

プラズマ溶射による表面改質に関する研究  
 - プラズマ溶射法による耐アブレーション性摺動被膜の開発 (まとめ) -

小石川 勝男\* 中島 秀樹\*  
 篠塚 正樹\*\* 志村 洋文\*\*\*  
 佐々木 信也\*\*\* 丸山 敏雄\*\*\*\*  
 川崎 隆\*\*\*\* 岩見 高\*\*\*\*

1. はじめに

一般の機械要素において、摩耗に関するトラブルの大半は、アブレーションに起因するものであると言われている。摩擦面への硬質粒子混入が避けられないような摺動部品では、通常の潤滑下でのトライボロジー性能に加え、耐アブレーション性に優れた摺動表面の作製が要求される。本研究では、表面改質による摺動性能と耐アブレーション性に優れた摺動表面の開発を目的に、プラズマ溶射法を用いて数種類の表面改質被膜を作製し、それらの摺動性能を評価することにより、耐アブレーション性に優れた被膜の選定と耐アブレーション性向上に必要なとされる因子を検討した。

昨年度の研究では、減圧プラズマ溶射 (LPPS) と高速フルーム溶射 (HVOF) を用いて、混合粉末材料 (FeCr+Ni+Mo) とタングステンカーバイト系材料 (WC-Co12) により表面改質被膜を作製し、摩擦面の材料の組み合わせによる耐摩耗性を評価した。その結果、以下の材料の組み合わせのものが耐摩耗性に優れていた。

- (1) 減圧プラズマ溶射の混合粉末 (FeCr+Ni+Mo) 被膜と肉盛溶接鋼
- (2) 減圧プラズマ溶射の WC-Co12 被膜と肉盛溶接鋼
- (3) 高速フルーム溶射の WC-Co12 被膜と肉盛溶接鋼

これらの成果を基に本年度は、アブレーション摩耗の激しい機械部品の摺動面へ、これらの耐摩耗性表面改質被膜を適用し、実機試験を行ったので報告する。

2. 溶射被膜の製品への適用

今回、耐摩耗性に優れた溶射被膜を、図1のような石油や温泉を掘るためのドリル先端に用いる掘削ビットに適用した。

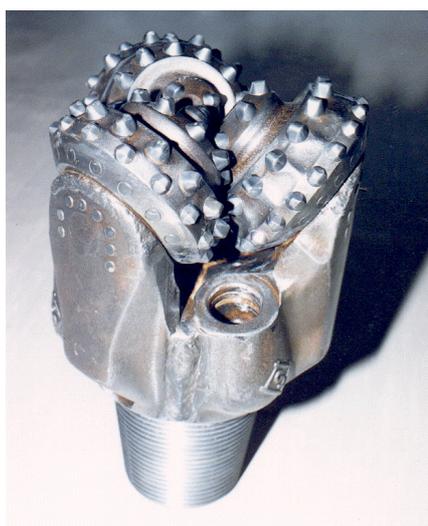


図1 掘削ビット

掘削ビットは、地下数千mの過酷な環境で使用されており、掘削ビットのベアリング部 (図2) は、土砂侵入によるアブレーション摩耗が起り、ベアリングの摩耗が激しい。このようなことから、摩耗の激しい掘削ビットのベアリング部へ耐摩耗性被膜を適用し、ベアリング部の耐摩耗性向上を図ることを考えた。掘削ビットベアリング部のボディ側は肉盛溶接鋼とし、カッタ側を各溶射被膜に変更する方法をとった。ベアリング部のカッタ内面へ直接溶射する事は、そのカッタの形状や性質上難しいため、図3のような円筒形状のプッシュ内面へ溶射したものを、カッタへ圧入する方法により、ベアリング部へ溶射被膜を適用した。

