

最近の現地電解研磨

Field Electropolishing



神鋼パナテック・サービス(株)
桑原晴彦
Haruhiko Kuwahara

Recently demands for electropolishing of stainless steel vessels, heat exchangers, piping and so on have been increasing, since the electropolishing gives distinguished smoothness and chemical stability to stainless steel surface. Similarly, demands for in-situ electropolishing work have been also increasing in both domestic and foreign market.

This paper describes the characteristics of electropolishing and the outline of in-situ electropolishing work.

まえがき

近年電解研磨を施工することによるステンレス表面の平滑性、化学的安定性および洗浄性が注目され、反応缶、熱交換器、配管類を含めたステンレス製品への電解研磨の需要が増加している。それに伴い現地での電解研磨工事も増加の傾向にある。現地で電解研磨が施工できることにより、既設の缶体にも新缶と同様の効果が得られ、当社はこれまで30基以上の反応缶に現地施工を行っている。最近海外からの施工依頼も活発になってきている。

ここでは、電解研磨の特長および現地における電解研磨施工の概要について説明する。

電解研磨の概要

電解研磨とは電気化学的な反応に基づき、外部電流によって金属表面を溶解させ、平滑化および光沢化させる方法である。その基本的概念図を第1図に示す。

被研磨物を直流電流の陽極に接続し、それを電解液中で陰極と相対させ、所定の外部電流を流し、被研磨物表面の数ミクロンの高さの凹凸を除去することにより平滑・光沢化させる。干渉光を用いて分解能力以下の微小凹凸(0.01程度)が観察できる微分干渉顕微鏡を用いて、#320パフ、320パフ後の電解研磨および砥粒研磨(#1500の砥粒)と電解研磨を同時に行うME(複合電解研磨)法の3種類のそれぞれの表面を写真1~3に示す。また、走査型電子顕微鏡の原理を応用した、表面粗さ測定装置(エリオニクス製EMM-3000)で測定した表面粗さのデータを第2~4図に示す。いずれも電解研磨の表面が平滑になっていることがわかる。

なお、電解液は被研磨物の種類により異なるが、当社ではオーステナイト系ステンレス鋼材を対象に、強酸系のものを使用している。

電解研磨の特長

1 生産性の向上

付着のメカニズムはまだ完全には解明されていないが、写真2に見られるように、電解研磨することによりステンレス表面が平滑化する。即ち理論表面積に近づくことでポリマーなどが付着しにくくなる。

ポリマーなどが付着した場合、定期的に運転を中断し除去することによる生産の機会損失は莫大なものとなってい

る。電解研磨を施工することにより、付着物除去のインターバルが長期化され、また仮に付着したとしても、高圧水などによる付着物の除去が容易になり、生産性と品質の両面で次のような効果が期待される。

1) 総括伝熱係数(U値)の安定化

ポリマーが付着することにより、本来直接熱エネルギーが伝達できていたものが、ポリマーを介して伝達されることになり、その分エネルギーのロスになる。付着しにくいということは、常に安定したU値が確保され、省エネルギーと高い生産効率を長期的に確保できる。

2) コンタミの防止による品質の安定化

近年品質管理が厳しくなっている。特にハイグレードな製品へ、缶壁に付着し変質したポリマーなどがコンタミとして混入した場合、製品のグレードを下げて販売するか、最悪の場合は製品を廃棄することにもなる。

3) 攪拌効率の安定化

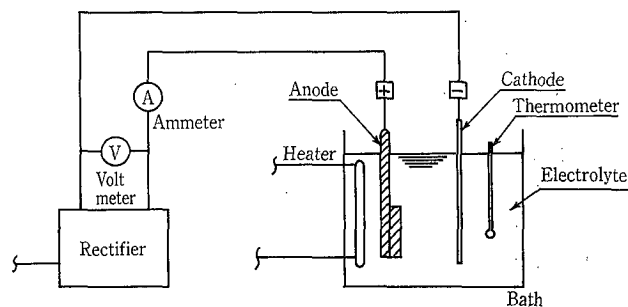
缶壁、攪拌翼、パッフルなどにポリマーなどが付着しにくいことは、攪拌効率の低下を未然に防止し、攪拌効率の安定化を図る。

