

高クロム鋳鉄とセラミックスとの複合材料の摩耗特性

Wear Resistance of High Cr Cast Iron and Ceramics Composite Materials



技術開発センター係長 技術開発センター センター長付 技術開発センター主任
大野 京一郎 吉永 宏 嵩 純孝
Kyoichiro Ohno Hiroshi Yoshinaga Sumitaka Take

要 旨

製鉄所など各種の製造業が有する設備では、使用環境に応じて耐摩耗性や耐腐食性などを付与させた多種多様な表面処理が設備の稼働時間の増加や部品の寿命延長に効果を発揮している。中でも製鉄所の原料地区において、塊状の鉱石が通過・落下させる輸送機や破砕機に適用される耐摩耗材料には、高クロム鋳鉄が多く普及している。

当社では従来から、高クロム鋳鉄に生ずるクロム炭化物より硬く、大きな炭化物系のセラミックスを複合させた材料を開発してきた。本報では、これらの開発材料と高クロム鋳鉄との耐摩耗性の比較試験を行った。その結果、製鉄所の原料ヤードで適用する耐摩耗材料については、用途や使用条件に応じて材料を選択する際に必要となる指針を示した。

Synopsis:

The various surface treatment with high wear resistance and corrosion resistance has been effected to increase operation time and the life of parts in the facilities for the various manufacturing industries such as steel works, etc.. In the case of the raw material yards in steel works, as the wear-resistance materials applying for the transporter and crusher in witch massive ores are passed and fallen, the chromium (Cr) cast iron are especially widespread.

FUJICO has been developing the composite materials with ceramics of carbide system which is harder and bigger than the Cr carbide in the high Cr cast iron. This paper reports the comparison results on the wear resistance for these developed materials and the high Cr cast iron. From the test results, the necessary guide line in selecting the wear resistance materials according with its use and using condition in the raw material yards of iron works was shown.

1. 緒言

製鉄所・電力等各種の製造業が有する設備では、使用環境に応じて耐摩耗性や耐腐食性など、多種多様な表面処理により、設備の稼働時間の増加や、部品の寿命延長に効果を発揮している。

中でも、塊状の鉱石が連続的に通過・落下する輸送機や破砕機といった上工程の原料地区設備に適用される耐摩耗材料は、すべりや衝突といった摩耗形態の異なる環境下においても、高クロム鋳鉄が広範囲に普及しているが、当社の主要客先である製鉄所の設備は、近年の大幅な生産増加により、耐摩耗性の改善要求が大きく、高クロム鋳鉄より耐摩耗性を向上させるため、多くの研究者が検討している。

当社では、数年前より高クロム鋳鉄に発生するク

ロム炭化物より硬質で、大きな炭化物系セラミックと色々な金属との複合材料を考案している。一例として、プラストエロージョン摩耗を有する設備での耐摩耗材料では、炭化物系サーメットと金属との複合材料が高クロム鋳鉄よりも4倍向上した¹⁾。

そこで当社は、上記の知見を基に、原料地区の設備に適用可能な複合材料を開発し、高クロム鋳鉄との耐摩耗性の比較を行った。以下に、すべり摩耗と衝突摩耗の試験結果を報告する。

2. 原料地区の設備概要

本報で取扱う原料地区の設備で代表される、連続式アンローダーの摩耗環境をFig.1に示す²⁾。この設備は、船で運搬された原料を、陸地に荷揚げす

るものであり、搬送される原料の落下により、耐衝突摩耗性が要求されるシュートダンパー、原料を粗粉碎するため耐すべり摩耗性が要求されるスクレーパーといった使用環境の異なる箇所があるが、現状この使用環境下の殆どで、高クロム鋳鉄が使用されている。