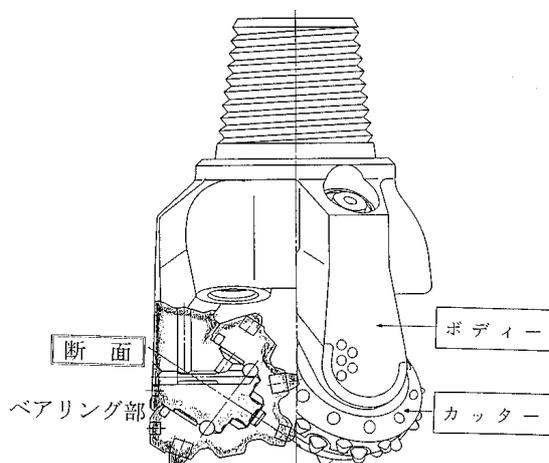


図2 掘削ビット概略

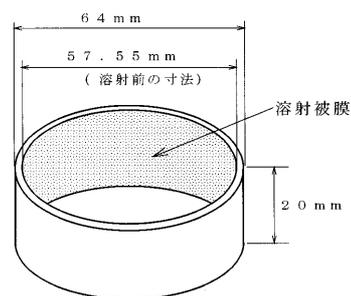


図3 溶射用プッシュ

3. 実験方法

3.1 溶射被膜の作製

今回、実機に適用した溶射被膜は、昨年度までの研究において優れた耐摩耗性を示した、減圧プラズマ溶射により作製した混合粉末 (FeCrNiMo) と WC-Co12 の被膜、高速フルーム溶射により作製した WC-Co12 被膜である。

\* 材料応用部 \*\* いばらきサロン  
 \*\*\* 石油鑿井機製作株

\*\*\* 機械技術研究所基礎技術部トイロウ研究室

### 3.2実機試験

溶射ブッシュを組み込んだベアリング構造のビットと、従来のベアリング構造のビットを図4のビット試験機を用いて試験し、ベアリングの耐摩耗性（耐久性）を評価した。

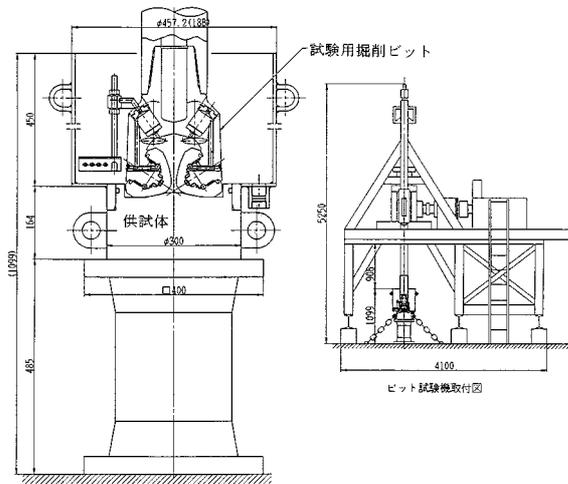


図4 ビット試験機の概略図

### 3.3試験条件

- (1)ビット荷重 : 4 (ton)
- (2)ビット回転数 : 80 (rpm)
- (3)試験時間 : 6時間
- (4)試験用ダスト: JIS Z 8901 2種 けい砂 中位径30 $\mu$ m
- (5)スラリー濃度: 7 (wt.%)
- (6)ビットの状態: ベアリングシール無し  
グリース未封入  
カッタインサートチップ無し

### 3.4ベアリング評価

試験終了後、ビットを分解し、下記項目について調査、測定を行った。

- (1)ベアリング部の外観調査（偏摩耗，キズ，打痕など）
- (2)溶射被膜の外観調査（割れ，ヒビ，剥離など）
- (3)ベアリング部摩擦面の寸法測定

## 4. 実験結果と考察

### 4.1実機試験

溶射ブッシュを組み込んだ試験用ビットと実機試験の様子を図5に示す。試験用ビットは、写真のようにカッタ表面のインサートチップ無しとした。これは、インサートチップがあると供試体が短時間で掘られてしまい、使用できなくなってしまうためインサートチップ無しとした。

実機試験の結果を表1～3に示す。

試験終了後、ビットを分解し、ボディの摩耗量を測定した結果を表2に示す。

荷重のかからないA部は、ほとんど摩耗していないが、高荷重のかかるA部には摩耗が見られた。特に、高速ルーム溶射のWC-Co12ビットのボディの摩耗量が大きかった。これは、カッタ側のWC-Co12被膜および被膜の摩耗，剥離による粒子が研磨粒となったため、カッタの相手材であるボディが大きく摩耗したと考えられる。



