

各種ボイラ火炉壁における肉盛溶接金属の 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 技術部

○坂口 歩*3, 白石陽一

国立大学法人 室蘭工業大学

清水一道

High Temperature Erosive Wear Resistance of Overlay Welding Metal in Various Boiler Furnace Wall

Ayumu Sakaguchi*3 and Yoichi Shiraishi

Welding Alloys Japan LTD.*2 Engineering Department

Kazumichi Shimizu

Muroran Institute of Technology



坂口 歩

Abstract

In the circulating fluidized bed boiler, erosive wear is remarkable as compared with other boilers due to silica sand which is a combustion medium in the furnace. Therefore, in the past, at our company, high temperature blasting test was adopted to evaluate high temperature corrosion abrasion resistance of various overlay welding metals as a countermeasure against erosive wear in CFB boiler under high temperature environment.

In this study, high-temperature blasting tests were conducted on new overlay welding metals of Ni and Fe based, which are not widely adopted in domestic applications other than boiler applications, and high temperature erosive resistance wear characteristics were investigated.

As a result of this test, it was suggested that the overlay welding metals tested this time compared with Inconel 625 has a wear rate of 18 to 27% lower, which is possibly excellent in erosive resistance under high temperature environment.

In the future, in order to simulate a boiler actual machine, in addition to high temperature erosion, we are looking for ways to evaluate the resistance to the environment such as chlorination and sulfurization and think that it is necessary to select the optimum welding metals according to the operating environment of each boiler.

分類：U₄ ボイラ

*1平成30年度年次大会講演（講演 No. B12）

*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

*3E-mail : ayumu.sakaguchi@waj.co.jp

1. はじめに

2011年の大震災を境に、電力業界では発電供給量の割合が大きく変化し、LNGを主力とした火力発電が全体の80%以上を担っている。また、2017年4月のFIT制度改

正等の影響を受け、新たな電力事業が市場に参入し、価格競争も活発化している。これらの背景から、火力で発電する各種ボイラは、発電効率の向上を余儀なくされており、運転条件の高温・高圧化やメンテナンス期間の短縮が求められている。その結果、低品位な燃料の使用も伴って各種ボイラ火炉壁の腐食・侵食等による減肉が顕在化しており、これらに対するメンテナンスコストの削減も大きな課題となっている。そのため、水管の減肉の解決策として、海外で採用されている肉盛溶接による耐食・耐侵食摩耗施工法が国内においても採用され、その効果が実機においても実証され始めている。しかし、近年新設が多い循環流動層（以下CFB）ボイラにおいては火炉内の燃焼媒体である珪砂が原因でその他のボイラに比べ、侵食摩耗が著しく、通常採用されている肉盛溶接材料である Alloy625 でも5～10年程度で摩耗してしまう場合があることが分かっている。そこで過去に当社では、CFBボイラにおける高温環境下において侵食摩耗への対応策を検討する方法として、高温プラスト試験を採用し、各種肉盛溶接材料における高温耐侵食摩耗性の評価を実施してきた¹⁾。

本研究では、国内においてボイラの用途以外にもあまり採用されていないNi基およびFe基の肉盛溶接材料について高温プラスト試験を実施し、各種ボイラ火炉壁における肉盛溶接金属の高温耐侵食摩耗特性を調査した。

2. ボイラ火炉壁における肉盛溶接の状況

ボイラの火炉壁においては、燃焼時に発生する硫黄や塩素による高温腐食、さらにはボイラの稼働による熱疲労による亀裂などが発生する。特に流動層ボイラは、気泡型で $\phi 1\sim 3$ mm、循環型で $\phi 0.1\sim 0.3$ mmの珪砂を燃焼媒体として流動させるため、管表面に流動材による著しい侵食摩耗が発生する。具体的には、キャストブル端部直上の管や天井管のR部分と天井管およびボイラコーナー部で侵食

摩耗が発生する。また、燃料によっては腐食摩耗が発生する場合もあるため、ボイラの型式や運転条件によっても異なるが、腐食・侵食・熱およびその他の複合的な現象により、火炉壁の水管は減肉する。

