

## 基材中のFe希釈が表面処理層の耐食性に及ぼす影響

Influence of Dilution by Fe in Base Metal on Corrosion Resistance of Hard Facing Zone



技術開発センター  
河村 太一郎  
Taichiro Kawamura

技術開発センター  
園田 晃大  
Akio Sonoda

技術開発センター  
山下 哲司  
Tetsuji Yamashita

### 要旨

溶接、溶射、またはめっき等の表面処理や接合技術は、一般的に多種多様で使用されており、その用途も様々である。中でも溶接は、金属同士の接合から使用環境に応じた耐摩耗性、耐食性、あるいは耐焼付き性等の特性を持つ材料の肉盛までといった幅広い使用法や用途がある。

そこで本報では、パルスMIG溶接法により耐食性材料の肉盛溶接を行い、この肉盛層の成分組成を調べた。その結果、溶接条件の違いによって基材の溶け込みに差異が生じ、肉盛層へ基材のFeが混入(希釈)し、化学組成に変化が起きることを確認した。

また、摩擦接合による肉盛を行い、摩擦接合はMIG溶接よりも、肉盛層の希釈を抑制する効果のあることを明らかにした。

### Synopsis:

The surface hard facing technology such as welding, thermal spraying or electroplating has been used and applied widely. In particular the welding is widely used in the fields such as the joining of metals and the welded overlays of materials to gain the properties of wear resistance, corrosion resistance and anti-seizure.

In this paper, we investigated the influence of the welding conditions on the change in composition for the corrosion-resisting materials overlays welded by the MIG. As the result it was confirmed that the difference in weld penetration is occurred by the change of welding conditions, and the change in composition for welded overlays alloys resulted from the dilution of Fe in a base metal.

We also found that the friction welding was more effective to depress the dilution than the MIG welding.

### 1. 緒言

鉄鋼、化学あるいは環境プラント等では、各々の設備に対して耐摩耗性、耐食性、耐焼付き性等の特性が必要とされる。そのため、これらの特性に優れた材料を溶接、溶射またはメッキ等の表面処理を施した工業製品が幅広く使用されている。

この中でもごみ焼却プラントの廃熱を回収するボイラー壁の水管パネルは、近年、人体に有害なダイオキシン類の発生を抑制するため、燃焼温度の高温化が進み、焼却炉内の材料に対する腐食環境が過酷になっている。そのため水管パネルの表面には、耐食性に優れた材料を溶接あるいは溶射することが主

流になりつつある。

しかし溶接については、溶接材料と基材を溶融して接合するプロセスのため、溶着金属へ基材の材質が混入し、溶接金属の組成を変えてしまうという問題が常が発生する。そこで本報では耐熱あるいは耐食合金として、現在広く用いられているNi基合金の肉盛溶接について、同一の溶接機で異なる溶接条件を設定し、それが溶接金属の化学成分へ及ぼす影響および基材のFeが肉盛溶接層に希釈した試験片の腐食試験を行ったので報告する。

さらに最近、摩擦接合による肉盛法が開発され、実用化されつつある。当社でも数年前からこの実用化の研究開発に取り組んでいる<sup>1)</sup>。そこで摩擦肉盛法の試験片についても腐食試験を実施したので、その結果も併せて報告する。

2. 供試材

基材にはSS400を、溶接材料にはTable 1で示すInconel 625を、溶接機にはパルスMIG溶接機を用いて、Fig.1で示すように基材をセットし、Table 2で示した溶接電流、溶接速度、ウィービング速度および交流または直流溶接等の条件で供試材を製作した。

