

循環流動床ボイラ（CFB）を模擬した肉盛溶接部の高温耐侵食摩耗特性^{*1}

株式会社ウエルディングアロイズ・ジャパン^{*2} 製造部

○木村忠司^{*3}

株式会社ウエルディングアロイズ・ジャパン 技術部

白石陽一

国立大学法人 室蘭工業大学

清水一道

Erosive-wear Resistance of Overlay Welds at High Temperature Under Simulation of Circulating Fluidized Bed Boiler

Tadashi Kimura^{*3}

Welding Alloys Japan LTD.^{*2} Engineering Department

Yoichi Shiraishi

Welding Alloys Japan LTD. Technical Department

Kazumichi Shimizu

Muroran Institute of Technology



木村忠司

Abstract

Circulating-Fluidized-Bed (CFB) Boiler is known as one of the earth-friendly environmental Boilers. However, erosive wear becomes a problem because CFB boiler burns flowing fuel and the medium in a high temperature environment. Also, there is an economic issue of operating ratio and maintenance, on the other hand it reduces environmental impact. Main results obtain through the erosion test are as follows.

It can be safely considered that selecting right materials leads to effective countermeasures against wear.

Therefore, it becomes necessary to perform simulation such as test for chlorination corrosion and sulfidation one to find out superior welding materials in erosive-wear resistance at high temperatures.

分類：U₄ ボイラ，U₀ その他

1. はじめに

循環流動床（CFB）ボイラは地球環境問題の観点から

非常に有効なボイラの一つである。しかし、このCFB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場合が多くある。また、環境負荷は低減するが稼働率やメンテナンスに伴う経済性の課題がある。

当社では、過去にCFBボイラにおける侵食摩耗の対応策として耐侵食摩耗材料の開発をする上で高温ブラスト試験を実施したが、実機の条件とは多少異なっていた。今回は、よりCFBボイラ実機に近い状態を模擬するためブラ

^{*1}平成29年度年次大会講演（講演 No. B9）

^{*2}〒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 346-0101, Japan

^{*3}E-mail: tadashi.kimura@waj.co.jp

スト材や圧縮空気を温めた高温プラスト試験を実施し、ボイラ火炉の減肉対策について検討した。

2. 流動床ボイラの損耗状況

流動床ボイラ (図1) は、気泡型では $\phi 1\sim 3$ mm、循環型では $\phi 0.1\sim 0.3$ mmの燃焼媒体である珪砂類 (CaO, SiO₂) を空気により巻き上げ、流動層を形成し低熱量燃料等を燃焼させている¹⁾。ボイラの損耗は写真1および表1に示す通りで、高温化における腐食摩耗^{2), 3), 4)}と侵食摩耗の複合摩耗である。なお、流動材は硬度が高い、流径が大きいおよび速度が速い⁵⁾とボイラ部材の摩耗速度が速くなる。流動床ボイラの摩耗に対する対応策は現状、①工場で溶射したパネルを取付ける。②ボイラを新設した際に現地で溶射する。③摩耗した箇所へ溶射する。④溶射がはがれた箇所近傍の溶射を除去し再溶射する。⑤キャストブールの位置を上げる。⑥抜管して交換する。⑦共金材料で肉盛す

る。⑧キャストブール真上にプロテクタをつける。⑨溶射を重ねる (除去せずに上から溶射する)。等があるがどれも抜本的な解決には至っていない。このような背景より、一部特殊な溶接材料を用いた肉盛溶接が抜本策として期待され採用されてきている。また層内蒸発管・伝熱管についても外周を肉盛溶接した肉盛管などが採用され始めている。

3. 供試試験片製作要領

高温における耐侵食策を検討するために、近年耐侵食策として採用されている肉盛溶接を取り上げ、以下のような要領で試験片を製作した。試験の目的は、実機を模擬した温度条件におけるプラスト摩耗試験により摩耗現象や原因を解明し、最適な肉盛溶接材料を模索することである。

3.1 肉盛溶接材料の選定

肉盛溶接材料の基材として炭素鋼鋼材 (SS400) を選定し、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により試験片を製作した。表2に試験片の種類と主要な成分を示す。近年ボイラの耐腐食・耐侵食