減肉したパネルに対しては、一般的に溶射や共金系溶接材料による補修、または耐火材やプロテクタ等による耐摩耗策が主流である。しかし、いずれの方法も恒久的な対策には至っておらず、定期的な補修を繰り返し行い、水管が必要最小肉厚（TSR）を下回る前に抜管して交換している。このような背景から、近年では耐食・耐侵食摩耗性に優れたNi基の材料を用いた肉盛溶接が、恒久策として国内でも海外と同様に普及し始めている（図1参照）。また、層内蒸発管および伝熱管においても、外周を肉盛溶接した肉盛管などが採用されている。

3. 供試試験片製作要領

実機を模擬した環境下において各種溶接材料の高温耐侵食摩耗特性を評価し、最適な肉盛溶接材料を選定するため、材料の評価方法としてプラスト摩耗試験を採用した。供試材には、近年海外におけるボイラの耐食・耐侵食摩耗に使用されている材料を選定し、以下の要領で供試試験片を製作した。

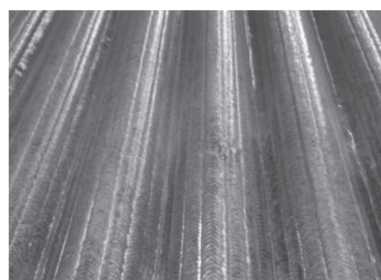
3.1 肉盛溶接材料の選定

表1に試験に用いた材料と、各材料の主要な成分を記載する。各供試材の素材としてボイラ及び压力容器用炭素鋼鋼材（SB410）の表面に、耐食性および耐侵食摩耗性のある材料を肉盛溶接して製作した。

近年ボイラの耐食・耐侵食摩耗を目的として主に使用されているインコネル625を基準とし、Moを多く含む多様な腐食性化学物質に耐性を持つハステロイC-2000、および海外でスーパーヒーターに使用されているインコネルFM52を選定した。FM52については、600 MW級の超臨



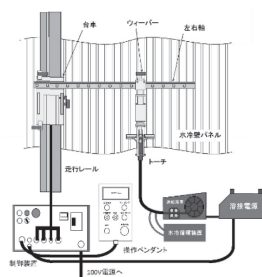
(a) ボイラ火炉内における肉盛溶接状況の一例



(b) 肉盛溶接後の火炉壁パネルの一例



(c) 外周肉盛溶接状況の一例



(d) 自動肉盛溶接装置の模式図

図1 ボイラ火炉壁の肉盛溶接状況

表 1 各材料の主要成分

種類	材料	主要成分 %											
		C	Fe	Si	Mo	Ni	Cr	Co	Cu	Al	Ti	Nb+Ta	Others
素材	SB410	≤0.24	Bal.	0.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ni 基	625	0.011	0.43	0.15	8.7	64	22.4	-	0.02	0.17	0.21	3.5	<0.50
	C-2000	0.01	3	0.08	16	59	23	2	1.6	-	-	-	-
	FM52	0.027	8.5	0.14	0.002	60.7	29.5	-	0.01	1	0.4	0.005	<0.50
Fe 基	Alloy33	0.015	30	0.5	1.5	31	33	-	0.7	-	-	-	0.7

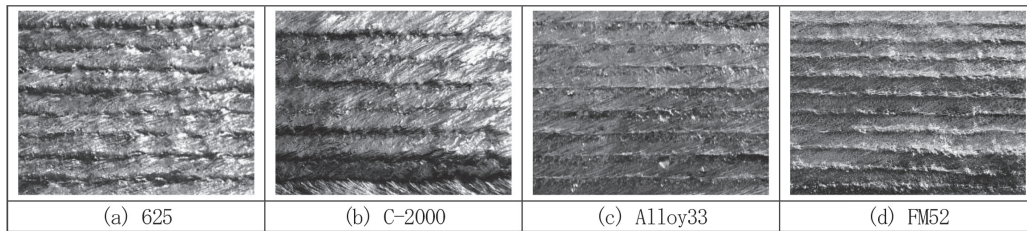


写真 1 溶接後の試験片の外観の一例

界圧ボイラの肉盛溶接に使用され、566℃の高温環境にて7年間以上連続で稼働した後においても、溶接ビードのリップラインが部分的に消失する程度であったとされている²⁾。また、Fe基の材料については、Alloy33を選定した。Alloy33は、Cr-Ni-Fe系で構成され、それぞれをほぼ同量ずつ含む材料であり、ハステロイC-22よりもCr量が多いため耐食性が良好であると考えられる。また、Ni量が少なく、625やC-22と比較して安価であるためこれを採用した³⁾。