試験用ビット



実機試験の様子



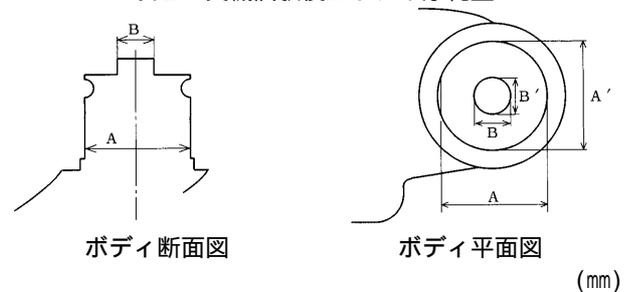
実機試験の様子 (掘削ビットと供試体)

図5 試験用ビットと実機試験の様子

表1 実機試験の試験状況

試験ビット	試験時間 (hour)	ビット荷重 (ton)	ビット回転数 (rpm)	トルク (kg·m)	スラリー濃度 (Wt.%)	最大スラリー温度 ( )
従来品	6	4	80	50 ~ 100	7	77
高速ルーム溶射 WC-Co12	6	4	80	60 ~ 110	7	74
減圧プラズマ溶射 WC-Co12	0.5	4	80	50 ~ 110	7	37
減圧プラズマ溶射 混合粉末	6	4	80	60 ~ 80	7	71

表2 実機試験後のボディ摩耗量



ボディ断面図

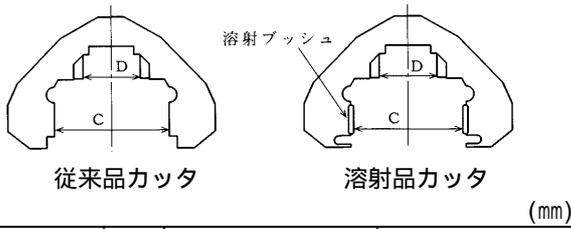
ボディ平面図

(mm)

試験ビット	カッタ	ボディ摩耗量 (径方向)			
		A部 荷重側	A部 非荷重側	B部 荷重側	B部 非荷重側
従来品	1	0.13	0.01	0.12	0.05
	2	0.11	0.03	0.04	0.01
	3	0.10	0	0.04	0.02
高速ルーム溶射 WC-Co12	1	0.74	0.04	0.45	0.02
	2	0.81	0.01	0.37	0.04
	3	0.91	0.11	0.67	0.01
減圧プラズマ溶射 WC-Co12	1	0.21	0.04	0.01	0
	2	0.04	0	0.06	0
	3	0.25	0	0.02	0
減圧プラズマ溶射 混合粉末	1	0.25	0	0.42	0.02
	2	0.15	0	0.21	0
	3	0.30	0	0.33	0.03

カッタの摩耗量の測定結果を表3に示す。

表3 実機試験後のカッタ摩耗量



試験ビット	カッタ	カッタ摩耗量 (径方向)		溶射被膜の状態
		C部	D部	
従来品	1	0.31	0.08	
	2	0.33	0.04	
	3	0.28	0	
高速ルーム溶射 WC-Co12	1	0.05	0.11	被膜部摩耗 被膜残留量：約60%
	2	0.53	0.13	被膜部摩耗 被膜残留量：約10%
	3	0.21	0.12	被膜部摩耗 被膜残留量：約60%
減圧プラズマ溶射 WC-Co12	1	0.06	0	被膜部摩耗無し 被膜表面ビッチング有
	2	0.53	0	被膜剥離 カッタロック
	3	0.05	0	被膜部摩耗無し 被膜表面ビッチング有
減圧プラズマ溶射 混合粉末	1	0.85	0.12	被膜無し 基材も摩耗有
	2	0.90	0.11	被膜無し 基材も摩耗有
	3	0.92	0.09	被膜無し 基材も摩耗有

