# 平成 12 年度ものづくり人材支援基盤整備事業

- 技術・技能の客観化、マニュアル化等 -

# 「めっき治具並びにバレルめっきとその加工の実際」

平成13年 1月

中小企業総合事業団

情 報・技術部

## マニュアル作成協力者

矢部 賢 矢部技術事務所所長

佐藤二三男 経済産業省製造産業局非鉄金属課公害安全専門職

内田 大 株式会社 ハイテクノ専務取締役

星野 芳明 星野技術士事務所所長

笹野不二夫 全国鍍金工業組合連合会技術担当副会長

内藤 雅文 全国鍍金工業組合連合会技術委員長

中島 清 全国鍍金工業組合連合会技術副委員長

浅下 昭彦 全国鍍金工業組合連合会技術副委員長

小池 揚 全国鍍金工業組合連合会技術副委員長

前川 浩一 合資会社 寿鍍金工業所代表社員

石川 進造 株式会社 ヒキフネ会長

# 「めっき治具並びにバレルめっきとその加工の実際」目次

第 1	草	電気めっき加工万法について(概論)	1
	1-1	電気めっき加工技術について	2
	1-2	電気めっき設備とその付属設備	3
	1-3	.ひっかけ治具によるめっき	6
	1-4	.バレルめっきと網づけめっき	7
	1-5	.その他のめっき方法	11
第 2	章	ひっかけ治具設計の基礎	13
	2-1	.ひっかけ治具の変遷	13
		2-1-1.ひっかけ治具の概要と変遷 (13)	
		2-1-2.めっき技術の進歩に伴う機能の向上 (16)	
	2-2	.ひっかけ治具の基礎知識	19
		2-2-1.めっき分布と用語解説 (19)	
		2-2-2.めっき分布の発生 (20)	
		2-2-3.電気工学の基礎知識 (22)	
		2-2-4.ひっかけ治具の材料 (26)	
		2-2-5.ひっかけ治具の長さの決め方 (27)	
		2-2-6.ひっかけ治具と品物の接点機構 (27)	
		2-2-7.ひっかけ治具と陽極棒(ブスバー)との接触法 (29)	
		2-2-8.めっき浴中の品物配置 (30)	
		2-2-9.補助陽極の利用 (33)	
		2-2-10.補助陰極の利用 (33)	
		2-2-11.しゃへい板の利用 (34)	
		2-2-12.バイポーラー極の利用 (35)	
	2-3	.ひっかけ治具の種類	36
		2-3-1.装飾用貴金属めっき (36)	
		2-3-2.機能めっき (37)	
		2-3-3.亜鉛めっき (37)	
		2-3-4.耐食及び装飾用銅・ニッケル・クロムめっき (38)	
		2-3-5.プラスチック用めっき (40)	
		2-3-6.工業用クロムめっき (41)	

	2-4.ひっかけ治具の製作 45
	2-4-1.独自の設計ノウハウ蓄積と設計技術者育成の必要性 (45)
	2-4-2.枝骨の加工 (46)
	2-4-3.主軸と枝骨の接合 (46)
	2-4-4.防鍍コーティング材 (46)
	2-4-5.防鍍コーティング加工法 (47)
	2-4-6.枝骨通電接点の露出 (48)
	2-5.ひっかけ治具のメンテナンス 50
	2-5-1.メンテナンス専任者の配置 (50)
	2-5-2.陰極棒と接触面の清浄化 (51)
	2-5-3.枝骨接点の金属剥離 (51)
	2-5-4.主軸、枝骨の補正 (52)
	2-6.これからのひっかけ治具改善・開発の指針 54
	2-6-1.ひっかけ治具改善・開発の必要性と効果 (54)
	2-6-2.重力式(チョンがけ)ひっかけ治具からばね式接点への改善 (55)
	2-6-3.多接点ばね方式の利用 (57)
	2-6-4.補助陰極の活用 (58)
	2-6-5.補助陽極の活用 (59)
	2-6-6.しゃへい板の活用 (60)
	2-6-7.補助陽極と補助陰極の活用 (61)
	2-6-8.バイポーラー極の活用 (62)
	2-6-9. 槽内の品物配置に緩衝法の活用 (63)
	2-6-10.混載品物配置法の活用 (64)
	2-6-11.不均等品物配置法の活用 (64)
	2-6-12.不均等混載品物配置法の活用 (65)
	2-6-13.枝骨の通電接点だけを露出する「理想接点」の活用 (66)
	2-6-14.組立式ひっかけ治具の活用 (68)
	2-6-15.穴のない品物に"ら線状"接点の活用 (69)
	2-6-16." 浮き"を利用したひっかけ治具の活用 (69)
第3	章 ひっかけ治具による加工の実際 70
	3-1.ひっかけ治具機能の向上とめっき設備 70
	3-1-1.めっき槽とひっかけ治具配置の標準化 (70)
	3-1-2.ひっかけ治具設計のディメンション (70)
	3-1-3.角型めっき槽内の陽極配置 (71)

	3-1-4.めっき槽内の品物と槽底、液面間隔の管理 (72)	
	3-1-5.品物最下端と陽極長の管理 (73)	
	3-1-6.品物形状と陽極間隔の管理 (74)	
	3-1-7.めっき槽内の絶縁内張り (75)	
	3-1-8.めっき槽へしゃへい板の設置 (75)	
	3-1-9.バイポーラー防止用の通電 (75)	
3-2	.めっき加工とめっき分布	76
	3-2-1.めっき浴種によるめっき分布状況 (76)	
	3-2-2.品物形状によるめっき分布状況 (77)	
	3-2-3.ひっかけ治具に掛けた品物へのめっき分布状況 (77)	
	3-2-4.めっき槽内に配置した品物へのめっき分布状況 (78)	
3-3	.ひっかけ治具の改善とめっき生産合理化の必要性	79
	3-3-1.電流分布管理から見た生産合理化の評価 (79)	
	3-3-2.不良仕損費低減による製造コスト低減 (80)	
	3-3-3.品物の配置個数を増やす作業効率の向上 (81)	
	3-3-4.高電流密度作業による作業効率の向上 (83)	
	3-3-5.ロット品質均一化による直接材料費の削減 (84)	
	3-3-6. " ライン生産能力 " 向上による生産収益性の向上 (86)	
	3-3-7." 均質・薄めっき生産方式"で製造原価の低減 (89)	
	3-3-8.独自な設計・製作・管理によるひっかけ治具コストの低減 (91)	
3-4	.ひっかけ治具の改善と品質管理	93
	3-4-1.特殊工程での品質信頼向上の考え方 (93)	
	3-4-2.「4M管理」の徹底による工程能力(Cp)の向上とロット品質信頼性の向上 (94)	
	3-4-3.ひっかけ治具標準化によるロット品質バラツキの計数的把握の進め方(Срの求め方) (96)	
	3-4-4.ひっかけ治具の欠陥により発生するめっき不良の分析 (98)	
	3-4-5.重力式 (チョンがけ)ひっかけ治具は不良発生の元凶 (99)	
	3-4-6.丁寧な「ひっかけ治具」枝骨接点の保守、" めっきぶとり " 剥離作業の必要性 (101)	
3-5	.ひっかけ治具の開発・改善と環境対策	103
	3-5-1.公害防止対策を確立する生産技術の確立 (103)	
	3-5-2.不良品手直し作業の根絶 (104)	
	3-5-3.膜厚のつけすぎによるめっき作業の撤廃 (105)	
	3-5-4.処理浴、めっき浴に不純物を持ち込まない工夫と対策 (106)	
	3-5-5. 枝骨接点の" めっきぶとり"を未然に防ぐ「理想接点」の活用 (108)	
	3-5-6.処理液、めっき液の汲み出し量を少なくする品物配置の方法 (108)	
	3-5-7.サイホンを利用する液抜きひっかけ治具の応用 (110)	

第4	章	バレルの基礎11	2
	4-1.	バレルめっきの変遷11	2
	4-2	バレルめっき方式の種類11	2
		4-2-1.水平バレル方式 (113)	
		4-2-2.傾斜バレル方式 (114)	
		4-2-3.振動バレル方式 (114)	
	4-3	バレルめっきの特徴と基礎理論11	5
	4-4	バレルめっきに影響を与える因子12	2
		4-4-1.バレルの形状による影響 (123)	
		4-4-2.バレルの回転速度の影響 (131)	
		4-4-3.バレルと被処理物の関係 (133)	
		4-4-4.バレルめっきにおける電流の関係 (135)	
		4-4-5.バレル用めっき液組成の影響 (140)	
第 5	章	バレルによるめっき加工の実際14	2
	5-1.	バレルめっき工程14	2
		5-1-1.前処理 (142)	
		5-1-2.各種めっき浴 (154)	
		5-1-3.後処理と乾燥 (185)	
	5-2	バレルめっきの環境対策19	0
		5-2-1.回収、リサイクル対策 (190)	
		5-2-2.排水処理対策(節水) (194)	
		5-2-3.作業環境対策 (199)	
	5-3	バレルの品質管理20	0
		5-3-1.バレル間の通電状態 (200)	
		5-3-2.液管理と電着性試験 (201)	
	5-4	バレルのメンテナンス20	6
第6	章	特殊な治具によるめっき方法の事例20	8
	6-1.	プラスチック印字ダイヤルの金属化20	8

## 第1章 電気めっき加工方法について(概論)

#### はしがき

わが国の電気めっき工業とその技術は、工業化されてから百年以上の歴史を持ち、産業の発展と近代化に寄与してきた。当初は金属機器の装飾に始まり、広く金属の防食と耐磨耗の向上に役立っただけではなく、今日ではあらゆる素材の表面に利用されて、新たな機能を発揮し、広い産業分野の持続的な発展に貢献している。

電気めっきが工芸的手法から工業に発展するのは、発電機が導入され ①、直流電源が容易に利用できるようになった 1 8 9 4 (明治 2 7)年頃からとみられ、金属水溶液の中で電源から電流を加工品に導く手法の発展が電気めっき技術の歴史であった。

装飾を目的とした工芸的な手法が主なものであった当初の加工技術は、加工品表面の研磨とめっきに二分され、それぞれの技能者の競合の中で発展した模様であるが、金属材料や後にプラスチックなどの材料技術の発達とめっきの防食や機能の向上とともに、研磨は前加工の一部の技術に止まる一方で、めっき技術が加速度的に発達し、さらに電解の手法によらない手法を含めて広範囲なめっき技術が利用されるようになった。

加工技術が加速度的に発展するのは、1950(昭和25)年以降である。海外技術の導入を含め、光沢めっきに必要な各種添加剤の開発の他に浴のメンテナンスに必要なる過機、前処理における界面活性剤の登場、セレンに始まる大容量の半導体整流器の開発、設備材料として塩化ビニールの導入などがあい次ぎ、現在のめっき技術の基礎が固まった。やがて1960年以降の自動車・電機などの耐久消費材の生産が本格化する高度経済成長時代に合わせ、めっき業は装置産業としての体質を固め、さらに自動化への展開が始まったのである。

飛躍的な工業生産の拡大に伴い、資材・薬材の大量消費などが公害を引き起こすようになったのが1960年代後半(昭和40年頃)からであり、加工工程における薬液の流出防止とその排水処理対策の技術の急速な発展が促された。

めっき技術の発達もめざましく、自動車工業を中心とした多層ニッケルめっき、マイクロクラック・マイクロポーラスのクロムめっき技術、亜鉛めっきなどの大量生産に対応する加工技術が急速に発達し、家庭用電気部品の装飾・防食めっき、電子部品工業では半導体部品に貴金属めっきが多用され、無電解めっきを利用したプラスチック上のめっき、さらにプリント回路板のスルーホールめっきの技術などの自動化と、生産の合理化が徹底的に追求される状況を迎えた。

1970年代には、環境規制の強化に応じて有害化学物質の排出抑制の技術が各方面で検討され、そのリサイクルやクローズド化技術が研究され、環境対策のため、積極的なめっき及び除害施設の共同化が促進された。

1980年代には、製造業の東南アジアへの進出が活発化し、同時に、量産品の海外生

産に伴う加工単価の国際競争に対応するために、めっき加工には徹底した自動化が進み、一方では、精密機械、電子部品などの先端技術に特化した専門化、高速化、無人化などへの高度技術を加速する必要にも迫られるようになった。また、大きい投資を必要とするめっき関連技術は大企業内部において展開が図られ、専業者の特殊加工技術にも一層の努力が求められるようになった。

地球規模の環境破壊と化学物質による汚染が明白になった以上、これからは製造業存続の条件として、恒久的な環境保全への対応が求められる。このような制約のもとで、めっきも、従来の大量消費型の発展を止め、国内固有の技能と管理の技術を頼りに新たな分野の開発と需要の開拓を目指し、産業の再活性化に寄与しなければならない状況である。

#### 1-1 電気めっき加工技術について

近々20年の間に、電気めっきの用途は飛躍的に拡大し、これを支えるめっき技術も極めて多様化し、それぞれが需要の分野毎に専門化されたことが特筆される。

需要に適した処理浴の開発は勿論であるが、設備の自動化、高速化、部分化、連続化が進み、加えて精密な自動管理と徹底的な合理化が図られるようになり、それぞれの分野に特化された加工技術が発達した。

他方で、素材、工程、めっき種類の多様化に備え、非常に自由度の大きい自動設備を開発し、細分化されたロットとその作業工程を平行して加工する技術を実用化したものも現れた。

旧来のめっきは装飾と防錆を主な目的にしていたが、近年は、硬質クロムめっき以外にも、半導体部品のめっき、プラスチック上のめっき、プリント回路板のスルーホールめっきなど、めっきでなければ得られない特性を活かした、いわゆる「機能めっき」が非常に多くなり、全需要の1/3を超えるまでの増勢を示したのである<sup>2)</sup>。

次いで、わが国特有の現象である工業の密集に伴う環境汚染に備え、他の加工技術には例を見ない公害対策が執られ、例えば工場の協同化、クローズド化、有価資源や水のリサイクルなどの発達が特筆される③。

さらに、年を追って進む工業製品の国際分業化に対応するためには、信頼性を第一義として製品を国際市場に供給すべきことから、統計的手法はもとより、あらゆる科学的な管理手法を活用して、品質管理の徹底を図ることが必要とされる。

例えば、品質の安定と保証を目的とした設備の自動化や工程の自動的管理が採用され、また、製品の皮膜特性評価の装備や技術が急速に進歩していることも無視できない。従来、電気めっきの技術の大部分は関連する産業のニーズに基づいて発達したものであるが、シーズとして新技術を開発し、その用途を産業界に求める動きも少なくない。昨今の表面処理技術の海外における報告に、わが国の研究者の発表が多くなっているのもこの表れである。

#### 1-2 電気めっき設備とその付属設備

めっき液の中で、電解により加工品に金属を析出するためには、これを電源と電気的に 導電材によって接続しなければならないが、最も簡単な方法として、電線でつなぐ方法が とられる。

個々の加工品につなぐ手法が「ひっかけ」に発展し、大量に(バルクで)通電する方法が「バレル」めっきを進めた。電気めっきの手法は、当然、電線でつなぐことから始められたが 4 5 6 6、古くから農作物に用いられたバレルの手法は、研磨からめっきに応用されたとみられ 5 6 6、電気めっきの機械化を促したと考えられる。

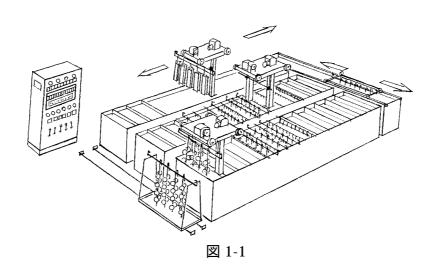


図 1-1 は通常キャリヤー(またはホイスト)タイプと呼ばれるプログラムにより自動化された電気めっき設備であり、めっき槽及びその駆動部分をいい、付属設備として電源、 る過機などが挙げられる。

現在は、手法の自動化と複雑化に伴い、例えばリールトゥリール(またはフープ)めっきのように主たる設備と付属設備を区別することは難しくなっている。あえて付属設備と呼ばれるものを挙げれば、上記の他に加熱・冷却、排気、乾燥、循環、送液に関わる設備やボイラー、純水精製、自動薬注などの装置がある。

テーマに挙げた「ひっかけ」は治具であり、「バレル」はめっき設備の本体に属する。

近年のめっき技術の最も大きい変化はその手法にあり、設備の合理化・高度化を目的と した自動化は手工業から装置産業への変革であった。ひっかけおよびバレルについて述べ るに当たり、これからの設備の動向を次のように捉えておく必要がある。

## (1) 設備の自動化と連続化

バレルなど含め簡単な半自動装置は古くからあったが <sup>6)</sup>、1950年代半ばのアメリカの本格的な全自動めっき装置の導入を機に、自動化が急速に進み、国産化も図られた。

ドーナツ型、ホイスト型に始まり、循環(リターン)型の各種装置(プッシャー型、エレベータ型、ア・ム型、またこれらに組み込まれた傾斜または水平バレル)、処理槽間をキャリヤーで移動する型式の装置も開発され、操作がプログラム化された。

さらに、電子部品などの量産は、リールトゥリールなどの専用機は勿論、ローラーコンベヤーで移送し、めっき加工するもの、少量多品種または変品種変量のものを並列に加工するための工夫を凝らした装置も多く見受けられる。

特に70年以降は自動機へのコンピューター導入に伴い、それぞれ仕様の異なる前後処理及びめっきを、統合したラインの中で、選択的またはランダムに制御する装置も見受けられ、さまざまな専用機や多目的装置が開発されている。

#### (2) めっきの高速化と部分化

めっきの速度は、表面のイオンの濃度勾配によって律せられることがよく識られているが、めっきの能率向上や厚付けの目的をもって、めっき液の高濃度化、添加剤の開発、めっき品の揺動及び高速回転、液の高速撹拌、噴流・噴射、電源における電流の転換及び波形の変化(交流重畳、PR、パルスなど) めっき中の超音波かく拌、レーザー照射などの工夫が順次取り入れられてきた。