4) 配管系の目詰まり防止

付着により徐々に配管の有効口径が狭くなり、当初の搬送能力が低下することがあるのに対し、電解研磨を施工することにより、長期間安定した口径の確保が期待できる。

2.2 サニタリー性による品質の安定化

食品、医・薬品工業にて使用される攪拌槽ではサニタリー性が要求され、機械研磨による鏡面仕上げが使用されて



第1図 電解研磨の概念図
Fig. 1 Schematic diagram of electropolishing

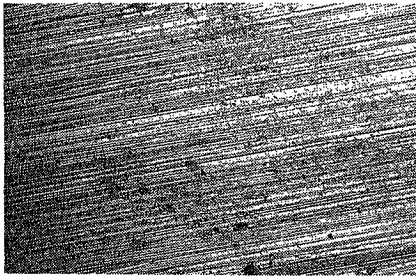


写真 1 #320機械研磨面
Photo. 1 #320 Mechanical polished surface (×400)

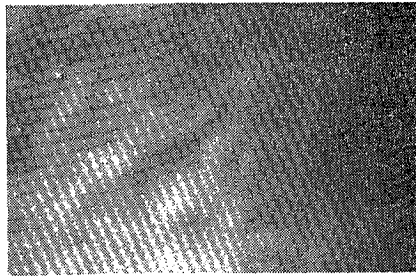


写真 2 電解研磨面 (EP-3)
Photo. 2 Electropolished surface (EP-3) (×400)

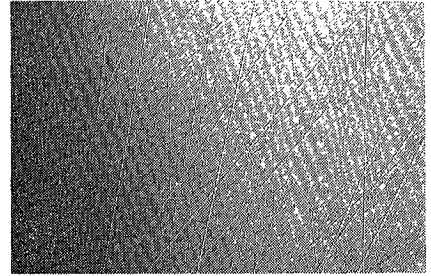
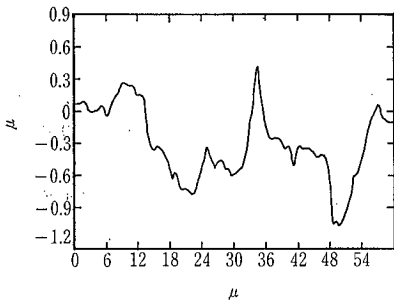
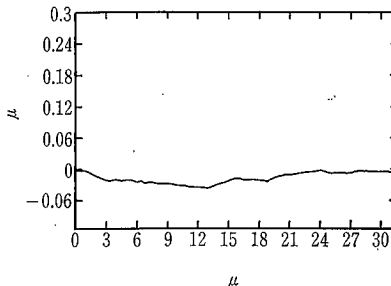


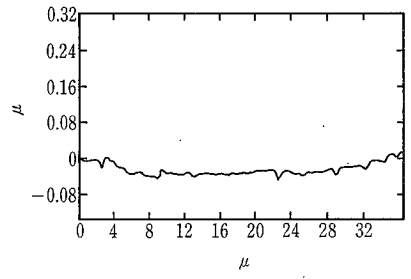
写真 3 ME法 (#1500) による研磨面
Photo. 3 Surface of ME method (#1500) (×400)



第2図 #320バフ面の表面粗さ
Fig. 2 Surface roughness of #320 buff



第3図 電解研磨面の表面粗さ(EP-3)
Fig. 3 Surface roughness of electro-polishing (EP-3)



第4図 ME法 (#1500) の表面粗さ
Fig. 4 Surface roughness of ME method (#1500)

いる。しかし、いかに鏡面に仕上げられても拡大してみれば写真1, 3に見られるように、機械研磨特有の微細な条痕がある。その条痕に噛み込んだ機械研磨時の砥粒が除去困難であったり、また条痕が雑菌の繁殖の場になることもあり、それらの洗浄による除去が問題となっている。電解研磨を施工することにより、機械研磨の砥粒が除去されると共に、条痕が無くなるので、洗浄が簡単に行えるようになる。

2.3 化学的安定性

電解研磨を施工することにより化学的な安定性が得られ、更に第5図に見られるように耐応力腐食割れ性の改善も期待できる。

- (1) ステンレス表面がクロムリッチになることにより、第6, 7図のように鉄イオンの溶出が少なくなる。
- (2) 第1表にみられるように、機械研磨により発生する残留応力が除去される。

