

ステンレス鋼の電解砥粒減面技術の開発

日下部 繁¹⁾ 河西 寿雄²⁾ 荒川 基彦³⁾
 武藤 泉⁴⁾ 原 信義⁵⁾

1. はじめに

東京ステンレス研磨興業は、1951年創業のステンレス鋼の研磨加工会社であり、ステンレス鋼研磨のパイオニアとして、設備および技術の自主開発を実践してきた。コイル研磨においては、ステンレス鋼薄板の量産化に対応した羽布研磨を1967年に、1パスで表裏両面が研磨可能なベルト研磨を1996年に国内で初めて実用化した。現在は、ステンレス鋼を主として、チタン、アルミ、銅およびそれらの合金等の、研磨加工およびコイルの剪断加工を生業としている。

研磨加工は、砥石系および、または羽布系の研磨材を用いるため、粉塵が発生し、作業環境が3Kかつ塵肺対象の職場となっている。この作業環境を改善することは、ステンレス鋼の研磨の大きな課題の一つである。一方、ステンレス鋼の焼鈍後の表面酸化物を除去するために、強酸による酸洗が一般的に行われている。特に、オーステナイト系ステンレス鋼の酸洗には硝酸とフッ酸との混合液が使用されており、環境負荷を低減のための廃酸の処理に大きな課題があると言われている。

今回開発した実用化技術は、中性塩の水溶液を用い、電解研磨技術と砥石研磨技術とを融合した新たな研磨方法であり、作業環境の改善と廃液の環境負荷の低減を同時に実現できる。この研磨技術を電解砥粒減面 (Electrolytic Grinding Reducing, 以下 EGR と記す。) 技術と称している。

2. EGR 技術の概要

EGR 法の概要を図1に示す⁽¹⁾。減面ヘッドは、中央に通液孔を有した円板状の台座に、電極と砥石とが円周方向に交互に配置されている。このヘッドを被処理面に押し付け、電解液 (30% NaNO₃) と高密度の電流 (5~40 A/cm²) とを供給しながら回転させる。

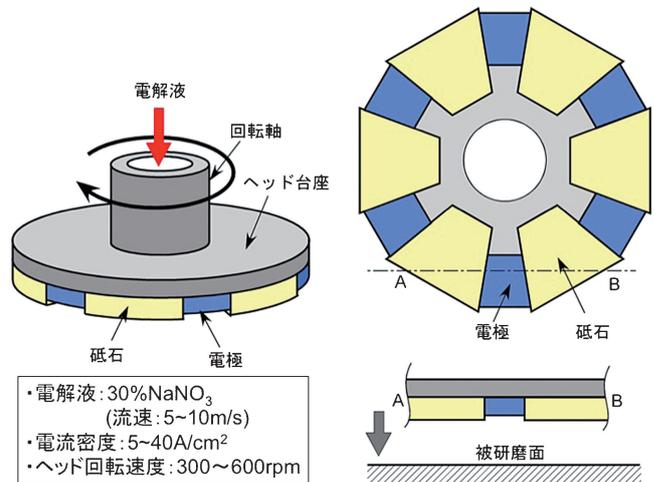


図1 EGR 法の概要。



図2 EGR 法による酸化スケール表面材からの研磨例。
 (熱延フラットバー、厚さ9 mm、幅100 mm、長さ1000 mm)
 (左：酸化スケール表面→中央：EGR 研磨面→右：鏡面仕上)

* 東京ステンレス研磨興業株式会社：
 1) 代表取締役 社長 2) 取締役 技術部長 3) 社長付 専任部長
 ** 東北大学：
 4) 大学院工学研究科 准教授 5) 理事 大学院工学研究科教授
 Electrolytic Grinding Reducing for Stainless Steel; Shigeru Kusakabe*, Toshio Kasai*, Motohiko Arakawa*, Izumi Muto**, Nobuyoshi Hara** (*Tokyo Stainless Grinding Co., Ltd., **Graduate School of Engineering, Tohoku University)
 2013年10月24日受理 [doi:10.2320/materia.53.23]

