
電解研磨の 基礎と適用事例

SAMPLE

SAMPLE

発刊にあたって

近年、ものづくりの高度化が進むにつれて製造設備の品質向上、維持管理やメンテナンスの高度化が課題となっている。これらを実現するためには設備内面の状態を良好に保つことが大変重要であり、さまざまな表面処理が施されている。とくに材料や加工に高精度、高純度が要求される医薬品製造、半導体製造などの業界では、設備の品質やメンテナンス性向上のため電解研磨をはじめとする表面清浄化処理が施されることが多くなってきている。電解研磨処理を施すことにより製造設備の耐食性、平滑性、清浄性、洗浄性が向上し、品質向上や維持管理の改善などにつながっている。そして現在、電解研磨による表面処理に関する要求はますます高度化するとともに、製造設備以外のさまざまな分野にも適用が広がってきている。

しかしながら電解研磨技術について、初心者、初学者の方向けの入門書はこれまで少なかった。そのため電解研磨の特徴や利点、欠点を理解しないまま製品の表面処理を進めてしまい、トラブルになるようなことも起こっていた。このようなことを起こさないためにも初心者向けのわかりやすい電解研磨技術入門書が必要であるとおねづね考えていた。

本書では、今後ますます重要性が大きくなる金属表面の電解研磨処理技術について、第1章で基礎的な部分（研磨メカニズムの概要、初歩的な処理技術、製品処理の流れ、品質管理の方法、処理に関する注意点など）、第2章で適用事例（ステンレス製タンク、チャンバ、配管など）、第3章で応用事例（バリ取り、レアメタルの処理、その他表面処理など）を初心者、初学者の方向けにできるだけわかりやすく、実務に重点を置いた形で紹介している。

電解研磨の適用を検討されている方、電解研磨に興味はあるが内容がよくわからないといった方（とくに医薬品製造業者、半導体製造業者、食品製造業者、化学品製造業者、産業機器製造業者の方）が電解研磨に関する理解を深めること、ひいては取り扱い製品の品質を向上させることに本書が役立つのであれば望外の喜びである。

2021年3月

仁井啓介

目 次

発刊にあたって	3
第1章 電解研磨の基礎	11
1 電解研磨技術の紹介	11
1.1 電解研磨のメカニズム	11
1.1.1 電解研磨とは？	11
1.1.2 電解研磨の溶出量	11
1.1.3 電解研磨の進み方	12
1.1.4 粘性層とIV特性	13
1.1.5 電解研磨時の電極配置	14
1.1.6 不働態化膜の形成	14
1.2 電解研磨の目的、特長	15
1.2.1 6つの品質向上	15
1.2.2 平滑性の向上	15
1.2.3 光沢性の向上	17
1.2.4 洗浄性の向上	17
1.2.5 不純物の除去	19
1.2.6 耐食性の向上	20
1.2.7 加工変質層の除去	21
1.2.8 その他の利点、欠点、できること、できないこと	22
1.3 電解研磨後の表面	23
1.4 製品処理の流れ	23
1.4.1 製品処理フローの概要	23
1.4.2 受入検査	26
1.4.3 前処理	26
1.4.4 電極作製	26
1.4.5 電解研磨	29
1.4.6 洗浄、乾燥、仕上げ	29
1.4.7 最終検査、梱包	30
2 電解研磨後表面の評価方法	31
2.1 電解研磨後表面の評価	31
2.2 表面状態の確認	31
2.2.1 外観目視観察	31
2.2.2 表面粗さ測定	31

