

WCサーメット自溶合金溶射皮膜の高性能耐摩耗特性

High-Performansive Wear Resistant Hardfacing with Ni-based Self-Fluxing Cermet containing WC



技術開発センター
尾崎 龍宏
Tatsuhiko Ozaki

技術開発センター
河村 太一郎
Taichiro Kawamura

技術開発センター
古田 博昭
Hiroaki Furuta

要旨

WC-Co系サーメットをブレンドした自溶合金 (MSFWC) 溶射は、耐摩耗性に特に優れ、圧延プロセス等の高温損傷を受けるラインや激しい摩耗環境下で使用される線材ガイドロール等のハードフェーシング技術として広く用いられている。当社では粉末式フレーム溶射装置による自溶合金溶射のさらなる耐摩耗性の向上を目指し、新材料の開発を行っている。その中でブレンドするWCの製造法及びかさ比重を変更した溶射粉末を溶射し、耐摩耗性評価法として、大越式摩耗試験を行った。

Synopsis:

Self-fluxing alloys blended with WC-Co cermets (MSFWC) coated over metal surfaces provide them with excellent wear resistance, a process popularly used, for example, in hardfacing guide rolls used in intensely abrasive environments and steel process lines subject to high-temperature damage. We are trying to develop other types of self-fluxing alloys whose coating by way of powder flame spraying can exhibit higher wear resistance. We tested alloys containing different types of WC-Co cermets produced in different methods and having different bulk density values, and measured their wear resistance by the Ohgoshi type wear resistance testing method.

1 緒言

ハードフェーシング技術の1つとして、溶射法による表面処理技術¹⁾が各種工業分野に広く利用されている。例えば、圧延プロセスでの鋼板の搬送部やガイドロール等のように鋼板との接触が激しく、また高温での使用による摩耗が大きい部材にも、耐摩耗性を向上させる目的で溶射による表面処理が行われている。溶射方法は、表面処理対象材に溶射した状態で使用する場合と、溶射後に溶射皮膜と表面処理対象材との密着強度を向上させる目的で1,000～1,100℃のフュージング処理を行なう場合がある。又、一般に耐摩耗性に優れた自溶合金溶射材料としては、Ni基またはCo基の耐熱合金やこれらの合金にWC (タングステンカーバイト) を添加した材料²⁾が使用されている。しかし、溶射皮膜の特性は溶射材料の製造条件や成膜プロセスの違いに大きく左右され、施工方法などの標準化が難し

いことから品質のバラツキが生じる場合が多い。そこで本論では、粉末式ガスフレーム溶射とフュージングを行う溶射法³⁾によりフレッティング摩耗やエロージョン摩耗に優れたNi基自溶合金+タングステンカーバイト-コバルト (WC-Co) を用いて耐摩耗性の向上をはかることを目的として数種のWCの形態³⁾⁴⁾が異なる材料を開発した。始めに、一般市場で使用されている材料を5種類選定し、ラバーホイールアブレーション試験を行った。その結果に基づき、よりガイドロールの実使用条件に近い大越式摩耗試験⁵⁾を実施し、粉末の形態の違いが耐摩耗性に及ぼす影響について比較・検討を行った。以下にその結果について報告する。

2 自溶合金の特徴

耐摩耗処理として母材をフュージング処理 (1000～

1200℃) することができる場合には硬さと靱性のある自溶合金が有効である。自溶合金 (self fluxing alloy) はJIS H 8303に規定されているようにニッケル基及びコバルト基合金にB、Siなどのフラックス成分を含有させたもので、フューズ処理により合金中のB、Siの一部は酸化が起き易くB₂O₃、SiO₂となり溶射皮膜中及び基材表面の金属酸化物を溶解し溶射皮膜の表面に浮上する。フューズ後の皮膜は自溶合金成分と母材成分が相互拡散して、基材との界面に数10μm程度の合金層を形成し冶金的に結合する。このため良好な密着性があり、かつ溶射粒子同士が熔融し、気孔の少ない皮膜が得られるため適用範囲が広い。溶射溶融処理には、燃焼炎トーチ (バーナ) を使用する手法、雰囲気気を調整した加熱炉を使用する手法、高周波誘導加熱炉を使用する手法などが実用化されている。また、自溶合金は、組織中に初晶や共晶の酸化物や炭化物を含んでいるため、優れた耐摩耗性を示す。他にも塩酸、硫酸、ふっ酸、苛性ソーダなど各種腐食環境に対し優れた耐食性を示す。