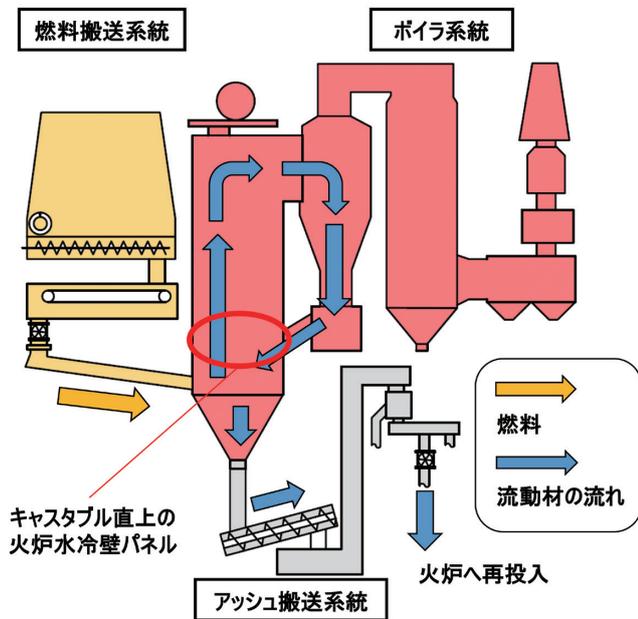


図1 循環流動床ボイラの概要



写真1 キャスタブル直上の火炉水冷壁パネル損耗状況の一例

表1 流動床ボイラの損耗状況

ボイラの種類	腐食損耗現象	損耗発生位置	温度条件	雰囲気, 使用環境
気泡流動床ボイラ	腐食	キャストブール直上	メタル温度はそれほど高くない。	還元性燃焼ガス
	侵食	層内蒸発管・伝熱管	高い	還元性燃焼ガス
循環流動床ボイラ	高温腐食侵食	キャストブール近傍 バンド部	メタル温度はそれほど高くない。	流動媒体 (砂) を含む燃焼ガス
ゴミ発電ボイラ (流動層型 ストーカ型)	高温塩化腐食	火炉水冷壁	メタル温度はそれほど高くない。	還元性燃焼ガス
	高温酸化	バーナー周辺	高い	火炎付近
	熔融塩腐食	過熱器管	高い	塩素分を含む燃焼ガス中での熔融塩による腐食

表 2 各材料の成分

材料	主要成分 %							
	C	Fe	Si	Mo	Ni	Cr	Co	W
炭素鋼鋼材	-	-	-	-	-	-	-	-
625	0.011	0.43	0.15	8.7	64	22.4	-	-
FM72M	0.02	0.6	0.11	0.33	59.2	37	0.05	-
25BC	0.009	4.02	0.745	Bal.	9.33	19	Bal.	15.32

摩耗に使用されている 625, 海外でスーパーヒーターに使用されている⁶⁾ Ni 基の FM72M, および高温まで硬さを維持する Co 基の 25BC (低炭素) を選定した。

3.2 肉盛溶接方法

肉盛溶接方法は, MIG 溶接法により, 溶接材料を肉盛溶接した。標準的な溶接条件で実施し⁷⁾, 溶接後は機械加工により試験片形状 (W 50×L 50×t 10 mm) に加工し, 溶接面を平面研削にて Ra 0.2 μm 程度に仕上げた。

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 試験方法

4.1.1 高温ブラスト摩耗試験

試験には高温ブラスト摩耗試験機を使用した。この試験機は 3 種類の加熱炉により, 粉体, 供試材, 圧縮空気を加熱することができるため, 高温環境下を忠実に再現することができる。実験条件は供試材温度, 粉体温度および圧縮空気をすべて 773 K (500°C) とし試験を行った。表 3 に示す通り粉体には粒度範囲が 0.85~1.16 mm, アルミナ純度 92% 以上のアルミナグリッドを使用した。一度に噴射できる粉体の量は 500 g であり, これを 4 回繰り返し, 計 2,000 g の粉体を噴射した。また, ノズルの内径を φ6 とし, ノズルの噴射口と試験片の中央点との距離は 50 mm とした。これは, 角度を付けてもこの距離が一定となる構造になっている。ノズルの口から試験片に衝突するまでの噴射粒子の開き角は 6 deg. であり, φ15 mm の範囲に粒子の大半が衝突する。粉体の速度は 30 m/s とした。衝突角度は, 30 deg. 及び 60 deg. とした (図 2 参照)。摩耗量の評価には, 損傷速度⁸⁾ および摩耗深さをを用いた。こ