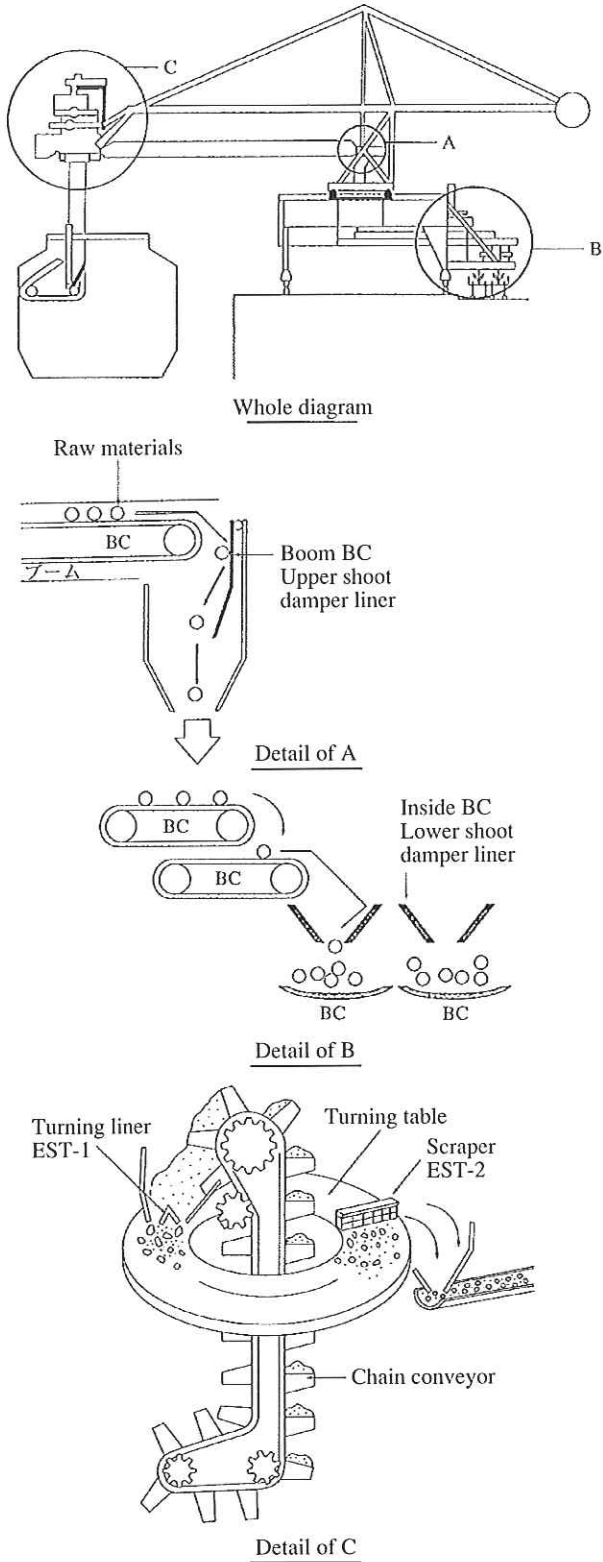


Fig.1 Schematic diagrams showing continuous type unloader

しかし、衝突を常時受ける箇所に耐摩耗材料を配備しても、衝突時に欠け易く、ひいては破損する懸念がある。一部の客先では、ゴムを使用した経緯があるが、ゴムが破損した箇所があり、非常に苦慮している。これより衝突環境には、耐摩耗特性と同様、密着性が要求される。

また、当社の独自技術である鋳造複合ライナー、EST材も広く使用されているが、肉厚の仕様が30mmと厚く、アンローダーのような高所作業を有する箇所には、取付工事に苦慮するために適用が困難な箇所がある。

3. 各種材料の評価方法および結果

筆者らは、原料地区設備の使用環境に基づき、現状の高クロム鋳鉄と現在開発中である炭化物系セラミックスと金属との複合材料（以下、複合材料と略す）の機械的特性を評価した。本報では、耐摩耗特性を重点に、すべり摩耗と衝突角の異なる衝突摩耗を実施した。

