

# 技術論文

## ブラストエロージョン摩耗を有する設備への被覆材料開発

Development of Coating Materials for Plants Required Blasting Erosion Wear Resistance



技術開発センター  
大野 京一郎  
Kyoichiro Ohno

技術開発センター  
野村 大志郎  
Daishiro Nomura

### 要 旨

各種製造業やごみ焼却で有する設備では、使用環境に応じ、耐摩耗性、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。中でも耐摩耗材料の研究は、すべり摩耗、アブレーション摩耗といった摩耗形態において、高クロム鋳鉄や高速度鋼が広く普及している。

当社では最近、流動床ボイラー焼却設備や製鉄所内のスケール除去設備など、粉体を飛散させる設備での耐ブラストエロージョン摩耗材料の改善要求に応えるべく、炭化物系サーメットを複合させた被覆材料を開発した。この開発材は、高クロム鋳鉄よりも耐ブラストエロージョン摩耗性に優れている。

本報では、これらの耐ブラストエロージョン摩耗性に対する評価試験の結果について報告する。

### Synopsis:

In the case of equipments used in various manufacturing industry and incinerators and so on, the higher wear resistance and corrosion resistance are required because of the sever using conditions. The many kinds of surface treatment methods have been using to increase the operation times and the life of parts, and showing the good results. Specially the researches and developments on the wear resistance materials for the high chromium cast iron and high-speed steel have been doing from the points of view on the sliding and abrasion wear behavior.

We recently developed the coating materials compounded the cermets of the carbides in order to comply with the improvement requests on the blasting erosion wear resistance in the facilities which are scattered by the powders, and are contained the incinerators with boilers of fluidized beds or the equipments for scaling off in the mills. The blasting erosion wear resistance of the developed coating materials is superior to that of the high chromium cast iron.

In this paper, we report on the results of evaluation on the blasting erosion wear resistances for the different materials.

### 1 緒言

各種の製造業やごみ処理などの設備では、使用環境により、材料に耐摩耗性、耐腐食性などの性能が必要とされる。特に耐摩耗性が要求される環境では、すべり摩耗、アブレーション摩耗など摩耗の形態によって、多種多様な材料が開発され、その材料に表面処理を施す装置や方法も、画期的に進歩している<sup>1)</sup>。

近年、各種の設備を使用するユーザーでは、砂やグリッドといった粉体を、高速で飛散させる循環設備において、耐摩耗性の改善が検討されている。例として、流動床ボイラーの焼却設備や、製鉄所内のスケール除去設備において、ブラストエロージョン摩耗が腐食摩耗より先行しているという問題がある。そこで当社では、各種材料の耐ブラストエロージ

オン摩耗性に着目し、この性能を評価した。さらに、この摩耗に耐え得る被覆材料を開発した。

以下に、ブラストエロージョン摩耗を有する設備の概要、当社で実施した各種材料の評価試験結果、および今回開発した被覆材料の機械的特性などについて紹介する。

## 2 耐ブラストエロージョン摩耗を有する設備の例

### 2-1 流動床ボイラ焼却設備<sup>2)</sup>

ゴミ処理の焼却炉は、施設の最も重要な設備であり、炉の形式により、焼却方式が流動床方式の他、前後に移動するストーカーでゴミを攪拌・移送するストーカー方式、乾燥・熱分解されたゴミが順次下方へ移動する直接熔融方式および回転方式がある。流動床方式の焼却炉は、1975年頃より実用化され、現在では多くのメーカーで製造されている。

流動床ボイラー設備の概略図をFig.1に示す。この方式は、炉内に砂などの高温で流動する媒体を押込み、空気で攪拌、ゴミを浮遊・燃焼させる。さらに、フリーボード部で未燃焼ガスを2次燃焼させ、砂は下部で不燃物として分離されて循環する方式である。

流動床ボイラー設備は、炉内環境が500℃程度と高温で、かつ砂や石灰を混合させた粉体を、高速で飛散させる。現状では、炉内部品は使用温度を考慮して、耐熱性に配慮したオーステナイト系ステンレスが採

