

光輝焼鈍炉炉壁の窒化防止技術の開発

溶接溶射技術開発室

新日本製鐵株式会社 光製鐵所
設備部設備技術グループ林 慶治
Keiji Hayashi伊藤 昌広
Masahiro Ito

1 はじめに

鉄鋼の酸化を防ぎ金属光沢を失わぬために使用される窒素含有ガス雰囲気焼鈍炉、すなわち光輝焼鈍炉の炉壁は、高クロム高ニッケルステンレス鋼、例えばSUS310Sによる溶接構造物として製作される。ところが、雰囲気ガスとして窒素を使用するため炉壁内面より窒化が進行し、特に溶接接合部分で窒素脆化によりクラックが発生することがある。そのクラックを補修することは、母材が脆化しているために困難である。

最近、耐窒化材料としてニッケル基の材質が使用されるようになってきたが、製鉄工業で使用される光輝焼鈍炉のような大規模構造物ではニッケル基は高価であり、実用的ではない。

従来一般的に、窒化防止にはニッケル、錫、銅などの窒化物をつくり難い金属をメッキする方法が行われている。しかし、鉄鋼、特にステンレス鋼の焼鈍に使用されている光輝焼鈍炉の雰囲気温度は1000~1200℃と高く、錫メッキ、銅メッキでは溶融点が高いので使用できない。また、高融点耐窒化金属のメッキ、例えばニッケルメッキも大規模構造物全体が対象となると、施工が困難であり実用的ではない。

一方、成膜方法の一つである溶射は大規模構造物表面の被膜に適したプロセスと位置付けられている。しかしながら、溶射被膜には通常、気孔が多く介在しており、耐窒化金属を溶射しても気孔を介して窒素ガスが侵入するので効果が期待できない。しかし、溶射方法の一つとして、自溶合金を溶射した後再溶融処理を施すことにより、実質的に気孔の無い被膜を成膜できることが知られている。また、自溶合金はニッケル基であるため、耐窒化性が良い材料であると推測される。ところが、自溶合金の融点は1050℃付近にあるので、このまま光輝焼鈍炉に使用すれば溶射被膜は溶融し、溶け落ちることになる。

当社は新日本製鐵株式会社 光製鐵所殿との共同により、この自溶合金の溶け落ちを防止する方法を見出し、実機ステンレス鋼板用連続光輝焼鈍炉に適用したところ、予測通りの良い結果が得られたので、以下に報告する¹⁾。

2 自溶合金の耐窒化性に関する実験結果

耐窒化性に対するNi含有量の影響についてはNiが多いほど優れており、Moranらは長期間の試験により図-1

を得ている²⁾。

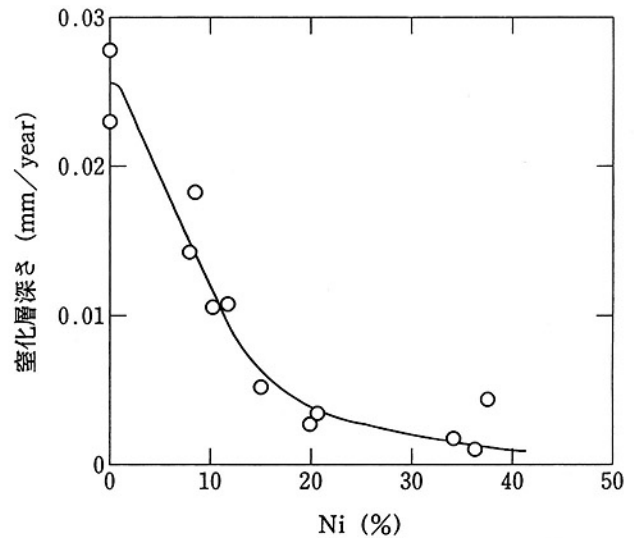


図-1 Fe-Ni-Cr合金の窒化とNi量の関係¹⁾
(アンモニア転化器、約520℃)

Ni基の自溶合金は表-1のごとく、JISにより5種類が規定されており、いずれもNi含有量が50%を越えている。そこで著者は光輝焼鈍炉内壁用の溶射被膜として、自溶合金とNi-Cr合金を積層した構造を考案し、その性能を調べるために実験を行った。このような構造を選定した理由は次章で述べる。作成した試験片を実機の光輝焼鈍炉と同じ雰囲気(1170℃・水素75%+窒素25%)にて100時間保持後、表層の窒化層深さを測定したところ、表-2の結果を得た。同表中のCoNiCrAlYは耐高温酸化用として最も優れた材料の一つとして知られているが、これを大気プラズマ溶射にて成膜し、比較材として加えたものである。なお、母材は溶接部を含んだSUS310Sである。この結果から、自溶合金+NiCr合金には窒化物は検出されず、優れた耐窒化性を有していることがわかった。

