

技術論文

摩擦肉盛によって高温燃焼を可能とする省エネルギーに関する研究

Study of friction surfacing technology to enhance the possibility of high temperature incineration for energy saving



技術開発センター
坂田 太志
Futoshi Sakata

技術開発センター
山下 哲司
Tetsuji Yamashita

技術開発センター
園田 晃大
Akio Sonoda

要旨

廃棄物焼却プラントのボイラー内壁やチューブは、高温での耐食・耐摩耗性が要求され、今まで当社でも溶射や溶接で対応を実施してきた。しかしながら、人体に有害なダイオキシン類の発生を抑制するため、近年燃焼条件が過酷になるとともに、ごみ発電プラントでは発電効率を向上し、省エネルギー効果を高めるために、蒸気ボイラー条件の高温・高圧化が図られている。

当社では、平成13年度よりこれに対応する新たな表面処理技術の研究に着手し、特に摩擦肉盛による対策の可能性が高いことが把握できている。

本号では、平成14年度に実施した摩擦肉盛の肉盛特性を確認した試験について報告する。

Synopsis

The measures of corrosion resistance and wear resistance are required for walls and tubes in waste incineration plant boilers. Our company has met this demand by surface treatment including spraying or welding.

But the generation of harmful dioxins has been prompting the plants to switch to higher temperature incineration process. Also, municipal waste-fired power plants have raised the temperature and pressure of steam to higher levels aiming at the efficient recovery of thermal energy.

We have been studying the new surface treatment method, which can respond to this severe condition from the year before last. Consequently, we have found that friction surfacing is a highly promising solution.

We hereby present what we have learnt from the test we conducted last year to evaluate the characteristics of friction surfacing.

1 緒言

ごみや廃棄物の焼却時に発生する排熱を熱交換し発電する廃棄物発電において、発電効率の大幅な向上がサーマルリサイクルの柱として社会的に注目されている事は、既に多くの報告書に述べられている。この発電効率の高効率化における問題点には、ボイラー発電設備内の高温化に起因し、燃焼ガスやダストに含まれる塩素やアルカリ溶融塩による高温腐食、飛灰中のシリカやアルミナ等の硬質粒子による高温アブレイジブ摩耗などにより、金属部材の劣化や損耗が激化する事があげられる。¹⁾ この劣化や損耗を防ぐため、ボイラー設備内の金属部材には、溶射や溶接などによる耐食性や耐摩耗性を向上させるための表面処理が広く行われている。しかし、発電効率30%を可能とするようなボイラー蒸気の高圧・高圧力条件下における、耐食・耐摩耗表面処理性能が現状では十分満足するレベルにあると

は言い難い。溶接による表面処理では、施工条件にもよるが、溶接時の表面処理対象材の溶け込みが大きいと、溶接材料自体の性能の劣化が大きい。また、溶射による表面処理では、表面処理対象材の溶け込みはほとんど無いが、密着強度が低く、また溶射皮膜中に気孔が内在する場合が多く、腐食成分の皮膜内部への浸透の問題もある。

そこで、材料の性能を100%活かし、また密着強度も強靱な表面処理方法の研究調査を平成13年度に行い、摩擦による表面処理(=摩擦肉盛)での事業化については可能性が非常に高いことが確認できた。平成13年度の研究調査では、摩擦肉盛についての基礎部分を確認するに留まり、より詳細の研究は行わなかったため、平成14年度に再度研究調査を実施した。以下、摩擦肉盛についての技術説明と、平成14年度に実施した試験内容、試験結果、考察等を報告する。

2 技術説明

摩擦肉盛とは、棒状の表面処理材料を回転させ、一定圧力で表面処理しようとする対象材料に押し付け、移動することによって一定肉厚の表面処理を行う方法である。接合形態は、母材と表面処理材との拡散接合であり、表面処理しようとする対象材料を溶かさずに摩擦熱を使って肉盛りを行う方法である。Fig.1に摩擦肉盛法の略図を示す。