3 ラバーホイールアブレーション試験

新材料の開発にさきがけ市販粉末を調査した。幾つかの試験粉末に限定し耐エロージョン性を計るためラバーホイールアブレーション試験を行った。試験条件をTable 1に、装置の概略図をFig.1に示す。この試験機は、試料と回転するホイールの隙間に硬質粒子(SiO₂)を落下させ、試料を硬質粒子により摩耗させる装置である。試験前後の供試材の重量測定により摩耗量の測定を行う。耐サンド(スラリ)エロージョン性を評価する試験として用いた。

Table 1 Wear testing parameters

Test load	8.8 kg
Revolving speed	120rpm
Wheel width	15mm
Wheel diameter	250mm
Abrasive	SiO ₂
Sand flowrate	300 gr/min

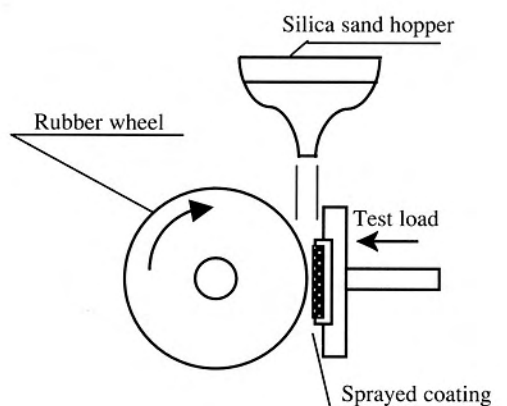


Fig.1 Rubber wheel abrasion test

摩耗量の測定結果をFig.2に示す。そのなかでもWC溶融分散型Ni基及びCo基自溶合金の耐摩耗性が優れている結果が得られた。自溶合金の中ではC、Crの含有量が組織中に多く存在する炭化物量の多いものほど摩耗量は少ない傾向がある。硬質粒子が衝突すると低硬度のマトリックス中の組織が選択的に摩耗する。そのため溶射皮膜中の素地組織の摩耗が進行しWC粒子の脱落等が発生していることが想定される。耐スラリ (サンド) エロージョンに対し、高硬度のWC等の炭化物が均一に分散し、微細な組織ほど摩耗量が少ない。

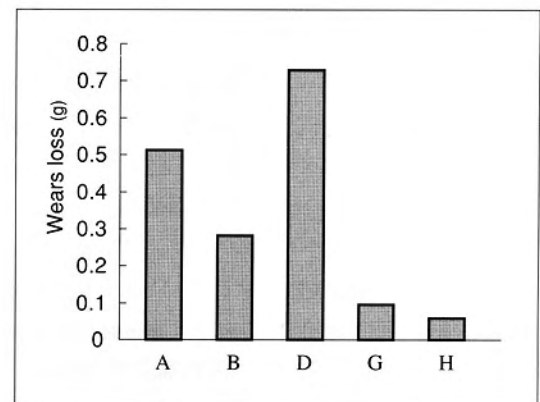


Fig.2 Wears loss in weight of test piece

4 溶射皮膜の評価方法

ラバーホイールアブレーション試験結果に基づき、WC等の炭化物の均一化と微細組織化を狙った開発材料の耐摩耗性評価を行うにあたり、実際の環境に即した試験を行う必要がある。しかし、摩耗現象は影響因子が多く複合的な要素を含むため使用環境を再現することは困難である。そこで今回の試験では、大越式摩耗試験機を用い、線材ガイドロールの使用環境に近い条件を設定し、耐摩耗性の評価を行った。

5 大越式摩耗試験内容

5-1 大越式摩耗評価方法

大越式摩耗試験機の外観写真をFig.3に示す。この試験機は、回転円盤を固定した摩耗評価対象材の平面試験片に押しつけて摩耗させ、試験後の摩耗痕の大きさと摩耗量を測定するものである。回転円盤の外径を2r、厚さをBとすると摩耗量W (体積) は