3.2 試験片製作方法

MIG溶接法により、各溶接材料を肉盛溶接した。溶接は産業用ロボットを用いて下向き溶接により、希釈率を考慮して3層肉盛溶接をそれぞれ材料毎に標準的な溶接条件で実施した⁴⁾。肉盛溶接の2層目が表面に出るように試験片形状(W50×L50×t10 mm)に機械加工し、最終的に平面研削加工にて溶接面をRa 0.2 μm程度に仕上げた。それぞれの溶接後の試験片の外観状況を写真1に示す。

4. 高温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

実機に近い高温環境を再現するため、粉体、供試材、圧縮空気をそれぞれ加熱することが可能な高温ブラスト摩耗試験機を採用した。試験の条件を表2に示す。温度雰囲気は、粉体、供試材、圧縮空気のすべて室温およびすべて773 K (500℃)の2種類とした。ブラスト材として、粒径が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。ブラスト材の噴射量は2,000 gとした(一度に噴射できる粉体の量は最大500 gのため、これを4回繰り返した)。また、ノズルの内径をφ6 mmとし、粉体の速度は30 m/sとした。ブラスト材の噴射角度は、30度及び60度とし(図2参照)、ノズルの噴射口と供試材の中央点との距離は50 mmとした。なお、ノズルから

表 2 高温ブラスト摩耗試験条件

項目	条件
温度雰囲気	常温, 773K (500℃)
ブラスト材	アルミナグリッド (粒径: 0.85~1.16mm)
噴射量	2000g (1回 500g×4回)
ノズル径と速度	φ6mm, 30 m/s
噴射角度	30°, 60°
衝突距離	50 mm

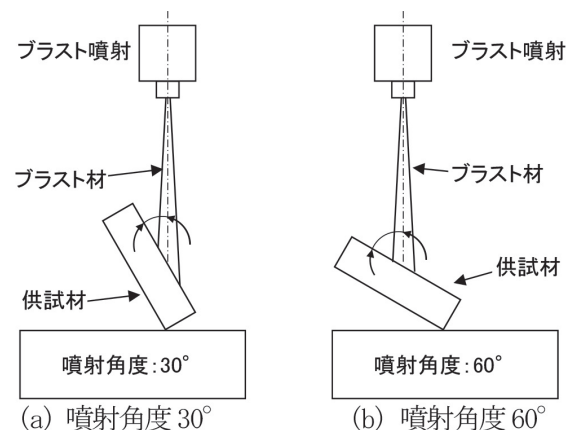


図 2 ブラスト試験装置の概要

噴射する粒子の開き角は約6度であり、供試材の中央点からφ15 mmの範囲に大半の粒子が衝突する。

4.1.2 ビッカース硬さ試験

ビッカース硬さ試験機(FV-800)を用いて供試材の硬さ試験を実施した。室温環境下にて、ダイヤモンド圧子を用い、試験荷重98 Nにて加圧し、10秒間保持した。圧痕