これらに加えて、必要な部分だけめっきを行う方法や異種のめっきを連続的に着け分ける方法なども応用できるようになり、高能率化と合理化を促進している。

## (3) めっきの精密化と高度化

めっき加工の方法が非常に精密に、高度になって来ているのも近年の特徴である。

めっきの機能を利用する分野(機能めっき)だけでも、次のようなものが挙げられ、それぞれに要求される機能を満足するための精度が必要とされる。

## a)機械的特性

溶着性(ろう付け、はんだ付け)接着性(ボンディング)密着性(金属以外の膜と)耐摩耗性、潤滑性、かじり防止性、離型性、転写再現性(電鋳、写植など)肉盛り性など。

#### b)化学的特性

耐食性、腐食性、浸炭・窒化防止性、複合性など

c)電気・磁気的特性

電気伝導性、低接触抵抗性、高周波伝導性、磁性(強・軟・非磁性、電磁波シールド性) 抵抗性など

#### d)光学的特性

反射性、反射防止性、光選択吸収性など

#### e)熱的特性

耐熱性、熱伝導性など

#### f)装飾的特性

光沢性、模様加工性、着色・発色性など

例えば、幅と厚さ 1 0  $\mu$  m以下の線の画像形成、精密電鋳による均一な 2 0 0  $\mu$  mの貴金属厚膜の製造、真空中での潤滑を目的とした 1  $\mu$  mの金属薄膜、 I C やハードディスクの部品のようにサブミクロンを追うアモルファスめっき、水素透過のための金属薄膜、寸法精度以外にも、太陽光吸収率 s = 0.9 5 以上の黒クロムめっきや複合処理、抵抗値を決められたニッケル・りん合金めっきなどがある。

コンピューター誤動作の原因とされる金属微粉塵、特にウィスカー防止の対策(亜鉛、すず、はんだのめっき)や無電解ニッケルめっきを多用するなどの対応が採られている。 高度の加工は装飾の分野でも目立つようになり、工芸品のみでなく、重量感や質感・触感の向上のために、従来のブロンズ処理は黒ニッケルから黒クロムに、貴金属は厚さを増し、 渋い色調を用い、さらに、電着塗装を重ねるなど、従来のめっきでは得られなかった質感の複合膜や画像処理・印刷加工などが工業化されている。

## (4) 純度管理と合金化及び複合化

電子部品も、当初、半導体に接するめっきは高純度に管理されていたが、分析機器の発達などにより、不純物は限度管理の方向に進歩し、更に経済的理由から、多用された貴金属をはんだや無電解ニッケルに置き換える努力が行なわれた。

加工を終った貴金属の面の汚染が、後の性能劣化やイオンマイグレーション(銀)を起こすことが識られ、清浄度を保つために塩素などの陰性原子団を排除する徹底的な純水洗 浄に努力が払われ、クリーンルームも配備されるようになっている。

純度の異なるニッケルを重ね、非金属微粒子を分散させてマイクロポーラスのクロムめっきを重ねるなど、電気化学的に耐食性を改善する方法が採られたのは、1950年代後半からであり、防食の分野で亜鉛、カドミウム、アルミニウムに加え、合金めっきが発展したのが1980年代後半からである。カドミウムの代替として、航空機業界では亜鉛・ニッケル(10%以上のニッケル)合金を指向してきたが(ボーイング社)、欧米で自動車車体における発錆までの期間が規定され、中性塩水噴霧に1000時間以上の防錆が要求されて以来、自動車業界でもこれ(亜鉛・ニッケル)に加えて、錫・亜鉛、亜鉛・鉄及びそのクロメート方法が検討され、急速に合金めっきの台頭をみた。価格的な問題は残るが、今後も新たな技術開発が続くものとみられる。

装飾の分野では、厚付けの貴金属めっきの純度保証は重要な要件であったが、最近では外観、色調、質感などの多様化のために、極めて多くの合金や積層、複合、模様の加工などの変化に富んだ仕上げが試みられるようになっている。

通常の単一金属では得られない特殊な機能を持った複合(分散)のめっきも数多くみられるようになっている。

例えば、ダイヤモンド工具の大部分は無電解を主にニッケル分散めっきの技術によって造られ、窒化硼素、タングステンカーバイド、テフロン、シリコン樹脂、最近では金属アルミニウムなどを分散させ、さらに熱処理したものまで検討され、同様なものを、電気めっきで経済的に製造することも行なわれ始めた。

複合の技術は狭義では分散めっきを意味するが、昨今は、性質の異なる層、例えば金属と非金属を重ね、部分的に異種類の金属を付け分けるなどの技術まで含まれている。

#### 1-3 ひっかけ治具によるめっき

ひっかけ治具によるめっきは、俗に静止槽と呼ばれるめっき槽の渡し棒(ブスバー)に個々に加工品を懸垂・懸架(つるし)してめっきする一般的な手法であり、電解液の中で加工品に電流の回路を形成する基本的な姿であり、最も汎用性に富んだ方法として用いられ、これからも、これに要する基礎的な考えが変わることはない。

一般にめっきを必要とする部品開発の当初は、加工品個々にひっかけの手法を用いて、 然るべきめっき設備につるしてめっきするが、量産化に従い、技術的にも生産性も適当と 考えられれば、部品に必要な品質とめっき設備の能力を最高に発揮できるひっかけを工夫 して量産に備える。技術的な条件は、本論において説明されるが、大切なことは企業の発 展であり、経営上、安定的な生産性が確保されなくてはならない。

製造に関わる原価構成を解析する場合に、昨今は労務費(または人件費)の占める比率が常に問題視されている。通常、めっきの加工工程においても、最も多くの労力を要するのがひっかけ工程であり、これが加工単価を大きく左右する。合理化の徹底を図り、投資とのバランスにおいて、ひっかけ着脱の自動化や、究極はバレルの使用を含め、後述のひっかけを使わない手法も開発される必要がある。

加工品の形状・寸法・生産数量に見合い、かつ合理的な繰り返しの使用に堪える汎用性 の高いひっかけの保有が望ましいが、往々にして不適切なままでひっかけを長期間にわた って使用している例が少なくない。例えば次の問題点を充分に考慮する必要がある。

#### 不良原因の看過

めっき分布(つきまわり) 密着、通電、洗浄、後処理などの不良や乾燥時の汚染、無めっき、加工品の脱落などひっかけによる不良原因を見過ごしていないか?

#### ひっかけ破損の看過

20個装着されるひっかけに一個の欠落があれば5%の減産を見過ごすことになる。 欠損を承知で稼働することは許されない。ひっかけを無理に変形して使用して破損を早 める例が多いが、一定の回数使用しなければ償却できないことを徹底する必要がある。

#### ひっかけの寿命

腐食し易く、寿命と使用頻度は比例しない。集中的な使用を考える必要がある。

#### ひっかけの循環数量

ひっかけのかけ溜めは(自動的なストックヤードを持たない限り)保管・移動に無駄な労力を生じ、必要最小限のひっかけ数以外は工程に循環させないことが大切である。

加工品装着の数

生産性と矛盾があっても半端な数が装着されるひっかけは避けるべきである。

特に計数に厳しい小物の場合は致命的である。(後述)

#### 1 - 4 バレルめっきと網づけめっき

多くの場合、めっき作業で最も加工工数を費やすのは、ひっかけ作業である。

ひっかけるには不都合なものに限らず、加工品の形状・寸法などが許すならば、通常は、 バレルや網づけによるめっきの方が生産には合理的である。 先に述べたように、加工品の 研磨は当初からバレルが用いられ、これが量産品のめっき加工に発展したと見られる。

特に小物部品には最適の手法として用いられ、なお、バレルめっきするには少量であって不都合なもの、変形しやすいもの、クロムめっきのように通常のバレル手法ではめっきが析出しないものには網づけの手法が多く用いられる。

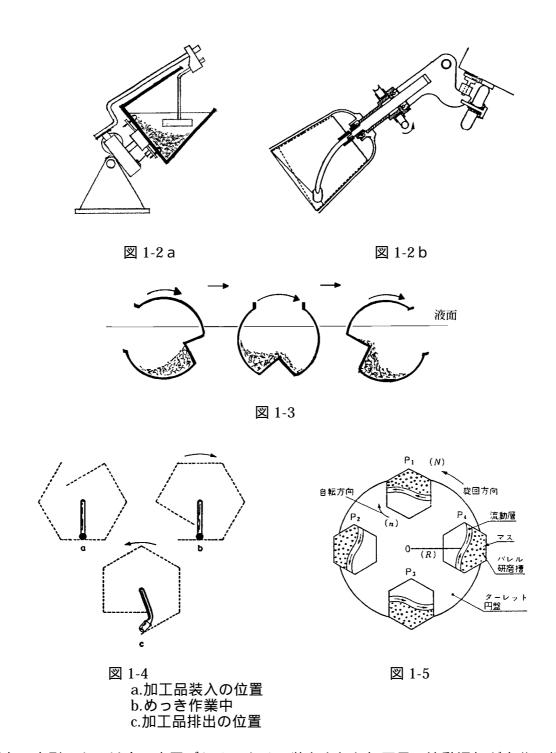
#### (1) バレルめっきの発達

バレルめっきは欧米では1900年代の初頭から使用されたといわれっ、初期の物は、木製の樽を45°に傾斜したいわゆる傾斜型のバレルである。陰極は樽の底に鉄板をボルトじめにし、外側に取り付けたリング状の導電板により回転しながら通電されるものであった。

現在、最も多く使用されている水平式のバレルは1920年代からみられたという。ただしこの頃は、バレルの軸をめっき槽の上で保持したためか、一部を液に沈めるバレルであり、僅かの品物しか装入されず、効率の悪いものであった ?。

傾斜型、水平式ともに改善が重ねられ、大量の負荷や酸・アルカリ、吸水・吸油、沸騰水にも耐えられるようになり、液の流出入及び電流分布に必要な孔も加工品に合わせて色々な形状・寸法が用意されるようになった。とりわけ、塩化ビニル・ポリプロピレン・ガラス繊維強化エポキシなどのプラスチックの発達に伴うバレルの構造の強化によって大幅な性能の向上がみられ 8、画期的な発展につながった。

形式も多様化が進み、樽の中に液を入れる傾斜型(図 1-2 a)から液を入れた槽の中に傾斜バレルを沈めるものに発展し(図 1-2 b) 水平バレルも多角形から円筒または、蓋のない揺動(図 1-3、図 1-4) バレル内で加工品の移動を促進するための変芯バレル、複数のバレルが自転しながら公転するもの(図 1-5) 液切れを良くするためのスリット孔の部分が交換できるものなど非常に多彩な工夫がみられるようになっている。



現在、大型のものは全て水平バレルであり、装入された加工品の流動混転が充分に行なわれるように断面が6角または8角が多く、装入量は数 / バレルに達するものがある。 円筒管の内面や線材をめっきするためにバレルを細長くしたもの、一度に複数の形状の加工品をめっきするために内部を分割したものなど量産化の対応がめだつ。

最近では、機械的強度のとぼしい繊細な部品や細線材、薄板などの超小物の加工品が多くなったが、従来のバレルではめっきが難しく、網づけを要したものまで、バレルの形状や振動バレルなどの工夫によって、高精度のめっきが得られるようになっている。

#### (2) バレルめっき設備の要点

バレルが古くから機械的な研磨の方法として発達し、めっきに応用されたことを既に述べたが、前加工やめっき前処理に大いに活躍している。特に振動バレル(図 1-6)に利用されたバイブレーターの手法は、時計の針のような変形し易い繊細な部品のめっきにも効果的に利用されている。

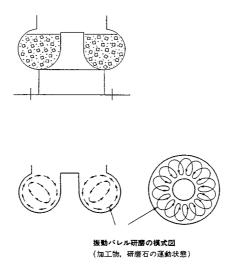


図 1-6

バレルはひっかけに比べ加工品の総面積は相当に大きく、しかも回転中は表層の一部にしか電流が到達しない(通常、ひっかけの1/10から1/5程度)上に、加工品個々の分極と双極の現象もあって、ひっかけの場合より電圧を高くしなければ必要な電流が流れない。それでも、総面積に対しては比較的電流密度が低く、めっき時間を長くしなければ必要なめっき厚さが得られない。このような条件に耐える設備が必要になる。

従って、整流器、電流回路、接点部分などに充分な余裕と管理が欠かせない。最近は少量多品種が通例になってバレル毎のきめ細かい制御を要し、1バレル1電源が常識的になっている。

挿入・排出が容易な傾斜型バレルが連続リターンタイプに発展した全自動機もみられたが、設置面積当りの生産性の関係から、蓋の着脱が面倒でもチャージ量の大きい水平バレルが支配的になっている。さらに、電子部品を中心に繊細かつ複雑な加工品の増加とともに、改めて蓋を必要としない傾斜型や小型の振動バレルが見直されている。

#### (3) バレルめっきの特徴(長所と短所)

ひっかけのめっき手法に比較したバレルめっきの長所は次のようである。

比較的少量の液の中で大量の加工品の処理が可能である。

ひっかけの労力が省けめっき加工の機械化・自動化が容易である。

前処理からめっき・後処理・洗浄・乾燥など一貫加工が容易である。

加工品の形状・寸法、まためっきの種類に拘らず広い範囲のめっき加工ができる。 小物、粒状などひっかけではめっきの難しいものの加工ができる。

加工品相互は、厚さの比較的均一なめっきができる。

絶えずめっき液がかくはんされ、めっき液の条件を均一に保つことができる。

緊密に積層され、薄くても耐食性に富んだめっき皮膜が得られる。

大量生産に適し、加工費、特に労務費の低減が期待できる。

しかし、次のような短所があり、予め対策をとり改善に努める必要がある。

とも擦れによる加工品のきずや、滓によるざら付きが生じ易い。

電気接触の不安定が起こすスパーク、隙間に詰まる小物部品の分極などにより、加 工品が損傷し易い。

加工品総面積に対して電流密度が低く、めっきに長時間を要する。

バレル内の金属濃度が低くなり、めっきの析出が遅れる。

個々は巨視的な均一電着性が劣り、いわゆるつきまわりが良くない。

電流濃度(めっき浴の量に対する電流)が高く、めっき浴の消耗が激しい。

処理液の汲み出しが多く、排水や浴の管理に厳格を要する。

同じバレルで工程を移動して行くと処理液の汚染が起こり易い。

バレルの大気暴露やかくはん効果により、浴の老化が激しい。

導電接続部、バレルなどの設備が損傷し易く、常時メンテナンスを要する。

#### (4) 網づけめっきの現状

従来のめっき用の網は、黄銅(真鍮)・軟鋼またはステンレス鋼など平織りの200×150mm程度の金網を図1-7のような形に加工したものが一般的である。

加工品は網一杯に平面的に展開し、頻繁にてがえしして、めっきの均一化を図るのであるが、当然、大量のめっき加工には不向きであるし、電流の中断を嫌い、めっきの付き回りが難しいクロムめっきなどには制約がある。

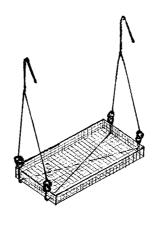


図 1-7

さらに、無電解めっき技術の普及に伴い、大量の小物部品を大型の篭に入れ、めっきする手法が多くみられるようになったことが注目される。これは、従来の網づけが電解の障害を超えて量産化につなげたものとも考えられ、無電解めっき用の耐熱プラスチックバレルの開発とともにめっき技術の発展に寄与している。

#### 1-5 その他のめっき方法

最近では電気めっきの目的の多様化に伴い、ひっかけやバレルによらないめっきの手法が電子部品加工などの分野に普及している。例として次のようなものがある。

#### (1) リールトゥリール (フープ) めっき

小型接続端子類(コネクター)のめっきは量産を要するためにバレルによる加工から始まったが、すずやニッケル以外にも信頼性の確保に多量の金・銀が使用される。

貴金属の合理化には部分めっきを要し、さらに、近年のコンピュータの小型化と世界的な普及にともなう接続の複雑化、微細化とコネクター組立の自動化にはリールのままの加工が必要とされ、徹底した異種金属のつけ分け技術と連続めっきの手法が追求された。樋のようなめっき槽(セル)を連続した、いわゆるリールトゥリールめっきが発達したのである 6) (図 1-8 参照)。

また、トランジスタ・IC・LSIなどの半導体を搭載する金属フレームは、ひっかけにより金・銀をめっきしたものが、産業の米と呼ばれる程に膨大な数量が必要とされるに伴い、まず、スパージャーと呼ばれる噴流式の装置によって短冊型に裁断した帯材の必要部分のみにめっきすることから始まり、次いでローラーコンベヤーによる前後処理の装置とスパージャーの工程を授受する機構を持った自動機が開発され、さらに帯材のまま連続的にめっきするフープの手法のが、企業それぞれの努力によって発展を続けている。

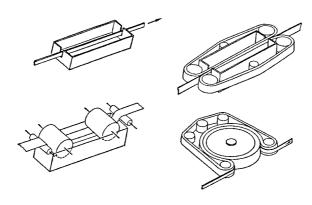


図 1-8

#### (2) ブラシめっき

その他、国際的に普及したものとして、(工芸的な手法では筆めっきとして識られる)ブラシめっきの手法 <sup>9)</sup>がある。(図 1-9 参照)

めっき槽に浸漬するには不都合な加工品や補修品の肉盛りなどを目的とする高速部分めっきで、工芸品の装飾まで含め、非常に広範囲の用途を持って開発されたものである。めっき加工の設備や機材100種類に及ぶ前処理やめっきの電解液が準備され、旋盤を基体とした自動めっき装置(図1-10)まで開発されている。

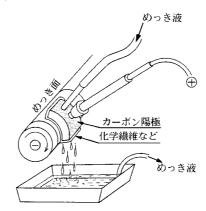
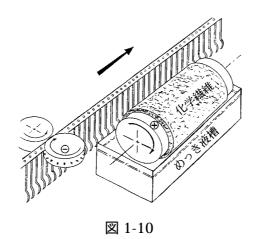


図 1-9 筆(ブラシ)めっきの一例



## 参考資料

- 1) 全国鍍金工業組合連合会: 30 周年記念誌 1978.
- 2) 全国鍍金工業組合連合会: 電気めっき業の経営近代化ビジョン 1994.2
- 3) 全国鍍金工業組合連合会: 全鍍連 50 年史 日刊工業新聞社 1998.8
- 4) F.K.Savage: Racks:Design, Construction, Insulation and Maintenance Electroplating Engineering Handbook Edited by A.K.Graham 1955.
- 5) 丸山 清: メッキ実務読本 鍍金技術懇話会 日刊工業新聞社 1969.10
- 6) 川崎 元雄、榎本 英彦: メッキ教本 電気鍍金研究会 日刊工業新聞社版 1988.1
- 7) F.J.LaManna: Barrel Plating. Metal Finishing Guide Book Directory 1984.
- 8) 鈴木 昭一、矢部 賢: SUR/FIN'97 DETROIT EXHIBITION & FACTORY TOUR REPORT 1997.6
- 9) M.Rubinstein: Electrochemical Metallizing Principles and Practice 1986.

