

流動床ボイラに見られる高温侵食摩耗とその防止に関する2・3の試み

(株) ウェルディングアロイズ・ジャパン 技術部 木村 忠司
白石 陽一

Some Preventive Methods against Erosive Wear in Fluidized Bed Boiler

Tadashi Kimura and Yoichi Shiraishi

Welding Alloys Japan LTD. Engineering Department

Abstract

In the power industry, it has been demanded and expected to cope with the energy resources issues and global environmental problems. Under these expectations, biomass power generation using wood fuel with a CO₂ reduction effect has been increased as the effective use of resources. Biomass boilers are burned by flowing the fuel and the medium in a high temperature environment, especially circulating fluidized bed boiler. The advantage of this boiler is that impact on the global environment is low. It should be considered that economic problems remain because the erosion wear of the material that is used in the furnace and that repair costs many occur at the earliest.

This paper discusses about high-temp erosion wear of water-cooled panel and air nozzle in the boiler furnace (fluidization nozzle) through the test by overlay welding and thermal spraying to find out proper measures against surface wear. Main results obtained herein through the erosion test are as follows.

- As for water-cooled boiler panel of pressure boundary heated to about 400°C, Ni-base material like Alloy 625 is one of the candidate material which has good property in weldability, thermal expansion co-efficient etc.
- As for air nozzle heated to about 800°C, Co-base material like Stellite No.12 maintaining high hardness until high temperature seems to be one of candidate material onto the air nozzle. These material will be hereafter tested including addition of ceramics like Cr₃C₂.
- In the erosion wear, scratching (microplowing) seems to be dominant phenomena for ductile material. On the other hand, spalling also seems to be dominant one for brittle material.

1. はじめに

電力産業ではエネルギー資源問題と地球環境問題への対応がもてられており、資源の有効活用としてCO₂削減効果のある木質燃料を利用したバイオマス発電への期待は高い。しかし、循環流動層（循環流動床）ボイラでは燃料と媒体を高温環境下で流動して燃焼させているため、ボイラに使用される部材の侵食摩耗が深刻な問題となることから、環境負荷は低減するものの設備稼働率と経済性の課題がある。また、これらの耐侵食摩耗材料を開発する上で、試験評価方法が確立されていない。

本資料は、循環流動床ボイラ炉内の水冷壁パネルおよび炉底に取り付け媒体を浮遊させ酸素を供給する流動化ノズルについて、ボイラ稼働時の高温における耐侵食摩耗策に関する肉盛溶接および溶射による2・3の試みを紹介する。

2. 循環流動床ボイラの損耗状況

循環流動床ボイラとは、燃焼媒体として珪砂を利用しており、流動化ノズルからの空気により珪砂を巻き上げ、流動層を形成し木屑等の低品位燃料を燃焼させている。ボイラの損傷は劣悪炭、廃タイヤなどに含まれる硫黄分、木屑・RPF等に含まれる塩素分により発生する腐食性ガスによる腐食^{1,2)}および飛灰や珪砂による侵食摩耗が介在することから、水冷壁パネルおよび流動化ノズルに減肉が発生しやすい。図1に循環流動床ボイラの概要を示す。

*1 〒346-0101 埼玉県久喜市菖蒲町昭和沼24番地1/
24-1, Showanuma, Shobu-cho, Kuki City, Saitama

*2 E-mail:tadashi.kimura@waj.co.jp

2. 1 水冷壁パネル

写真1に示すように、キャスタブル境界部およびその近傍の水冷壁パネルが局部的に摩耗することがある。また、一般の石炭焚きボイラのディスラッグ廻り、天井管や曲げ管等にも局部的な摩耗がみられ、400°C前後の水管表面³⁾での焼却灰による摩耗や焼却ガスによる腐食が影響している。

溶射による応急的対策が一般的であるが、近年恒久対策としてNi基溶接材料を用いた耐食・耐摩耗肉盛溶接による補修が試みられている。

2. 2 流動化ノズル

炉底の取付位置により異なるが、高温(約800°C)にさらされる流動化ノズルは半年に1回程度の定修毎に交換または補修が必要となる。写真2に示すように、著しく損傷を受ける箇所はメンテナンス対象であり、メンテナンス頻度およびメンテナンスコストに大きく影響する。