3.1 セラミック複合材料とは

近年、多くの研究者は、高クロム鋳鉄³⁾より複合材料の研究⁴⁻⁶⁾に着手している。複合材料は以下の利点がある。

- (1) 複合材料の設計において、セラミックス形状の自由度が大きいため、高クロム鋳鉄よりも容易である。また、高クロム鋳鉄で発生する炭化物と異なり、凝固による形状を考慮しなくても良い。
- (2) 高クロム鋳鉄では炭化物の生成元素を多く含有するため、融点が上昇し、製造歩留が低下する。しかし複合材料では、耐摩耗特性をセラミックスに依存させるため、高クロム鋳鉄よりも含有元素を抑制できるので、製造歩留が向上しやすい。
- (3) 複合材料に使用するセラミックは、市販性が高いので、材料単価が抑制可能。
- (4) 炭化物以外の酸化物や窒化物でも適用可能。

本報では、複合材料の金属をJIS-SSや従来の高クロム鋳鉄を使用し、セラミックスをプラズマアークにて複合させた。なおセラミックスは、前記のとおり、耐摩耗部品に多く適用されている炭化物

Table 1 List of specimens

Division	Specimen	Base	Coating
Comparison	No. A	-	HCR-Nb
	No. B	-	HCR-A2
Developed	No. C	SS400	NbC
	No. D	HCR-Nb	NbC
	No. E	HCR-Nb	SiC
	No. F	HCR-A2	NbC

を使用し、中でも市販性の高いNbCおよびSiCを使用した。評価試験に使用した被覆材料をTable 1に示す。比較材は、弊社の高クロム鋳鉄肉盛材料HCR-NbとHCR-A2を使用した。

3.2 ミクロ組織

各被覆材料のミクロ組織をFig. 2に示す。これより、下地の比重と、ほぼ近似した比重を有するNbCは、均等に複合しているが、SiCは下地よりも比重が軽いため、表面に多く複合している。またSiCは、NbCと比して、複合の残存量が少ない。

これは、SiCの比重が 3.2g/cm^3 と小さいため、プラズマアークに反発され、アーク内に挿入し難い

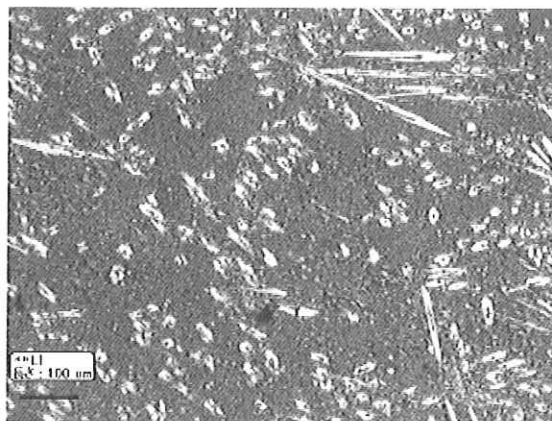
ことと、アーク内に挿入されたSiCが、 4000°C 以上あるプラズマ領域で分解されたものと推察する。

3.3 耐すべり摩耗評価試験

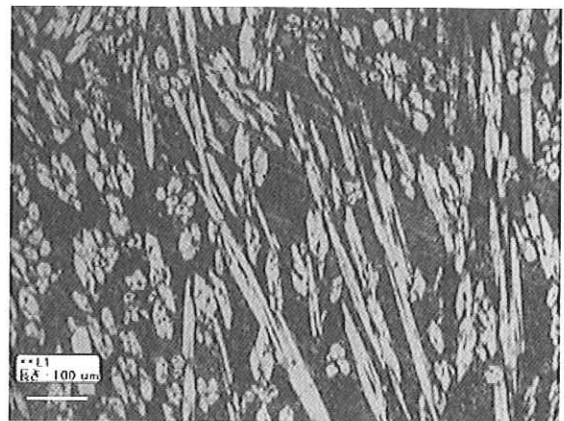
3.3.1. 試験方法

試験はエンドレスグラインダーを用い、各種の被覆材料における試験前後の重量を測定し、摩耗減量を算出後、予め算出した各種の被覆材料において比重と試験面積とで除した値を求めた。これより、被覆材料の摩耗量を高さで表した。