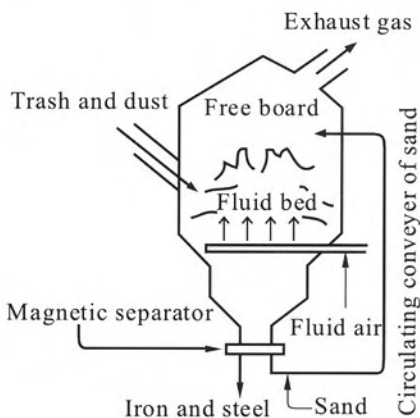


Fig.1 Schematic diagram of boiler with fluid bed

用されているが、そこではブラストエロージョン摩耗が問題になっており、この耐摩耗性に優れた材料の開発が望まれている。

### 2-2 製鉄所内スケール除去設備

製鉄所内で分塊工場や熱延工程、あるいは熱処理後の鋼材の表面には、薄い酸化スケールが付着する。スケールが付着したまま鋼材に、引抜きや矯正などの2次加工をすると、ダイスやローラーに損傷や摩耗を増大させ、かつ鋼材の表面性状を悪化させるため、このスケールを2次加工前に除去し、あわせて表面疵の検査も行う<sup>3),4)</sup>。

従来スケールの除去法として、硫酸または塩酸に鋼材を浸漬させる酸洗法が一般的であったが、最近では廃液処理などの公害問題や廃液処理など危険度の高い合金鋼では、ショットブラストなどで行う機械的処理が用いられるようになってきた。

ショットブラストの投射方法には、圧縮空気にショットを混入してノズルから噴出させる空気式と、遠心力を利用して回転翼でショットを投射する機械式とがある。ショットの種類をTable 1に、機械式装置の一例をFig.2に、各々示す。

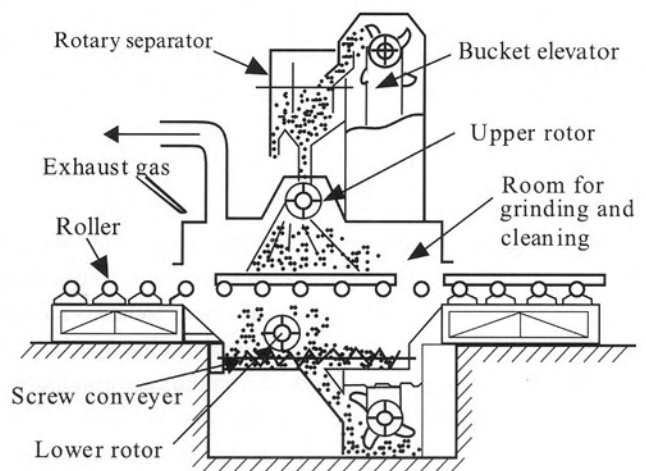


Fig.2 Example of shot blasting facility with mechanical type

Table 1 Kinds of shots

Kind of shot	C (%)	Grain size (mm φ)	Hardness (HV)	Shape of shot	Usage
Shot blasting	0.7~1.45	0.4~2.8	240~600	Spherical	Grinding Cleaning Peening
Grit blasting	0.9~2.6	0.4~2.8	420~920	Acute angle	Grinding Cleaning Cutting off fin
Cut wire	0.45~1.1	0.4~1.6	240~490	Column	Grinding Cleaning

### 3 被覆材料の評価方法

各種設備の使用環境に基づき、現状の一般材と開発した材料の機械的特性を評価した。本報ではブラストエロージョン摩耗特性と共に、高温での硬度の測定により、各種設備の使用温度における硬度低下特性も把握した。

本試験では、Table 2に示す一般材および炭化物系サーメットと、金属を一定の重量比で複合して被覆した複数の開発材とを比較した。

なお一般材には、現在、流動床ボイラー管に適用しているJIS-SUS310材、スケール除去設備で適用している、高クロム鋳鉄およびボイラー管への使用頻度が高い、自溶合金を選定した。

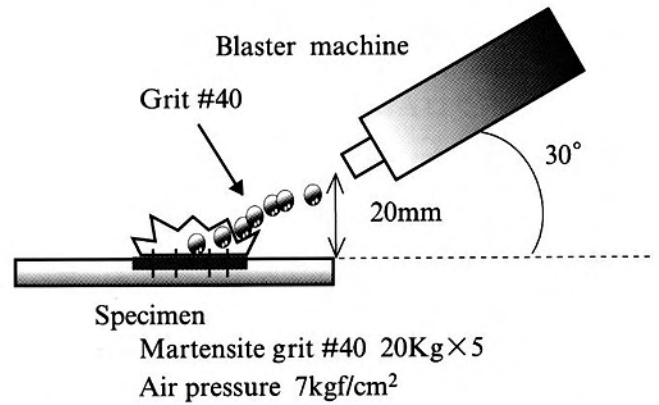


Fig.3 Schematic representation of blasting erosion wear tests

Table 2 List of materials selected as test specimen

Powder	Specimen	Materials
Conventional materials	No.A	JIS-SUS310
	No.B	High Cr Cast iron (3C-27Cr)
	No.C	JIS-SFNI5
Materials used for development	No.D	WC cermet+Alloy (alloy rich)
	No.E	WC cermet+Alloy (WC cermet, Alloy even)
	No.F	WC cermet+Alloy (WC cermet rich)
	No.G	Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> cermet+Alloy (Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> cermet, Alloy even)