従来品のカッタの摩耗量は、3つのカッタとも約0.3mm程摩耗して、カッタによる摩耗量の差は少なく、カッタの品質は安定していた。

減圧プラズマ溶射の混合粉末ビットのカッタは、すべて被膜が無くなり摩耗量は大きくなっていった。

減圧プラズマ溶射のWC-Co12ビットは、カッタの被膜が剥離したためNo.2のカッタの摩耗が大きくなっていった。このビットは、No.2のカッタの溶射被膜の剥離によってカッタロックが起き、30分で試験を中止したためNo.1とNo.3のカッタの摩耗量はほとんどなかった。しかし、ブッシュ内面の被膜表面には、土砂の硬質粒子によるピッチングが見られた。

高速ルーム溶射のWC-Co12ビットにおいては、No.1とNo.3のカッタの摩耗量は従来品より摩耗が少なかったが、No.2のカッタは被膜の剥離により摩耗が大きくなっていった。このビットのカッタは、被膜が剥離しなければ、従来品よりも耐摩耗性は良好であると考えられる。しかし、表2のボディの摩耗量のように相手側の材料への攻撃性が強く、相手側を摩耗させてしまうという欠点もある。

### 5. 追加実機試験

今回、3種類の溶射被膜を採用した掘削ビットの実機試験を行ったが、溶射被膜が剥離したり、相手側(ボディ側)への攻撃性が高く相手側を摩耗させてしまうなど、あまり良好な結果が得られなかった。

このことから、基材と被膜および溶射粉末材料の粒子間の密着性を上げ、相手材への攻撃性を低くするため被

膜硬さを抑えることが必要であると考え、現在の材料組成をベースに、被膜硬さが若干低く、密着性の良くなる方向の溶射粉末材料を選び、再び実機試験を行った。

この追加実機試験で選択した材料を表4に示す。

表4 追加実機試験で用いた溶射粉末材料

溶射粉末材料	
1	Ni60%+FeCr20%+Mo20%
2	Ni80%+Cr20%
3	WC-Co17%

### 6. 追加実機試験結果

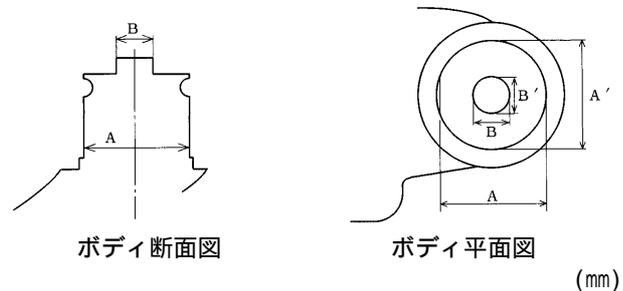
追加実機試験の結果を表5～表7に示す。

表5 追加実機試験の試験状況

試験ビット	試験時間 (hour)	ビット荷重 (t)	ビット回転数 (rpm)	トルク (kg·m)	スラリー濃度 (wt-%)	最大スラリー温度 (°C)	備考 (その他)
減圧プラズマ溶射 Ni60+Mo20+FeCr20	6	4	80	40 ~ 90	7	76	5時間後 振動大
減圧プラズマ溶射 Ni80+Cr20	6	4	80	50 ~ 90	7	68	5時間後 振動大
高速ルーム溶射 WC-Co17	6	4	80	40 ~ 90	7	61	5時間後 振動大

表5の試験状況を見ると、前回の試験に比べ、トルクが約20kg·m下がっており、それに伴い最大スラリー温度も低くなっている。

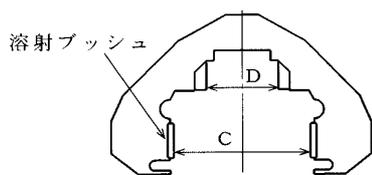
表6 追加試験におけるボディ摩耗量



試験ビット	カッタ	ボディ摩耗量 (径方向)			
		A部 荷重側	A部 非荷重側	B部 荷重側	B部 非荷重側
減圧プラズマ溶射 Ni60+Mo20+FeCr20	1	0.16	0	0.13	0.07
	2	0.14	0.01	0.1	0.02
	3	0.24	0	0.12	0.01
減圧プラズマ溶射 Ni80+Cr20	1	0.16	0.02	0.23	0
	2	0.24	0	0.34	0.02
	3	0.24	0.01	0.12	0.02
高速ルーム溶射 WC-Co17	1	0.81	0.13	0.22	0.06
	2	0.46	0	0.1	0.02
	3	0.25	0.01	0.26	0.01