$$W = \frac{Bbo^3}{12r} (mm^3)$$

で示される。

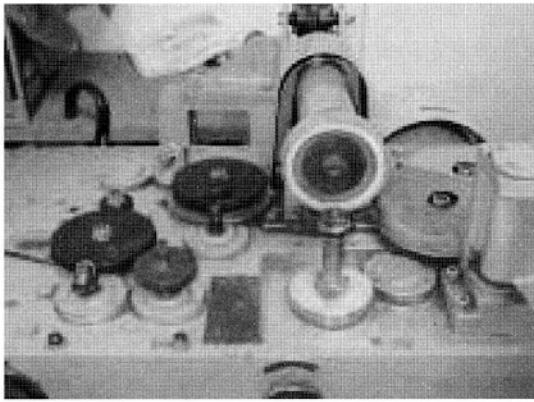


Fig.3 Ohgoshi type abrasion testing machine

5-2 供試材

試験母材には市販の25W×45L×6tのSS材を用い、溶射は日本ユテク社製粉末式フレーム溶射装置（DS-8000）を適用した。フュージング処理後の溶射皮膜厚さを2.0mmとし、供試材の表裏面の0.5mm平面研削加工を行った。供試材料は、試料A：SFNi4、試料B：SFNi5、試料C：MSFWC（35%WC）、試料D：試料CにWC1（スプレ造粒粉）を混合、試料E：試料CにWC2（流動床造粒焼結粉）を混合、試料F：試料CにWC3（流動床造粒焼結粉）を混合、試料G：WC溶融分散型Ni基自溶合金、試料H：WC溶融分散型Co基自溶合金、試料I：Ni基5種にWC-Ni混合した9種類を選定した。Table 2に試験対象の溶射粉末の仕様を記す。試料Bに関し、一般的に用いられているSFNi5に比べ成分中のC、Cr、Bを下げ、耐食性を高めている粉末を使用した。

Table 2 Contents of the test pieces

Test piece	data	granulation method
A	MSFNi4	Gas atomized powder
B	MSFNi5	Gas atomized powder
C	MSFWC-2(35%WC)	sintering agglomerated powder
D	sample c+WC1	spraying agglomerated powder
E	sample c+WC2	fluidized bed type sintering agglomerated powder
F	sample c+WC3	fluidized bed type sintering agglomerated powder
G	MSFWC-2(35%WC)	Gas atomized powder
H	MSFWC-1	Gas atomized powder
I	MSFNi5+40%WC-8Ni	fluidized bed type sintering agglomerated powder

5-3 試験条件

Table 3に試験条件を示す。線材ガイドロールの使用環境を基準とした。定荷重試験（5.0kg）で行い、摩耗速度を高速度（5.0m/s）に設定した。

Table 3 Contents of Ohgoshi abrasion testing

Test piece size	25W×45L×6.0t
Ring form	φ30×3t
Test load	5.0kgf
Abrasive speed	4.39 m/s
Abrasive distance	600m
Examination time	137sec

5-4 大越式摩耗試験結果

大越式摩耗試験後の摩耗痕写真の一例をFig.4に示す。摩耗粉による酸化膜形成の影響は見られなかった。各種供試材の大越式摩耗試験結果の摩耗量をFig.5に示す。グラフに示すように摩耗量は、試料Eが最も少なく、I<F<C<H<D<G<A<Bの順に摩耗量が少ない結果を得られた。自溶合金粉末にWCを添加することで摩耗量の減少が著しい傾向がある。WC2はWC-12Niと同様の摩耗量であり、SFNi4に対し7.9倍、MSFWC（35%WC）の1.39倍の耐摩耗性を示している。

