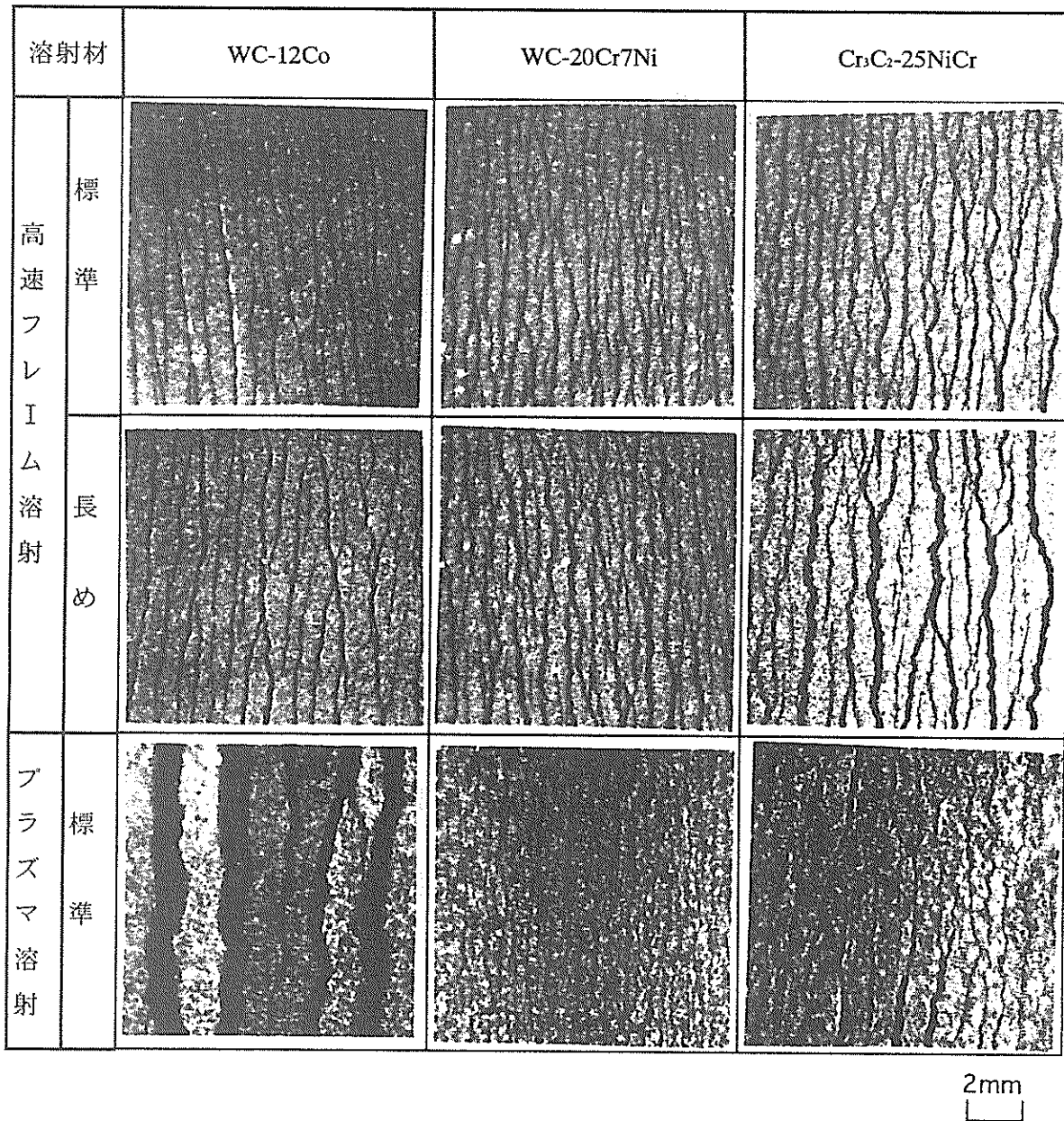


図6 曲げ試験後の各溶射皮膜の表面 (×5)

3. 5 プラストエロージョン試験

直圧式プラスト装置を用い、プラスト角度を45、60、90度の条件でスチールグリット (#70) を用いプラスト距離150mm、圧力294KPa、噴射量31.5g/secで噴射時間と減摩量の関係を測定した。各角度による違いは明瞭でないため60度の結果を図7、8に示す。