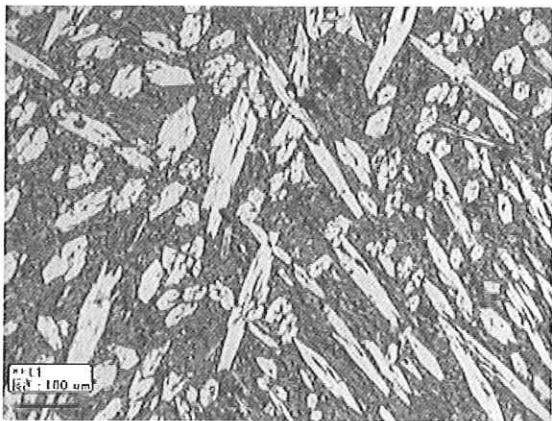
試験条件をTable 2に、試験装置の概略図をFig.3に示す。



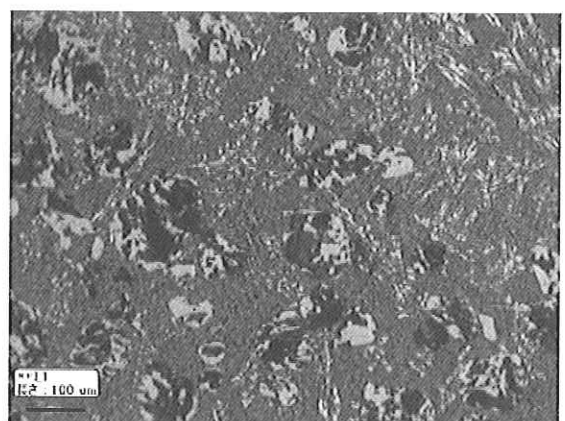
No. A



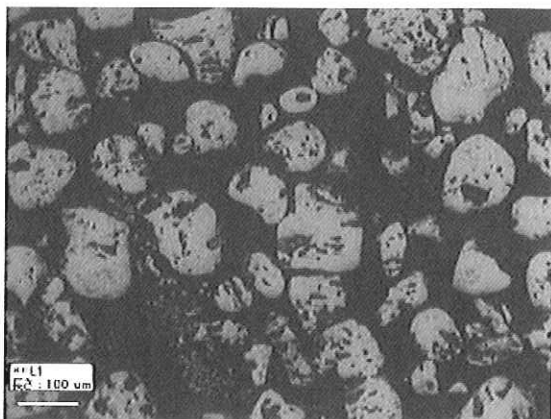
No. D



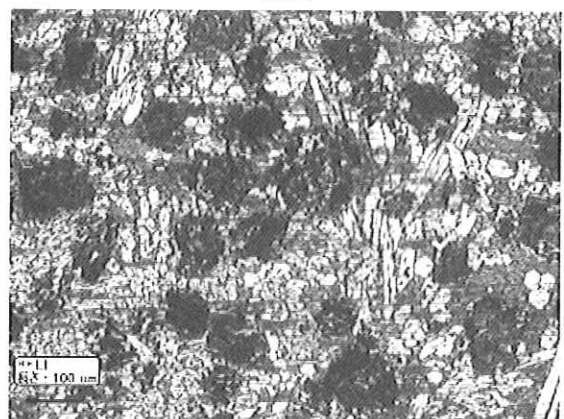
No. B



No. E



No. C



No. F

Fig.2 Microstructures of ceramics composite materials

Table 2 Test conditions

Test machine	Wear tester with endless emery cloth
Load	3100g (T.P.+Stopper)
Speed	240 m/min
Roughness of belt	SiC, # 40
Test time	2hr.