#### その他の参考資料

中小企業事業団・中小企業大学校中小企業研究所:「中小企業のための技術動向分析(表面処理)」1990.4

神戸 徳蔵 外: 「メッキ技術マニュアル」 日本規格協会 1995.4

## 第2章 ひっかけ治具設計の基礎

#### 2 - 1 ひっかけ治具の変遷

#### 2-1-1 ひっかけ治具の概要と変遷

めっき槽に加工品を個々に装着して電気めっきを行なう治具を「ひっかけ」、関西では「たこ」と呼ぶが、簡単に銅などの金属線を用いて加工品をつなぐ方法は「からげ」と称して現在でも行なわれている。

中には、SまたはC字型の短いフックを用いて加工品を数珠つなぎにする場合もある。 このような手法を加工品の形状・寸法・数量などに合わせて恒久的な治具に改善したもの がひっかけである。

ひっかけによるめっきの場合、工程が自動化される以前は、重量物以外は殆ど手動でひっかけを槽内から出し入れし、移動したが、自動化が進み、多くの場合、ひっかけの移動は機械によって行なわれている。生産合理化のため、ひっかけも次第に大型のものが連続的に移送されるようになり、人の手が触れることが少なくなるに伴い、加工工程の点検・監視はおろそかになりがちであるから、加工品を保持し設備内で移送する治具は、工程の安定に必要な理論的裏付けと計数的な管理を欠くことができない。

#### (1) ひっかけの概念

ひっかけは、めっき設備との種類・加工品の形状・寸法・重量・加工数量に合わせ、合理性と経済性を勘案して準備する。簡単なものは、適当な強度と通電容量を持った金属の線材で浴中に直接加工品を懸架するが、一般には導電性の優れた金属の主骨(親骨)または枠に枝骨または小骨(子骨)を固定して、これで加工品を保持する構造をとる。

概ね、図 2-1 のような種類のひっかけが用いられている。 a は棒型 (Single Spring Type) b は提灯釣り (T Type) c d は枠型 (Box または Multiple Type) などと呼ばれている <sup>1)</sup>。

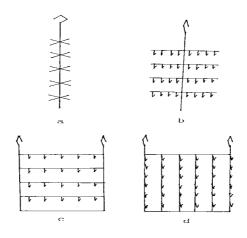


図 2-1

#### (2) ひっかけの合理性

ひっかけは、要求されためっきの品質特性が満足できるように、定められた工程と条件に充分耐える性能を持つことが大切で、その性能は理論的に裏付けされる必要がある。ただし、性能を満たしているように見えても、めっきの条件により、品質特性の均質を求めることは容易ではない。実際のめっき条件による調整や矯正を無視することはできない。要するに、ひっかけの性能は、加工品に許された納期と費用の範囲で、理論と経験を集約して加工品に反映すべきものである。

例えば、どのように理想的なひっかけを作っても、電気めっきでは、ひっかけの位置により、また、加工品の部分により、めっきの厚ささえ均一にはできないし、同じひっかけとめっき条件でも、加工品の形状・寸法が変われば、めっき品質は変わってしまうのである。

さらに、前章1-3では簡単にひっかけは静止槽につるして使用すると説明したが、 めっき槽は静止しているが、ひっかけは加工品を保持して槽間または槽内を移動は勿論、自動化とともに機械的に揺動・振動・廻転されるなども多くなり、この運動に耐えてめっき加工される必要があり、技術的に充分に検討し尽くされることが必要である。

また、針金や釣金具以外では、加工品の全てに万能のひっかけはあり得ない。原則的には加工品ごとに合理的に設計された専用のひっかけが使用されるべきであるが、通常のめっき工程では、加工品の専用設備でない限り、同じ設備で多品種の加工品を同時に平行して生産する必要があり、加工品ごとのひっかけを保管するには限界がある。特に多品種少量または変品種変量のロットが多くなって多くの問題を生じ、最大公約数的なひっかけを使用せざるを得ない現状であり、品質管理上の弱点になっていることは否めない。

しかし、ひっかけの設計は自由度に富み、めっき加工技術の中でも、最も技能的要素の 大きい部分である。充分な経験と綿密であり科学的な合理性が要求される。

次に生産の合理化のために、一個のひっかけにかかる加工品の数は、区切りの良い数にすることが大切である。計数の間違いは納品時に不良品同様に致命的な欠陥になる。ひっかけからはずす時に欠品数だけを足し、治具の本数で生産の数量を正確に把握することが常時計数につながる。

#### (3) ひっかけの経済

ひっかけは、通常、めっき加工材料の一部である治具として扱われ、消耗品とみなされるが、その費用は、材料費である金属陽極や薬剤に続いて、経費の中では設備償却費を大きく超え、めっきの加工原価構成のかなりの部分を占める。従って、その経済性については徹底した管理と運用が必要になる。

さらに、自動化された場合には、特にめっき作業時間の大部分を、加工品をひっかけに 脱着するなどの作業によって占められ、その作業性の良否が加工費を大きく左右する。

通常、ひっかけの消耗や損傷は、めっき工程中だけではなく、腐食などによる経時変化

も無視できない。特に保管の条件と使用の頻度によっては、非常に不経済になるから、生産計画の際に、製作費用や耐用期間を勘案した償却費などの管理の徹底を要する。

通常、恒久的に使用するひっかけは、少なくとも500回程度のめっき加工の繰返しに耐えるものでなければ、きわめて不経済な償却をうながすことになる。

#### (4) 環境保全とひっかけ

産業の持続的な発展を支援し、エネルギーの浪費を避けるためにめっき技術が必要なことは言うまでもないが、これに必要なのはひっかけの製作や保全管理にも環境保全への配慮を怠ることはできない。

ひっかけについて、治具本体も装着される加工品からも有害な処理液の汲み出しを極力 少なくすることの必要性は別に説かれているが、それ以外にも環境保全上は次のような要 件への配慮が求められる。

骨材、小骨、防鍍材(コーティング材)、蝋材(はんだなどの溶接材)などの構造材の全てに、極力環境汚染の少ない材料を選ぶ必要がある。特に骨材を溶接する蝋材には従来鉛はんだが多用されたが、鉛フリーのはんだや銅合金蝋材、はめ込みや噛み合わせ型の工夫などが大切になる。現在は評価が定まっていないが、塩化ビニルの将来性も考慮してコーティング材を選ぶ必要も現われる。

繰返しのめっき剥離による溶損の少ないステンレス(時にチタン)などの小骨が使用されるが、耐久性の大きい材料・構造を採るか?リサイクルの簡単な材料・構造にするか?または消耗部分交換型の構造にするか?今後の大きな課題になる。加工品の受注頻度と保証、ロットの大きさ、設備の償却などを充分に勘案し、長期的な環境保全の重要性とのバランスにおいて慎重にひっかけの設計・製作に当たる必要がある。

## (5) ひっかけの要件

ひっかけは次のような条件を満足することが必要である。

in to more or year of contact of

必要な電流容量と加工品への均一な電流分布が得られること

加工品のかけはずし・めっき装置への着脱・保管など取扱いの容易なこと

めっき装置へできるだけ多くの加工品が装着できる構造であること

めっき工程中に加工品が完全に保持されること

不必要なところにめっきが析出しないこと

充分な強度と繰り返しの使用に耐える構造と材質であること

処理液を汚染しない材質であること

加工品及びひっかけから処理液の汲出しの少ない構造であること

製作と修理が容易であること

計数し易い数を装着できること

製作費が経済的であること

## 2-1-2 めっき技術の進歩に伴う機能の向上

めっきに関連する技術の進歩に伴って、加工品の機能の向上もそのためのひっかけ治具の向上にも著しいものがある。具体的な事例は後で紹介されるが、製品化されてからでは品質特性の評価が難しい、いわゆる特殊工程と称するめっきを保証するには、ひっかけは単なる加工品に通電する治具と考えることは誤りである。今の産業社会の求める加工品個々への色々な品質特性を満たすためには、ひっかけは、少なくとも次のような技術的な機能向上への対応を図る必要がある。

#### (1) 必要な電流の容量と分布

電流の容量とその分布については次の2 - 2 ひっかけ治具の基礎知識以降に詳しく述べられ、装着された加工品個々の均一な電流分布を得るためには、まずひっかけの隅々まで必要な電流が到達するように途中に電流量を低下する不均一な抵抗があってはならないことが説明されている。

しかし、直流電源プラス側からめっき槽の陽極ブズバー・陽極・めっき液・加工品・ひっかけの小骨から主骨・陰極ブズバー・電源マイナス側までの電流の回路は全て抵抗体であって、なにがしかの電流が接触部その他の抵抗や場所によって不均一になることは避けられない。

従って電源に近いところのひっかけと加工品、金属イオンの供給の多少が大きくめっきの不均一につながる。基本的にはめっき設備に関わる問題があることを見過ごしてはならない。

卑近な例としても、平面から見て図 2-2(左)の配線は図 2-2(右)に改めるべきであるし、 断面の図 2-3(左)は図 2-3(右)に改めるか、これを矯正する遮蔽板を要する。

また、前章 1 - 2 電気めっき設備とその付属設備の図 1-1 に示されるキャリヤー型設備 のめっき槽それぞれの長手方向に並んだひっかけの位置によるめっきは分布が不均一になり、矯正は非常に難しく、通常はエレベータ(またはプッシャー)などの、ひっかけが槽 を長手方向に循環移動する型の分布には較べるべくもない。

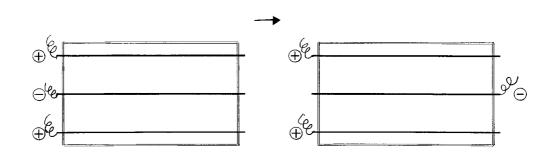


図 2-2

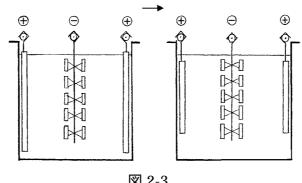
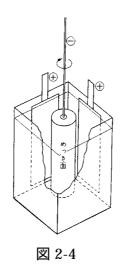


図 2-3

電流分布の向上には、緩やかな反転を含む治具の回転(図 2-4) 形状により上下または 前後・左右の揺動、めっき槽内の位置替えなどがあるが、特殊な治具による周期的な上下 反転も行なわれる。微視的にはめっき不均一の主原因の一つがめっき面の拡散層(200 μ mに達するイオンの希薄な層)の成長であり、イオンを補給してこれを妨げるには沖合 から送液するよりも、めっき面を動かす方がエネルギーの効率が良く、さらに超音波によ る拡散層の破壊がさらに効果的である。



ひっかけの電流容量を確保するためには銅・銅合金・アルミニウム・鉄などを使用し、 加工品との接点部には剥離に強いステンレスやチタニウムなどの高耐食性の金属を用いる が、抵抗が高い欠点を考慮して接触面積を大きく、また複数接点を設けることが条件にな る。最近は銅をチタンで被覆するなどそれぞれの特徴を生かした複合材も利用される。

#### (2) 加工品の着脱

量産品の継続的な加工は海外流出によって極単に減少しているが、残されたものも厳し い省力化を求められる。外すための簡単な装置は小物部品には必需の道具になっている。 装着用ロボットは開発に多くの努力があったが、定型品にしか成功の例はなく、汎用のロ ボットは経済性もあって大きな課題として残されている。

ただし、自動化装置に合わせたひっかけ治具構造の変革、精度(寸法など)の向上など も、ひっかけの廃止まで含めて、経済性の許す限り努力を怠ってはならない課題である。

## (3) 加工品の保持

これからのひっかけに要求される重要な課題の一つである。電流分布の均一化に貴金属 めっき用として円筒形の枠型が、時計のがわ、眼鏡フレームに用いられていることはよく 識られている。当然他の加工品にも浴中での回転は非常に効果的であり、多くの開発が行なわれ、浴中で加工品に運動を与えるには機械的な保持力が要求される。

いわゆるつるし(ちょんがけ)より、バネが必要になる。さらに、通常のひっかけでも シミのない洗浄乾燥には、有機溶剤に問題が挙がっている現在、純水洗浄後の水切りが大 切で、ひっかけのスピンが要求され、ここでも保持力が大切になる。

#### (4) 耐久性

耐久には機械的、耐食、耐熱、大局的にはリサイクル性などの問題がある。材質として 金属ではステンレス、チタニウムなどがその弱点を他の金属との複合などによってカバー して多用される。

また、接点部分のみを交換する組立て式のひっかけが用いられ、リサイクルを考えれば、 金属別に分離できるものが望ましく、鉛の問題があってはんだ付けは避ける方向がとられ、 銅や銀合金蝋材には、カドミウム入りのものに注意する必要がある。

また、この際にコーティング材も問題化しているが、化学と耐熱に頑強なテフロン、シリコンなどの超寿命を保たせるものと、ゾル、天然ゴム、低温塗装などの短期リサイクル型と二方向に分化する傾向にある。

## (5) 汚染防止

最近の電子部品大部分は、汚染されることを極度に嫌うものが多く、ひっかけの材質によるめっき及び後処理の浴の汚染は勿論、めっき防止コーティングから出る微量な有機質や無機質によって洗浄後の微視的な汚染まで問題視するものがある。静電気による微粉塵の吸着を含め、めっき設備とともに徹底した管理が要求される。

特に接点部のめっきの剥離不充分や不動体化によるめっき密着不良が、加工品脱着の際に金属微粉塵になってめっき製品の致命欠陥を招く例が少なくない。

またコーティングの接点部との隙間や、老化によるクラックに浸み込んだ処理液が完成 品の汚染源になる例も少なくない。

以上のようなひっかけ治具の機能向上の努力は、別に事例として紹介される。

#### 参考資料

1) F.K.Savage: Racks:Design,Construction,Insulation and Maintenance Electroplating Engineering Handbook Edited by A.K.Graham 1955.

#### 2-2 ひっかけ治具の基礎知識

電気めっき生産の戦後の技術発展を振り返ってみると、主要生産設備や「ひっかけ治具」を除く付属設備及びめっき浴組成やその添加剤に関する進歩には、目を見張るものがある。

ところが、「ひっかけ治具」の設計・製作技術についてはどうだろうか。確かに大型化や プラチゾル防鍍加工については、40年前と格段の相違があるが、一皮むいてみると 40年 前と同じか、それ以下の性能のものさえある。

電気めっき生産では、めっき槽内の電流分布を自由に管理・調節し、できるだけ均一化 しない限り、どんなに優れた設備や浴組成・添加剤を開発・導入しても、その効果は期待 できない。そこで、つぎにひっかけ治具設計に必要な基礎知識を述べる。

## 2-2-1 めっき分布と用語解説

## (1) めっき分布

めっき作業において、ある条件で流電された場合に、被めっき体(品物)表面に析出した 金属分布状況をいう。これには、後述する均一電着性と被覆力の両性能が大きく関連する。 まためっき分布に関係する主要素はつぎの通りである。

- a. 幾何学的なめっき配置(一次電流分布発生)。
- b. 一次電流分布を不均一にするめっき浴やめっき条件に関する要素。
- c. 被めっき物の形状及び設計上の要素。
- d. 陰極分極に関連する陰極境界面の液抵抗。
- (注)分極とは、電極付近の溶液の性質を変える働きをする現象である。分極のもたらす 変化によって、一次電流分布とは異る二次電流分布を生じる。

#### (2) 一次電流分布

一次電流分布は、主にめっき槽及び槽内電極、または電極以外の挿入物などの幾何学的 めっき配置や、これら構造物質の電導度などによって支配されやすい。つまり、陰極分極 その他の二次的要素が働かない場合の電極上の電流分布をいう。

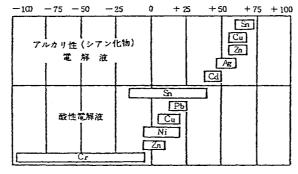
## (3) 二次電流分布

二次電流分布は(1)で述べためっき分布を生ずる要素中 b.c.d.が働き、一次電流分布を変えて生じる。そして実際に被めっき体の表面にめっきされる電流は、この二次電流分布である。

陰極についていえば、二次電流分布を決定する電気化学的因子は陰極分極と浴の電導度である。(2-2-2 参照)

#### (4) 均一電着性(throwing power)

均一電着性とは、実際のめっき作業においてめっき面のめっき膜厚バラツキ(めっき分布)に関する性質をいう。図 2-5 に各種めっき浴の均一電着性を示す。



悪い 良い 図 2-5 各種めっき浴の均一電着性(**J.B.Mohler**)

## (5) 被覆力(covering power)

めっき分布に関しては、均一電着性とは別に被覆力を考える必要がある。被覆力とは、 品物の深い孔とか凹部のような低電流密度部分にめっきが析出する能力をいう。

そして被覆力には、次の2要素が関係していることが分かっている。

- a. めっき浴の分解電圧、つまりその浴から金属が析出する最小電圧。
- b. 陰極金属の種類とその表面状態。

#### 2-2-2 めっき分布の発生

## (1) めっき分布形成のいろいろな因子

つぎに、電流分布に関する一般式よりめっき槽内のめっき配置つまり、ひっかけ治具の設計とめっき電流分布の関係を理論的に考察してみる。図 2-6 に傾斜化(+)・(-)両極間の電流分布変化の状況及び図 2-7 にめっき厚さ分布の発生因子を示す。