3 自溶合金の溶け落ち防止方法

一般的に、自溶合金の液相線は1040~1100℃にあるため、これを越える雰囲気温度で使用すれば、自溶合金溶射被膜は液体となり溶け落ちる。また、固相線は940~1000℃にあり、固相線と液相線の間にて再溶融処理が施される。再溶融処理を施した自溶合金溶射被膜は気孔が実質的に存在

表-1 JIS H8303溶射材料の化学成分

種類	化学成分%									
	Ni	Cr	B	Si	C	Fe	Co	Mo	Cu	W
SFNi1	残部	0~10	1.0~2.5	1.5~3.5	0.25以下	4以下	1以下	—	4以下	—
SFNi2	残部	9~11	1.5~2.5	2.0~3.5	0.5以下	4以下	1以下	—	—	—
SFNi3	残部	10~15	2.0~3.0	3.0~4.5	0.4~0.7	5以下	1以下	—	—	—
SFNi4	残部	12~17	2.5~4.0	3.5~5.0	0.4~0.9	5以下	1以下	4以下	4以下	—
SFNi5	残部	15~20	3.0~4.5	2.0~5.0	0.5~1.1	5以下	1以下	—	—	—
SFCo1	10~30	16~21	1.5~4.0	2.0~4.5	1.5以下	5以下	残部	7以下	—	10以下
SFCo2	0~15	19~24	2.0~3.0	1.5~3.0	1.5以下	5以下	残部	—	—	4~15

表-2 溶射被膜の窒化試験結果

	窒化物検出最大深さ (μm)	
	溶接部	母材部
溶射なし	620	620
CoNiCrAlY	700	350
自溶合金+NiCr合金	0	0

せず、また、被加工物との界面には自溶合金成分と母材成分とが相互拡散して強い密着力が得られる。

前述のように、自溶合金被膜のままでは光輝焼鈍炉内壁に使用した場合溶け落ちるので、次のような皮膜構造を考案した。すなわち、自溶合金皮膜上に同じく耐窒化性Ni-Cr合金を溶射し、さらに自溶合金を溶射して3層構造とした後、再溶融処理を施せば上層の自溶合金はNi-Cr合金中に浸透するとともに拡散し、単一な実質的に気孔の無い、しかも高融点の耐窒化性溶射皮膜となる。また、下層の自溶合金は母材とNi-Cr合金両方に拡散し、強い密着力が得られる。

図-2と図-3に、第1層目と第3層目に自溶合金を厚さ50μm、中央部の第2層にNi-Crを200μm溶射した溶射ままと、溶射後水素雰囲気170℃にて1時間保持した皮膜断面の光学顕微鏡写真を示す。

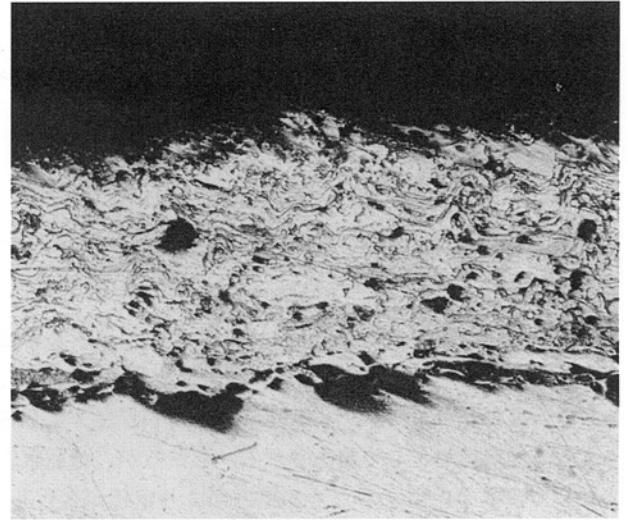
同写真より、1時間と短い保持時間にもかかわらず、自溶合金はすべてNi-Cr合金中に浸透あるいは拡散し、溶射皮膜の特長であるラメラ構造が消失するとともに、母材のSUS310Sにも拡散し、強固な溶射皮膜となっていることがわかる。

また、試験片を立てての再溶融処理にもかかわらず皮膜の溶け落ちや膨れなどの過溶融は認められない。

4 実機テスト結果

新日本製鐵株式会社 光製鐵所殿で使用されている光輝焼鈍炉はSUS310Sの溶接構造物であり、その寿命は従来は5000時間前後であった。寿命の原因は溶接部の窒化による亀裂の発生が主であった。