#### 3-1 ブラストエロージョン摩耗試験

##### (1) 試験方法

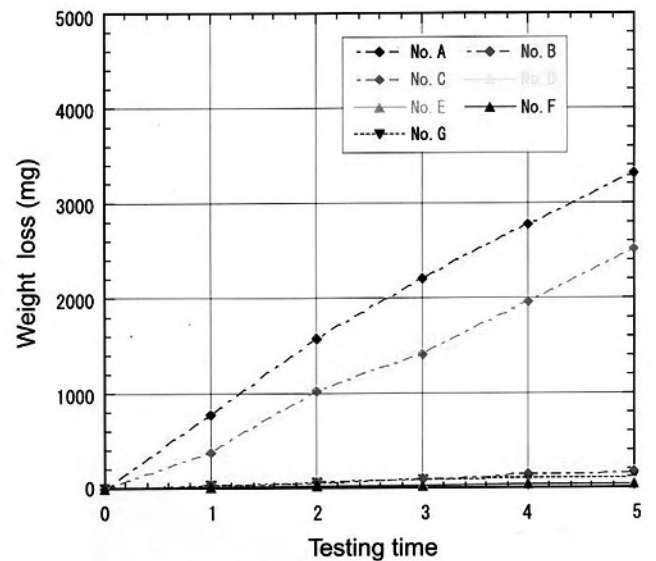
試験は溶射の際に用いるブラスト機で、一般材、もしくは開発材に粉体を高圧で数回飛散させ、この後の摩耗減量、および摩耗痕の深さを測定した。試験条件をTable 3に、装置の概略図をFig.3に示す。

Table 3 Experimental conditions for blasting erosion wear tests

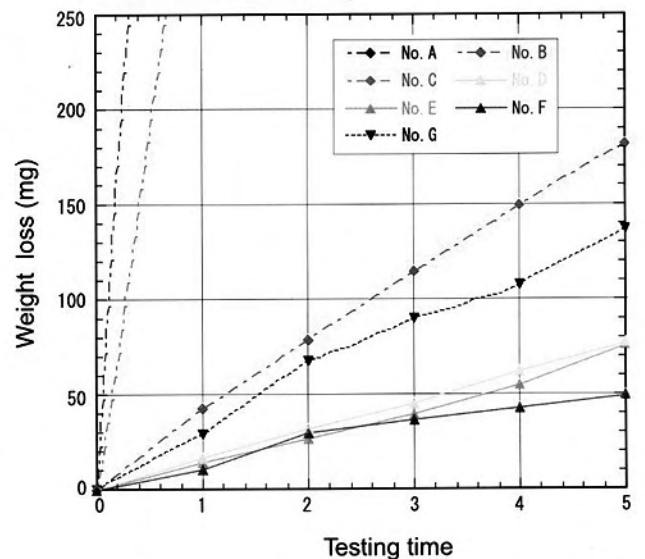
Item	Test conditions
Kind of blasting materials	Martensite grit
Projection angle of blasting materials	30°
Projection quantity of blasting materials	20 kg
The number of times for blasting	5 times
Air pressure	7 kgf/cm <sup>2</sup>

##### (2) 試験結果

ブラスト機によるブラストエロージョン摩耗試験の結果をFig.4に示す。



(a) Total quantity of the weight loss



(b) Detail on the weight loss under 250 mg

Fig.4 Results of blasting erosion wear tests



一般材の場合、硬質の炭化物が晶出しないJIS-SUS310とJIS-SFNI5では、材料の摩耗減量が多かったのに対し、高クロム鋳鉄では摩耗減量が少なく、JIS-SUS310と比較して、約1/18の摩耗減量を示した。

一方、開発材においては、WC系、およびCr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>系共に、一般材よりも摩耗減量が小さく、中でもセラミック含有量の最も多いNo.Fの摩耗減量は、高クロム鋳鉄の約1/4、JIS-SUS310の約1/66であった。

また、金属の添加量が同等で複合したセラミック材料が異なるWC系のNo.EとCr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>系のNo.Gを比較すると、No.EはNo.Gの約3/5の摩耗減量を示し、WC系が耐摩耗性に効果的であることが分かった。