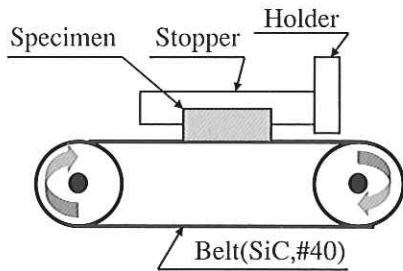


Fig.3 Schematic diagram of sliding wear test machine

3.3.2. 試験結果

エンドレスグラインダーによる耐すべり摩耗の試験結果をFig.4に示す。

従来の高クロム铸铁AとBより、NbCを複合させたC、DおよびFの摩耗量が向上した。

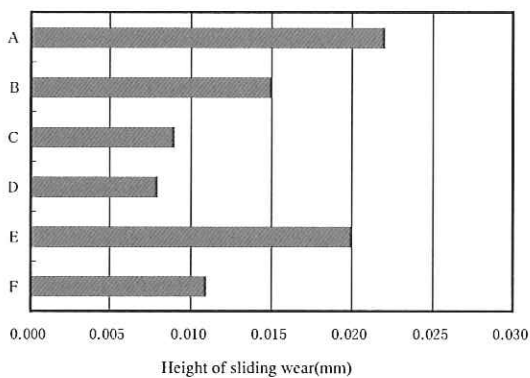


Fig.4 Results of sliding wear test

3.4 耐衝突摩耗評価試験

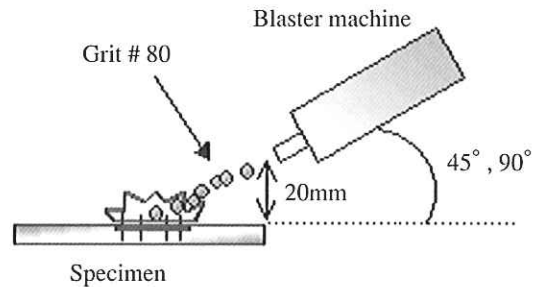
3.4.1 試験方法

試験は技報No.13同様、溶射の際に用いるブラスト機で、各種の被覆材料に粉体を高圧で数回飛散させ、摩耗減量の測定後、耐すべり摩耗と同様に、摩耗高さを算出した。試験条件をTable 3に、装置の概略図をFig. 5に示す。

なお本試験で使用される飛散粉体は、硬質で粒度が0.6~1.0mm φのマルテンショット#80を使用した。また投射角度は、使用環境を考慮し、45°と90°で評価した。

Table 3 Test condition

Test machine	Shot blasting machine (Air-type)
Materials blasted	Martensite grit
Angle of projection	45°, 90°
Air pressure	7kgf/cm ²
Quantity of materials projected	20kg
Test cycle	5



Martensite grit # 80 20kg × 5
Air pressure 7kgf/cm²

Fig.5 Schematic diagram showing collision wear test

3.4.2 試験結果

ショットブラスト機による耐衝突摩耗の試験結果をFig. 6に示す。

その結果、耐すべり摩耗試験の結果に反し、従来の高クロム铸铁の良いことが判明した。

4. 考察

4.1 耐すべり摩耗評価試験

耐すべり摩耗試験後における被覆材料のマイクロ組織をFig.7に示す。その結果、複合化した炭化物の形状が大きいものほど、耐摩耗特性は良好である。

また、炭化物周辺の硬度を測定した結果をFig. 8に示す。その結果、炭化物の周辺部位の硬度は、複合化していない高クロム铸铁A、Bおよび金属に多くの元素を含有していないCは、硬度を維持していたが、その他の複合材料における基地の硬度は、低下していた。