2.2.3	光学顕微鏡、マイクロスコープ	33
2.2.4	走査型電子顕微鏡 (SEM)	34
2.2.5	その他の表面観察法	34
2.3	清浄度、汚染状態の確認	36
2.3.1	ホワイトグローブ	36
2.3.2	ブラックライト	36
2.3.3	液中パーティクルカウンタ	36
2.3.4	全有機炭素分析 (TOC)	37
2.3.5	油分濃度	37
2.3.6	イオンクロマトグラフ	39
2.3.7	原子吸光分光測定	39
2.3.8	その他の汚染物質検出法	40
2.4	耐食性の確認	40
2.4.1	ポテンシオスタット	40
2.5	検査、品質管理、品質保証	41
3	電解研磨処理の注意点と発生しやすいトラブル	43
3.1	電解研磨処理で注意すべきパラメータ	43
3.1.1	処理温度	44
3.1.2	処理時間、研磨量	45
3.1.3	電流、電圧	45
3.1.4	攪拌強度	45
3.1.5	対向電極	46
3.1.6	電解研磨液	47
3.1.7	その他の注意点	47
3.2	製品の電解研磨処理で発生しやすいトラブル	47
3.2.1	電極の取り扱い	48
3.2.2	表面荒れ、ざらつき、ムラ、シミ	49
3.2.3	下地処理の影響	49
3.2.4	ルージュの発生と除去	49
3.2.5	EP液の染みだし	51
3.2.6	目的とあわない電解研磨処理	53
第2章 電解研磨の適用事例		54
1	ステンレス鋼の電解研磨	54
1.1	ステンレス鋼の種類と特徴	54
1.1.1	ステンレス鋼とは	54

1.1.2	ステンレス鋼の種類	55
1.1.3	ステンレス鋼の表面仕上げ	55
1.2	ステンレス鋼の電解研磨条件	56
2	産業用大型設備の処理事例	57
2.1	医薬品製造設備	57
2.1.1	医薬品製造設備に求められる仕様	57
2.1.2	医薬品製造設備の電解研磨施工要領	58
2.1.3	医薬品製造設備の電解研磨施工例	59
2.2	真空機器	63
2.2.1	真空機器に求められる仕様	63
2.2.2	真空機器の電解研磨施工要領	63
2.2.3	真空機器の電解研磨施工例	66
3	産業用小型部品の処理事例	66
3.1	パイプ、配管	66
3.1.1	パイプ、配管に求められる仕様	66
3.1.2	パイプ、配管の電解研磨施工要領	67
3.1.3	パイプ、配管の電解研磨施工例	69
3.2	継ぎ手、フランジ	70
3.2.1	継ぎ手、フランジの電解研磨時の注意点	70
4	適正な電解研磨処理を行なうためのポイント	70
4.1	電解研磨処理上のポイント	70
4.2	施工対象品作製上のポイント	72
第3章 電解研磨の応用展開		74
1	電解バリ取り	74
1.1	電解研磨の特徴を生かしたバリ取り	74
1.1.1	原理と処理方法	74
1.1.2	電解バリ取りの特長	74
1.1.3	電解バリ取り装置	75
1.1.4	加工対象素材	75
1.1.5	電解研磨時間とバリの削減量	76
1.2	電解バリ取りの処理事例	78
1.2.1	電解バリ取りの適用分野	78
1.2.2	電解バリ取りの処理事例	78
2	ステンレス以外の金属の電解研磨	79
2.1	鉄系材料の電解研磨	79

2.1.1	鉄系素材の電解研磨とバリ取り	79
2.1.2	鉄鋼材の電解研磨と表面状態	84
2.1.3	SCM415（クロムモリブデン鋼）の電解研磨	84
2.1.4	SS400、SPHC、S45C 材の電解研磨	86
2.2	アルミニウムの表面処理	89
2.2.1	アルミニウムの特徴と用途	89
2.2.2	アルミニウムの表面処理と清浄化	90
2.2.3	アルミニウムの電解研磨	91
2.3	レアメタルの表面処理	91
2.3.1	チタンの表面処理	91
2.3.2	ニオブの表面処理	93
2.3.3	タンタルの表面処理	97
3	加速器用部品の電解研磨	98
3.1	加速器用部品の電解研磨	98
3.2	ILC向け加速空洞の電解研磨	99
3.2.1	ILC、加速空洞とは	99
3.2.2	加速空洞の縦型電解研磨	100
4	その他の表面処理	103
4.1	PS 洗浄（ピュアスチーム洗浄）	103
4.2	不働態化处理、P-max [®]	104
4.3	陽極酸化	104
4.4	化学研磨	107
4.5	電解複合研磨	107
4.6	出張工事	108
	参考文献一覧（順不同）	110
	マルイ鍍金工業のご紹介	114