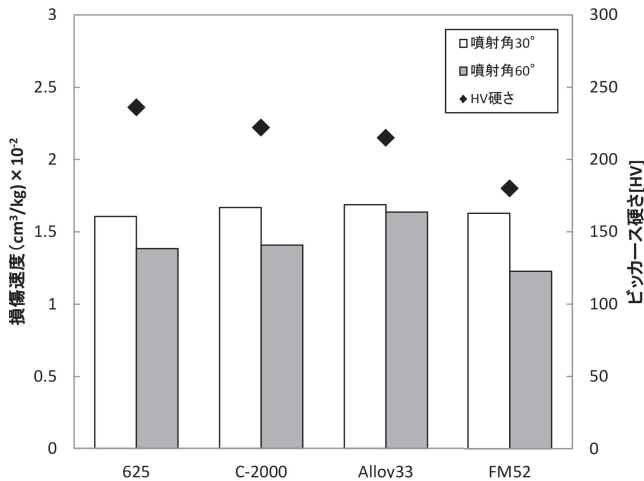


図3 常温時の損傷速度およびビッカース硬さ

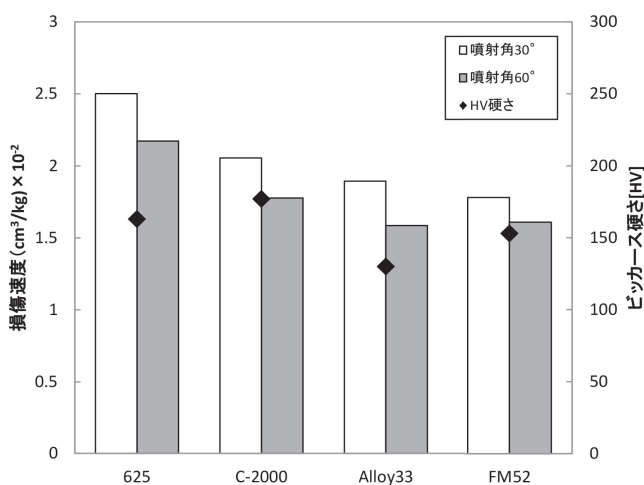


図4 高温時（500℃）の損傷速度およびビッカース硬さ

の対角線の長さを $0.5 \mu\text{m}$ 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、最大値と最小値を除いた5点の平均値を各供試材のビッカース硬さとした。

4.2 試験結果

高温耐侵食摩耗性の評価には、プラスト材の単位噴射量あたりの被噴射物の摩耗量を示した損傷速度⁵⁾を用いた。図3に室温時の損傷速度およびビッカース硬さ、図4に高温（500℃）時の損傷速度およびビッカース硬さを示す。

損傷速度の結果から、常温の場合は硬さに関係なくすべての肉盛溶接材料において明確な差異は確認されなかった。

ただし、625に比べ、C-2000およびAlloy33は噴射角60度の損傷速度が大きく、FM52においては小さくなっていった。高温（500℃）の場合には、今回新たに採用した3種類の各肉盛溶接材料は625と比較してC-2000が約18%、Alloy33は約25%、FM52は約27%耐高温侵食性が高いことが確認された。また、常温時と比べ高温になると損傷速度が625は1.5倍になったのに対し、C-2000は約1.25倍、Alloy33は約1.1倍、FM52は約1.3倍と625に比べ高温時の耐侵食性が低下しにくいことも確認された。

5. まとめ

各種ボイラ火炉の減肉対策として、ボイラ実機に近い状態を模擬した高温ブラスト試験を実施し、肉盛溶接金属の高温耐侵食摩耗特性について調査した。その結果をまとめると以下の通りである。

- 1) 常温時のブラスト試験の結果、硬さとの関連性が薄く、各材料の明確な差異も見受けられなかった。
- 2) 高温時においてはインコネル625とその他の肉盛溶接材料を比較すると、摩耗速度が約18~27%低く、高温環境下において625以上の耐侵食性に優れる可能性が示唆された。

上記のことから、CFBボイラにおいては、塩化・硫化腐食よりも侵食摩耗が支配的であることから、C-2000、Alloy33およびFM52は十分な侵食摩耗の対策になると考えられる。また、各種ボイラにおいても、上記材料の塩化・硫化腐食等の耐食性を評価し、耐食性が確認できれば、稼働環境に合わせて様々な溶接材料を選定することで、より最適な耐食・耐侵食摩耗施工が可能となると考えられる。

References

- 1) Kimura T., *et al.*: Erosive-wear resistance of overlay welds at high temperature under simulation of circulating fluidized bed boiler
- 2) Kiser S. D., *et al.*: Nickel Alloy Weld Overlays Improve the Life of Power Generation Boiler Tubing
- 3) Matsui M., *et al.*: Study on the Development of Corrosion Resistant Overlay Welding Materials and Construction Techniques for Boiler Furnaces (2017)
- 4) Shiraishi Y., *et al.*: JAPAN TAPPIJ. 57: 107-111 (2014)
- 5) J. J. K. Stekly., *et al.*: "The Minimization of Wear of Material in the Mining Industry and Mechanisms of Degradation"