これより、高クロム铸铁の摩耗が大きい要因として、基地と微細に晶出した炭化物が、ほぼ同時に削られているものと推察した。

一方、複合材料は再固溶した基地よりも、炭化物が広範囲に点在しているため、本来の複合材料の設計思想である耐摩耗特性を、炭化物で補っているものと推察する。

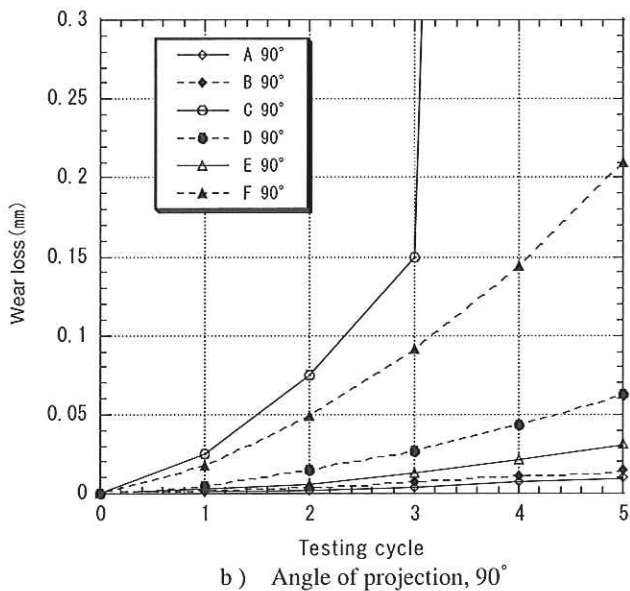
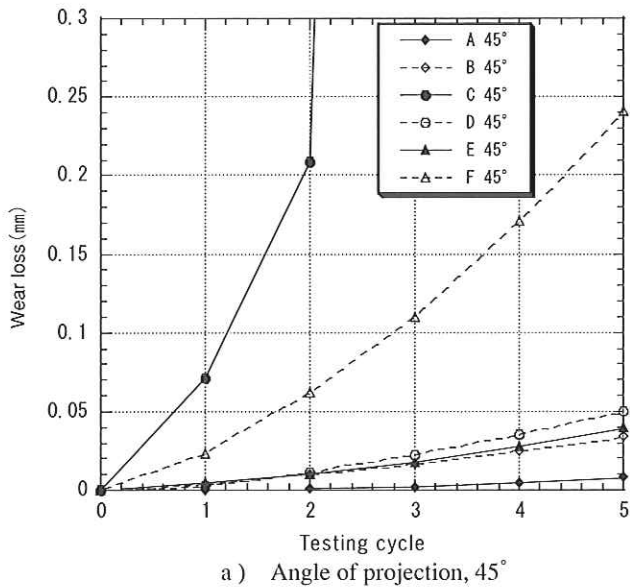
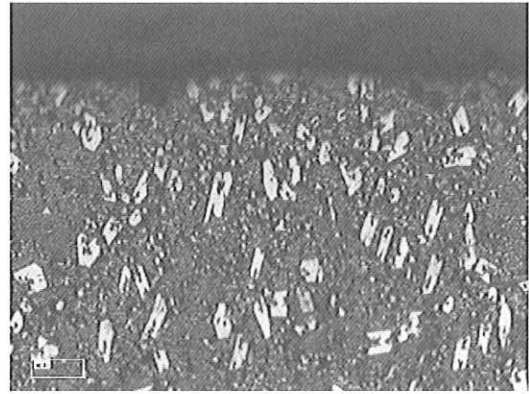
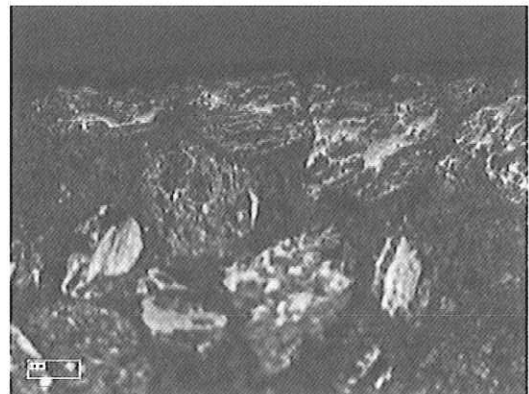


Fig.6 Results of collision wear test



A



C



D

Fig.7 Microstructures after the sliding wear test

4.2 耐衝突摩耗評価試験

耐衝突試験後における被覆材料のミクロ組織を Fig. 9 に示す。その結果、複合化した炭化物の形状に沿って、消失した様子を観察した。この観察結果を前述した金属部位における硬度の結果と照合し、摩耗のメカニズムを、下記のように推察する。

- (1) 複合材料の炭化物が広範囲に点在しているため、優先的にマルテンショットと衝突。
- (2) 炭化物は高硬度で、かつ脆いため、マルテンショットとの衝突後、炭化物に欠けが生じる。
- (3) 衝突が連続的であるため、炭化物の欠けが優先的に観察された。