複製・再配布等の二次利用はご遠慮ください。

SAMPLE

複製・再配布等の二次利用はご遠慮ください。

電解研磨の基礎と適用事例

SAMPLE

複製・再配布等の二次利用はご遠慮ください。

SAMPLE

第1章 電解研磨の基礎

マレイ鍍金工業株式会社
仁井啓介、山口隆宣

1 電解研磨技術の紹介

1.1 電解研磨のメカニズム

1.1.1 電解研磨とは？

電解研磨（英語でElectropolishing、略してEP）は、電解液中で被研磨物（金属）を陽極として、陰極である対向電極との間に所定の電圧を印加し電流を流して電気分解を行い被研磨物の表面を溶解することで研磨をする技術である。電気化学的な作用で溶解することが最大の特徴であり、これが機械研磨等の物理的研磨とは違うさまざまな利点を生む要因となる。一般的な電解研磨法の模式図を図1に示す。ちなみに、電解研磨技術は1930年にP. A. Jacquetが銅の電解研磨法を発明し論文発表したものが始まりだといわれている。

1.1.2 電解研磨の溶出量

電解研磨時に起こる陽極、陰極の反応は一般的に以下の化学式で表わすことができる。

陽極側： $M \rightarrow M^{n+} + ne^-$ （Mは被研磨金属、nは原子価）

$H_2O \rightarrow 1/2O_2 + 2H^+ + 2e^-$

陰極側： $H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$

$M^{n+} + ne^- \rightarrow M$

陽極側では被研磨金属原子が電子を放出して（酸化されて）イオンとなり電解液中に溶け出すとともに水の電気分解が起こり酸素ガスが発生する。陰極側では電解液中の水素イ

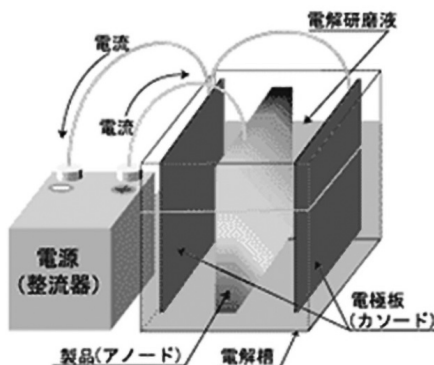


図1 一般的な電解研磨法（模式図）

第1章 電解研磨の基礎

オンが電子を受け取って水素ガスが発生するとともに溶けていた金属イオンが電子を受け取って（還元されて）金属原子となり析出する。このように電解研磨は電極表面の酸化還元反応によって進行する。上記の化学式からわかるように、電子数がわかれば溶解原子数がかかるので電解研磨時の被研磨金属の溶出量、研磨量を次の式により算出することができる。

$$\text{溶出量} : W(\text{g}) = (I \cdot t / 96500) \cdot (M/n) \cdot \eta$$

$$\text{研磨量} : T(\mu\text{m}) = (W \cdot 10000) / (A \cdot D)$$

(I : 電流 (A)、 M : 原子量、 n : 原子価、 t : 通電時間 (s)、 η : 電流効率、 A : 表面積 (cm^2)、 D : 密度 (g/cm^3))

これらの式からわかるように、被研磨金属の材料と表面積、電流の大きさ、通電時間がわかれば研磨量を見積もることができる（ただし、実際には流れた電流がすべて電解研磨に寄与するわけではないため、研磨量を見積もるには適切な係数をかける必要がある）。また、①溶出量は電流、通電時間に比例する、②溶出スピードは原子量に依存する、③研磨量は密度、表面積に依存する、ことがわかる。電解研磨中に起こっている陽極、陰極反応の模式図を図2に示す。

1.1.3 電解研磨の進み方

電解研磨の進み方を示す模式図を図3に示す。図のように対向電極（電極板、カソード）と被研磨金属（製品、アノード）を電解液中に対向させて両極間に電流を流すと、被研磨金属表面の凸部は他の部分に比べて電極間の距離が近く電気が集中しやすいため電流が流れやすくなる。逆に凹部は電極間の距離が他の部分に比べて遠く電流が流れにくくなる。1.1.2項に示したように溶出量（研磨量）は電流に比例するため、電流が流れやすい凸部は溶出