なお摩擦肉盛については、Fig.2にその概念図<sup>2)</sup>を、またTable 1に摩擦肉盛で用いた丸棒合金の化学成分を各々示す。

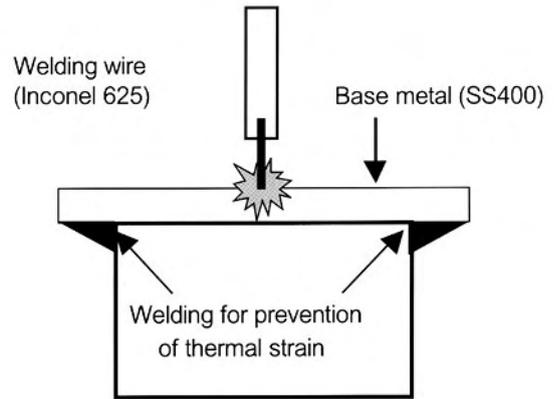


Fig. 1 Schematic illustration showing setup method for welding of specimen

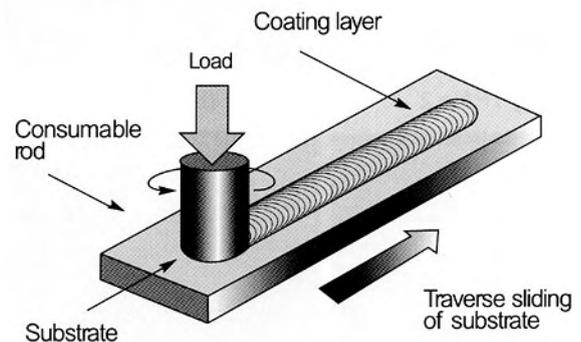


Fig. 2 Schematic illustration showing friction welding method

Table 1 Chemical compositions of welding materials (wt%)

Elements (wt.%)	Ni	Cr	Mo	Fe	Others
Welding wire (Inconel 625)	64.1	21.2	9.3	0.6	4.8
Friction welding material	65.4	20.9	8.2	2.0	3.5

Table 2 Welding conditions and specimens tested

TP. No.	AC or DC	Welding current (Amp.)	Welding voltage (Volt.)	Welding speed (mm/min)	Weaving speed (time/min)	Bead width (mm)	Bead thickness (mm)
2	AC	130	24	300	100	12	3.0
4	DC	130	22	300	100	10	3.0
5	AC	180	26	300	100	15	3.0
6	DC	180	26	300	100	16	3.1
26	AC	180	26	450	148	12	2.4
27	DC	180	26	450	148	12	3.1

### 3. 肉盛溶接部における外観および断面組織の観察

#### 3-1 溶接した後のビード外観および肉盛溶接部の断面におけるマクロ組織の観察

溶接した後のビード外観をFig.3に示す。溶接条件の違いにより、ビード幅や肉盛厚さに差異は見られるが、いずれの条件でも特に問題は認められない。溶接部の断面における金属組織を観察すると、Fig.4で示すように、No.2の供試材では、最大0.5mmの溶け込みしか発生しなかったのに対し、No.6では最大1.5mmの溶け込みを確認した。