図から、エロージョン試験では、WC系の場合は単純には硬さ結果の通りではなく、WC-20Cr7Niでは、溶射距離が長くなった方が減摩量は少なく、また逆にWC-12Coはそれほど差はないなど溶射材によって違いがあり、一概には優劣が付けられない結果となった。

プラズマ溶射皮膜の場合は、WC系はいずれも高速フレーム溶射と比較して耐エロージョンは低く、プラズマ皮膜の中ではクロム炭化物系が耐エロージョン性は高かった。

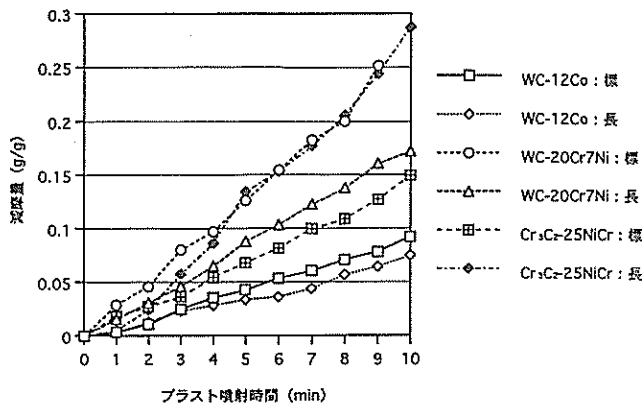


図7 プラスト噴射時間と減摩量の関係
(高速フレイム溶射: 60°)

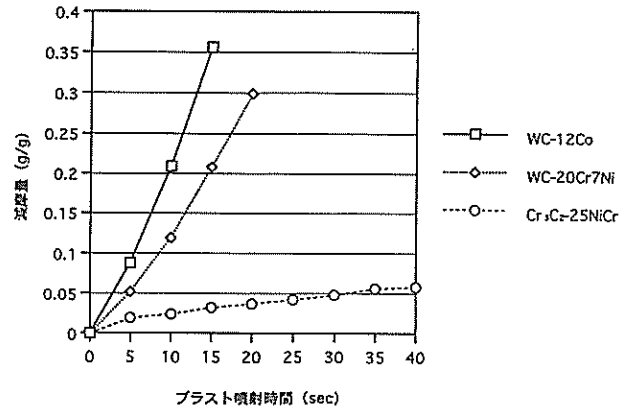


図8 プラスト噴射時間と減摩量の関係
(プラズマ溶射: 60°)

4. 結 言

高速フレイム溶射、プラズマ溶射を用い溶射条件を変え皮膜の性質に及ぼす影響と溶射熱源の違いによる皮膜特性を種々比較検討した。得られた知見は以下の通りである。

- ①高速フレイム溶射で溶射距離を変化させた場合、距離が長い場合は、表面あらさは粗くなり、且つ、膜厚も厚めとなった。
- ②高速フレイム溶射皮膜の硬さにおいても、溶射距離が長めの場合はいずれの溶射材においても低めの値となった。
- ③曲げ試験結果からはWC系では溶射距離による影響は少ないが、クロム炭化物系は、溶射距離が長い場合、皮膜強度は弱くなり、亀裂も大きく剥離が増大する傾向であった。

プラズマ溶射では亀裂幅および剥離も大きく、高速フレイム溶射皮膜に比べて密着度が低いことがわかった。

- ④プラストエロージョン試験結果では、高速フレイム溶射の場合他の測定値と異なり減摩量への影響は明瞭ではなく溶射材の違いが大きくてた。

プラズマ溶射に関しては、高速フレイム溶射に比べて耐エロージョン性は低めであった。

したがって、高速フレイム溶射では適正な溶射距離を保つ必要性があることが、皮膜性能の面から判断できた。かつWC系の溶射皮膜では、高速フレイムを利用した方がプラズマ溶射皮膜と比較して優れていることが確認できた。

参考文献

- 1) 蓮井淳：溶射工学、産報出版(1996)
- 2) 日本溶射協会：溶射用語辞典、産報出版(1994)
- 3) 日本溶射協会：溶射ハンドブック、新技術開発センター(1986)
- 4) 中村良三、岩永健一郎、田中敏明：プラズマ溶射WC-12Co皮膜に及ぼす溶射条件の影響(第1報)、溶射技術 (Vol.16-No.2)

編 集 沖縄県工業技術センター

発 行 沖縄県工業技術センター

〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎 12 番 2

T E L (098)929-0111

F A X (098)929-0115

U R L <https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/shoko/kogyo/>

著作物の一部および全部を転載・翻訳される場合は、当センターに

ご連絡ください。