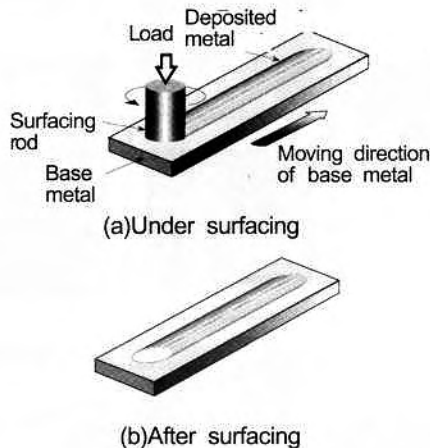


Fig.1 Outline of friction surfacing

棒状の肉盛材を一定の速度で回転させ、軸方向に圧力をかけて基材に押し付ける (Fig.1(a))。回転している肉盛材と基材との界面に摩擦熱が発生し、十分に肉盛材の温度が上がった時点で基材を移動させる。回転する肉盛材は融点に近い温度に達し、基材に塑性的に圧着する。ここで肉盛材がせん断し、基材側に移動する。このプロセスは固相のままの加工であり、熔融はしない。このため基材の成分が肉盛材に溶け込んで材質が変わることがなく、高温で割れる心配もない。また溶射と違って多孔質になることがなく、高い強度が得られる。^{2) 3)} 摩擦肉盛法での最も基本的な応用は、基材の耐摩耗性・耐食性・耐高温性などの向上のための保護皮膜形成である。

平成13年度の研究調査における試験結果から、耐食材料についても希釈率低減 (希釈率≒0%) が可能であることが確認できた。しかし、摩擦肉盛部断面の観察から、肉盛層の両端部分に未接合領域がmin35%程度あることが判明し、事業化の可能性をさらに高めるためには、

- ① 接合率を改善する
- ② 平行に肉盛を重ね、複数ビードを形成する確認

上記2点の取組みが必須と考え、このことを念頭に置き、以下に示す試験を行った。

3. 試験内容と結果、および考察

Fig.2に試験に使わせていただいた名古屋大学の摩擦圧接機の仕様と外観写真を示す。

表面処理材料は、インコネル625材25mmφ×150mmの丸棒を用いた (平成13年度は20mmφ)。インコネル625丸棒を回転部に取り付け、回転させながら10mm厚さのSS400材表面に所定の圧力で押し付け、さらにSS400材を移動してインコネル625材を肉盛した。

Fig.3に摩擦による表面処理状況写真を示す。

The maximum thrust:98.06KN
Revolving speed of main shaft:100~4000rpm
Full automatic friction pressure welding machine

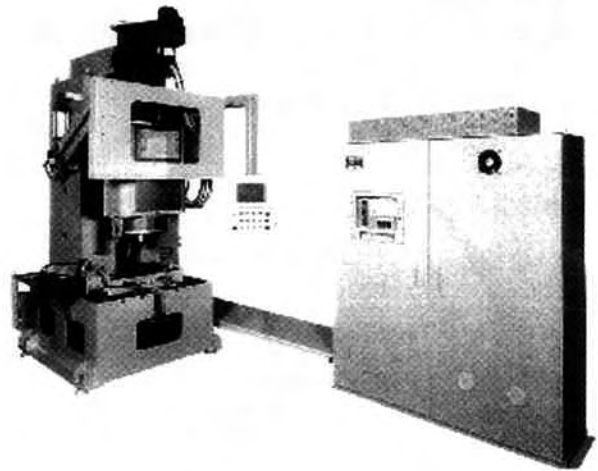
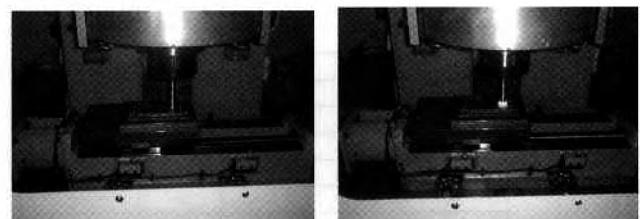


Fig.2 Appearance of friction surfacing machine
(It belongs to SINODA laboratory in NAGOYA University)

まず、インコネル625材の丸棒を320~800rpmの回転数で回転し、SS400平板に20or30MPaの圧力で接触させ、丸棒とSS鋼材の接触部が十分に過熱するまでである時間一定位置で保持する。保持時間経過後圧力を40~80Mpaまで高め、SS鋼材の移動を開始し、回転している棒材とSS鋼材との界面に発生する定常的な摩擦熱によって棒材を塑性的に圧着させ、SS鋼材上に安定した肉盛層を形成した。

Fig.3の右下写真に示すインコネル丸棒接触部でも確認できるように接触面は外部からの抑制がない状態で肉盛するため、丸棒先端(接触側)が外側へバリ状に変形し、そのために丸棒が肉盛材として歩留る率は現状約50%というレベルである。