表6のボディの摩耗量の荷重側A部を比較すると、減圧プラズマ溶射品においては前回の試験とあまり変わらなかったが、高速ルーム溶射品については、摩耗量が前回の約半分となっており、相手材に対する攻撃性が改善されているのが伺えた。

表7 追加試験におけるカッタ摩耗量



溶射品カッタ

(mm)

試験ビット	カッタ	カッタ摩耗量 (径方向)		溶射被膜の状態
		C部	D部	
減圧プラズマ溶射 Ni60+Mo20+FeCr20	1	0.52	0	被膜部100%摩耗 基材も摩耗 被膜材がディに付着
	2	0.93	0.02	被膜部100%摩耗 基材も摩耗 被膜材がディに付着
	3	0.68	0.02	被膜部100%摩耗 基材も摩耗
減圧プラズマ溶射 Ni80+Cr20	1	0.67	0.08	基材も摩耗 被膜材がディに付着
	2	0.73	0.1	被膜部100%摩耗 基材も摩耗 被膜材がディに付着
	3	0.92	0.1	被膜部100%摩耗 基材も摩耗 被膜材がディに付着
高速ルーム溶射 WC-Co17	1	0.14	0	被膜部摩耗、比、剥離有 ブッシュ圧入部外れ。 被膜残量約70%
	2	0.02	0.04	被膜部摩耗、比、剥離有 被膜残量約95%以上
	3	0.02	0.02	被膜部摩耗、比、剥離無 被膜残量約95%以上

表7のカッタの摩耗量においても、減圧プラズマ溶射品は、前回と同様な結果であったが、高速ルーム溶射品は、前回よりも摩耗量が減っており良好な結果であった。

今回の追加試験の結果は、前回の試験結果よりも良い結果が出ており、溶射粉末材料の変更の方向性は間違っていないと考えられる。

今後、さらに被膜硬さを低くしたり、より密着性の良い溶射粉末材料を用いたりすることにより、さらに良い結果がでると考えられる。

## 7. 結論

耐アブレーション性に優れた表面改質被膜の開発を目的に研究を進めた。本年度は、昨年度までの研究で優れた耐アブレーション性を示した表面改質被膜を、摩耗の激しい掘削ビットのベアリング部へ適用し、実機試験により評価を行った。その結果、以下のような結果を得た。

高速ルーム溶射のWC-Co12ビットは、WC-Co粒子が硬いため相手側のボディを摩耗させてしまうが、カッタの摩耗量は従来品よりも耐摩耗性が優れていた。

減圧プラズマ溶射の混合粉末ビットのカッタの被膜は、すべて摩耗してしまい耐摩耗性はよくなかったが、相手材への攻撃性はほとんどなく、ボディの摩耗量を抑えることができた。

溶射粉末材料を密着性がより良く、被膜硬さを抑えた材料に変更することで、溶射被膜の剥離が抑えられ、また相手材への攻撃性も減少し、耐摩耗性が向上した。

高速ルーム溶射のWC-Co17のビットは、カッタ側のWC-Co被膜の割れや剥離、摩耗がほとんどなく、また、相手側のボディの摩耗も少なく、耐摩耗性および摺動特性に

優れていた。

## 8. まとめ

平成6年度より耐アブレーション性に優れた表面改質被膜の開発について研究を進めた。

耐摩耗性の向上には、溶射（プラズマ溶射、高速ルーム溶射）による表面改質技術を採用し、耐摩耗性および摺動特性に優れていると思われる数種類の溶射粉末材料により被膜作製を行った。作製した被膜を往復動摩擦試験、アブレーション試験、ファレックス試験、砂摩耗試験に用いて、耐摩耗性および摺動特性、耐アブレーション性を評価し、耐アブレーション性に優れた被膜を選定した。

その耐アブレーション性に優れた被膜を摩耗の激しい掘削ビットのベアリング部へ適用し、実機試験により評価した結果、WC-Co17の高速ルーム溶射被膜を適用したビットがベアリング部の状態が最も良好であった。このWC-Co17の被膜は、従来の掘削ビットのベアリング部よりも耐摩耗性が優れていた。