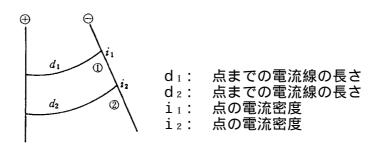


図 2-6 傾斜化(+)・(-)両極間の電流分布変化の状況

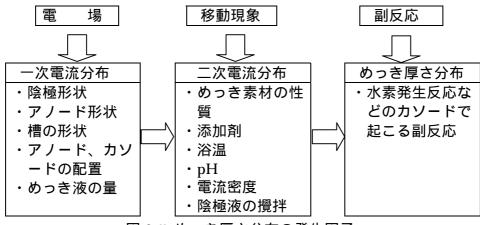


図 2-7 めっき厚さ分布の発生因子

これにより、次の式が成り立つ。

(1) 
$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{d_2}{d_1}$$
 一次電流分布 式(1)

 $i^{1}$ ,  $i^{2}$  は、図 2-6 に示す陰極上の 及び における電流密度  $d^{1}$ ,  $d^{2}$  は、それぞれの電流線に沿った両極間の距離、

(2) 
$$\frac{d\mathbf{E}}{d\mathbf{z}+\mathbf{K}} = \frac{d\mathbf{E}}{d\mathbf{i}} = \frac{\mathbf{Z}\mathbf{E}}{d\mathbf{E}}$$
 式 (2)

k はめっき液の電導度、

dE/di は、i1とi2の間の陰極分解曲線の勾配、

この式より、二次電流分布(一次電流分布が分極現象により電流回路の抵抗を増加して生じる)を作る分極現象や液の電導度という因子は、めっき液特有のものであるから(温度・かくはん・濃度・電流密度により多少変わる)、実際のめっき生産でめっき膜厚の分布を管理するには、二次電流分布よりむしろ一次電流分布(両極の幾何学的槽内配置により生じるもの)を管理するのが効果的といえる。

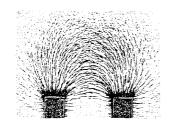
$$(3)$$
  $\frac{\mathbf{M_i}}{\mathbf{M_2}} = \frac{i_1'}{i_2'} \cdot \frac{\mathbf{C} \cdot \mathbf{E} f f_1}{\mathbf{C} \cdot \mathbf{E} f f_2}$  めっき分布 式(3)

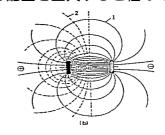
なお、被めっき面へのめっき膜厚分布は、式 $^{(2)}$ に陰極面の 及び における陰極電流効率を考慮して式 $^{(3)}$ から求められる。 $^{(C \cdot Eff_1)}$ : 点の電流効率、 $^{(2)}$  点の電流効率、 $^{(2)}$  点の電流効率、 $^{(3)}$  点の電流効率、実際のめっき生産中に発生する品質欠陥や不良の直接原因を解析してみると、いろいろ考えられるが、一般にめっき液の組成変動や不純物量というよりも、被めっき面における局部的電流密度の不均一性による場合が多いようである。

#### (2)一次電流分布調節の心得

めっき槽内の両極間には、静電場の理論により、写真 2-1 及び図 2-8 のように、等電位面(両極間の電位の同じ面を点線で示す)と電流線(両極間電流の流れる方向線を実線で示す)の関係がある。

図 2-8 は、槽内における電流線の流れと品物上のめっき分布の状況を示す模型図であるが、これらの関係を経験的に心得て、槽内めっき配置を工夫すると極めて便利である。





同一形状の<sup>2</sup>つの電極区域における電流の流線状況 1.電流線 <sup>2</sup>.等電位面

写真 2-1 磁力線の状況

図 2-8 陽極と陰極間における電流線の流れ方

つぎに、一次電流分布管理の基本法則を略記してみる。

- a. 等電位面と電流線は直角に交わり電流線は電極表面に直角に出入する。
- b. 二つの等電位面間電位降下は等しい。
- c. 二つの等電位面に囲まれた部分の電流量は同じである。
- d. 電場内に置かれた完全な導体は電流分布を乱さない。また、任意に電流線を絶縁物と 入れ替えても電流分布は乱されない。しかし、電流線を切る絶縁体は電流分布を乱す。
- e. 無限に平行な二枚の平板、無限に平行な同心円筒および同心球で電極配置を行えば、 完全に均一な電流分布になる。
- f. 品物の円筒部分に流れる電流の強さは、円筒の半径に反比例する。
- g. 品物の針状形の先端に流れる電流の強さは、針状部半径の2乗に反比例して先端に電流が集中する。

以上により、参考事例として図 $^{2-9}$ に板材の両端に厚いめっきがつく現象モデルと図 $^{2-10}$ にめっき槽内におけるめっき析出状況を示す。

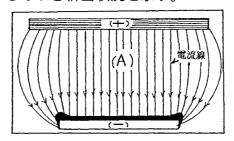


図 2-9 板材の両端に極端に厚いめっきが付く

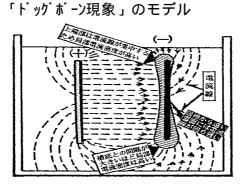


図 2-10 めっき槽内の(+)・(-)極間の電流線の 流れから見る"めっき金属の析出"状況

#### 2-2-3 雷気丁学の基礎知識

(1) 電位×(電圧 E:ボルト)

電気の流れは、水の流れと共通点が多い。図 2-11 のように電気の場合は、水槽の水位に相当するものを「電位」と言い、単位にはボルト(V)を用いる。そして、水位の差が「水位差」であるように、電位の差を「電位差」または「電圧」と言う。

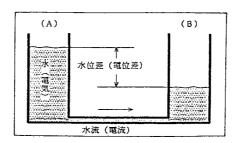


図 2-11 水位差による電位差の説明

#### (2) 電流(I:アンペアー)

めっき作業では、図  $^{2-12}$  のように電源からめっき槽に電気を引き込んで電気分解を行う。この場合には電流は、電源のプラス極 陽極 めっき液 陰極 $^{(}$ 品物 $^{)}$  電源のマイナス極へと流れるが、電子はこれとは逆の方向に移動する。

ところで、水の流れる量は毎秒何リットルと言うように表すが、電流の大きさは、毎秒何クーロンの電荷が移動したかにより表す。毎秒1クーロンの電荷が移動するとき、これを「1アンペアー(A)」の電流と言う。

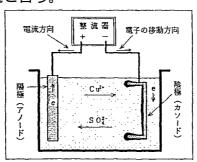


図 2-12 電気めっき槽内の電流分布発生モデル

## (3) 電気抵抗(抵抗 R:オーム)

電気は導線の太さ、長さ、材質によって電気の流れる量が変わってくる。このような電気の流れにくさの程度を電気抵抗また単に抵抗と言う。そして、単位にはオーム( )を用いる。

ちなみに、めっき作業に使われているひっかけ治具用のステンレス材の抵抗は、銅の約33倍で非常に大きい。(表 2-3 参照)

#### (4) オームの法則

これまでは、電気工学的な用語の「電圧」・「電流」・「抵抗」について説明してきた。 次にはこれらの電圧・電流・抵抗を1つの関係で結びつける有名な「オームの法則」につ いて考えてみる。

導体を流れる電流の大きさは、導体の両端に加えた「電圧」に比例し、その導体の「抵抗」に反比例する。これを「オームの法則」と言うが、この法則は電気の基本法則であって、ひっかけ治具の設計や通電機構の改善に役立つから十分理解して欲しい。

いま導体に加わる電圧(E)の単位をボルト、導体の抵抗(R)の単位をオーム、流れる電流(I)の単位をアンペアーとすれば、この法則は次のような式になる。

電圧(E)=電流(I)×抵抗(R)

## (5) ジュール熱

電気は通りやすい銅線の中を流れる時は、殆ど熱を出さないが、二クロム線のように電気抵抗の大きい(抵抗は銅の60倍)導体中を流れると、多量の熱を発生する。

このように、電流が流れることによって、導体に発生する熱を「ジュール熱」と言い、電熱器などはこの熱を利用している。この場合に発生する熱量は、「電流(I)の 2 乗 $(I^2)$ 」と「導体の抵抗(R)」の積に比例する。また「電力」とは電流が 1 秒間に行う仕事のことであって、導体に加える電圧を $(E \cdot \cdot \cdot \vec{\pi} \cdot \vec{\mu} \cdot \vec{\mu})$ 、電流を $(I \cdot \cdot \vec{\mu} \cdot \vec{\mu} \cdot \vec{\mu})$ とすると、 1 秒間に発生する熱量は次式で示される。

「熱量 / 秒 」 = 電圧(E)×電流(I) [ジュール]

## (6) オーム損(W・・ワット)

電源から出た電荷は高いエネルギーを持っているが、この電荷は電流として回路を動き、 いろいろな形でエネルギーを放出し、エネルギーを低くして電源へ戻っていく。電気は熱、 光、力、と言ったいろいろな形の仕事をしてくれるのはこのためである。

一般に工場の配線では、1平方インチ(約600平方ミリメートル)の断面積の銅材で、千アンペアーの通電が基準になっている(安全電流)。これは次式の導体中の「オーム損」を小さくし、導体の発熱を防ぐためである。これを理論式にあてはめると次の通りとなる。

図 2-13 は、電極の本と端とでの電圧降下の差異及び導体中のオーム損の状況を数値で示している。(文献、関昭雄、電気の常識、日本実業出版社)

$$W=I^2 \cdot \frac{L}{S} \cdot p$$

S = 導体の断面積(c m<sup>2</sup>)

L = 導体の長(cm)

= 導体の固有抵抗(・cm)

I = 導体を流れる電流(A)

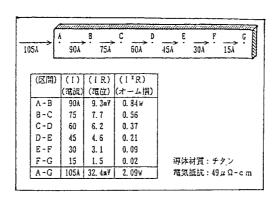


図 2-13 導体中の"電圧降下"と"オーム損"の試算例

(参考出所: D.R.Turner, Plating & Surf. Fin NII.1976)

## (7) 接触抵抗

導体の(A)と(B)を接触させると、接続面に電気抵抗を生じ、"電圧降下"が起きる。接触法を工夫すると接触抵抗が小さくなり電流ロスは減少する。また、接触抵抗は接触の圧力が大きくなるほど小さくなり、導体の電気抵抗が大きいほど、そして導体の素材が硬いほど大きくなる。

## (8) 集中抵抗

図  $^{2-14}$  に示すように、平板導体の中央に切り目を入れ、残った部分の幅を $^{(L)}$ とする。 左右の両導体は $^{(L)}$ 部分で接続していることとなり、この部分の接触抵抗はゼロである。 しかし、導体の幅が $^{(B)}$ である場合に比べて抵抗の増した分が集中抵抗となる。

また、導体の接触に当たっては、両方の導体の断面積が同じでない場合が多い。例えば、 1カ所で接続、通電する場合には、電流は集中して集中抵抗が大きい。これを2カ所で接続して通電すると、導体中に電流の流れる面積が広くなり、断面を増加したと同じことになって集中抵抗が減少する。

この理論から品物とひっかけ治具との通電接点に、「多接点通電方式」を用いると品物の電流のバラツキは非常に小さくなる。ちなみに中路氏は接点数を(n)個に増やすと、集中抵抗は  $\frac{1}{2}$  に減少すると述べられている。

この集中抵抗は、導体の電気抵抗が大きいほど大きくなるから、品物の材質で電気抵抗が大きいとか、導体の厚みが薄く抵抗の大きな品物やプラスチックスへの電気めっきでは、この「多接点通電方式」は品質均一化のために威力を発揮する。

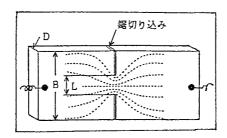


図 2-14 導体に鋸切り込みを入れた場合の集中抵抗のモデル

#### (9) 電圧降下(I・R降下)

ステンレスやチタンなど電気抵抗が大きい導体では、導体中(品物)を流れる電流の電位は場所によって違ってくる。これは導体中で電圧降下が起き、局部における電流密度が違ってくるからである。そのために図 2-15 に示すとおり、品物の各部分で品質特性がバラツキを生じてくる。

図 2-15 平板陰極めっき分布状況

## 2-2-4 ひっかけ治具の材料

## (1) 主軸、枝骨の材料

主軸には主として黄銅(真ちゅう)、銅の線及び板材が使用されているが、枝骨にはばねの力を利用して被めっき物を固定するため、ピアノ線、ステンレス線、ばね鋼、りん青銅、チタン線などが使用される。そして通電に不必要な個所は絶縁する。表 <sup>2-1</sup> に引っかけ材料を示す。

めっき	主軸	枝骨	品物との接触
シアン化銅	銅または真ちゅう	銅または真ちゅう、 りん青銅、ピアノ線 ステンレス線	ばねで接触する
ニッケル	同上	同上	同上
クロム	銅	ピアノ線、かたい真 ちゅう、りん青銅線 でも良い	ばね式(加圧する)
シアン化亜鉛	銅または真ちゅう	銅または真ちゅう、 りん青銅線、ピアノ 線	重力式 <sup>(</sup> チョンが け)
銀	真ちゅう、鉄、銅	鉄、ステンレス、り ん青銅、ピアノ線	動式、ばね式
金	真ちゅう、鉄	同上	同上
真ちゅう	真ちゅう、鉄、銅	同上	同上

表 2-1 ひっかけ材料

## (2) 主軸の太さの決め方

厳密には、用いるめっき液の種別と、使用温度によって区別を要するが、実験結果及び 工場における実際の状況から、流すべき電流の大きさによって表 <sup>2-2</sup> のように大まかな寸 法を決めることができる。

しかし、実際には作業性を良くする意味で、表 2-2 に示す電流の  $2 \sim 3$  倍通電することもある。また、表 2-3 にひっかけ用材料の相対的電導性を示す。

寸法	(mm)	銅	鉄	アルミニウム	真ちゅう	りん青銅
直径	1.0 mm	1.2A	0.2A	0.7A	0.3A	0.3A
"	1.2	1.6	0.3	1	0.4	0.4
"	1.6	3	0.5	1.9	0.6	0.8
"	2.0	5	0.8	3	1	1.4
"	2.6	9	1.5	4.8	1.6	2
"	3.2	20	3.3	7.5	2.5	3.1
"	4.0	27	4.5	11	3.6	5
帯状	3 × 6	31	4	19	6	8
"	3 × 12.5	62	8	38	12	16
"	3 × 25	125	15	76	25	31
"	3 × 50	250	31	153	50	62
"	6 × 50	500	62	305	100	125
"	6 × 75	750	93	457	150	187
"	6 × 100	1000	124	610	200	250
"	6 x 150	1500	186	915	300	375

表 2-2 ひっかけ材料の電流容量(安全電流)

表 2-3 ひっかけ用材料相対的電導性(銅を 100%とする)

		\-	<u> 中加 %07</u>
アルミニウム合金		ニッケル(99.96)	25.2
2017-T4 2024-T3 6061-T4 6063-T6 7075-T6	30% 30 40 50 30	モネル " R " " K " " S "	3.58 2.6 2.5
真ちゅう合金 銅 - 亜鉛 70-30 銅 - 亜鉛 65-35 銅 - 亜鉛 60-40	20 27 28	軟線 ピアノ線 ステンレススチール タイプ 302 タイプ 316	12 11 2.3 2.2 3.4
りん青銅合金	10	タイプ 410 タイプ 430 チタニウム	3.55
りん青銅 " A " " B "	18 13	B265-52T grade2 B265-52T grade3	3.1 3.1
<u> </u>	100		
鉛(99.73)	8.3		

Metal Finishing Guide Book (1959)

## (2) 枝骨の太さの決め方

枝骨の場合は、耐食性を考慮して固有抵抗の大きいばね材(ステンレス、チタンなど)を 使用する場合は、十分な断面積を予定するか多接点式構造を工夫しないと、電流分布が不 均一になるばかりでなく、過小材料ではジュール熱により絶縁塗膜を損傷する。

## 2-2-5 ひっかけ治具の長さの決め方

なるべく、数多くの品物をひっかけに付けるためには、長いほどよいわけであるが、図2-16に示すとおり、めっき槽の深さとアノードの長さ、その他によって制限される。

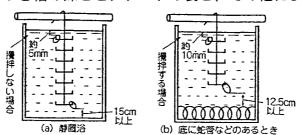


図 2-16 ひっかけ治具と槽の関連

## 2-2-6 ひっかけ治具と品物の接点機構

品物とひっかけとの接触箇所は、めっきが付きにくいことから、接触箇所は不要部を選ぶか、またはさびない場所で、重みあるいはばねのききやすいところがよい。

#### (1) 重力式(チョンがけ)接点

重力式接点は、作業性がよい反面に、通電性が悪い欠点がある。また、バイポーラー現象を起こしてめっき被膜の密着不良を生じることもある。図 2-17 と図 2-18 に事例を示す。



図 2-17 重力式接点の例

図 2-18 重力式接点の欠点

## (2) ばね式接点

ばね式接点は、品物を固定できるため通電がスムーズにできる長所があるが、重力式(チョンがけ)に比べて作業性が劣る。

しかし現在、めっき品質保証が厳しくなり、また生産合理化が要求されてくると、作業性 は悪くてもばね式接点に変えていかないと品質は保証できない。図 2-19 に事例を示す。

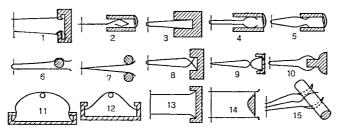


図 2-19 ばね式ひっかけ接点機構の例

## (3) ばね式多接点

めっき電流分布を均一化するためには、表面積の大きい品物ほど、また素材金属の固有 抵抗が大きくて、薄肉素材であるほど多接点方式の効果が大きい。

プラスチック上の電気めっき作業では、きわめて薄い化学めっき層上に接点を設けるので、品物表面積に適合した多接点機構を採用しないと、接点焼けを誘発することがある。

多接点方式では接続抵抗の内、つぎのように集中抵抗を軽減して"オーム損"を小さくする。

導体の端から通電する場合の導体中のオーム損 $(W_0)$ は、次の理論式による。

$$W_0 = \frac{1}{3} \cdot I^2 R$$
 RはAB間の抵抗、Iは全電流

従って、オーム損が大きい場合には、導体ABの中で電流主供給部と先端の方で電流 密度の差が大きく、電流分布は不均一となる。

導体の n 個の接点から、  $\frac{1}{n}$  の電流を供給する場合は、導体の中で生じるオーム損は  $\frac{1}{n^2}$  に減少することが知られている。図 2-20 に品物と電流分布図の関係を、図 2-21 に多接点枝骨の事例を示す。 (参考資料、中路、電気化学用電気技術、オーム社、1953)