Rotation of alloy 625
→ pushing against base metal

Under friction surface



End of surfacing

Contact part with base metal

Fig.3 Examination situation of friction surfacing

Table 1に試験条件と肉盛部外観評価を示す (No.1~7:平成13年度の実施条件)。No.1~13は単ビードの形成、No.14以降は、平行にビードを並べて肉盛を実施した。

Fig.4に試験No.7~24について肉盛部外観と切断面外観およびカラーチェック写真を示す。

Fig.5には、肉盛部と母材接合幅測定位置を示す。

Table 2に肉盛部断面の肉上がり、ビード幅、および接合率結果を示す。

接合率は次式で求めた値である。

$$\text{接合率(\%)} = \frac{\text{接合幅}}{\text{ビード幅}} \times 100$$

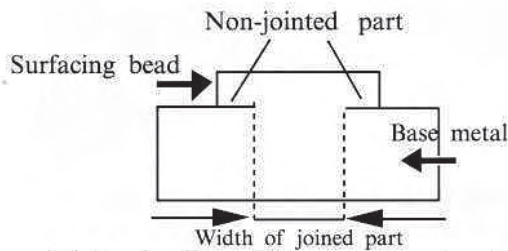


Fig.5 Junction width measurement position

Table 1 Testing parameters of friction surfacing, and appearance of processed surface

No	Diameter of rod (mm)	Rotating speed (rpm)	Moving speed of base metal (mm/sec)	Foreing pressurre (MPa)	Preheat (unmoving) time (sec)	Appearance of surfacing
1	20	800	1.0	20~40	10	Excessive holding time → interruption
2		600	1.0	20~40	10	Uneven
3		600	0.5	20~40	10	Uneven
4		400	0.5	20~40	10	Uneven
5		400	1.0	20~40	10	Good
6		400	1.5	30~60	10	Slightly irregular
7		400	2.0	30~60	10	Good
8	25	400	2.0	30~60	10	Slightly irregular
9		320	2.0	30~60	10	Good
10		320	3.0	30~60	10	Good
11		320	4.0	30~60	20	Uneven
12		320	6.0	30~60	20	Uneven width of bead
13		320	3.0	30~80	20	Uneven width of bead
14		320	3.0	30~60	20	Good
15		320	3.0	30~60	20	Good
16		320	3.0	30~60	20	Good
17		320	3.0	30~60	20	Good
18		320	3.0	30~60	20	Good
19		320	3.0	30~60	20	Good
20		320	3.0	30~60	20	Good
21		320	3.0	30~60	20	Good
22		320	3.0	30~60	20	Good
23		320	3.0	30~60	20	Good
24		320	3.0	30~60	20	Good

Table 2 Sectional dementions of friction surfacing

No	bead Width (mm)	Thickness (mm)	Width of joined Part (mm)	Rate of joining (%)
7	16.0	1.45	10	64.6
8	15.5	1.1	13	83.9
9	20.5	1.6	17	82.9
10	18.5	1.4	13	70.3
11	17.0	1.3	11	64.7
12	16.5	1.3	10	60.6
13	17.0	1.2	14.5	85.3
14	19.0	1.4	14	73.7

No	Friction surfacing bead	Section and result of penetrant test of friction surfacing bead	
No 7			
No 8 & 9			
No 10 & 11			
No 12 & 13			
No 14 & 20			
No 15 & 21			
No 19 & 24			
No 16 & 22 & 23			

Fig.4 Appearance and section of friction syrfacing bead

以上の結果より、以下に示す傾向が把握できた。

(1) 摩擦肉盛単ビード形成における各施工条件の影響

- ① 施工条件の中で回転数だけが異なる場合の傾向(No.8と9の比較)
 - ・回転数が上がると、肉上厚、ビード幅ともに下がる傾向がある。
 - ・接合率は若干向上する傾向がある。
 - ・肉盛効率は下がるが、品質が向上する。
- ② 施工条件の中で移動速度だけが異なる場合の傾向(No.9～12の比較)
 - ・移動速度が速くなると、肉盛厚、ビード幅、接合率全てが下がる傾向がある。
 - ・品質向上を目指す場合には、ある程度低速で肉盛を行うことが必要である。
- ③ 施工条件の中で圧力だけが異なる場合の傾向(No.13と14の比較)。
 - ・圧力が高くなると、肉盛厚、ビード幅は下がる傾向がある
 - ・ただし、接合率は格段に向上する。
(移動速度を速くすれば結合率が低下するが、圧力を高める事で接合率の低下を防ぐことができるものと想定できる)
- ④ 施工条件の中で保持時間だけが異なる場合の傾向(No.10と14の比較)
 - ・保持時間(棒の予熱時間)が長くなると、ビード幅、接合率ともに若干向上する
 - ・肉上がりには効果が見られない。
 - ・保持時間がある程度長い方が、ビードの均一性が増す傾向が見られた。
- ⑤ 肉盛棒の径が異なる場合の傾向(No.7と9の比較)
 - ・肉盛棒が太くなれば、肉盛厚、ビード幅とも向上する傾向がある。
 - ・未接合範囲はあまり変わらないが、全体の幅が広がるため、接合率は格段に向上する。
 - ・肉盛棒を太くする事は、肉盛効率、品質を同時に高める効果がある。
 - ・ただし、それだけ高付加価値を持った設備が必要となる。