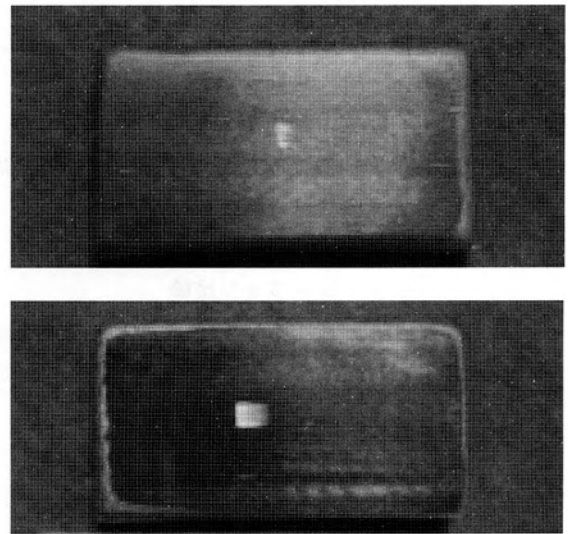


Fig.4 Abrasion mark on the test pieces

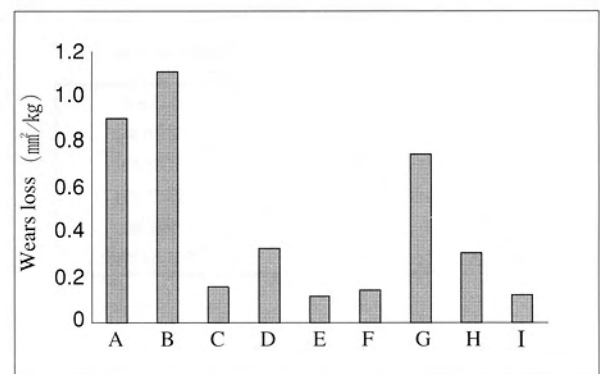


Fig.5 Wears loss in weight of test piece

5-5 ビッカース硬度測定結果

前述記載した供試材のビッカース測定結果をFig.6に示す。硬度測定にあたり溶射皮膜全体の組織の硬度測定を行うため、試験荷重を通常より重い10kgとし測定は20回行った。その測定結果、試料Hの硬度(Hv890~980)が最も高くC、E、F、Iはほぼ同様の硬度(Hv750~920)を示した。WC形状による硬度の差はさほどみられない。B、DはHv600~700と低い硬度を示している。

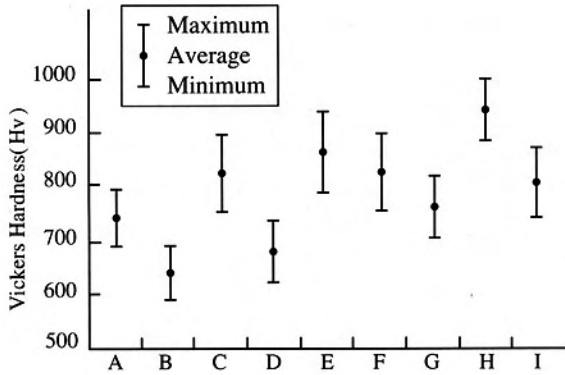


Fig.6 Vickers hardness of test piece

5-6 ミクロ観察

Ni基自溶合金はNi、B及びSiの3成分からなるマトリクス（基質）と組織中に硬質組織の初晶や共晶の炭化物、酸化物及びほう化物を含み、優れた耐摩耗性を有す。さらなる耐摩耗性の向上を目的に添加したWCの仕様をTable 4に、溶射皮膜中のWC形状の拡大写真(400倍)をFig.7に示す。WC1は、焼結されていないため焼き締まりがなくスプレー造粒時の気泡がそのまま粉末中に残っている。WCの結合及び粉末強度がもろく、溶射・フュージングの際Coの溶解が起こり、WCの収縮と脱落を招きやすい。WC2とWC3は、製造法は同じであるがかさ比重を変更しているためWC形状が異なっている。WC2はCoの溶解が少な