一般的な SUS304/No. 1 仕上材を EGR 処理すると、1 パス当り厚みでおよそ 30 μm の減面量が得られる。EGR 技術は、ステンレス鋼のほとんどの鋼種に適用可能であり、熱延スケールを有する鋼でも同様な減面が得られるので(図 2)、硝酸による酸洗が不要な環境に優しいデスケール技術としても極めて有効である⁽²⁾。加工可能なサイズは、厚み 4 mm 以上、幅 2500 mm 以下、長さ 7000 mm 以下である。

なお、電解液の処理はクロズドシステムで行い、回収されるスラッジはステンレス鋼の原料として再利用されている。

3. EGR 処理材の表面特性

(1) 表面粗さ

表面粗さのプロフィールを図 3 に示す⁽¹⁾。表面の粗い No. 1 仕上材(平均粗さ $R_a = 4.88 \mu\text{m}$)は、EGR 処理により No. 2B 仕上材($R_a = 0.19 \mu\text{m}$)とほぼ同等の表面粗さ($R_a = 0.21 \mu\text{m}$)となる。また、No. 2B 仕上材が複雑な窪み(ピット)を有しているのに対し、EGR 処理材は比較的平滑になっている。この特性は高級研磨の下地研磨として活用されている。すなわち、従来、厚み 4 mm 以上の鏡面研磨は困難とされてきたが、EGR 処理材では容易に鏡面研磨ができる。新日鐵住金ステンレス株式会社は、EGR による下地処理と鏡面研磨を組み合わせたクリスタルシリーズを商品化しており、2014年 4 月にオープン予定の京都国立博物館新館の内装材に採用された。

(2) 耐食性

耐孔食性を評価するために、0.5 M NaCl 溶液中におけるアノード分極曲線を測定した。図 4 に、0.5 M NaCl 溶液中における EGR 処理試料 A, B および比較材として用いた SiC#1500 研磨試料のアノード分極曲線を示す⁽³⁾。試料 A は EGR 後に直ちに水洗、乾燥したものであり、試料 B は大型の板を扱う実プロセスを模擬するため、EGR 後にそのまま電解液中に 0.5~1 h 浸漬し、その後、水洗、乾燥したものである。EGR 処理試料に関しては、それぞれ 12 回の測定を行ったうちの代表的な 3 回の結果を示してある。SiC 研磨試料では 0.1 V 付近から再不働態化性ピットの発生による多数の電流振動が現れ、0.4 V 付近で成長性ピットの発生による

電流の急上昇が起こる。これに対して、EGR 処理試料では不働態維持電流が低下しており、また再不働態化性ピットによる電流振動の数が著しく減少すると共に、孔食電位は大きく上昇している。

得られた分極曲線から孔食電位 E_{pit} を求め、0.1 V 刻みに区分し、各区間の頻度を表示した結果を図 5 に示す⁽³⁾。SiC 研磨試料の E_{pit} は 0.3 V から 0.5 V の狭い範囲に限られるのに対して、EGR 処理試料の E_{pit} は 0.4 V から 0.9 V 以上の広い電位範囲に分布しており、孔食が起こりにくいものがあることを示している。特に、EGR 処理試料 B の E_{pit} の 50% 以上は 0.9 V 以上の電位範囲に分布しており、この試料は耐孔食性に優れることが分かる。

(3) 耐発錆性

海浜大気環境での発錆挙動に及ぼす EGR 処理の効果を調べるために、著者の一人が開発した定露点型乾湿繰り返し腐食試験法⁽⁴⁾(最近、ISO16539 の Method A として規格化)による試験を行った。露点は 28°C、塩化物付着量は 10 g/m²(通常海浜環境の約 10 倍)とした。図 6 に SiC 研磨試料と EGR 試料 B の外観写真を示す⁽³⁾。SiC 研磨試料は試料全面で均一にサビが発生するのに対して、EGR 処理試料では、サビの発生位置が局在化し、サビの面積率は 1/5~1/10 にな