まとめとして、以下の事が言える。

- ・肉盛棒を太くすることによって肉盛効率を向上でき、さらにその効果として接合率の向上にもつながることが分かった。
- ・単発ビード形成での諸条件変更による傾向(①～④)から、接合率の高い肉盛部を得るためには、保持時間をしっかり取り、高回転数・高圧力で肉盛速度を低速にして、摩擦肉盛を行えば良い事が把握できた。

(2) 摩擦肉盛複数ビード重ねにおける傾向

重ね部分の未接合領域を皆無にする事は現状未達成であるが、最大で3ビードの重ねを実施し、全幅で60mm以上のビード形成に成功した。

No.14～19のビードを素材の中央に肉盛り、No.14～18については、肉盛後にビード両端の未接合部をグラインダーにより除去した。No.19のみ未接合部の除去を実施しなかった。

Fig.4に示すように、No.14&20・No.15&21・No.16&22&23の違いは、2,3ビード目を肉盛りする時に、肉盛棒を前のビードにどれだけ重ねるかを变化させたことであり、それにより生じた断面から見たビードの重ね部の状況である。結果としては、余分な重なりが最も少ないのがNo.16&22&23の条件であったが、いずれも境界に未接合部が存在した。

No.19&24は、前のビードのグラインダー処理を実施していないが、No.16&22&23と比較しても特に未接合部が広いわけではない。1本目のビードのグラインダー処理は、2本目以降のビード両端の未接合部を減らす完全な対策とはならなかった。

4 まとめ

肉盛棒の回転数・押し付け圧力・移動速度・保持(予熱)時間を種々の条件に設定しながら、単ビードを形成し、断面を観察することによって、接合率をMAX85.3%まで高めることに成功した(平成13年度はMAX65%程度)。接合率を高める条件設定としては、保持時間をしっかり取り、高回転数・高圧力で肉盛速度を低速にして、摩擦肉盛を行えば良い事が把握できた。

平行に肉盛を重ね、複数ビードを形成する確認試験の結果から、MAX60mmのビード幅を形成することに成功した。しかし、重ね部分の境界に未接合部が存在することが明らかになった。この重ね部分の境界に発生した未接合部は、1本目のビードの未接合部を除去した後に、2本目以降を肉盛りしてもなくなり、現在この解決に向け展開中である。

5 今後の取組み

今回の試験結果の傾向把握を受けて、単ビード肉盛試験をさらに行うことにより、接合率の更なる向上は期待できる。単ビードの試験にて最も接合率を高められた条件で、複数ビードの形成を再トライし、前ビードに重ねる寸法を種々ふりながら、未接合部の無い複数ビード形成方法を確立し、事業化への前進を図りたい。あわせて、形成した肉盛部の耐食性・密着力調査を実施することによって、目標とする使用環境下を想定した本肉盛施工部の評価を実施する。

また、肉盛部品質向上とともに、肉盛棒歩留りの向上・連続肉盛寸法の延長など、肉盛効率の改善についても事業化を進める上で不可欠な項目であり、それらを考慮に入れた肉盛装置の検討も進める。

6 参考文献

- 1) 川原雄三・折田寛彦・高橋和義・中川裕二、高効率廃棄物発電ボイラー用新耐食合金管の実証試験、鉄と鋼 Vol. 87 No. 8, 2001
- 2) 篠田剛ら、摩擦肉盛法による表面硬化層の形成に関する研究、溶接学会論文集 Vol. 13 No.3 p.432, 1995
- 3) 篠田剛・李錦旗、摩擦肉盛法による表面改質研究の現状、溶接学会誌 Vol. 66 No. 6 p.441, 1997