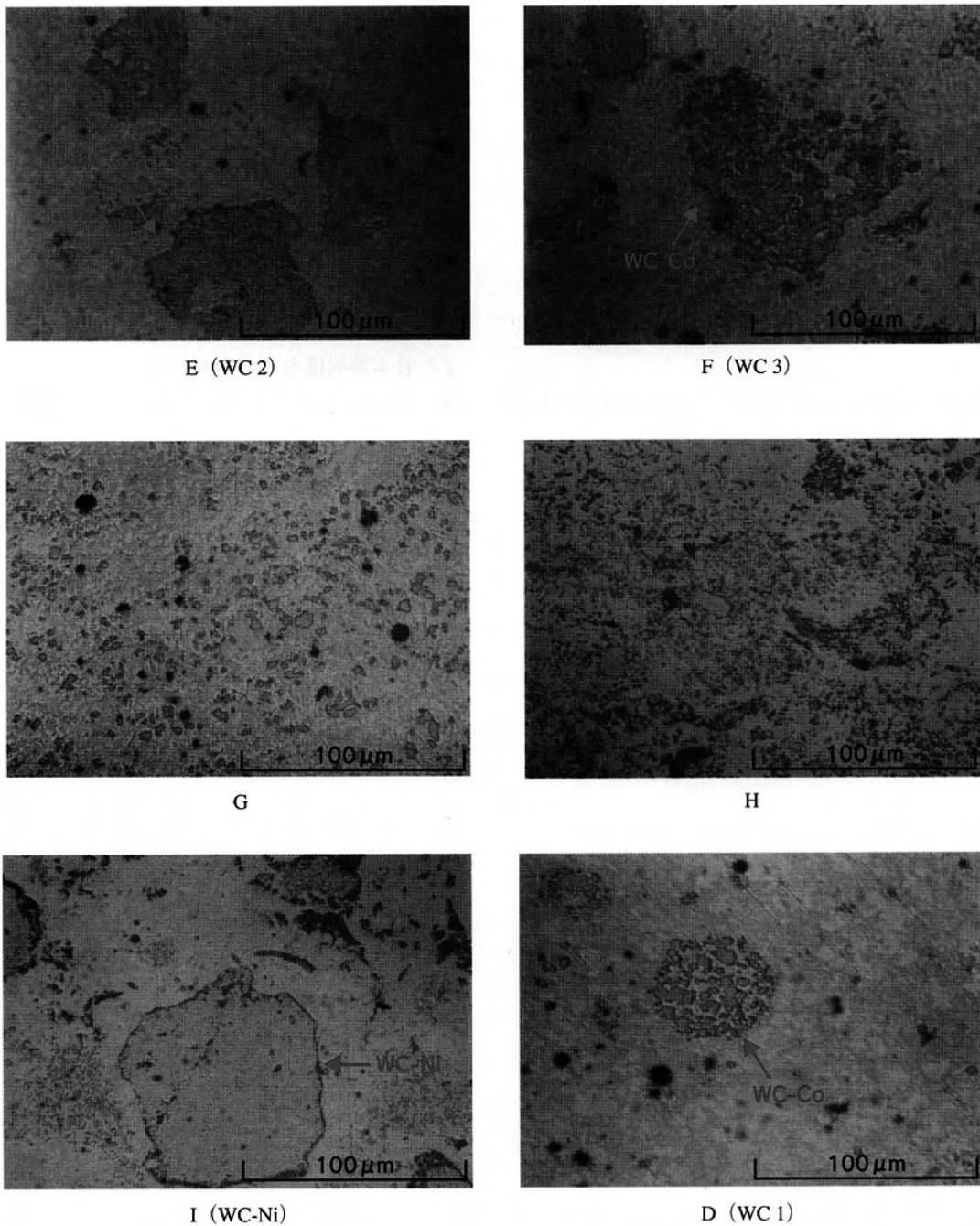


Fig.7 Microstructures of test piece

く粒状をそのまま維持している。WC3はWC2と比較しCoの溶解が若干おこり砕けた形状をしている。前者後者とも粉末粒度に差はなく、粉末強度及びかさ比重が耐摩耗性に影響を及ぼしている。

Table 4 Particle size and bulk density of WC form (%)

Examination material		WC1	WC2	WC3
Distribution of particle size	+106 μm	0.1	0.0	0.2
	+90 μm	11.0	12.2	12.3
	+75 μm	25.3	36.2	32.2
	+63 μm	39.9	67.9	63.2
	+53 μm	72.2	88.2	87.5
	+45 μm	91.9	98.3	97.3
Bulk density		2.82	6.08	4.55

6 考察

上記試験結果よりWCの添加により耐摩耗性の向上がみられた。また、WCの製造法及びかさ比重の違いにより耐摩耗性に大きな差が出ている。かさ比重を高くWCの結合が強固なWC2が最も優れておりCoの溶解やWCの収縮・脱落が少なく、皮膜中への歩留りも良好であり、WC-Niに匹敵する耐摩耗性を示した。

7 結言

圧延プロセス等の高温損傷を受けるラインや線材ガイドロール等の激しい摩耗環境下で使用されている自溶合金の耐摩耗性の向上を目的として、新材料の開発と耐摩耗性の評価を行った。以下にその内容を要約する。

(1)ラバーホイールアブレーション試験において10～20

μm の微細なWC等の炭化物が皮膜中に均一に分散している組織ほど摩耗量が少ない結果が得られた。

(2)スプレ造粒法により製造したWC1は、WCが砕けた形状を示しWCの結合が弱く耐摩耗性においても低い。造粒焼結法により製造したWC2、WC3は、WCがそのまま塊状を維持し耐摩耗性も良好な結果が得られた。

(3)ガイドロールの使用条件を設定した大越式摩耗試験で、試料Eが最も耐摩耗性に優れている結果が得られた。

これらの結果、添加するWCの製造法により摩耗現象の耐摩耗性に差が出ていることから、使用環境に応じた適正な選択をすべきである。エロージョン等の流体摩耗には微細なWC分散型が適しており、アブレーション・フレッティング等の機械的摩耗にはかさ比重が高いWC（造粒焼結法）が適している。

謝辞：溶射粉末製造を行って頂いた(株)フジミインコーポレーテッドの五日市氏及びラバーホイール試験資料を提供して頂いた九溶技研(株)藤家氏に感謝致します。

参考文献

- 1) 坂田, 井上: 日本溶射協会監修誌 溶射技術, Vol.9, No4, p.78
- 2) 日本溶射協会 溶射ハンドブック, p.310, p.502
- 3) 谷: 日本溶射協会監修誌 溶射技術, Vol.9, No4, p.57
- 4) 谷: 日本溶射協会誌, (1998), No.3, p.225
- 5) 蓮井: 溶射工学, (1996), p.180