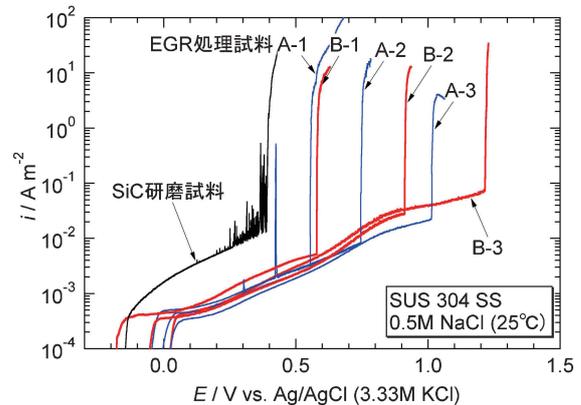


図 4 EGR 処理した SUS304 鋼の 0.5 M NaCl 中におけるアノード分極曲線。

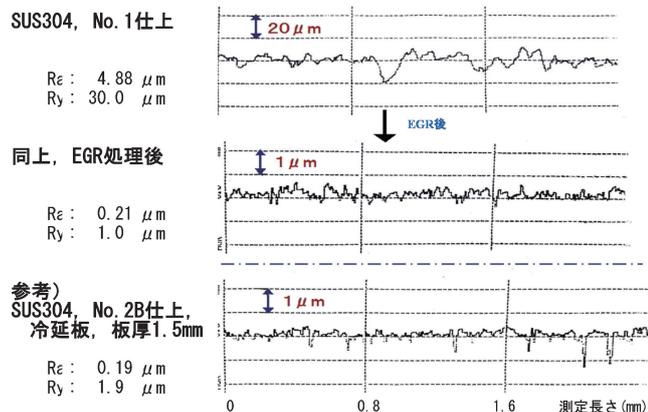


図 3 表面粗さのプロフィール。

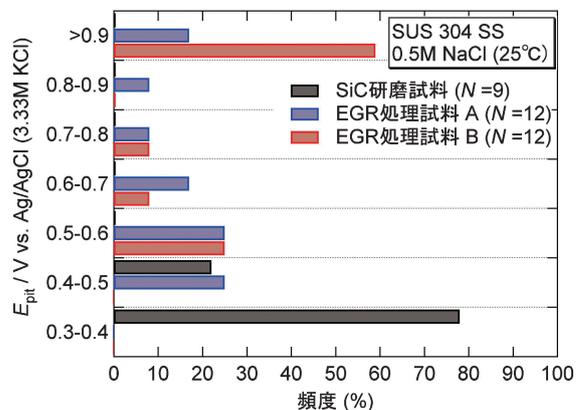


図 5 0.5 M NaCl 中の孔食電位に及ぼす EGR 処理の効果。

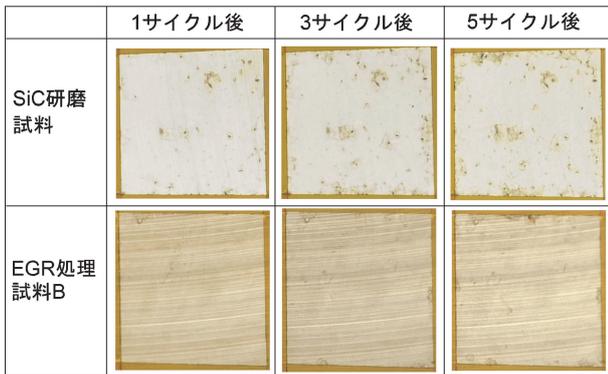


図6 定露点型促進腐食試験後の試料外観の変化(露点28°C, 塩化物(人工海水)付着量 10 g/m²).