3. 現地電解研磨

3.1 電解研磨施工における注意点

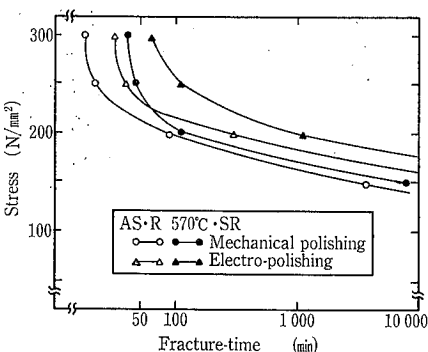
既に永年腐食環境で使用されているため、事前に母材や溶接部に対し(1)~(3)の項目を点検する必要がある。

第1表 X線による残留応力測定

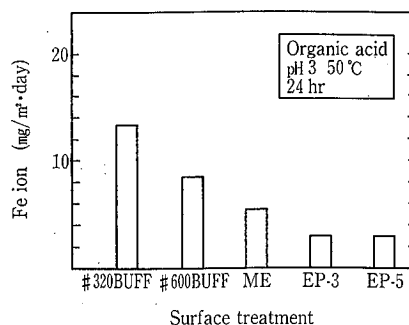
Table 1 Results of measured residual stress by X ray

Surface treatment	Residual stress (N/mm ²)	
	Parallel in line with buffing	At 90° to buffing
#150	290.3	-398.1
#150+A C ¹⁾	94.1	-428.6
#150+E P ²⁾ (EP-1)	-103.0	-191.2
#320	115.7	-383.4
#320+A C	-66.7	-622.7
#320+E P (EP-3)	-73.5	-220.6

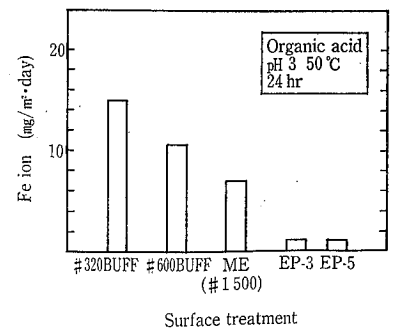
[Notes] 1) Pickling 2) Electro polishing



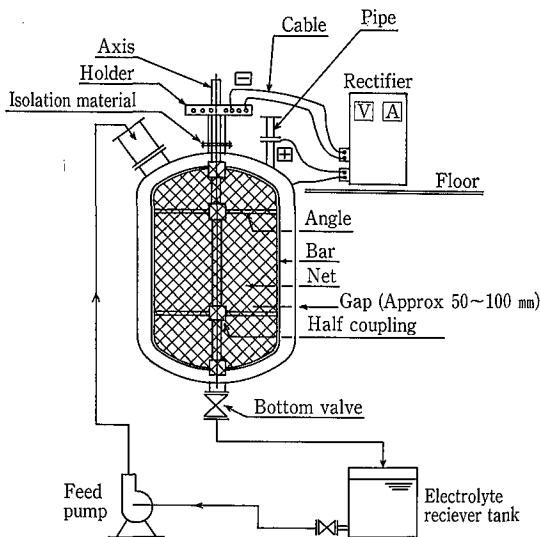
第5図 SUS304材における負荷応力—破断時間曲線 (測定値は3~5点の平均)
Fig. 5 Curve of stress-fracture time



第6図 SUS304の鉄溶出量
Fig. 6 Dissolved Fe ion of SUS304



第7図 SUS316の鉄溶出量
Fig. 7 Dissolved Fe ion of SUS316



第8図 ディップ法
Fig. 8 Dipping method

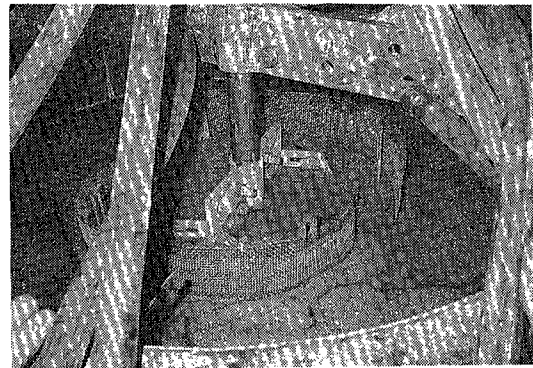


写真4 ディップ法の実施例
Photo. 4 Example of dipping method

- (1) 母材に応力腐食割れ (S. C. C) のないこと。
- (2) 大きく深い打痕傷
- (3) 溶接線のブローホールなどの欠陥

(1)については電解研磨を施工することでS. C. Cが拡大する恐れがあるため、電解研磨の施工は好ましくない。(2)、(3)については深い傷の場合は溶接肉盛が必要であるが、0.5 mm以下の浅い傷は機械研磨で除去するのみで施工可能である。しかし傷の存在は工程に大幅な狂いが生じるので、事前の調査を十分に行うことが大切である。なお、電解研磨を施工することにより、非金属介在物が存在している部分が失光沢になる恐れがあるが、機械研磨が充分になされていれば化学的に安定していると考えられる。