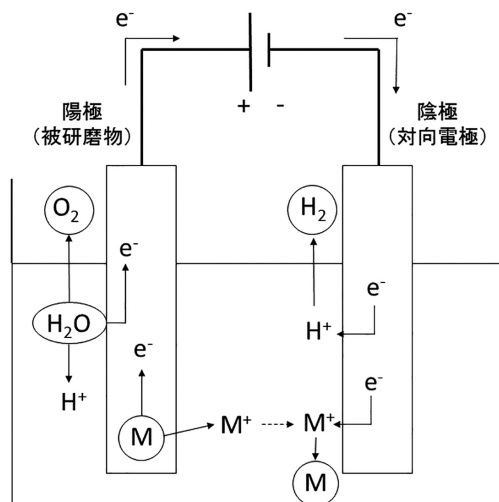


図2 電解研磨時の反応（模式図）

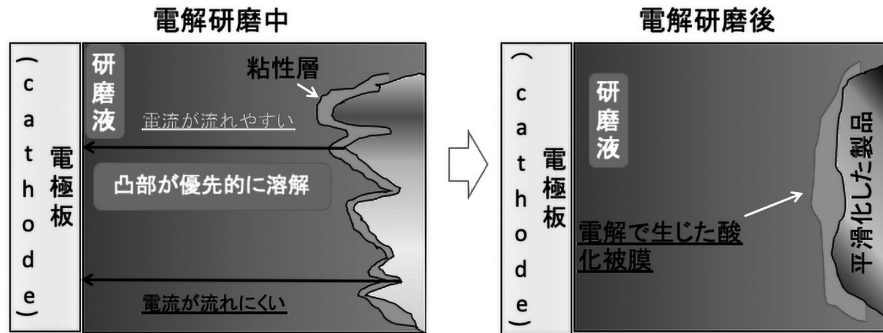


図3 電解研磨の進み方（模式図）

量が大きく（溶出が早く）、電気が流れにくい凹部は溶出量が小さい（溶出が遅い）。この状態で研磨が進んでいくと凸部と凹部の高さの差がだんだんと小さくなっていき、最終的には平坦な表面が実現されるのである。

以上は直感的で簡易な説明であるが、電解研磨にて起こる現象をよく説明できている。ただし、実際の電解研磨中の金属表面や金属 - 電解液界面ではもっと複雑な現象が生じていると考えられており（表面に平坦な粘性層の形成→拡散律速による粘性層の溶解、電気二重層近傍でのイオンや電子の挙動など）、そのメカニズム解明のためさまざまな研究が進められている。1.1.4項でその一端を示すが、それ以上は本書で詳細には立ち入らないので、興味がある方は参考文献などを参照されたい。

1.1.4 粘性層とIV特性

電解研磨を行なう際の一般的な電流と電圧の関係（IV特性）の模式図を図4に示す。印加する電圧を上げていくと、B点までは電圧に比例して電流が上がっていく。この時点では被研磨金属の表面に粘性層はできておらず、電解研磨液の抵抗値で電流が決まっている。この電圧域でも被研磨金属の溶解は起こっているが、前述の平坦化の効果は弱く荒れた表面となる。このA点 - B点の電圧域をエッチング領域と呼ぶ。さらに電圧を上げていくと、C点で電流がやや低下する。さらに電圧上げていくとD点まではほとんど電流が変化しない。これはC点で被研磨金属の表面に電気抵抗の高い粘性層の形成が始まり、D点までは粘性層の形成と溶解がバランスよく進行しているため電流が変化しないことを示している。この電圧域で電解研磨を行なうと前述の平坦化の効果が大きくたいへん良好な表面を得ることができる。このC点 - D点の電圧域を研磨領域と呼ぶ。さらに電圧を上げていくと再び電流の増加が見られる。この電圧域では被研磨金属表面での水の電気分解による酸素の発生が支配的になり、その気泡の影響により良好な表面が得られなくなる。このD点 - E点を過不動態領域と呼ぶ。電解研磨を行なう際には事前にこのIV特性を確認し、研磨領域内の電圧値に設定して行なうと比較的良好な表面が得られやすい（材質や条件によっては過不動態領域を用いる場合もある）。