の損傷速度は, 被衝突材の摩耗量を衝突粒子の総噴射量で除したものであり, 摩耗深さはレーザー顕微鏡を用いて 3 次元測定を行い, その高低差の最大値を摩耗深さとした。

4.1.2 高温酸化試験方法

高温酸化試験には高温ブラスト摩耗試験機を使用し, 供試材を 773 K まで加熱し 4 時間保持した。その後, 空冷して電子天秤 (測定精度 0.1 mg) で測定し, その差 (増量) を供試材の表面積で割った値を酸化重量増加量とした。

4.1.3 高温ビッカース硬さ測定方法

高温ビッカース硬さ測定は高温ビッカース硬さ試験機 (AVK-HF) を用いた。試験片の寸法は 7.0×7.0×t 5.0 (mm) とした。試験温度は 773 K (500°C) とした。供試材の昇温速度は 10°C/min とし, 試験温度にて 5 分間保持した後, アルゴン雰囲気中で測定を行った。圧子にはダイヤモンド圧子を用いた。試験荷重は 98 N とし, 荷重保持時間は 10 秒とした。圧痕の対角線の長さを 0.5 μm 単位まで読み取り, 直交する対角線の長さとの平均値を用いて, 換算表から硬さを算出した。以上の条件において 7 点測定し, 最大値と最小値を省いた 5 点の平均値を各供試材の高温硬さとした。

4.2 試験結果

各材料の酸化重量増加量を表 4 に示し, 高温ブラスト摩耗試験結果については, レーザー顕微鏡を用いて最大摩耗深さを測定した結果を図 3 に, 試験前後の重量差から酸化重量増加量を除き体積減量に換算した値を摩耗面積で割って求めた平均摩耗深さの結果を図 4 に示す。

噴射角 30 度が噴射角 60 度と比較し体積減量が多く摩耗

表 3 高温ブラスト摩耗試験条件

項目	条件
温度雰囲気	773K (500°C)
ブラスト材	アルミナグリッド (粒径: 0.85~1.16mm)
ノズル径と速度	Φ6mm, 30 m/s
噴射角度	30°, 60°
噴射量	1回 500g 全4回 合計2000g
衝突距離	50 mm