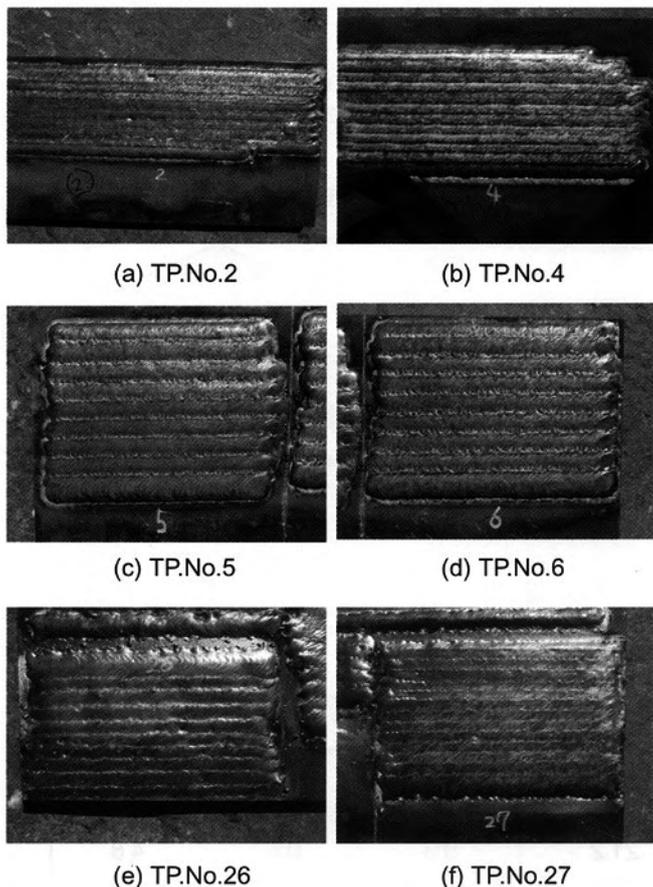


Fig.3 Bead appearance of MIG welding specimens

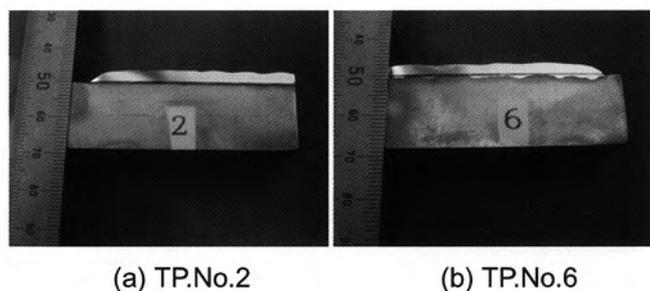


Fig.4 Cross sectional macrostructures of specimens overlaid by MIG welding

摩擦接合で肉盛したビードの外観をFig.5の(a)に、肉盛層の断面における金属組織の写真を(b)に各々示す。

これらの写真から、摩擦肉盛法でも安定した美しいビード模様が得られており、基材への溶け込みは、MIG溶接材に比較して少ないことが分かる。

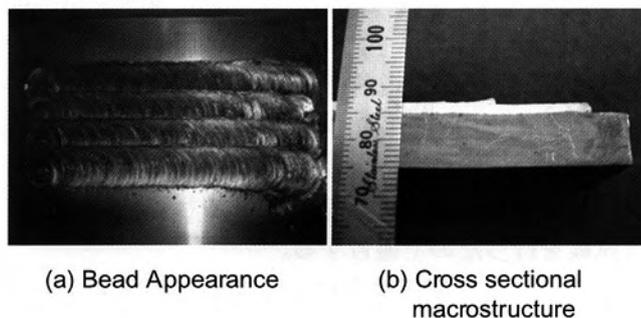


Fig.5 Photos showing appearance of friction welding specimen

また、Fig.6には溶接肉盛と摩擦肉盛のミクロ組織を示す。溶接肉盛ではデンドライト状の組織が観察されているのに対し、摩擦肉盛では熔融状態からの凝固を伴わず、固体金属を密着させるため、このような組織は見られない。さらに組織内のコントラストが観察されないことから、金属組織は一樣に、微細な結晶粒で構成されているものと考えられる。

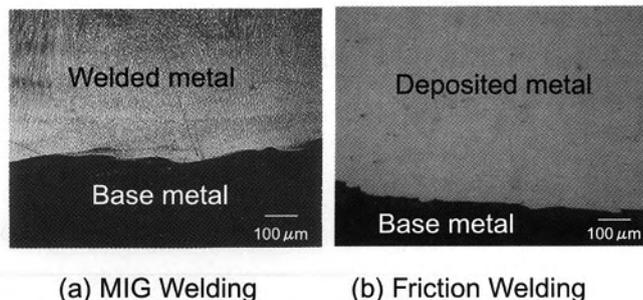


Fig.6 Cross sectional microstructures of specimens with different welding method

#### 3-2 溶接金属における化学成分の分析および希釈率の算定結果

肉盛溶接した後、表面から1mm以内の溶接金属層をICP(高周波プラズマ発光分析法)によって成分分析した結果をTable 3に示す。

本報では、下記の式で算出される値を希釈率と定義し、Table 1とTable 3の成分値から、各成分の希釈率を算出した。その結果をTable 4に示す。

$$\text{希釈率(\%)} = \frac{(\text{溶接材料の成分値}) - (\text{溶接後の成分値})}{(\text{溶接材料の成分値})} \times 100$$