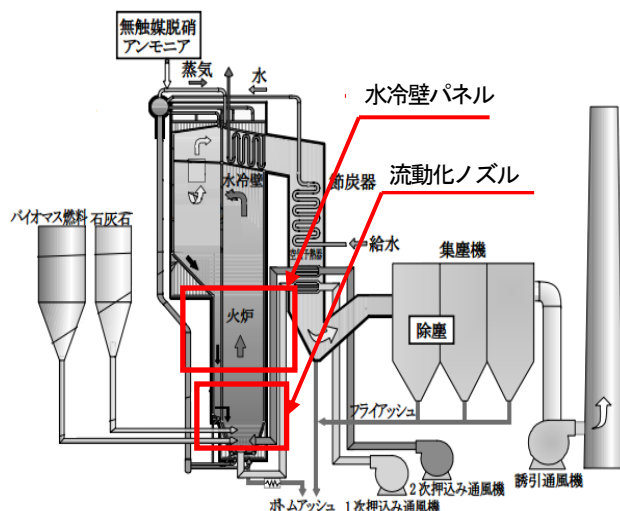


図1 循環流動層ボイラの概要



写真1 水冷壁パネルの損耗状況



(a) 外観



(b) 局部的に摩耗した箇所

写真2 炉底流動化ノズルの外観

3. 試験片製作要領

高温における耐浸食策を検討するために、以下のような要領で試験片を作成した。試験の目的は、実機を模擬した温度条件でのブラスト摩耗試験により最適材料を選定することである。

3. 1 肉盛溶接および溶射基材の選定

肉盛溶接および溶射基材として高温で酸化皮膜の発生が少ないSUS304を使用し、その表面に耐腐食性および耐侵食摩耗性のある材料を選定して肉盛溶接および溶射により試験片を製作した。表1に試験片製作要領を示す。

3. 2 肉盛溶接方法および溶射方法

肉盛溶接方法は、MIG (Metal Inert Gas) 溶接法とPTA (Plasma Transfer Arc) 溶接法により、基材SUS304 (幅100×長さ500×厚さ12mm)の上に溶接材料を2層肉盛溶接した。標準的な溶接条件で実施し⁴⁾、溶接後はワイヤ放電加工で試験片形状 (幅20×長さ40×厚9mm)に加工し、溶接面を研磨布紙 (#400)で仕上げた。溶射方法は、母材SUS304を試験片形状に加工し、プラズマ溶射および高速フレーム溶射(HVOF)により、および粉末式フレーム溶射後の溶融処理(自溶性合金)により皮膜を形成した。

表1 試験片の製作要領他

分類	試験片 No.	方法	試験材料	主要な溶着金属の化学成分 (%)					
				C	Cr	Fe	Mo	Co	Ni
母材	B	-	SS400	-	-	-	-	-	-
肉盛溶接	W1	MIG 溶接	Ni 基 (Alloy625)	≤0.1	20~23	≤5.0	8~10	≤1.0	Bal.
	W2		Ni 基 (Alloy622)	≤0.015	20~23	2~6	12~14	≤2.5	Bal.
	W3		Ni 基 (Alloy671)	0.02	43.3	0.05	-	-	Bal.
	W4		Ni 基材料 (20Cr-15Co-Mo-Fe-Ni (Bal.))	0.015	20.23	4.43	5.6	14.5	Bal.
	W5		Co 基材料 (ステライト No. 12)	1.5	29	3.3	0.02	Bal.	0.15
	W6	PTA 溶接	Co 基材料 + 30%Cr ₃ C ₂ (Co 基:ステライト No. 12)	上記材料の粉末に 30%Cr ₃ C ₂ 添加 (30%)					
溶射	S1	プラズマ溶射	50Cr-50Ni ⁵⁾	-	50	-	-	-	50
	S2	HVOF 溶射	80%Cr ₃ C ₂ -20%NiCr	NiCr (20%) をバインダーとして残りは Cr ₃ C ₂					
	S3	自溶性合金	SF Ni5	JIS H 8303 規格に基づく					

4. 高温でのブラスト摩耗試験と試験後の計測および観察

4.1 摩耗試験方法

約700℃および約800℃でのブラスト摩耗試験は、試験片を電気炉で加熱した後、図2に示す各ブラスト角度にセットし、表2に示す試験条件で実施した。試験片を電気炉で一定温度加熱保持した後に摩耗試験を始めると、約30秒で150℃以上の表面温度の低下がみられるため、1回の噴射時間を10秒程度として、電気炉で再加熱しながら試験を実施した。