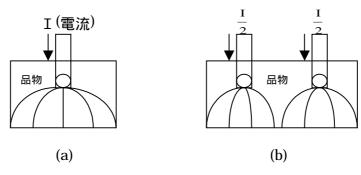


図 2-20 品物と電流分布図

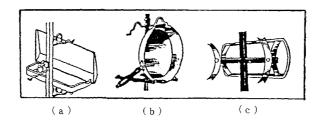


図 2-21 多接点枝骨の例

## 2-2-7 ひっかけ治具と陰極棒(ブスバー)との接触法

ひっかけと陰極棒との電気的接触を良くすること(接触抵抗を小さくすること)が大切であって、不完全な接触だとめっきが付かなかったり、二重めっきになってめっきがはがされたりすることがある。その形式は図 2-22 にように種々ある。

(a)は陰極棒と同一の半円にすると全面的に接触するが、実際は同心円にすることが困難であるため、一線接触になったり、はなはだしいものは点接触となり、大電流密度を流す場合は接触部の過熱がはなはだしい。

小物の部分には(b)、(c)の形のものが多く使われている。大電流密度のときは(d)、(f)のように角または板の接触棒に同じく板材のラックの使用が好ましい。

さらに電流を確実に長時間通すようにするにために、(e)、(f)のようにボルトで締め付ける方法がある。

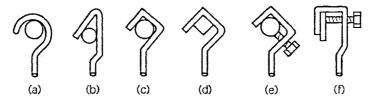


図 2-22 ひっかけ治具と陰極棒との接触形式 1

陰極棒への取り付け、取り外しが楽にできるように、図  $^{2-23}$  のように、柄をつけると良い。またボルト締めの手間を省くために、図  $^{2-24}$  のようにボルトをばねに置き換えると良い。

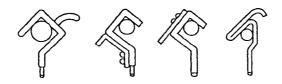


図 2-23 ひっかけ治具と陰極棒との接触形式 2



図 2-24 ひっかけ治具と陰極棒との接触形式 3

## 2-2-8 めっき浴中の品物配置

- (1) めっき浴中における品物の位置
  - a. 図 2-25 に示すとおり、アノードからの距離を等しくする。
  - b. 自動車のバンパーのように片側だけ付けるものは、付ける方をアノードに近づけるようにひっかけを考える。
  - c. 図 2-26 にめっき浴中における被めっき物の動きを示す。(a)では、ガスの痕がめっき面につき、また図 2-26(c)では内部にガスがたまって、内部にめっきできない箇所がある。
  - d. 片側が閉じられたものは、液の汲み出しに注意する。図 2-26(e)では汲み出しが多い。
  - e. 隣の品物及びひっかけ治具と接触しないことが必要である。

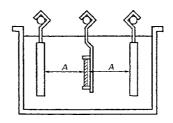


図 2-25 めっき浴中の品物の位置

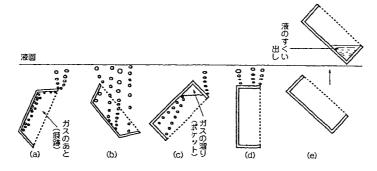


図 2-26 めっき浴中における被めっき物の動き

## (2) 品物上端と液面との間隔

ひっかけ治具の最上段に配置された品物の凸部分には、一般的に電流が集中して、めっ き欠陥が多く発生しやすい。この傾向は品物と液面の関係に比例して顕著に現れる。

図  $^{2-27}$  に示すとおり、実際のめっき配置においては、めっき浴の液面管理を徹底すると同時にひっかけ治具設計の標準化液面管理により、この間隔を最小限に維持 $^{(5\sim10\ mm)}$ し、電流の集中を避けることができる。

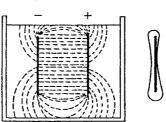


図 2-27 槽内めっき配置とめっき分布状況

# (3) 品物と陽極との間隔

めっき面の凹凸が大きい品物のめっき配置については十分な極間距離を予定しないと均一電着性が悪くなる。これは、めっき電流分布の一般式において、めっき浴の均一電着性 (二次電流分布として考える)を良くするには液の伝導度(K)及びi<sub>1</sub>とi<sub>2</sub>間の陰極分極曲線勾配(dE/di)が一定の場合、両極間の距離(d $_1$ または(d $_2$ )を大にすれば良いことが判る。

図  $^{2-28}$  にて両極間隔の大小によるめっき分布の変化を示す。

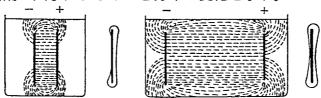


図 2-28 両極間隔の大小によるめっき分布の変化

特に、2-2-2 の式(2)における電導度(K)と分極極性勾配(dE/di)の相乗積が小さいめっき浴、つまり均一電着性の悪い浴では、両極間距離を十分に確保するよう注意しなければならない。参考までに一般に用いられているめっき浴の電導度と分極曲線勾配の相乗積は次の通りである。

光沢シアン銅浴 3.31 光沢シアン化亜鉛浴 1.47 シアン化亜鉛浴 0.634 光沢ニッケル浴 0.178

シアン化銅浴 2.41 光沢シアン化銀浴 1.24 酸性銅浴 0.522 ワットニッケル浴 0.157 アルカリ性スズ浴 2.21 シアン化銀浴 1.19 光沢酸性銅浴 0.356 酸性亜鉛浴 0.085

#### (4) 品物の下端と槽底との間隔

めっき槽の底壁も前述した液面と同様にひっかけ治具の最下端部に集中する電流線を切るしゃへい物の役目をしている。一般に槽底部には、空気かくはんパイプや落下防止網などの障害物を配置しているために、品物から槽底までの距離を大きく取りがちであるが、均一めっき分布の建前からすると、必要最低限(150~200 mm)に止めるのが良い。

なお、この対策としては陽極と品物最下端の間の電流線を切るしゃへい物を槽底に配置するか、または陽極長を適当(全長の約 $^{10}$ ~ $^{15}$ %)短くする。図 $^{2-29}$  に品物の下端を槽底に付けた場合のめっき分布を示す。

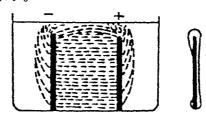


図 2-29 品物の下端を槽底に付けた場合のめっき分布

## (5) 品物相互の上下と左右の間隔

品物相互の裏面に均一なめっき分布を予定するためには、品物相互の上下左右間隔を十分考慮しためっき配置が必要であるが、これらの間隔を必要以上に大きく取りすぎると、 品質管理は容易になっても槽内の品物配置個数が減少して、設備の生産性を悪くする結果 となる。

従って、品質と能率の関係を十分考慮した上で最も合理的な配置設計を行わなければならない。もし、対陽極側だけに限定した品質規格の品物に関しては、一般に両極間距離は、あまり神経質になる必要もないが、めっき面形状が複雑で凹凸がある場合には、できるだけ間隔を広げる必要がある。

## (6) 品物相互の裏面間隔

品物裏面のめっき品質が検査の対象になる場合は、裏面相互間隔を適当に確保しためっき配置にしなければならない。しかし、この設計にあたって品物上下間隔と槽内における左右の品物間隔が影響することも考慮する必要がある。一般に表面積の小さい品物配置では、品物の上下、左右間隔が比較的大きくとれるので裏面間隔は狭くすることもできるが、表面積の大きい品物では、十分裏面間隔を確保して、裏面へのめっき分布の均一化を図る必要がある。よって、槽形状によるが、一般には千鳥型の品物配置が効果的である。図 2-30 に千鳥型の品物配置の効果を示す。

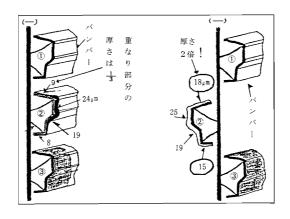


図 2-30 千鳥型の品物配置の効果

## (7) 緩衝式品物配置

尖った品物などでは凸部分に電流が集中するため、図 2-31 のような緩衝式配置法を用 いた方法が効果的である。

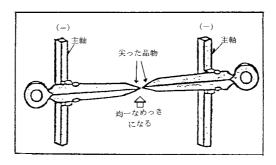


図 2-31 尖った品物による緩衝式配置の例

# 2-2-9 補助陽極の利用

補助陽極は、図 2-32 に示すように人為的に電流分布を改善するために配置する。特に、 陽極からの間隔が広いとか、極端に凹部の陰極電位が小さい場合、図 2-33 のように電流 分布が悪くなるため、図 $^{2-34}$ のように補助陽極を活用すると、めっきの析出電位が大き くなり、よって均一電着性が向上し、被覆力も強くなる。

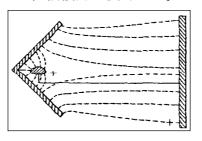
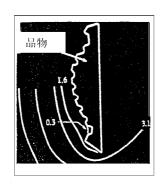


図 2-32 補助陽極と電流線



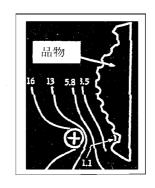


図 2-33 補助陽極未使用の凹部分の電流 図 2-34 補助陽極利用後の凹部分の電流

## 2-2-10 補助陰極の利用

補助陰極は"かぶり止め"といって、電流線の密集している高電流密度の区域に配置す る。一般に小さい断面の導体で陰極に接続し、図 2-35 に示すように高電流密度部分の電 流密度を軽減する目的に使われる。

この結果、主陰極の電流密度は平均化されるが、補助陰極に電流が流れ、めっきが析出するので、電流と金属分の消費は避けられない。図 2-36 にその効果を示す。

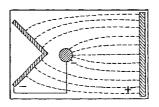


図 2-35 補助陰極と電流線

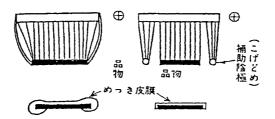


図 2-36 補助陰極の効果

# 2-2-11 しゃへい板の利用

一般に品物の凸部や鋭い角部に電流が集中するような場合に、図 2-37 に示すように、 しゃへい板を活用すると凸部や角部への電流が平均化され、強電流によるめっき欠陥が防 げる他に、"かぶり止め"利用と同じように高電流密度作業が容易になる。

図 2-38 は、しゃへい板配置後の電流線を示している。

また、図 <sup>2-39</sup> はしゃへい板がないと黒色部のように凹部のめっき厚さが薄いが、しゃへい板の使用によって、めっき厚さが平均化されることを示す。

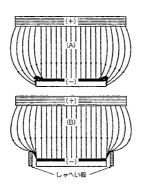


図 2-37 凸部によるしゃへい板の効果(凸部分に平均的に付く)

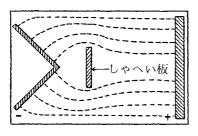


図 2-38 しゃへい板と電流線

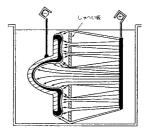


図 2-39 凹部によるしゃへい板の効果 (凹部分に良く付き回る)

## 2-2-12 バイポーラー極の利用

バイポーラー極(双極)現象を利用して、この極を品物の凹部付近に配置すると、図  $^{2-40}$ に示すように補助陽極に近い効果が得られる。

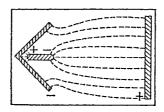
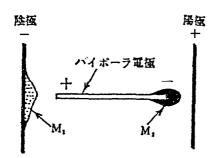


図 2-40 バイポーラー陽極の配置モデル

バイポーラー極は品物(主陰極)に近い端が溶解し、他端においては金属が析出してくる。 従って、極の材質としては電析する金属と同一材質のものか不溶解電導体を使用する。

なお、極の配置については電流密度を補足してやる位置に近づけて保持しているだけでなく、陽極、陰極に接触しないように十分注意しなければならない。図  $^{2-41}$  にバイポーラー電極構成のモデルを示す。



M1: 陰極部についためっき

 $M2: \mathcal{N} \cap \mathcal{N} \cap \mathcal{N} \cap \mathcal{N}$ 

図 2-41 バイポーラー電極構成のモデル

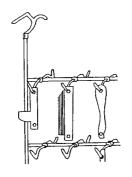
## 2-3 ひっかけ治具の種類

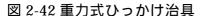
ひっかけ治具は電気めっき生産に広く使用されている。次に主なめっき種用のひっかけ 治具について述べる。

## 2-3-1 装飾用貴金属めっき

装飾用貴金属めっきでは、一般に外観性を重視する割にはめっき膜厚が薄いものが多い ので、図 2-42 に示す重力式(チョンがけ)による接点でも良い。

例えば、洋食器に使用されるホーク、スプーンなどの穴のない品物は、図 2-43 のよう な重力式のひっかけ治具が用いられる。





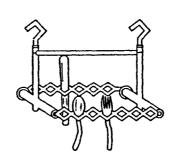


図 2-43 食器用ひっかけ治具

アクセサリーなどに使用する鎖状の品物では、図 2-44 の重力式接点を利用する。 また、食器などの皿状の装飾用貴金属めっきの場合は、図 4-45 のような治具を利用し、 ばね式接点方式を用いる。

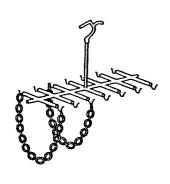
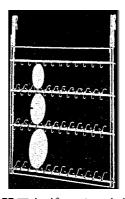


図 2-44 アクセサリー用ひっかけ治具 図 4-45 食器皿などのひっかけ治具



メガネなどの装身具で、めっき膜厚の規格がある品物では、写真 2-2 のようなバネ式接 点方式を利用する。



写真 2-2 メガネフレーム用ひっかけ治具

## 2-3-2 機能めっき

めっき皮膜の機能の保証を要求される電子部品や機械部品などでは、ひっかけ治具の基礎知識を十分理解して、通電接点やめっき槽内の品物配置を創意工夫しなければならない。

とりわけ、品物の内面に所定のめっき膜厚を付ける場合は、図 2-46、図 2-47 のような

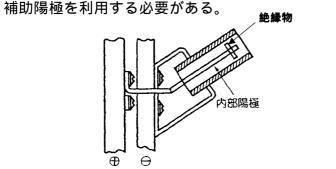


図 2-46 補助陽極利用例 1

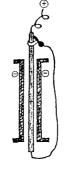


図 2-47 補助陽極利用例 2

## 2-3-3 亜鉛めっき

亜鉛めっき浴には、シアン化亜鉛浴、ジンケート浴、酸性浴などがあって、それぞれのめっき浴では均一電着性が異なる。従って、次のようにひっかけ治具の設計にも注意する必要がある。

## (1) シアン化亜鉛浴

シアン化亜鉛浴は均一電着性が良いので、前項 2-2-6 に示した図 2-17 及び図 2-48 に示すとおり、一般には重力式(チョンがけ)でひっかけ治具が使用されている。また、長尺物による重力式ひっかけ治具を図 2-49 に示す。

この接点は品物の着脱に対し、非常に作業性が良いので、広く普及している。しかし、 接点の動揺があるため、高電流度作業が難しく、作業能率が極めて悪い。

従って、ISO9000シリーズ等による品質保証が厳しく、またコスト低減を図るためには、ばね接点方式のひっかけ治具に変える必要がある。



図 2-48 重力式ひっかけ治具図

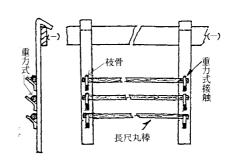


図 2-49 長尺物重力式ひっかけ治具

## (2) ジンケート浴

ジンケート浴はシアン化亜鉛浴に比べて均一電着性や被覆力が劣るため、重力式(チョンがけ)ひっかけ治具を避けて、前項 2-2-6 の図 2-19 に示すように、ばね式接点の使用を奨める。

#### (3) 酸性浴

酸性浴の場合は、ジンケート浴よりも更に均一電着性が悪く、低電流密度部分への被覆力も劣るので、一般に複雑な形状の品物は避けるくらいである。

なお、電解式前処理工程(脱脂・防錆など)では裏面や凹部分の処理効果が悪くなるため、 前項 2-2-6 の図 2-19 に示すばね式接点を利用する必要がある。なお、参考までに写真 2-3 にバネ式接点ひっかけ治具を示す。



写真 2-3 バネ式接点ひっかけ治具

## 2-3-4 耐食及び装飾用銅・ニッケル・クロムめっき

#### (1) 銅めっき

シアン化銅めっき浴は、均一電着性が良いので、シアン化亜鉛浴と同じ要領でひっかけ 治具を使用することができる。 しかし、硫酸銅めっき浴は、酸性亜鉛めっき浴のように均一電解性と被覆力が悪いため、 ばね式接点のひっかけ治具が必要である。

#### (2) ニッケルめっき

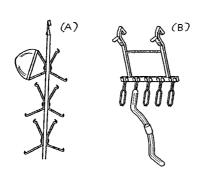
ニッケルめっき浴も均一電着性と被覆力がシアン化めっき浴に比べて良くないので、本来はばね式接点を用いる必要があるが、現在でも作業性の点から重力式(チョンがけ)ひっかけ治具を用いている工場が多い。

しかし、品質管理と作業能率(めっきスピード)の点から考えると大いに反省の余地がある。多品種少量生産の場合には、写真 2-4 のような"からげ式ひっかけ法"を巧に利用すると良い。



写真 2-4 銅線 "からげ式"ひっかけ法

図 2-50、(A)・(B)は、代表的な銅、ニッケル、クロムめっき連続めっき(ストレートめっき)用のばね式ひっかけ治具である。図 2-51 は、小物に治具に使って枠型にひっかけたモデルである。



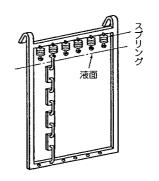
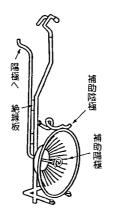


図 2-50 銅、ニッケル、クロムストレート 図 2-51 小物用の枠型ひっかけ治具 めっき用のひっかけ治具

## (3) クロムめっき

クロムめっきは、最も均一電着性と被覆力の悪いめっき浴であるため、図 2-52、図 2-53、図 2-54 のように凹部の深い品物については、補助陽極の付いた専用ひっかけ治具が必要である。