Table 4から、No.6の条件による溶接金属の希釈率が最も高く、No.2の条件によるものが最も低い結果となることが分かる。

Table 3 Chemical compositions in cladding layer

Welding	TP.No.	Chemical compositions (wt%)				
		Ni	Cr	Mo	Fe	Others
MIG welding	2	62.6	21.2	8.9	3.3	4.0
	4	61.2	20.7	8.8	5.6	3.7
	5	57.0	19.3	8.2	12.1	3.4
	6	55.6	19.2	8.0	13.7	3.5
	26	60.5	20.6	8.7	6.6	3.6
	27	60.1	20.5	8.7	7.1	3.6
Friction welding	FW	65.4	20.7	8.2	2.1	3.6

Table 4 Calculated results of dilution ratios in cladding layer

Welding	TP.No.	Dilution ratios (%)				
		Ni	Cr	Mo	Fe	Average
MIG welding	2	2.3	0.1	4.1	2.6	2.3
	4	4.5	2.2	5.6	5.0	4.3
	5	11.1	8.9	11.8	11.6	10.9
	6	13.3	9.3	13.9	13.2	12.4
	26	5.6	2.5	6.3	6.0	5.1
	27	6.2	3.0	7.1	6.5	5.7
Friction welding	FW	0	0.6	- 0.1	0.1	0.1

### 3-3 外観と断面組織の観察および成分の分析と希釈率の算定結果からの考察

通常、直流パルス溶接では棒プラスの極性が用いられるため、溶け込みが深くなるのに対し、交流パルスのMIG溶接では、ベース電流の出力時に棒マイナスの極性となり、溶接材料の溶融と基材の溶け込みを小さくするため、入熱量のコントロールが可能となる。その結果、交流溶接では基材への溶け込みが浅くなり、各成分の希釈率が小さくなると考えられる。

溶接条件が基材への溶け込みに及ぼす影響については、入熱量の要因が大きく、また、基材のFeによる溶接金属への希釈についても、基材への溶け込み量が多いほど、溶接金属中のFe量が高くなる傾向のあることが認められる。

## 4. 腐食試験

### 4-1 腐食試験の方法

前項3-3の考察で述べた溶け込み量、すなわち希釈率の違いが溶接金属の耐食性に及ぼす影響を調べるため、試験片の腐食試験を行った。供試材として希釈率が最も低いNo.2の試験片と、最も高いNo.6の試験片、さらに希釈がほとんど無いと見なされる摩擦肉盛法による試験片FWを用いた。

次に供試材から溶接金属のみを切出した試験片を作製し、表面を研磨した後、32%の塩酸を60mlと65%の硝酸を20ml混合した腐食液に、120分間浸漬した後、試験片における外観の観察、および試験前後における腐食減量の測定を行った。

Table 5 Result of corrosion tests

TP.No.	Conditions of specimens (TP.)			Corrosion tests			Corrosion quantities per 1 mm <sup>2</sup> (mg/mm <sup>2</sup> )
	Average dilution ratio (%)	Fe contents (%)	Surface area (mm <sup>2</sup> )	Mass of TP. (gr.)		Corrosion decrease (gr.)	
				Pre-testing	Post-testing		
2	2.3	3.3	1008	9.2482	8.9303	0.3179	0.32
6	12.4	13.7	854	6.5801	5.3415	1.2386	1.45
FW	0.14	2.1	1038	4.2248	3.9826	0.2422	0.23

#### 4-2 腐食試験の結果

腐食試験の結果をTable 4、および腐食試験後の試験片における外観状況の写真をFig.7とFig.8に示す。それらの結果、希釈率が低いほど腐食減量は少なくなることが確認される。

またTable 3およびTable 5から、摩擦肉盛層 (FW) のFe量は2.1%と、MIG溶接によるものの最低値を示したNo.2 (Fe量3.3%) の約2/3程度を示した。しかしこれはTable 1で示すように、摩擦肉盛で用いた溶接材料のFe量が2.0%と高ったためであり、平均希釈率で比較すると、摩擦肉盛層の希釈率は、MIG溶接によるものの実に1/16以下になることが理解できる。