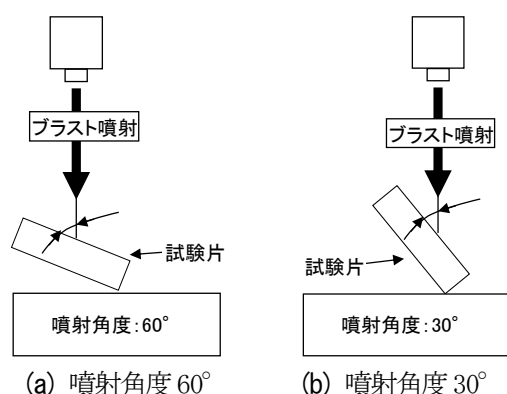


図2 ブラスト試験装置の概要

表2 高温ブラスト摩耗試験条件

項目	条件
ブラスト材	#100 熔融アルミナ (粒径: 106~125 μm)
ガンノズル流速	60 l/min
噴射角度	30°, 60°
噴射時間 (角度)	34 秒(30°), 50 秒(60°)
粉末濃度	4.28g/l
衝突距離	20 mm
試験母材	SS400, SUS304

4.2 摩耗試験結果

約700℃および約800℃におけるブラスト摩耗試験結果(最大摩耗深さ)を図3および図4に示す。摩耗減量(g)での計測は比重差および酸化スケール等の影響もあり、今回は最大摩耗深さ(mm)で評価した。水冷壁パネルの侵食摩耗を加速して模擬したものが約700℃での結果(図3)であり、流動化ノズルの侵食摩耗を模擬したものが約800℃での結果(図4)である。なお、水冷壁パネルの約700℃での試験は加速試験となっている。

圧力バウンダリーである水冷壁パネルに使用される材料には延性が求められ、併せて熱膨張係数等の物性値が素材(ボイラ熱交換機用炭素鋼鋼管)に近く、溶接性が良好なことも重要な条件である。この様な観点より、延性に優れたNi基のW1(Alloy625)、W2(Alloy622)およびW3(Alloy671)による肉盛溶接金属はこれらの条件を満たしており、本試験でも図3に示すように耐侵食摩耗においてももっとも優れていると言える。いっぽう、応急策として用いられてきた溶射皮膜に関しては、室温硬さが大(脆性)であり(700℃でも硬さが高いと思われ)、本侵食摩耗試験において肉盛溶接金属よりもはるかに摩耗深さが大で、耐侵食摩耗性に劣っている。また、噴射角度が大きくなる(30°⇒60°)と摩耗深さが肉盛溶接金属よりもさらに増えることが特徴である。⁶⁾ なお、S1(50Cr-50Ni)は溶射の中ではもっとも軟質であるため肉盛溶接金属に類似した特性を示し、また、溶射の中では密着性に優れたS3(自溶性合金)が60°の噴射角度で増加の程度が小さくなっている。