さらに一般材で、摩耗減量が小さい高クロム鋳鉄と、開発材とにおける摩耗痕の形状を比較した。この測定は、Fig.5で示すように、表面粗度計を用いてマルテングリットが衝突した摩耗痕の幅wと深さdを計測した。計測結果をTable 4に示す。

この表から、摩耗減量の場合と同様、WC系複合材料のNo.D、No.E、No.Fは、Cr炭化物を有する高クロム鋳鉄やCr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>サーメットのNo.Gよりも、摩耗痕の幅や深さが小さく、かつWCサーメットの添加量を多くするほど、摩耗痕は小さくなり、耐摩耗性の優れることが判明した。

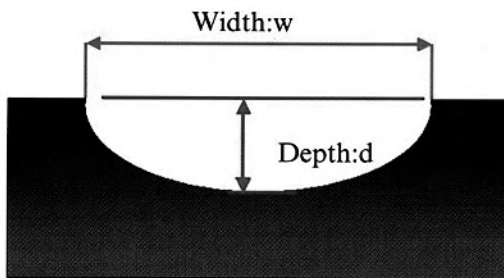


Fig.5 Schematic diagram showing measurement method of dents in blasting erosion wear specimens

Table 4 Measurement results of each dents in specimens after blasting erosion wear tests

Specimen	Width : w (mm)	Depth : d (× 10 <sup>-3</sup> mm)
No.B	18	40
No.D	16	22
No.E	14	22
No.F	14	10
No.G	16	36

### 3-2 高温硬度測定試験

#### (1) 試験方法

流動床ボイラー設備への適用可否判定を容易にするため、使用環境の温度変化に対する材料の硬度変化を検討した。硬度の測定方法はJIS Z 2252 に準拠し、試験片を所定の温度まで加熱・保持した後、マイクロビッカース硬度計により計測した。試験条件をTable 5に示す。

なお、試験は一般材とWC系複合材料で、耐摩耗性が優れていたNo.FとCr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>系のNo.Gを比較した。

Table 5 Conditions for hardness measurements in high temperature

Item	Test conditions
Used cone	Diamond
Load	1.0 kgf
Number of hardness measurement	5 times
Holding time	10 minutes

#### (2) 試験結果

温度の変化による硬度の測定結果をFig.6に示す。一般材のJIS-SUS310は、オーステナイト系であるため、全般的に硬度が低い。高クロム鋳鉄は、500℃以上で急激に硬度が低下することを確認した。JIS-SFNI5は、耐熱合金として主要な材料であり、温度上昇による硬度の低下は、小さかった。

一方、開発材No.F、No.Gの硬度は、一般材と同様に、

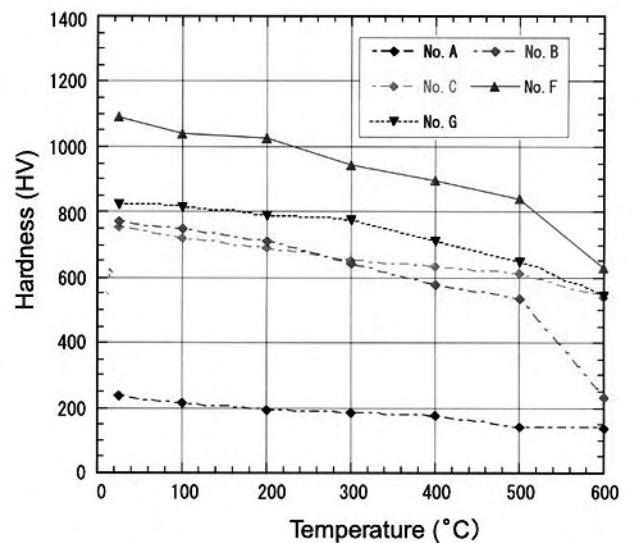


Fig.6 Results of hardness measurement in high temperature

温度上昇に応じて低下しているが、これらの硬度は、高温でも一般材よりも大きいので、開発材における高温下での耐摩耗性は、一般材よりも良好であると推察される。しかも、耐ブラストエロージョン摩耗性が最も優れていたNo.Fは、高温下での硬度が測定した材料のうち最も高い値を示した。