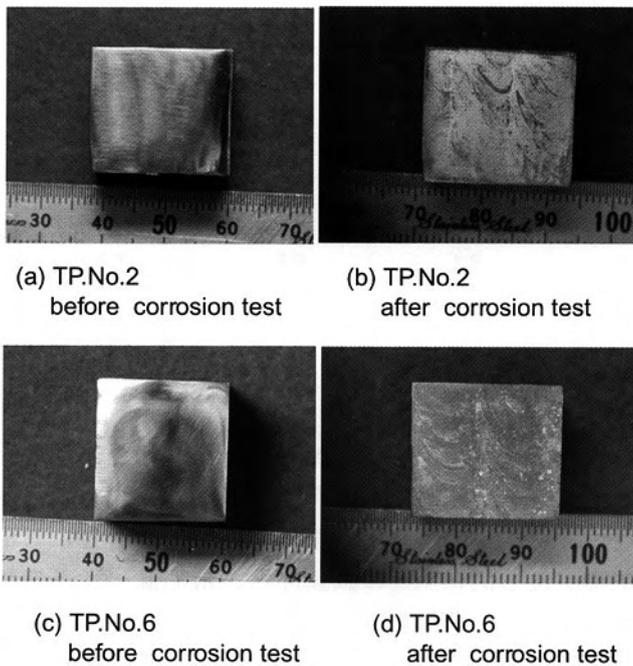


Fig.7 Photos showing change of surface appearance before and after corrosion tests in MIG welding specimen

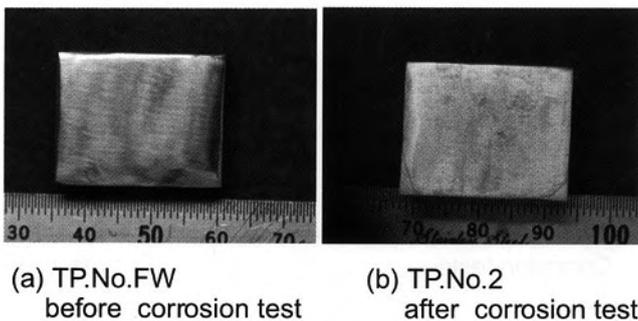


Fig.8 Photos showing change of surface appearance before and after corrosion tests in friction welding specimen

さらに試験片の外観状況を比較すると、No.6 (希釈率：約12%) では、熱影響層のビード模様が明確に確認できるのに対して、No.2 (希釈率：約2%) では、偏析による腐食ムラが認められるものの、表面には金属光沢が残っていた。腐食がほとんど認められなかった摩擦肉盛については、腐食試験を実施する前に存在していた表面の研磨模様が観察できた。

#### 5. 結言

本研究開発で得られた成果を要約すると、下記のようにまとめられる。

- (1) 溶接条件による溶け込み量の多少に応じて、基材からの希釈率は大きく変動する。
- (2) 基材からのFeの希釈率が高いほど表面処理層は、腐食しやすくなる傾向がある。
- (3) 希釈率が高くなる、すなわち表面処理層の耐食性が悪くなる要因としては、次のような溶接条件により入熱量が高くなる場合が挙げられる。
  - ① 溶接電流・電圧が高い場合
  - ② 溶接速度が遅い場合
  - ③ ウィーピング速度が遅い場合
- (4) 耐食性材料、もしくは耐環境特性を有する材料の肉盛溶接を施工する際には、その特性を十分生かすために、基材への溶け込みを抑制することが重要である。
- (5) その観点から摩擦肉盛は、溶け込みがほとんど無い肉盛層が得られるため、次世代の肉盛法として、大いに期待される。

当社では今後、新しい肉盛法である摩擦肉盛についても、活発に研究開発を進めていく計画である。

#### 参考文献

- 1) 坂田太志、山下哲司、園田晃大:フジコー技報No. 11 (2003) 47
- 2) 篠田剛、竹上弘彰:摩擦盛法による表面創成(社団法人溶接学会「摩擦攪拌接合の基礎と応用」(2005) 69