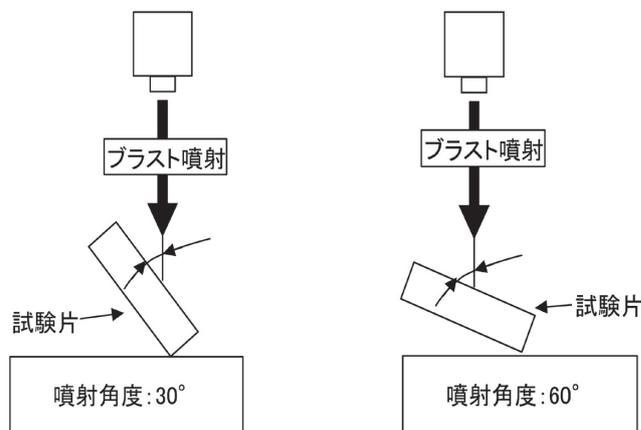


図 2 プラスト試験装置の概要

表 4 各材料の酸化重量増加量

材料	酸化量(mg/cm ²)
炭素鋼鋼材	0.224
625	0.169
FM72M	0.172
25BC	0.174

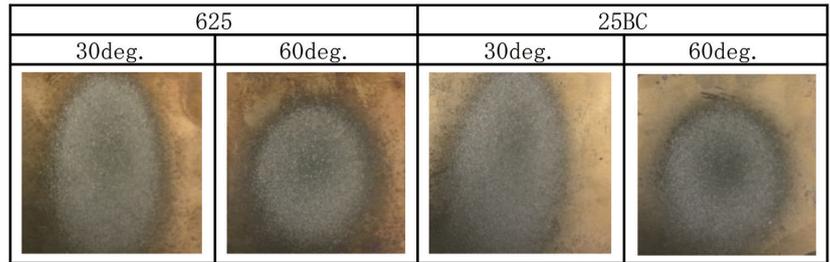


写真 2 高温プラスト摩耗試験後の外観の一例

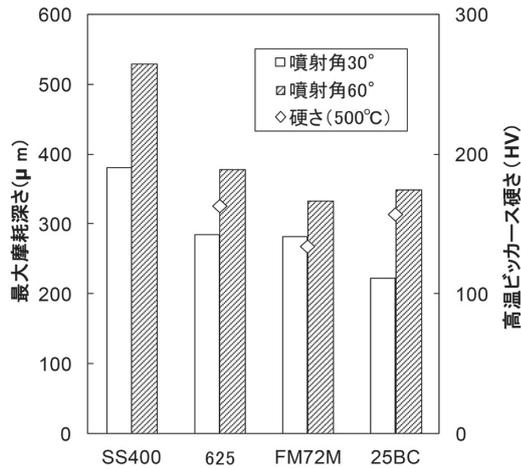


図 3 最大摩耗深さおよび高温硬さ

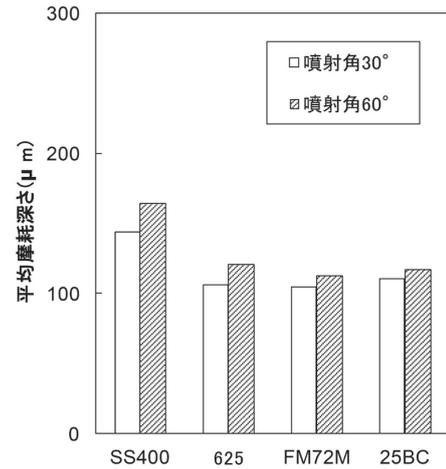


図 4 平均摩耗深さ

深さが浅い要因としては、衝突範囲が広く、滑りによる摩耗が生じたためといえる (写真 2 参照)。これらの結果から炭素鋼と肉盛溶接材料における最大摩耗深さおよび平均摩耗深さの差は、30度で 35~45%、60度で 40~50%であったが、各肉盛溶接材料においては際立った優位差はみられなかった。また、過去にプラスト材や圧縮空気を温めることはせずに実験した結果とも明確な差は確認されなかった。

その理由として、表 1 に示した各種ボイラの水冷壁パネルの表面損耗は高温塩化・高温硫化等の腐食環境下における侵食結果で、本試験においてはこのような環境が配慮されていないことによるものと思われる。

5. ま と め

CFB ボイラ実機に近い状態を模擬するためプラスト材や圧縮空気を温めた高温プラスト試験を実施し、ボイラ火炉の減肉対策について検討した結果をまとめると以下の通りである。

- 1) 炭素鋼と肉盛溶接材料を比較すると、最大摩耗深さおよび平均摩耗深さにおいて 35~50%程度の差はあるものの、各肉盛溶接材料 (Ni 基および Co 基) では際立った優位差は確認されなかった。
- 2) 上記の結果から、今回試験した温度域ではいずれの肉盛溶接材料も耐侵食摩耗に差がないことから、実機においては腐食環境 (塩化腐食や硫化腐食) も大きな

要因の 1 つになっていると思われる。それぞれの耐腐食性に適応した材料を選定することで有効な耐摩耗策になると考えられる。また、損耗の著しい箇所に対しては肉盛厚さを変更することにより対応可能であるといえる。

今後ボイラ実機を模擬するために、様々な状況 (例えば酸化のみでなく高温下における塩化腐食や硫化腐食等) を考慮した試験の実施、さらに耐高温侵食摩耗に優れた肉盛溶接材料の模索が必要であると考えられる。

References

- 1) Nakamori M. : "High temperature corrosion and prevention methods by combustion gas in boiler."
- 2) Shigeta J. : IIC REVIEW. 44 29-33 (2010)
- 3) Okatsuka Y., et al. : TENPES. 54 (8) 876-882 (2003)
- 4) Sakakibara N., et al. : TENPES. 61 (8) 666-670 (2010)
- 5) J. J. K. Stekly*, et al. : "The Minimization of Wear of Material in the Mining Industry and Mechanisms of Degradation"
- 6) Kiser S.D., et al. : Nickel Alloy Weld Overlays Improve the Life of Power Generation Boiler Tubing
- 7) Shiraishi Y., et al. : JAPAN TAPPIJ. 57 107-111 (2014)
- 8) I. Finnie : Wear 3 87 (1960)