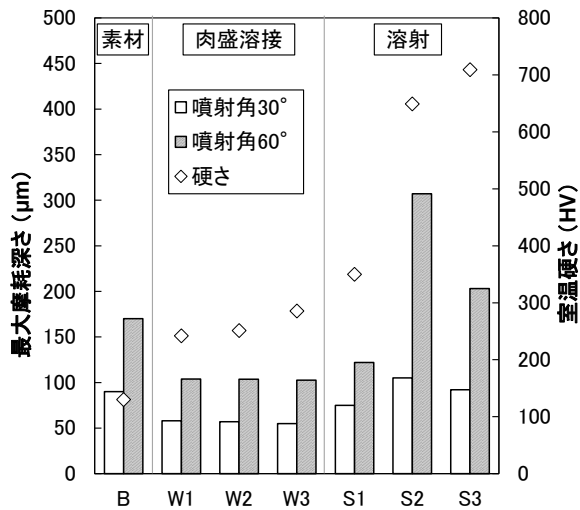


図3 高温ブラスト摩耗試験 (約700°C) 結果

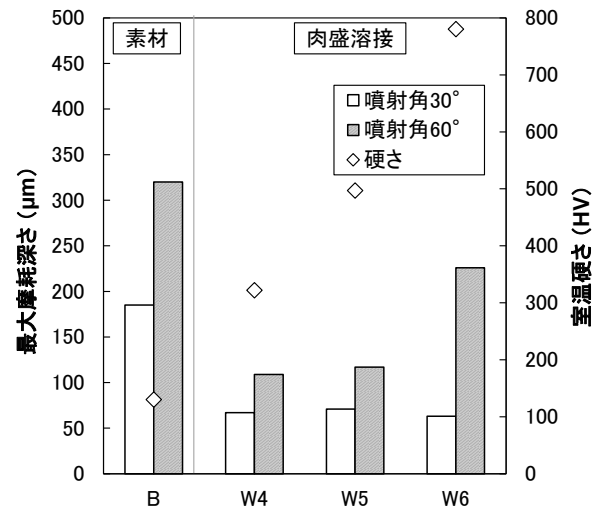


図4 高温ブラスト摩耗試験 (約800°C) 結果

流体を浮遊させ、酸素を供給する流動化ノズルの表面は水冷壁パネル以上の高温にさらされ、金属材料にとっては超高温域と言える。ここでは、高温において硬さの低下が少なく、強度を維持するCo基のステライトNo. 12の肉盛溶接金属を中心に図4に示した。図から分かるように、ブラスト角度が30°の場合にはいずれも摩耗深さは小さいが、60°となると、室温硬さの大きな(800°Cでの硬さが大いと思われる)W6(Cr3C2添加のステライトNo. 12, PTA溶接)が著しく摩耗する結果となっている。脆性材料の特徴と言える⁶⁾が、比較的ブラスト角度の小さい流動化ノズルにおいては使用できる可能性が高いとも言える。

4.3 摩耗表面のSEMによる観察

試験後の代表的摩耗部表面を走査型電子顕微鏡により観察した結果の一例を写真3および写真4に示す。

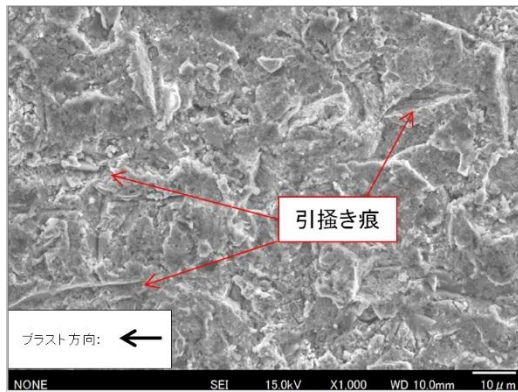


写真3 W2(Alloy622)ブラスト摩耗有り

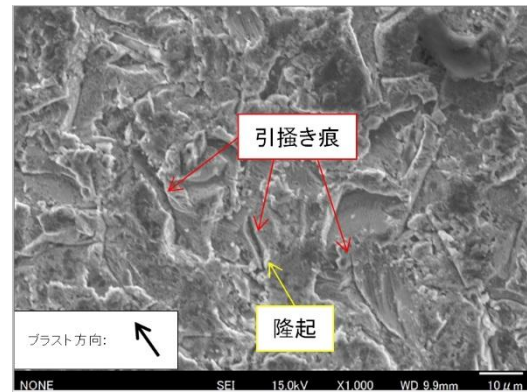


写真4 W5(ステライトNo. 12)ブラスト摩耗有り

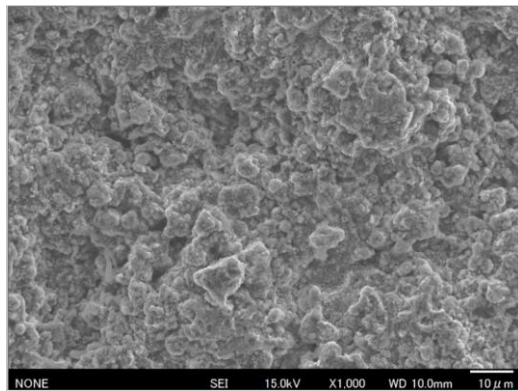


写真5 S2(Cr3C2, HVOF 溶射)ブラスト摩耗無し

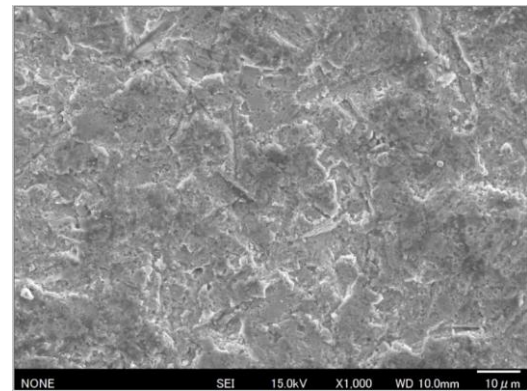


写真6 S2(Cr3C2, HVOF 溶射)ブラスト摩耗有り

これらの結果から、ブラスト摩耗試験後の表面には大きく分けて、以下の2つの形態があると思われる。

①引っ掻き摩耗

摩耗性粒子が物体表面に衝突する際の Microplowing により、表面に溝あるいはクレータを生じさせ、衝突したごく近傍を隆起させる。主に延性のある材料（延性材料）にみられる。