なお、銅・ニッケル・クロムストレートめっき用ひっかけ治具についても、全品物にできるだけ均一に電流を流すように通電接点構造と品物の槽内配置を工夫する必要がある。



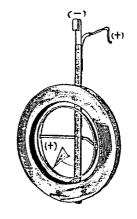


図 2-52 補助陽極付のクロムめっき専用 ひっかけ治具

図 2-53 内側に補助陽極配置のクロム めっき専用ひっかけ治具

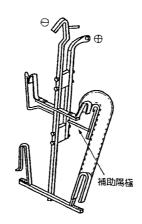


図 2-54 補助陽極付のクロムめっき専用ひっかけ治具

## 2-3-5 プラスチックス用めっき

プラスチックスは不導体であるため、はじめに  $0.1 \sim 0.3 \, \mu \, m$  程度の無電解ニッケルまたは無電解銅めっきを施して、その薄い金属被膜に接触通電(接点設計)して電気めっきを行うことになる。

この通電接点については、ひっかけ治具の設計を考慮して図 2-55 のように成形金型設計時にボスを設けておくような工夫が必要である。

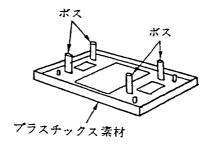


図 2-55 通電接触専用のボス

ツマミ、ボタン類では前処理(無電解めっき析出まで)工程で、バスケットに多量に入れて処理できるので、その後にひっかけ治具に品物を掛けることになる。

しかし、大型成型品の場合は、前処理から電気めっき(一般に、銅・ニッケル・クロム)まで同一のひっかけ治具を用いるため、接点の形状や点数の設計については、ばねを弱めて接点を増やすなどの慎重な注意が必要である。

なお無電解めっきは、液管理の不備により品物ばかりでなく、ひっかけ治具にも析出し、 その結果、電気めっきが難しくなるので、液管理にも十分注意しなければならない。

とりわけ、プラスチックスへの電気めっきでは、ひっかけ治具の設計と日常管理が大事である。次にその要点を列記する。

- a. ひっかけ治具の防鍍コーティングゾル材質には、無電解めっきが析出し難い物を選ぶ。
- b. ひっかけ治具の枝骨材質には、前処理液に侵されずにばね性と通電性の良いものを選ぶ。一般にステンレス材が用いられている。
- c. 接点部分に付いためっき金属は、均一な通電を阻害するため、適宣に薬品浸漬剥離 をまたは電解剥離を行う。

#### 2-3-6 工業用クロムめっき

工業用クロムめっきには、一般にサージェント浴が用いられているが、非常に均一電着性が悪い。

従って、めっき皮膜を厚付けする場合には、ひっかけ治具の設計でめっき分布を均一化 しないと、寸法精度を上げるための後加工(研磨)に無駄な工数をかけることになる。

なお、工業用クロムめっき用陽極材には、アームコ鉄、鉛合金が用いられている。ところが補助陽極材には加工性の良い鉄材が多く用いられているが、めっき中に溶解して鉄不 純物を増加してめっき液性能を劣化する原因となるので奨められない。

寸法精度の優れた工業用クロムめっきを行うためには、補助陽極、しゃへい板などを巧 に組み合わせて、ひっかけ治具を設計する。

#### (1) 補助陽極

図 2-56、図 2-57、図 2-58、図 2-59、図 2-60、図 2-61 に補助陽極を組み合わせた配置 例を示す。

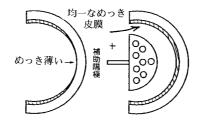
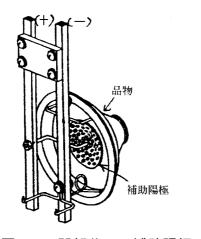


図 2-56 補助陽極の効果(補助陽極にガス抜き穴を開ける)



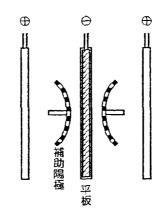


図 2-57 凹部分への補助陽極の配置例

図 2-58 平板にめっきする場合の補助陽極の 配置例

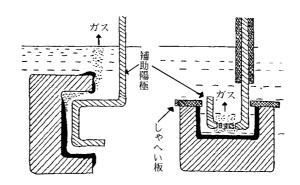


図 2-59 凹内面に均一にめっきする場合の品物と補助陽極の配置例

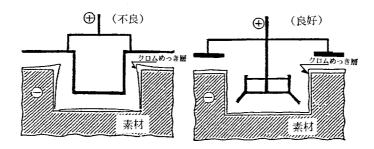


図 2-60 凹内面に均一にめっきする場合の補助陽極配置の例

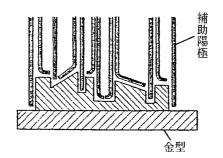


図 2-61 金型用補助陽極配置例

## (2) 補助陰極

補助陰極を組み合わせた配置例を図 2-62 に示す。

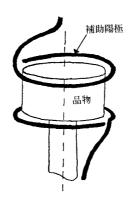
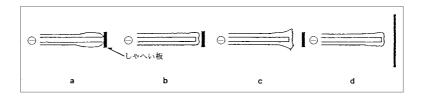


図 2-62 凸部分や角部への補助陰極配置例

# (3) しゃへい板の利用

しゃへい板の利用例を図 2-63、図 2-64、図 2-65、図 2-66 に示す。



a:端部に密着した場合 b:狭いしゃへい板で近距離の場合 c:狭いしゃへい板で広い間隔の場合 d:広い幅のしゃへい板で広い間隔の場合

図 2-63 しゃへい板の幅と陰極端部の間隔とめっき分布状況(クロムめっき)

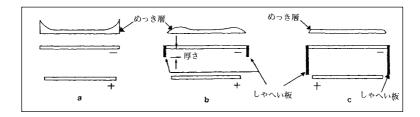


図 2-64 しゃへい板の形状によるめっき分布変化の図解(クロムめっき)

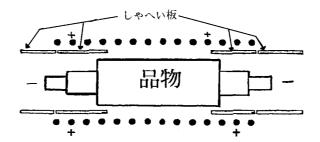


図 2-65 しゃへい板による均一めっき法の例 1

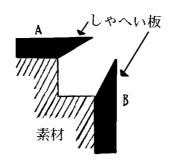


図 2-66 しゃへい板による均一めっき法の例 2

# (4) 補助陽極としゃへい板の併用

補助陽極としゃへい板を併用した例を図 2-67 に示す。



図 2-67 凹部分に補助陽極としゃへい板を併用した例

## (5) 補助陽極と補助陰極の併用

補助陽極と補助陰極を併用した例を図 2-68 に示す。

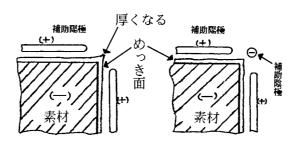


図 2-68 補助陽極と補助陰極併用例

## 2-4 ひっかけ治具の製作

現在、ひっかけ治具の設計、試作、製作を自社で行っている企業は非常に少ない状況である。もし製作が自社でできないとしても、設計及び試作は自社で行い、責任をもって欲しい。そこで、次にこれらの点について要点を述べる。

## 2-4-1 独自の設計ノウハウ蓄積と設計技術者育成の必要性

よく「人手不足対策と、コストダウンを狙って自動設備を導入したが、かえって不良と 残業が増えてきた!」と言った話を聞くが、その真相は自動設備の"手"に相当する「ひっかけ治具」の設計・試作技術に問題がある場合が多い。このような工場では設備設計の 以前に、自社の生産形態に十分合致した"ひっかけ治具"を設計・試作できる工作部門の 充実を図る必要がある。また特殊な仕様や部品については、逐次、専用化及び特殊化計画 を進めることで、小回りの利いた生産ラインができあがる。

ひっかけ治具の性能を向上して電流分布管理を徹底すれば、残業時間を短縮でき、さらに材料費や不良仕損費などのムダを減らせるならば、いますぐ、計画・実施したいと言った要求が出るかもしれない。

そんな工場では、早速、電流分布管理の基礎知識を勉強し、既存のひっかけ治具の改善と標準化に取り組んで欲しい。その後に機能と寿命を点検し、製作の方法を検討・改善すれば良い。地味ではあるが、基本的にひっかけ治具の生産的役割と価値を認識できれば、特別な仕様の品物や特殊な形状の品物から、専用化及び特殊化を進めていくのが良い。

ただ、従来のような外注製作工場に依存した設計・試作だけは、早く改めて欲しい。 図 2-69 は自社における独自なひっかけ治具製作用図面例である。

もともとめっき工場の生産技術は、熟練技能者の優れた個人技が基盤となり支えられているだけに、生産技術に関する"生産ノウハウ"の伝承ととともに「ひっかけ治具設計者」の育成と活用は、めっき企業の将来を決めるポイントになると言っても過言ではない。

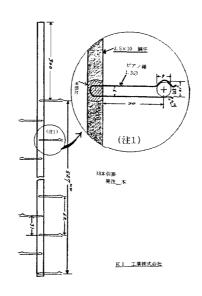


図 2-69 ひっかけ治具設計略図例

### 2-4-2 枝骨の加工

ひっかけ治具の耐久性を支配するものは、枝骨の耐久度であると言えるくらいである。 従って、枝骨の構造については、ばね性を保持しながら、しかも防鍍コーティング皮膜を 破損しないような構造を工夫する必要がある。

図 2-70 は、枝骨の耐久性を向上するために改良したものの一例である。

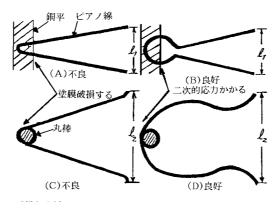


図 2-70 改良型枝骨の例

## 2-4-3 主軸と枝骨の接合

一般に主軸への枝骨の接合は、はんだ付け加工で行われている。しかし、ばねの強い構造の枝骨や枝骨材の大きな場合には、ネジ止めまたはリベット止めのままの接合では、各枝骨間の接触抵抗が変わってきて、品質バラツキが大きくなるので、はんだ付けやろう付けを併用しなければならない。

#### 2-4-4 防鍍コーティング材

電気的な接触箇所以外はすべて電気的及び化学的に絶縁すべきである。ひっかけ治具の絶縁物としての条件は次の通りである。

耐薬品性が大きいこと

急冷、急熱、摩耗、衝撃に耐えること

ひっかけ治具との密着が良いこと

水切れが良く、液の汲み出しが少ないこと

絶縁物にピンホールがないこと

ひっかけ治具用コーティング材には表 2-4 のものがあるが、一般にはプラスチゾルとポリエチレン材が多く使用されている。

表 2-4 ひっかけ用コーティング材の比較

項目	プ <sup>°</sup> ラスチソ゛ル	天然ゴム 合成ゴム	ラッカー類	<b>ポリエステル</b>	シリコーン	<b>ポリエチレン</b>	エボキシ樹脂	
コーテンク゛価格	普通	高い	低	高い	高い	きわめて 高い	普通	
耐酸性	優	良	りかり	強酸不良 弱酸良	優	強酸不良 弱酸優	良	
耐アルカリ性	優	良	りかり	りかり	良	優	優	
耐酸化剤性	良	不良	身かけ	不良	優	良	良	
密着性	優	優	良	優	優	不良	優	
耐熱性 93	良	優	良	良	優	優不良		
皮膜厚さ	1回 0.125	限度なし	最高 0.005	限度なし	注意	限度なし	限度なし	
備考	補修可能	補修に注 意を要す る	耐性劣る	熱または 触媒要	補修、触媒 ガラスベース 要	使用しに くい	もろく使 用しにく い	

### 2-4-5 防鍍コーティング加工法

最近、防鍍コーティング材の性能は向上したが、その加工法を誤るとひっかけ治具は寿命が短くなる。とりわけ、枝骨部分の防鍍コーティング皮膜が破損しやすいので、密着性の良い皮膜を適正厚さコーティングしなければならない。次にコーティング加工の手順を述べる。

#### (1) コーティング面の洗浄

主骨・枝骨の表面に、成形・接合時のフラックスや油が付着していると、塗膜と素地との密着性を阻害するので、完全洗浄後に十分乾燥する必要がある。コーティング面は荒い方が塗膜の密着性が良いので、サンドブラスト加工するのが良い。

## (2) プライマー塗装

コーティングされるプラスチゾル自体には、素地との密着性が悪いので、事前に次項の プライマー塗装が必要である。

- a. プライマー塗装中に浸漬またははけ塗りするか、部分的に塗ることもある。
- b. プライマー塗装を塗布後、約20~40分間常温乾燥する。
- c. 乾燥後、焼付炉に入れて約 160 で 10~15 分間焼付温度と時間がばらつくと、密着性は大きくばらつくことになる。

## (3) プラスチゾルのコーティング

前工程で予熱したひっかけ治具は、できるだけ温度を下げないように注意して、ゆっくりとプラスチゾル塗料の中に浸漬する時間を早めると空気を持ち込んでピンホールになる。浸漬後は、塗膜が十分成長し終わるまで、ゆっくりと動揺しながら抱き込んだ気泡を逃がす。次いで成長が終了したら、静かに引き上げて余分の塗料を落としてやる。続いて塗料の"たれ"を十分除いたら、170 ~ 200 で 15~ 20 分間焼き付ける。

完全に焼き付けられた塗膜は、つやがあるばかりでなく、強く引っ張っても切れないくらいの弾性がある。高温部分は、塗膜に亀裂を生じるので、炉内の温度分布に十分注意する。もしも所定膜厚に達しなかった場合は、同じ要領でコーティング作業を2~4回繰り返すと良い。図 2-71 に防鍍コーティングの注意事項を示す。

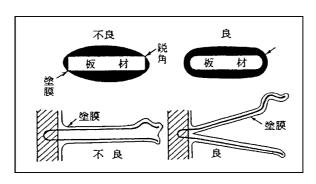
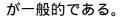


図 2-71 防鍍コーティングの注意事項

## 2-4-6 枝骨通電接点の露出

ひっかけ治具のコーティング加工が完了したものに対しては、必要最低限の接点を露出する。理想の接点露出作業は、品物の掛け具合を十分心得て、慎重に塗膜の切除を行う。

特に、各種接点機構の露出作業にあたっては、専用の切除用ナイフ、やすりを使用する。 なお、接点の露出で注意することは、写真 2-5 に示すように、各種品物に兼用するよう に過剰にコーティング皮膜を剥がさないことである。写真 2-6 及び図 2-72 のような露出



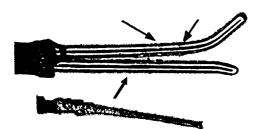


写真 2-5 接点露出過剰例(矢印)



写真 2-6 標準的な接点露出例

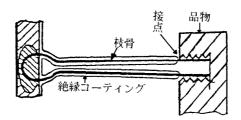


図 2-72 標準的な接点露出例

また、写真 2-7 のように品物との接触部分だけを露出する接点、つまり"理想接点"を工夫すると、めっき品質向上に役立つばかりでなく、接点とのめっき析出が殆どないので、"めっきぶとり"の剥離作業が非常に楽になる。

ただし、防鍍コーティング皮膜の密着を良くしておかないと、処理液やめっき液を次工程に持ち込むことになるので注意を要する。

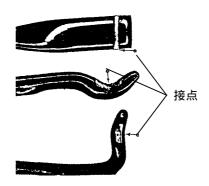


写真 2-7 品物との接点のみを露出した"理想接点"の例

## 2-5 ひっかけ治具のメンテナンス

ひっかけ治具のめっき生産における大事な役割は、前述してきた通りであるが、その役割を十分活かすためには、設計もさることながらメンテナンスの拡充が不可欠である。

## 2-5-1 メンテナンス専任者の配置

これから先、めっき企業が新しい需要を開拓して生産の付加価値を高めていくためには、「良い品質のめっき」を「できるだけ早く」そして「より安く」提供する生産的サービスが常識になってくる。

このような工場経営の条件を満足するためには、まず生産組織の一つとして電流分布管理(ひっかけ治具開発・設計)及びメンテナンス部門を設け、責任者を置くことを勧める。

特に、ひっかけ治具の開発・試作・設計そして日常のメンテナンス業務に経費をかける ことは、一見ムダのように思われるが決してそうでない。

これから先、めっき生産の技術や技能そして管理面などソフトな生産技術を重視する生産合理化の時代が来ることを考えてみると、工程管理や作業改善の徹底とともに付属設備として最も重要な役割を果たしているひっかけ治具の性能向上などに思い切って予算を配分する経営意識を改めることが必要である。

なお、管理責任者は、表 2-5 に示すような「ひっかけ治具管理台帳」を記録する必要がある。

表 2-5 ひっかけ治具管理台帳

製作		社		購入日	平成	年	月	日	
名称		反射板 2 ケ掛け		品物掛数				個	
主骨		銅材 25×3	3	めっき工程	Cu - Ni - Cr				
枝骨		ステンレス 2 3 点接点	2 mm線						
めっき剥離		電解剥離法							
保守状況	予定	内容							
	/								
	/								
	/								
	/								
	/								
	/								
	/								

### 2-5-2 陰極棒と接触面の清浄化

めっき工場では陰極棒及びひっかけ治具頭部の通電接触面を清浄化する習慣がほとんどない状況である。将来、機能めっき加工が増えてきて、ロット品質のバラツキを小さくすることが厳しく要求されてくると陰極棒と各ひっかけ治具の接触抵抗の違いが問題になる。それはロット品質のバラツキは図 2-73 に示すように予想外に大きくなってくることが判っている。

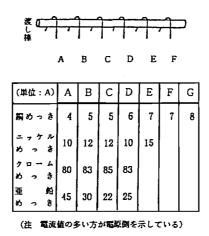


図 2-73 陰極棒とひっかけ治具の接触と通電バラツキの状況

ちなみに、図 2-74 には銅材の陰極棒が汚れて酸化被膜がある場合()と清浄化した場合()の接触抵抗の格差が示されている。これらの点から、とりわけ自動化生産ラインでは 汚染が激しいため、定期的な清浄化作業が不可欠である。