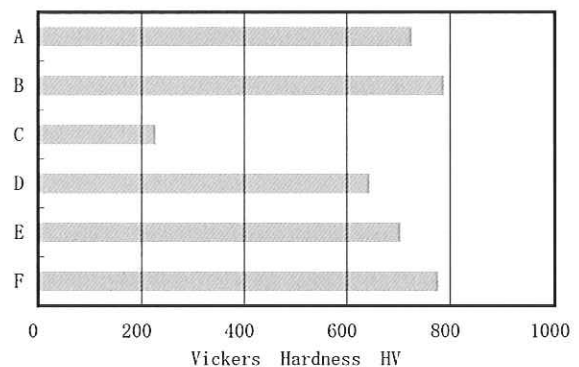
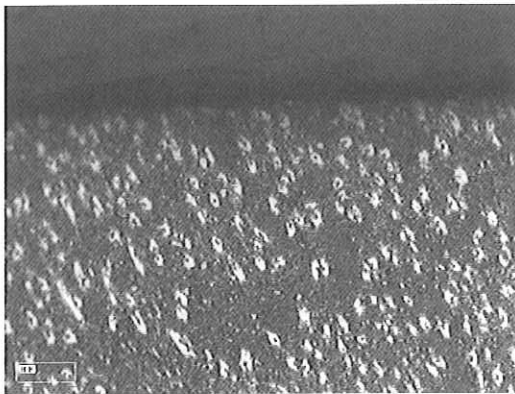


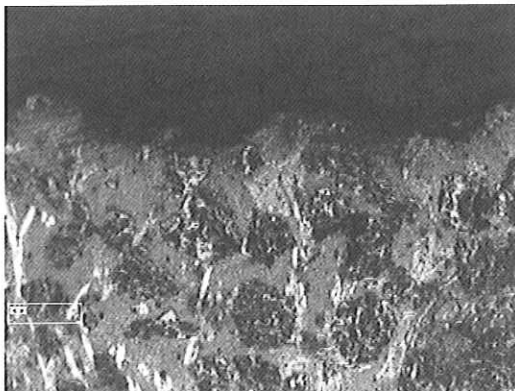
Fig.8 Hardness measurement result around carbide



No.A



No.C



No.D

Fig.9 Microstructures after collision wear test

5. 結言

本報では、原料地区の使用環境を想定した耐摩耗試験を実施した。得られた研究成果をまとめると、以下のとおりである。

- (1) 金属に炭化物を複合化させた結果、炭化物の粒度と比重により、複合化の作業性が大きく変化した。
- (2) 複合材料の耐すべり摩耗特性は、炭化物が広範囲に含有することで、従来の高クロム鉄よりも向上した。
- (3) その反面、耐衝突摩耗特性は、複合化した炭化物が消失され、従来の高クロム鉄が優れている。これは、高硬度の炭化物とマルテンシオットが優先的に衝突し、炭化物に欠けが生じた。

当社では今後、この成果に加えて投射角度による耐衝突摩耗特性の変化や、高温環境下に耐え得る金属とセラミックとの組合せを再設計することで、原料地区への耐摩耗材料を提案し、保全費や修繕費といった取付工事費に係わる費用削減に、協力できるよう対応する所存である。

参考文献

- 1) 大野京一郎 野村大志郎, フジコー技報, 13(2005)60-64.
- 2) 宮崎裕之, フジコー技報, 8(2000)46.
- 3) 例えば、笹栗信也 牟田口達也 横溝雄三 久保修 松原安宏, 鑄造工学, 76(2004)198-204.
- 4) 富田義弘 炭本治喜, 鑄造工学, 78(2006)139-145.
- 5) 麻生節夫 池浩之 小西信夫 勝負澤善行 後藤正治, 鑄造工学, 78(2006)146-151.
- 5) 宮内瞳苗 辻村太郎 半田和行 中山淳一 清水一道, 鑄造工学, 78(2006)503-509.