3.2 施工上の制約条件

いずれの方法も突起物や缶内部品など、電解研磨の電極を組み立てるうえで妨げになるものがあれば施工できない。原則として次の2点が必要である。

- 1) 缶内部品はすべて撤去する。
攪拌翼、パッフルなど缶内部品は、電解研磨が必要な場合は当社工場に持ち込み施工することができる。
- 2) パッフルサポート部以外は缶内に突起物のないこと。
パッフルサポート部は缶壁に溶接されており、部分的に電解研磨する治具があるので、切断は不要である。

3.3 施工手順

現地電解研磨の施工手順を次に示す。缶内付着物の除去—缶内部品の撤去—機械搬入—機械研磨—検査—施工面の脱脂洗浄—電極組み立て—電解液入れ—電解研磨—電解液抜き—水洗—検査—電極解体—機材搬出

3.4 電解研磨施工法

施工缶体の容量の大小によりディップ法とマット法の二方法がある。

1) ディップ法

容量6 m³未満の缶体、熱交換器などはディップ法で行う。施工法の概念を第8図に示す。上鏡を含め缶内全面の施工が可能であるが、上鏡は電解研磨施工時発生する泡(H₂ガス)の影響で白濁することがある。

センターノズルに短管を取り付け中心に軸を入れる。その軸にアームを取り付け、アームの回りに金網を張り電極を完成させる。

缶体側を陽極、電極側を陰極になるようにケーブルを接続する。電解液を入れ、所定の電流を流して電解研磨を行う。ノズル内も電解液を満たし電解研磨を行う。写真4にディップ法の実施例を示す。

2) マット法

6 m³以上の缶体は原則的にマット法で行う。施工法の概念を第9図に示す。この図は胴部を電解研磨する場合であり、下鏡もほぼ同様の方法で行う。

缶体上部に回転および上下運動用の駆動装置を取り付け、その下部に中心軸を取り付ける。その軸にアームを取り付け、アームの先端に陰極(マット)2個を左右対称に取り付ける。アームと陰極は絶縁すると共に、缶壁と接触するようにスパン調整可能な機構となっている。ポンプで圧送された電解液は陰極部をシャワーリングし、下部ノズルから受槽に回収され、循環させている。

陰極に接した部分を電解研磨しながら回転または上下運動させ、全面を電解研磨し完成させる。写真5にマット法の施工例を示す。

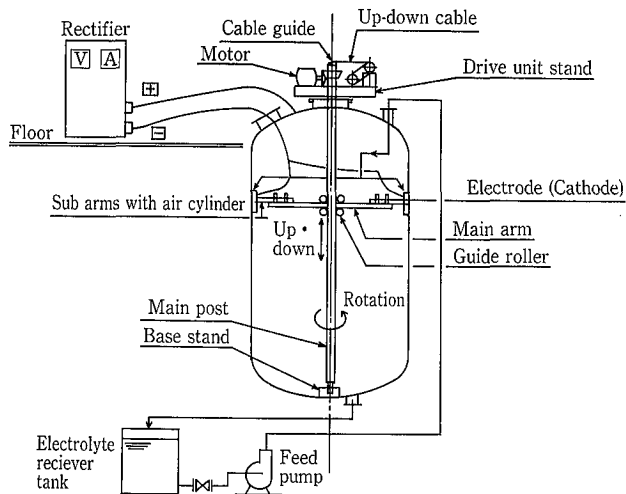
なお、テスト的に機器の特定な部分のみを行う必要がある場合は、手動のマット法で行う。

3.5 検査方法

電解研磨面の仕上がり状態を評価する方法は種々あるが、施工した広い範囲を客観的に評価することはなかなか困難である。第2表に従来より実施されている種々の検査方法について、その特長を示す。施工された電解研磨面に対してどの検査方法を採用するかは、仕上面への客先要求の度合、仕上等級、経済性を加味して決定する必要がある。一般的には、外観目視検査のみか、仕上げや目的に応じて粗さ測定または写真検査を付加することが多い。