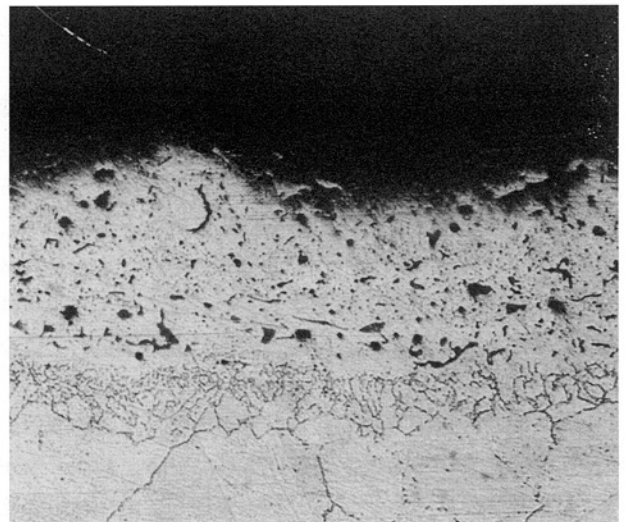
前章で述べた結果をもとに、この光輝焼鈍炉にて実機テストを実施した。すなわち、溶射法は大気ガスプラズマと



100μm

×100

図-2 溶射ままの皮膜



100μm

×100

図-3 再溶融処理後の皮膜

し、皮膜は前記のごとき3層構造とした。図-4、図-5および図-6にそれぞれ、光輝焼鈍炉の外観、溶射施工状況および溶射後の内壁の写真を示す。

テストの結果、稼働時間は10400時間となり、寿命が2倍に延長した。この時の寿命原因はクリープ伸びが許容値(クリープ破断)に近づいたためであった。また、5569時間稼働後の中間でのX線および超音波による検査でも、亀裂や溶射皮膜の剥離は確認されなかった。

5 まとめ

新日本製鐵株式会社 光製鐵所殿の御協力を得、ステンレス鋼板光輝焼鈍炉内壁に耐窒化性の優れた高融点の溶射

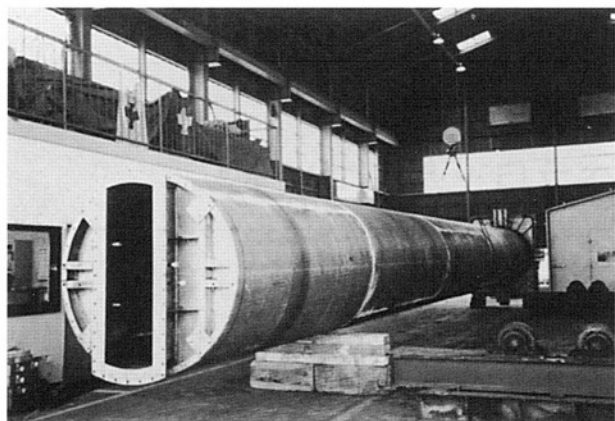


図-4 光輝焼鈍炉外観

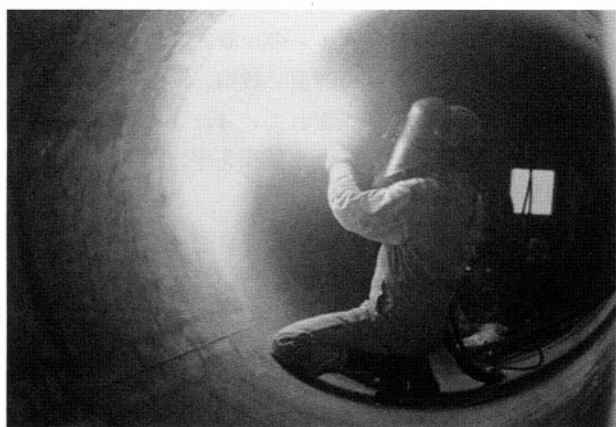


図-5 内壁溶射施工状況

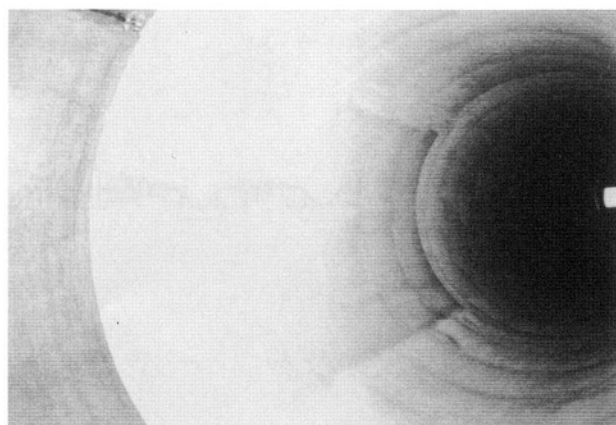


図-6 溶射後の光輝焼鈍炉内壁

を施すことにより、その寿命を約2倍に延長することができた。

同様な光輝焼鈍炉においても窒化防止を必要としたり、あるいは高価なNi基の耐窒化性材料を使用している例が多いと思われるので、今後は本技術の適用拡大を図ってきたい。本技術によれば、溶射を内壁に施すことにより安価な母材を使用できるため、寿命延長だけでなく設備費低減というメリットも期待できる。また、対象も光輝焼鈍炉ばかりでなく、窒化による脆化が問題となる機械部品などにも本技術は応用が可能である。

参考文献

- 1) 特許出願中
- 2) 長谷川正義 監修：ステンレス鋼便覧、日刊工業新聞社（1973）