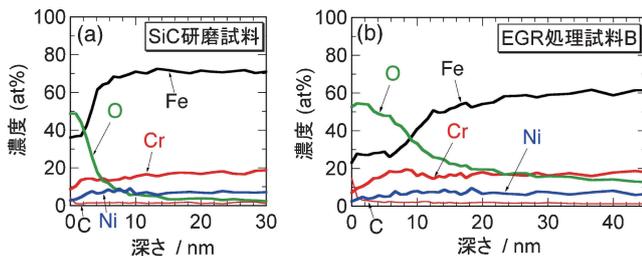


図7 SiC研磨試料およびEGR処理試料表面のAES深さ方向組成プロファイル(深さは熱酸化SiO₂皮膜のスパッタ速度より算出).

ることが分った. また, 2B処理と比べてもサビの面積率は1/2程度に低下することが確認されている.

(4) 不動態皮膜の性状

図7に, SiC研磨試料とEGR処理試料BのAES深さ方向組成プロファイルを示す⁽³⁾. 酸素(O)のプロファイルより, EGR処理試料の表面酸化皮膜は, SiC研磨試料上の空気中生成皮膜に比べて約3倍厚いことが分かる. 皮膜中のFe, Cr, Niの分布は通常の不動態皮膜に類似しており, 皮膜の内層部にCr濃縮した領域が認められる. これらのことから, 図4で見られる不動態維持電流の低下は, 比較的厚い表面酸化皮膜の形成によるものと考えられる. 一方, 再不動態化性ピットの発生数の減少や孔食電位の上昇に関しては, 表面皮膜の厚さの違いだけでは説明できず, EGR処理の際にMnS介在物などの孔食の起点となるサイトが溶解除去されるか, あるいは不活性化されることが原因であると推察される.

4. まとめと今後の展望

電解研磨技術と砥粒研磨技術を融合したEGR技術は, 通常の研磨加工のような粉塵の発生を伴わず, また熱延スケールの酸洗で問題となる環境負荷も軽減できる方法である. EGR処理をしたステンレス鋼板の表面粗さのプロファイルはNo. 2B仕上材と同等以上で, かつピット等の表面欠陥がほとんど除去されるため, 高級研磨の下地研磨として採用されている. EGR処理材は, 塩化物溶液中で優れた耐孔食性を示す. EGRにより海浜大気環境における発錆も抑制される. したがって, EGR処理材は一般住環境はもとより, 食品, 薬品, 医療分野等への適用拡大が期待される.

EGR処理は高温酸化スケールの除去が容易にできるので, 難酸洗材と言われる二相系ステンレス鋼やスーパーステンレス鋼の酸洗代替技術として有効である.

EGR技術のさらなる発展により, ステンレス鋼コイルの焼鈍酸洗工程において, 強酸による酸洗方法が一変するならば, ステンレス鋼は真に環境に優しい材料と言えるようになる. このようにEGR技術はステンレス鋼コイル製造変革の一助となることが期待される.

5. 特許

本技術に関して以下の2件の特許を取得した.

1. 日下部 繁, 河西寿雄, 荒川基彦, 藤原敏夫: 特許第4859538号, ステンレス鋼板の製造方法, (2011).
2. 藤原敏夫, 青柳泰樹, 河西寿雄, 荒川基彦, 日下部 繁: 特許第4878159号, 回転減面ヘッド, 電解減面装置および電解減面方法, (2011).

電解酸洗技術の開発・実用化の契機を与えて頂いた, 故藤原敏夫氏に深謝いたします.

文 献

- (1) 東京ステンレス研磨興業㈱: JSSC, **9**(2012), 18-19.
- (2) 河西寿雄, 荒川基彦, 日下部 繁, 原 信義, 伊藤 功: CAMP-ISIJ, **23**(2010), 443.
- (3) 原 信義, 相馬才晃, 淡 振華, 荒川基彦, 伊藤 功, 武藤 泉: 材料と環境2010講演集, (2010), 381-384.
- (4) 武藤 泉, 杉本克久: 材料と環境, **47**(1998), 519-527.