3.6 必要設備

- 現地での電解研磨に必要な設備としては
- (1) 整流器
 - (2) 電解液循環ポンプ
 - (3) 陰極回転および上下運動用駆動装置
 - (4) 電解液受槽
- などがある。このうちディップ法では(3)の駆動装置は不要である。



第9図 マット法
Fig. 9 Mat method

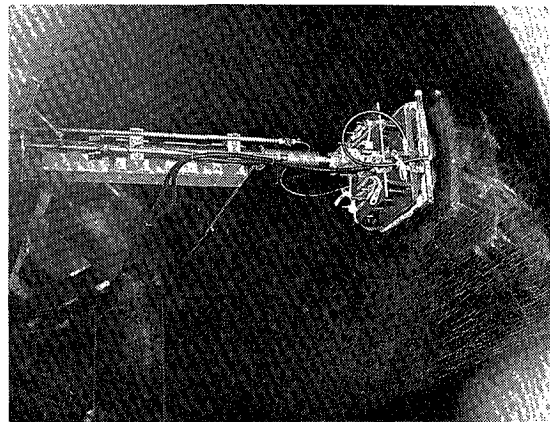


写真5 マット法の実施例
Photo. 5 Example of mat method

3.7 安全対策

電解研磨時には H_2 ガスが発生するので、通電時には常時換気を行い、爆発防止に努める。また、使用する電解液は強酸なので、人体に触れることは絶対に避けなければならない。特にマット法の場合ミストが発生するので、防毒マスクなどの保護具を着用すると共に、十分な換気が必要である。もし誤って電解液に触れた場合には直ちに水洗いを行うことが必要である。

3.8 排水処理について

電解研磨後表面に残留した電解液は高圧洗浄装置などで水洗、除去しなければならない。電解液の主成分はリン酸および硫酸である。このときに発生する洗浄廃水はユーザに処理して戴くことを前提としている。廃水量は $20 m^3$ の缶体で $1 m^3$ 程度である。

3.9 工期について

$20 m^3$ 缶程度を例にとると、機械研磨および電解研磨工事共で約2週間を要する。容量が2倍になった場合、機械研磨は缶体の容量にほぼ比例するが、電解研磨の場合は2倍にならず、約3週間で十分である。

4. 電解研磨面の取り扱いについて

電解研磨した缶体に入缶して点検する場合、研磨面を傷つけないような配慮が必要である。例えばはしごの両端にゴムキャップやウエスを巻くとか、作業者の靴にもオーバーシューズを履くなどである。また、高圧洗浄で死角となるパップの裏面は付着物の残留もあり、人手による除去が必要な場合もある。そのときには付着物除去のための道具にプラスチック製のヘラを使用するなどの配慮が必要である。

第2表 電解研磨面の検査方法(一例)

Table 2 Examples the inspection after electropolishing

NO	Item	Procedure	Character	Remarks
1.	Visual inspection	Visual	Overall appearance	Macro area
2.	Reflection inspection	Inspecting the image of scale at right angle on EP surface	Comparison of the smoothness	Narrow area
3.	Roughness inspection	Sampling with a plastic replica roughness measurements	Check of reduction of roughness of EP surface	Micro area
4.	Optical Photograph inspection	Sampling with plastic replica Optical photograph Magnification 100, 400 etc	Clear the character of EP surface	Micro area
5.	SEM※ Photograph inspection	SEM photograph Magnification 500, 2000 etc	Clear the character of EP surface	Micro area

Note ※ Mark ; a scanning electron microscope

む す び

本稿では主に化学業界を対象とした現地電解研磨について記述したが、電解研磨は化学業界のみならず、食品、医薬品、原子力分野にも応用されている。更に電解研磨のミクロ的な平滑性、化学的安定性から、超クリーンな機器、配管などが要求される半導体の業界にも採用されている。

- (1) 高純度ガス, I.C, 化学薬品供給系の配管ライン, コンテナ, ポンベなど。
- (2) 純水プロセス
- (3) 高真空の蒸着装置

などであり、今後電解研磨の需要が増加すると思われる。

当社では今後更に顧客のニーズに合致した、よりグレードの高い表面処理技術の開発に努める所存である。