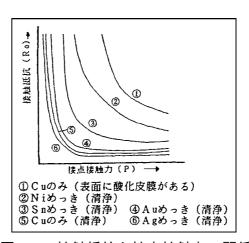


図 2-74 接触抵抗と接点接触力の関係

## 2-5-3 枝骨接点の金属剥離

ひっかけ治具の生命は接点にあると言って過言ではなく、それ故に接点に付いた析出金属つまり"接点めっきぶとり"は常に剥離して正常に保っておかねばならない。

この"接点めっきぶとり"を剥離する方法として次の点があげられる。

物理的にペンチやハンマーで除く方法

化学的に酸で溶解する方法

電気化学的に溶解する方法

以上があげられるが、枝骨の素材を損傷しないで、しかも早く金属を剥離する方法を用いなければならない。

#### (1) 物理的方法

この方法は一般に敬遠されがちであるが、熟練した作業者が上手にハンマーでたたくと 防鍍コーティング被膜を損傷しないようにできる。

写真 2-8 に示すような理想接点の場合は、比較的に簡単に行うことができる。



写真 2-8 枝骨めっきぶとりの物理的方法の例

#### (2) 化学的方法

この方法は硝酸などを用いて浸漬剥離するもので、簡単に多量のひっかけ治具を剥離できるが、有害ガスを発生したり、ひっかけ治具を損傷しやすいのが欠点である。

また、処理廃液は巧に処理しないと公害発生源になるので注意しなければならない。

#### (3) 電気化学的方法

電気化学的剥離方法は、ひっかけ治具を陽極にして析出した金属を電解剥離する方法である。最近はひっかけ治具の枝骨を適当に選択すれば接点部分を浸食しないで電解剥離する薬品がいろいろ市販されている。

また、電解条件及び電解液の管理を適切に行えば、半永久的に使用可能なものもあるので、廃水処理上からも便利である。

なお、接点部分を浸食しないように剥離するためには、めっき後に毎回電解処理すると 良い。さらに、自動化生産ラインの場合には、ライン中に電解剥離工程を組み込むことも できる。

## 2-5-4 主軸、枝骨の補正

写真 2-9 のように、ひっかけ治具の保管専用台車を設け、日常管理を徹底していると主軸の変形も少ないが、乱雑に取り扱っている工場では、図 2-75 のように主軸が曲がってロット品質のバラツキを大きくするので注意しなければならない。

また、枝骨のばね性もひっかけ治具によって強弱を生じて不良発生の直接原因になることがある。

従って、メンテナンス要員は主軸と枝骨の補正に十分注意する必要がある。

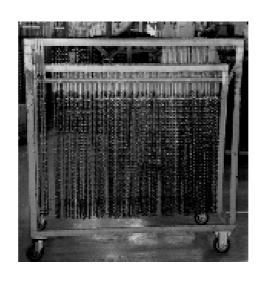


写真 2-9 ひっかけ治具専用台車による保管方法

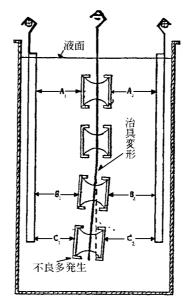


図 2-75 主軸の変形補正の必要性

#### 2 - 6 これからのひっかけ治具改善・開発の指針

最近の「ひっかけ治具」は、めっき設備の自動化やプラスチゾル焼付け絶縁コーティング技術の普及で大型になり、また、耐久性も良くなった。

しかし、その性能は特殊な機能めっき用の治具を除き、充分とは言えない。

こんな状態ではとても将来、めっき工場の生産性向上や品質向上、そして労働時間の短縮など難しいと考え、「ひっかけ治具」の生産的役割を改めて見直し、これからの改善・開発のあり方を考えてみる。

ちなみに、図2-76は、ひっかけ治具開発の主なポイント6点を開示している。

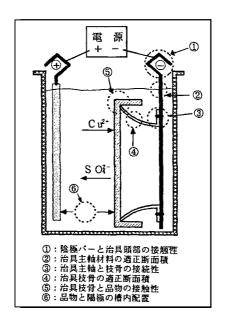


図 2-76 品物(被めっき物)への電流を均一に流す通電の 6 ポイント

### 2-6-1 ひっかけ治具改善・開発の必要性と効果

現場で実際にめっき膜厚を測ってみると驚くことがある。それは品質規格では最低膜厚8ミクロンとなっているのに、10ミクロンとか、13ミクロンの過剰なめっき膜厚の品物が多い。このような「生産のムダ」は、厳しく最低膜厚の保証を要求される機能的な貴金属めっきやはんだめっきなどで、ロット返品に悩まされている職場に多い。

将来、小ロット・短納期化そしてロット品質保証の要求が強まってくると、このように 過剰な膜厚を黙認しながらロット返品を予防するのは、最小のコストで最高の品質を提供 する技術サービスのあり方として大いに反省しなければならない。

このためには、めっき作業管理や品質管理の徹底もさることながら、めっき槽内の電流 分布を自由自在に管理、調整するために、ひっかけ治具の改善・開発が不可欠なのである。

ところで、人間の健康を維持していくためには、体の隅々まで血液を流すことのできる 健全な心臓と、正常な血管が必要になってくる。 もしも血管が動脈硬化現象を起こせば血液の循環機能に障害が起きて、脳梗塞や心不全症 になり手当を誤ると瀕死の重体になる。

同じように電気めっき生産においても、被めっき物(品物)の隅々まで均一に電流を流すことができなければ、当然、品物の各部分で局部的な電流密度がバラツクため、めっき品質はもちろんのこと、作業能率や生産効率までも悪くなってくる。ところが、生産の現場では、この"局部的な電流密度"の調整・管理につき、ほとんど専門的に検討されていないのは不思議である。

次に、品物各部分への局部的な電流密度の均一化を徹底することでどんな効果があるか考えてみる。

ロット不良返品がなくなるために、不良手直し作業が大幅に減り、残業時間を短縮で きる。

品物の局部的な電流密度が均一になり、高めの電流密度で作業しやすくなるため、めっき速度が上がり、操業時間を短縮できる。

高い電流密度で作業すれば、自然に品物の凹んだ部分への電流の回りが良くなり、 脱有機溶剤方式の電解脱脂・電解洗浄・電解酸洗浄などの処理効果が上がり、前処理 やめっき工程の環境対策が容易になる。

品物の凹んだ部分への局部的な電流密度が高くなるため、めっき槽内の品物を過密に 配置しても、品質のバラツキが小さくなり、ライン生産能力が向上する。

個々の品物そしてロット品質のバラツキが小さくなり、とりわけ貴金属めっきでは、 金属分の電着量が削減でき、大幅にコストダウンできる。

ロット品質の均一化で、不良返品やクレームが皆無になって、発注メーカーの信頼が高まり、価値分析(VA 提案)により、品質、仕様の品質安全率を小さくして過剰品質生産を防げる。

## 2-6-2 重力式(チョンがけ)ひっかけ治具からばね式接点への改善

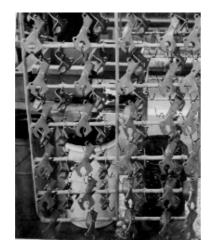
重力式ひっかけ治具の欠点については、既に 2-2-6(1)の項で述べた通りである。

一部の自動化生産ラインでは、まだ無光沢めっき時代の名残りである写真 2-10 に示した重力式の「チョンがけひっかけ」が堂々と使われている。そこで、ライン責任者に『なぜ、「チョンがけひっかけ治具」を使っているのですか?』と聞くと、異口同音に「品物をかけはずしする作業者が足りませんからね!」と、人手不足に責任転嫁した返事が返ってくる。今度は経営者に同じ質問をすると『「チョンがけひっかけ」はそんなに悪いのですか?』と、いかにも生産技術に無関心な返事に苦慮することがある。

編者のこれまでの経験から、チョンがけひっかけ治具に品物のかけはずしが簡単といった長所は認めるにしても、次の生産的な欠点を黙認することはできない。

a. めっき中に品物が揺れて、図 2-77 に示すようにバイポーラ現象で密着不良がでる。

- b. 高い電流が流せないため、電解前処理効果が悪い。
- c. 高い電流が流せないため、作業能率が悪い。
- d. 接点数が少ないため、膜厚のバラツキが大きい。
- e. 品物を固定できないため、品物配置数が少ない。
- f. 電流のバラツキが大きいため、めっき電流密度を上げると不良が多く発生する。
- g. めっき電流密度が低いため、裏側に電流が十分回らずに品質欠陥を多く発生する。 そこで、図 2-78 のように 2 点接点になる枝骨を工夫すると良い。



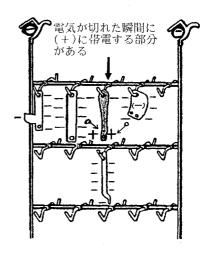


写真 2-10 重力式(チョンがけ)ひっかけ 図 2-77 重力式(チョンがけ)ひっかけ治具の 治具の例

バイポーラ現象と密着性不良発生の 構図(+部分に密着不良発生)

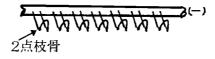


図 2-78 チョンがけ 2 点接点枝骨の例

「チョンがけひっかけ治具」とは現場用語であり、正式には「重力式ひっかけ治具」と 呼んでいる。この「チョンがけひっかけ治具」は、光沢めっき技術が普及する以前の低電 流密度作業では、常識的な通電方法であった。ところが、光沢めっき技術が開発され、高 い電流密度でめっき作業を行うようになると、当然、「チョンがけひっかけ治具」の重力式 の接点機構では通電に無理があり、品物に均一な電流が流れないため、不良を多く発生す るとか、作業能率が悪いとか、生産上の問題が起きてきた。そこで年々、「ばね式ひっかけ 治具」が普及していった。

しかし、中には作業性の良いことから重力式ひっかけ治具を廃止できないこともあるが、 その場合には品物の動揺を防ぐ方法として、写真 2-11 に示すようにゴム材または図 2-79 のステンレスばね線を利用すると良い。



(一) ステンレス製ばね線

写真 2-11 重力式ひっかけ治具の品物の 動揺を防ぐ工夫の例

図 2-79 重力式ひっかけ治具の動揺 落下防止ばねの利用

## 2-6-3 多接点ばね方式の利用

品物を均一に電流を流すためには、接点数を増やし、つまり多接点方式を利用して集中抵抗による"オーム損"を小さくする(2-2-6(3)参照)。

この"オーム損"は、品物に電流を供給する箇所と数を適当に選ぶことで、相当小さくできる。多接点方式は多少作業性は悪いが、クロムめっきやプラスチックスへのめっきで分かるように、導体(品物)中に均一に電流を流すためには不可欠である。ちなみに中路氏は、導体にn個の場所に分割して電流を供給する場合は、その中で生じる"オーム損"はnの二乗分の一に小さくなると述べている。

一般に枝骨材料としては、ばね性の良いピアノ線、ステンレス線、リン青銅線が用いられるが、特に通電量や保持機構との関係からこれらばね線の板材を使うこともある。高電流密度作業を予定される場合には、品物との接点数、接点機構、適正材料断面積(めっき治具用安全電流)の検討が必要であって、線材と板材の組合せて適当なうず巻きばねの利用が効果的である。

中でも、ステンレス線は図 2-80 に示すとおり、極めて電気抵抗が大きいので、"ジュール熱(2-2-3 (5)参照)"を発生して品物に電流を流すことが難しい。しかし、図 2-81 のように品物自身に電気抵抗が大きい薄肉の広い表面積の場合でも、ステンレスの断面積と接点数を考慮すれば十分利用できる。なお、渦巻きばね線を利用すると図 2-82 に示すように枝骨の折れを防ぐことができる。

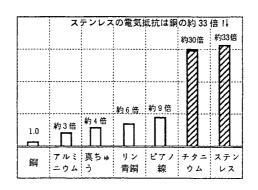


図 2-80 各種治具材料の電気抵抗(銅との比較)

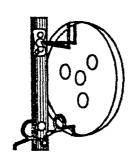


図 2-81 多接点ばね方式の例

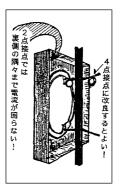


図 2-82 薄肉厚・広面積品物と接点数不足の例

## 2-6-4 補助陰極の活用

補助陰極は"かぶり止め"といって、電流線の密集している高電流密度の区域に配置する。一般に小さい断面の導体で陰極に接続し、高電流密度部分の電流密度を軽減する目的に使われる。図 2-83 に補助陰極使用の事例を示す。

この結果、主陰極の電流密度は平均化されるが、補助陰極に電流が流れ、めっきが析出するので、電流と金属分の浪費は避けられない。

なお、補助陰極を交換できるように、ひっかけ治具の設計を工夫すると便利である。

写真 2-12 は、アルミダイキャスト素材で、とりわけクロムめっきの難しい品物(中央部分に凹部分、ダイヤカット面がある)の例であるが、写真 2-12 のように凸部分への電流の集中を避ける補助陰極を配置することにより、前工程の銅及びニッケルめっきが凹部分に十分つき回り、クロムめっきが容易になる。

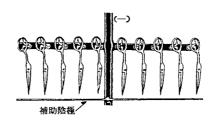


図 2-83 補助陰極使用の事例

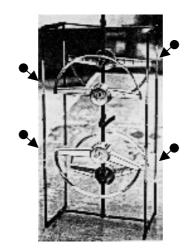


写真 2-12 補助陰極使用の Cu - Ni - Cr めっき用ひっかけ治具

#### 2-6-5 補助陽極の活用

補助陽極の効用はすでに 2-2-9 項で述べ、さらに 2-3-6 の工業用クロムめっき用ひっかけ治具設計の項でも解説しているので参照していただきたい。

本項では、装飾耐食用の銅・ニッケル・クロムめっき及び亜鉛めっき用のひっかけ治具 に用いるチタン素材上に白金めっきを施した補助陽極の活用について述べる。

- a. チタンへの白金めっき厚が所定の厚さでピンホールのないものを選ぶ。
- b. 補助陽極への電流密度を適切に調整する装置を設ける。
- c. ニッケルめっきで不溶性補助陽極を用いる場合は、pH、めっき浴組成の変調が起きるので、適宣に分析、調整する。
- d. ニッケルめっきに不溶性補助陽極を用いると、添加剤の分解が多くなるため、適切な活性炭処理、過マンガン酸処理または過酸化水素処理が必要である。
- e. チタン上白金めっきの補助陽極の形状は最も効果があるように特別注文する。

なお、参考として写真 2-13 はチタン素材に白金めっきした網状の補助陽極である。写真 2-14 は亜鉛ダイキャスト素材への Cu - Ni - Cr めっきライン用の補助陽極活用例を示す。



写真 2-13 チタン素材に白金めっきした網状の補助陽極

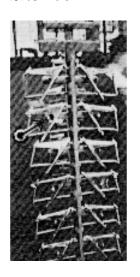


写真 2-14 亜鉛ダイキャスト素材への Cu - Ni - Cr めっきライン用の補助陽極活用例

また、シアン化亜鉛めっき及びジンケート亜鉛めっき浴では、図 2-84、図 2-85 に示すように、鉄材を補助陽極に活用するとめっき膜厚の均一化に効果がある。

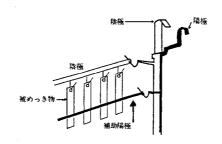


図 2-84 補助陽極つきひっかけ治具の例(亜鉛めっき)

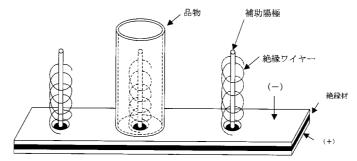


図 2-85 補助陽極つき重力式ひっかけ治具の例(亜鉛めっき)

(前川浩一委員:合資会社 寿鍍金工業所提供)

# 2-6-6 しゃへい板の活用

電気めっきでは品物の凹部分で陽極に接近した部分に電流が集中し、めっき膜厚のバラッキを生じたり不良を発生しやすくなる。従って、図 2-86、図 2-87 のように、"しゃへい(シールド)板"を活用する。

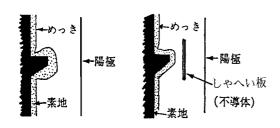


図 2-86 しゃへい板を使ってめっき 厚さの均一化を行う例

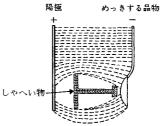


図 2-87 しゃへい板を用いてスプーンの 凸面へのめっき電流を抑制して

一般にしゃへい板には、不導体の塩化ビニール板などに穴をあけて用いるため、通電により溶解したり、めっきを析出することがなく、半永久的に使用できる特長がある。

写真 2-15、写真 2-16 に事例を、また図 2-88 にしゃへい板のめっき槽内配置図を示す。

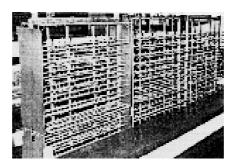


写真 2-15 自動化生産ラインの棒状品物に均一なめっきを 施すためのしゃへい板の活用例

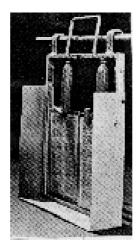


写真 2-16 プリント配線枝用しゃへい板付きひっかけ治具の例

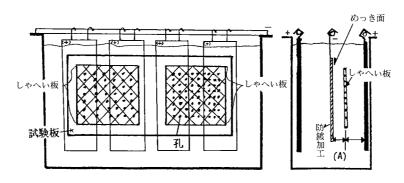


図 2-88 しゃへい板のめっき槽内配置図

なお、図 2-88 のような槽内配置で用いるしゃへい板の活用では次の点に注意する必要がある。

- a. 中央に大きな開口部を持つしゃへい板よりも、同一経の穴を多数あけたしゃへい板の 方がめっき膜厚の均一化に効果がある。
- b. 陰極の品物としゃへい板の間隔を狭くすると、品物中央のめっき膜厚が薄くなり、周辺部のめっき膜は厚くなる。
- c. 陽極としゃへい板の間隔は、陰極の品物としゃへい板よりも大きくする。
- d. しゃへい板の形状や穴の大きさ、穴の数は品物のめっき膜厚が均一になるように調整 する。

## 2-6-7 補助陽極と補助陰極の活用

一般にハイテク部品や機能性を重視するめっきでは、めっき膜厚の均一化とともにめっき膜厚の均質性を要求されることがある。

この場合には、図 2-89 に示すように補助陽極と補助陰極を併用した特殊なひっかけ治 具を活用する必要がある。

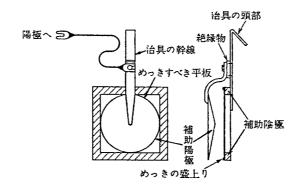


図 2-89 補助陽極と補助陰極を用いて四角な平板に 均一厚さのめっきを得るひっかけ治具

# 2-6-8 バイポーラー極の活用

均一電着性の悪い酸性浴では、凹部分に均一なめっきを行うために、バイポーラー極を活用すると効果的である。バイポーラー極にはめっき浴への他の金属の混入を防ぐため、析出する金属か、不溶性の金属を用いる。バイポーラー極の配置モデルを図 2-90 及び図 2-91 に示す。