## 4 考察

### 4-1 摩耗試験後の断面

摩耗試験後の高クロム鋳鉄とWC系複合材料におけるミクロ金属組織の写真を、Fig.7に示す。

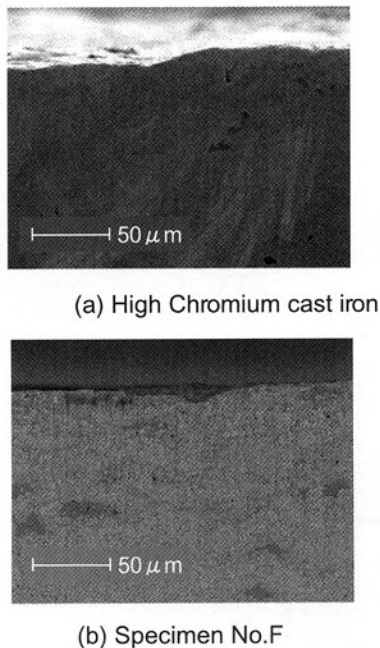


Fig.7 Cross-sectional microstructures of specimens after blasting erosion wear test

また金属組織の観察から、高クロム鋳鉄の摩耗は、 $Cr_7C_3$ よりも硬度の低いマルテンサイト組織の基地が優先的に摩耗することなく、 $Cr_7C_3$ と共に摩耗している状況も確認した。仮に材料の基地が優先的に摩耗し、 $Cr_7C_3$ が硬度差により残存したと仮定すると、基地は凹み、最終的に $Cr_7C_3$ の欠落した状態が観察される筈であるが、そのような兆候は、確認できなかった。

よってブラストエロージョン摩耗では、高速のグリッドが多量に飛散し、 $Cr_7C_3$ 炭化物は、マルテンサイト組織の基地と共に、研削されるような状態になるため、これらが一様に摩耗したものと推察される。

一方、WC系複合材料の開発材No.Fは、WCサーメットの製法により一次粒子の径が数 $\mu m$ と微細で、摩耗試験に使用したマルテングリッドよりも小さく、しかもこのピッカース硬度がHV2000で、HV1500程度のCr系炭化物より硬質なものが、全体に均一に密着しているため、摩耗減量は小さくなるものと考えられる。

### 4-2 硬度変化

一般材のJIS-SUS310およびJIS-SFNi5は、硬度の低下が小さい。これは両者ともに耐熱合金であり、高温下での耐酸化特性が優れているためと推察される。これに対して炭化物を有する高クロム鋳鉄、および開発材は、500 $^{\circ}C$ 以上で硬度の低下が大きくなる。

この要因として、以下の2点が考えられる。

- (1) WC・Cr系炭化物は、高温下で保持されると、酸化され易くなり、脱炭が生じる<sup>6)</sup>。特にWCはCr系の炭化物よりも酸化反応温度が低く、550 $^{\circ}C$ 前後で酸化する。よって開発材No.Fは、硬度の低下が大きい。
- (2) 高クロム鋳鉄は、マルテンサイト組織の基地が焼戻しを受けるため、硬度の低下が促進する。

## 5 結言

本報では、環境における使用温度の範囲が広く、かつブラストエロージョン摩耗に耐え得る材料を検討した。得られた研究成果を要約すると、以下のとおりである。

- (1) WCもしくは $Cr_7C_3$ と、金属を複合させた開発材は、高クロム鋳鉄よりも耐ブラストエロージョン摩耗性が良好であった。
- (2) WCの添加量を制御した結果、WC量が多くなる程、摩耗特性は良好になった。
- (3) 一定重量の金属に一定重量のWCまたは $Cr_3C_2$ を複合させた結果WCの方が耐摩耗性に優れていた。
- (4) WCを多量に添加した開発材は、高クロム鋳鉄やJIS-SFNi5と比較して、高温での硬度が高いため、高温環境下での耐摩耗性が良好であると推察できた。

当社では、今後この成果を有効に活用し、被覆材料の現地補修技術を確立すると共に、歩留等を向上してコストダウンを実現し、適用範囲や用途の拡大を検討する。

## 参考文献

- 1) 横溝ら：鋳造工学，Vol.77，No.5 (2005) 293-300
- 2) タクマ環境技術研究会：ごみ燃焼技術，オーム社(2000) 16-17
- 3) 市田ら：棒鋼・線材マニュアル，(社)日本鉄鋼協会(1997) 185
- 4) 日本鉄鋼協会：鉄鋼便覧第3版Ⅲ(1)，丸善(1980) 193-194
- 5) 日本鉄鋼協会：わが国における最近の分塊技術の進歩，(1967)
- 6) 園家： $Cr_3C_2$ -NiCr溶射皮膜の組織構造と物性と の相関性，石川島播磨技報，Vol.43，1