②剥離摩耗

摩耗性粒子が衝突することにより結合力の弱い層状の膜が分離（剥離）する現象で、主に脆性材料に見られる。半熔融状態の材料が適度に粗された表面に噴射され、幾層にも重なってできた硬質の溶射皮膜は脆性である。

今回の試験片で①に分類されるのはW2 (Alloy622, W5 (ステライト No. 12) および S1 (50Cr-50Ni), ②に分類されるのは W6 (ステライト No. 12+Cr3C2) および S2 (80%Cr3C2-20%NiCr), ①と②の中間にあたるのが S3 (SFNi5) であると言える。

試験に使用したブラスト材は溶融アルミナの#100（粒径；106～125 μm）で、W5 (ステライト No. 12) においては数箇所の引っ掻き痕および隆起した箇所が確認される。ブラスト材の粒径からすると引っ掻き痕はわずかな傷であることがわかる。いっぽう、写真5 および写真6 に示すように、S2 (80%Cr3C2-20%NiCr) の溶射皮膜は、ブラスト摩耗試験前後で大きく変化し、粒状の Cr3C2 の多くが消失し平滑な面になっている。脆性表面の剥離摩耗によるものであると思われる。

5. まとめ

循環流動床ボイラでは燃料と媒体を高温環境下で流動して燃焼させており、ボイラに使用される部材の侵食摩耗が深刻な問題となり、環境負荷は低減するものの、設備の稼働率と経済性の課題がある。ここでは、ボイラ火炉内の水冷壁パネルおよび炉底に取り付け媒体を浮遊させ酸素を供給する流動化ノズルを想定して、高温ブラスト摩耗試験を実施し、高温での耐侵食摩耗策について検討した。その結果をまとめると以下の通りである。

- ① 表面温度が約400℃の水冷壁パネルの耐侵食摩耗策としては、耐熱・耐食材料で、熱膨張係数が母材とほぼ同程度で、溶接性も良好なNi基材料、例えば、Alloy625などの延性材料を使用する肉盛溶接が適している。
- ② 表面温度が約800℃程度の高温にさらされる流動化ノズルの耐侵食摩耗策としては、高温まで硬さを維持するCo基材料たとえばステライトNo. 12等が適しているように思われるが、セラミックス添加材も含めてさらに検討が必要である。
- ③ 侵食には引っ掻き摩耗と剥離摩耗の2つの形態がある。引っ掻き摩耗は摩耗性粒子が物体表面に衝突する際に、Microplowing⁶⁾により、表面に溝あるいはクレータを生じさせ、衝突したごく近傍を隆起させる。主に延性のある材料に見られる。いっぽう、剥離摩耗は摩耗粒子が衝突することにより結合力の弱い層状の膜が分離（剥離）する現象で、主に脆性材料に見られる。半熔融状態の材料が適度に粗らされた表面に噴射され、幾層にも重なってできた硬質の溶射皮膜は脆性である。

以上のことから、今後は循環流動床ボイラの耐侵食摩耗材料の開発にあたり、高温ブラスト摩耗試験による肉盛溶接材料の選定を行うとともに、実機における適用効果を明確にする。

(以上)

参 考 文 献

- 1) Shigeta J.: IIC REVIEW. 44 29-33 (2010)
- 2) Okatsuka Y., et al.: TENPES. 54 (8) 876-882 (2003)
- 3) Sakakibara N., et al.: TENPES. 61 (8) 666-670 (2010)
- 4) Shiraishi Y., et al.: JAPAN TAPPIJ. 57 107-111 (2014)
- 5) Namba K., et al.: IHI Giho 38 (3) 181-188 (1998)
- 6) J. J. K. Stekly*, et al.: "The Minimization of Wear of Material in the Mining Industry and Mechanisms of Degradation"