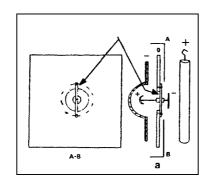
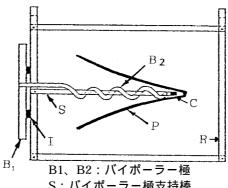


図 2-90 品物の凹部分にバイポーラー極配置例



S: バイポーラー極支持棒 P: 品物 R: 保持枠

C: 絶縁物

図 2-91 バイポーラー極応用例

図 2-92 は、均一電着性の良いめっき浴において、めっき構内に大きな平板を接近させて2枚同時にめっきする場合に活用するバイポーラー極配置モデルである。

シアン化亜鉛浴やシアン化銅浴には、鉄板をバイポーラー極として利用できる。

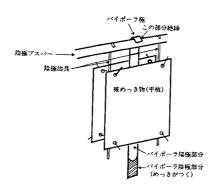


図 2-92 バイポーラー利用の 2 枚板のめっき例

# 2-6-9 槽内の品物配置に緩衝法の活用

電気めっきでは、尖った品物の先端が極端に厚く析出する性質があるので、めっき槽内の品物配置に注意しないと、高い電流による作業能率向上が難しくなる。とりわけ均一電着性の悪い酸性浴(亜鉛めっき、銅めっき、ニッケルめっき、クロムめっきなど)では品物の配置に緩衝法を利用すると、品物の配置個数を増やすこともできるばかりでなく、めっき膜厚が均一になる。

写真 2-17 のアイロンカバーでは、極端に尖った形状になっているので、もっと品物と 品物の間隔を接触寸前まで接近させる方が、かえって高電流密度で能率の良いめっき作業 が可能になる。と同時に、槽内の品物配置個数も増えるので、一石二鳥の効果がある。

ただし、品物の裏面へのめっきのつき回りを高めるためには、品物の左右間隔を適当に 保つ必要もある。

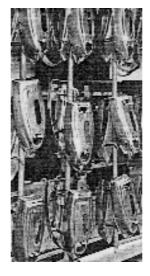


写真 2-17 緩衝法を利用していない不合理なひっかけ治具設計の例

### 2-6-10 混載品物配置法の活用

品物の形状は違っていても、品質使用が類似していて同じめっき工程を使用できる場合は、"混載品物配置法"を活用すると設備の利用効率が高められる。

図 2-93 は、重力式(チョンがけ)ひっかけ治具の例であり、写真 2-18 は、ばね式接点の混載品物配置ひっかけ治具の例である。

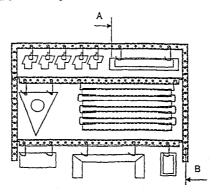


図 2-93 重力式ひっかけ治具の混載品物配置例

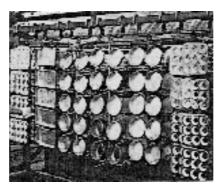


写真 2-18 ばね接点ひっかけ治具の混載品物配置例

## 2-6-11 不均等品物配置法の活用

電流分布の理論によると、めっき槽内で品物への膜厚のバラツキは、めっき浴の均一電着性に左右されるが、最も影響を受けるのは電極と品物の槽内配置(幾何学的配置)である。 従って、ひっかけ治具にかけた品物のめっき膜厚を均一にするためには、図 2-94 に示すように(A)の均等な品物配置よりも、(B)のように一般的に電流の弱い中央部分の品物を 陽極に接近させる"不均等品物配置法"を活用すると効果的である。

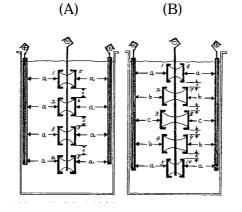


図 2-94 均等品物配置(A)と不均等品物配置(B)の構図

その結果を具体的に述べると(A)の品物と陽極間隔が均等に対し、(B)の"不均等品物配置法"を利用すれば、1本のひっかけ治具に20%の品物配置個数を増加できる。

### 2-6-12 不均等混載品物配置法の活用

この槽内品物配置法は、2-6-10 の"混載品物配置法"と、2-6-11 の"不均等品物配置法" を併用した改良型のひっかけ治具である。近年、めっき生産において品物の均一化と製造 原価低減が強く要求されていることから、とりわけ自動化生産ラインで、図 2-95 と図 2-96 に示すような本品物配置法の活用を勧める。

本品物配置法の活用により、めっき槽内に過密に品物を配置し、しかも高い電流密度で 作業するための留意事項を次記する。

治具の上端と下端には、丸みのある部品を配置すると高い電流密度で作業できる。 治具の中央には、角張った大型の部品を配置すると治具内の電流分布が比較的に均一 になる。

治具の上端と下端の部品の配置では、陽極間隔を少し広くすることで、高電流密度作業が容易になる。

枠型ひっかけ治具両端の部品では、陽極間隔を少し広くすると、高電流密度作業が容易になる。

大型中空形状の部品の空間部分に部品を配置する場合は、その部品の陽極間隔を少し 狭くすることで、電流のバラツキが小さくなる。

「不均等混載式ひっかけ治具」では、通電性の良い材料を用い、特に枝骨接点機構を 工夫する必要がある。

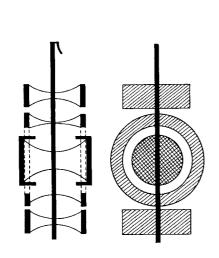


図 2-95 不均等混載品物配置 ひっかけ治具の例

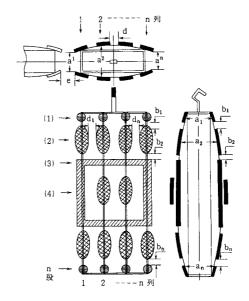


図 2-96 枠型不均等混載品物配置 ひっかけ治具の例(自動機用)

### 2-6-13 枝骨の通電接点だけを露出する「理想接点」の活用

「理想接点」を勧める主な理由は、現在殆どの企業に普及している極めて電気抵抗の大きいステンレス枝線を電気抵抗の小さいピアノ線やリン青銅線または板材に変えて、品質の向上と作業能率の向上を図るためである。

ひっかけ治具の設計者や現場の作業者にステンレス材の電気抵抗が、銅材の約 33 倍で 品物に流れる電流が非常に小さく、不良を多く発生していることに殆ど関心がない。

もちろん電気抵抗が大きいため、高い電流密度で作業すると、枝骨材及び防鍍コーティング皮膜を破損するので、めっき作業スピードを上げることも難しい。

ステンレス材が普及した理由を端的に言えば、接点の"めっきぶとり"を剥離するのに 硝酸剥離材や電解剥離法を簡便に使用できるからである。

では次に、「理想接点」の作り方、保守方法などについて写真を用いて説明する。

写真 2-19 のように必要以上に接点を露出すると、矢印に示した"めっきぶとり"の処置に悩まされるばかりでなく、ひっかけ治具の寿命を短くするので、「理想接点」の活用を勧める。

写真 2-20 は、実際に使用中の理想接点の例であるが、次に述べるように保守作業を徹底すれば、極めて長期間使用できる。また、接点部分の品物にもめっきが析出しやすいため、不良の発生が少なくなる。

もちろん、接点部分へのめっきの析出が少ないため、接点の"めっきぶとり"の保守はペンチやヤットコを用いて簡単にできる利点がある。

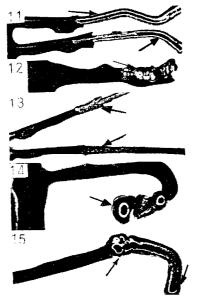


写真 2-19 不良接点露出の例

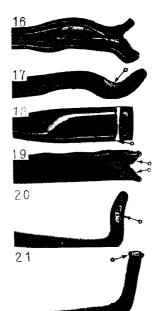


写真 2-20 使用中の理想接点の例

写真 2-21 の NO.22 の接点は、めっきの析出量が少ないので保守の必要性はない。 しかし、NO.23 の接点は少し接点保守の時期が遅れている。 また NO.24 の接点は、保守作業が悪いために防鍍コーティング皮膜が損傷した例である。 写真 2-22 の NO.25 、NO.26 は、防鍍コーティング皮膜の密着に問題があって、破損し た理想接点である。この状態で使用すると、めっき浴に不純物を多量に持ち込むので、直 ちに補修しなければならない。

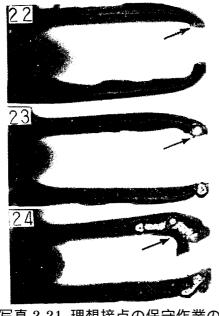


写真 2-21 理想接点の保守作業の 注意点

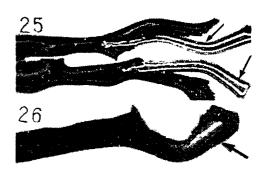


写真 2-22 接点部分のコーティング不良 で破損した理想接点の例

理想接点の性能つまり寿命を決めるのは、枝骨部分の防鍍コーティング皮膜の密着性であり、2-4-5 の項で述べたコーティング前の素材洗浄及びプライマー塗装に十分注意しなければならない。もちろん、プラスチゾルを加工する場合の焼き付け温度と皮膜の厚さを標準値に保つことが大事である。理想接点は図 2-97 のように防鍍コーティング皮膜が品物に触れないように、通電接点のみを露出する必要があるので、熟練者が責任をもって作業しなければならない。

従って、写真 2-23 の防鍍コーティングの状態で購入し、めっき企業における専任のひっかけ治具管理者が品物に適した接点露出作業を行うのが賢明である。

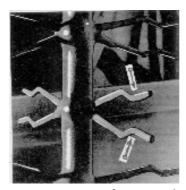


写真 2-23 理想接点加工前の枝骨のプラスチゾル皮膜(接点の露出前)

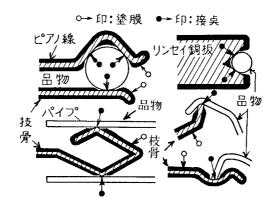


図 2-97 代表的な理想接点の露出例

## 2-6-14 組立式ひっかけ治具の活用

めっき加工する品物形状は、種々雑多であるため図 2-98 及び写真 2-24 のような組立式 ひっかけ治具を活用すると経済的である。また、ひっかけ治具の寿命は、殆どの場合、枝 骨の破損により決まるため、枝骨部分のみを交換すると経費を削減できる。

ただし、ネジ式の場合は、ネジの構造に十分注意しないと接触不良を起こして不良を出 す原因となる。

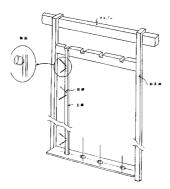


図 2-98 ばね式組立式ひっかけ治具のモデル



写真 2-24 重力式枝骨の組立式ひっかけ治具

## 2-6-15 穴のない品物に"ら線状"接点の活用

比較的に均一電着の良いシアン化銅、シアン化亜鉛めっき浴などでは、図 2-99 のような "ら線状"接点を工夫して活用する。

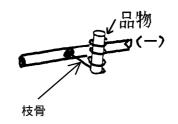


図 2-99 穴のない品物専用治具

## 2-6-16 " 浮き " を利用したひっかけ治具の活用

めっき中に品物の内面にガスが溜まり、めっきの析出を防げるコップ状の品物では、図 2-100 のように"浮き"を巧みに利用したひっかけ治具を活用する。

また、この浮き付きのひっかけ治具では、めっき終了後にひっかけ治具を引き上げた場合に、コップ状品物内の処理液やめっき液を流し出す働きをするので、一石二鳥の効果がある。

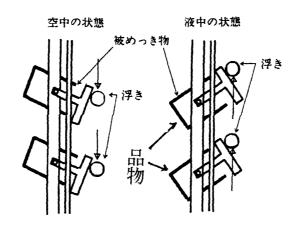


図 2-100 " 浮き " を利用したひっかけ治具実体図

# 第3章 ひっかけ治具による加工の実際

## 3-1 ひっかけ治具機能の向上とめっき設備

ひっかけ治具の機能を十分に発揮するためには、めっき槽内の構造と陽極配置に工夫する必要がある。次にその主な点を述べる。

# 3-1-1 めっき槽とひっかけ治具配置の標準化

めっき分布が一次電流分布つまりめっき槽内の品物配置状況に大きく支配されているということから、ロットのめっき分布を標準化するためには、めっき槽内品物配置の標準化が大切である。図 3-1 は、めっき槽内品物配置を標準化するための諸因子を示す。

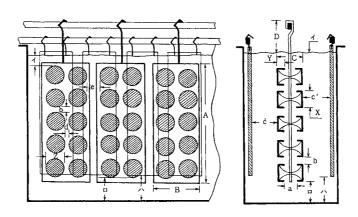


図 3-1 めっき分布を支配するめっき槽内品物配置の諸因子

## 3-1-2 ひっかけ治具設計のディメンション

ひっかけ治具のディメンションとは、めっき作業に最も良い条件でひっかけ治具にかけられた全品物が占める最大容積のことである。このディメンションは、陽極、液面、槽底、槽壁(または隣接の品物)からの間隔で表す。

B(幅) x C(厚さ) x A(深さ)の求め方は、次のように考えると良い。

前処理に搬送機構を有する自動装置では、前処理槽の寸法が決まっているので、この寸法から B(幅)を算出する。また手作業の場合は、陽極間隔以内に止めれば良い。

C(厚さ)を決めるには、陽極間隔、品物の形状、めっき液の性能などより検討しなければならないが、大体陽極間隔の半分以内にすれば良い。

A(深さ)は液面から約5mm、槽底から100~150mmになるように算出する。

ひっかけ治具のディメンションは手作業でも同じであるが、自動めっき装置では、生産性を左右することから、A、B、Cの算出については慎重にひっかけ治具を考えなければならない。図 3-2、図 3-3 は、ひっかけ治具のディメンションを決める場合の代表的なもの(平面図)である。

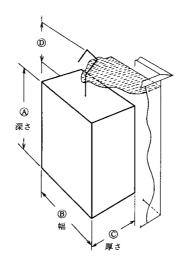


図 3-2 ひっかけ治具のディメンション

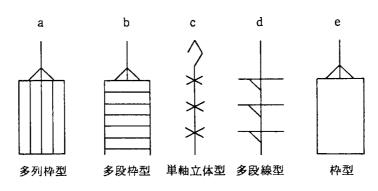


図 3-3 めっき用ひっかけ治具の代表的な型

## 3-1-3 角型めっき槽内の陽極配置

図 3-4 にめっき槽内一杯に陽極配置した場合のめっき膜厚状況を示すように、図 3-5 の (A)のように、陽極をめっき槽内一杯に配置すると、陽極バーの左右両端にかけたひっか け治具に厚くめっきされるため不良になる。

従って、図 3-5(B)のように左右の陽極を 1~2 枚省くのが良い。

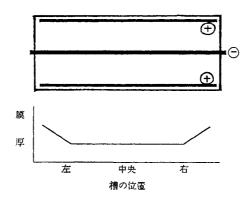


図 3-4 めっき槽内一杯に陽極配置した場合のめっき膜厚状況

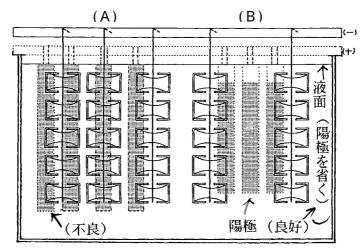


図 3-5 めっき槽内陽極配置のモデル

## 3-1-4 めっき槽内の品物と槽底、液面間隔の管理

めっき浴中の品物配置法については、既に 2-2-8 で説明したが、品物のめっき槽内配置 の工夫で不良発生を未然に防げる。

図 3-6 では、尖った品物の場合は槽底部分に電流が集中しやすいので、図 3-7 のように逆転して配置すると良い。

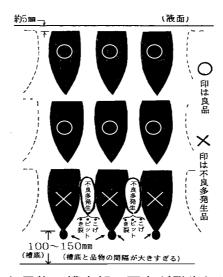


図 3-6 尖った品物で槽底部に不良が発生しやすい例

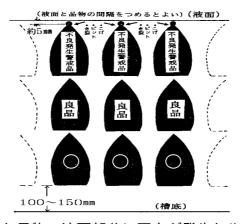


図 3-7 尖った品物で液面部分に不良が発生しやすい例

また図 3-7 では、尖った品物の場合に液面部分に電流が集中して不良を発生しやすいので、図 3-6 のように平面部分を液面部分に配置すると良い。

もちろん、めっき槽内でも尖った品物では緩衝式配置法を利用して、品物間隔をできるだけ狭くすると高い電流密度でも不良の発生を防ぐことができる。

一般の品物でも液面との間隔が広いと陽極から電流が集中して不良の原因となる。

従って、ひっかけ治具設計の標準化とともに、図 3-8 のようにめっき槽にオーバーフロー方式を設けるのが良い。

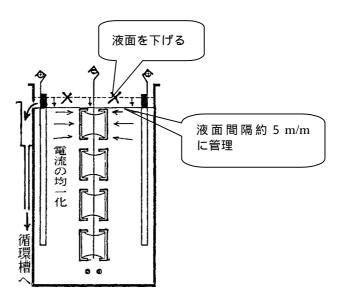
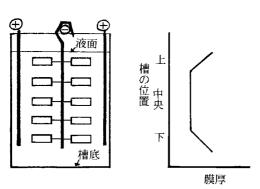
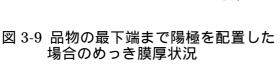


図 3-8 品物と液面間隔約 5 mmで液面管理するオーバーフロー方式の例

## 3-1-5 品物最下端と陽極長の管理

一般のめっき槽では、図 3-9、図 3-10 のように、ひっかけ治具の最下端に配置した品物よりも、陽極長を長くするか、または品物と同じ長さに設計されているが、これでは品物の最下端部分に電流が集中して、不良発生の原因となる。





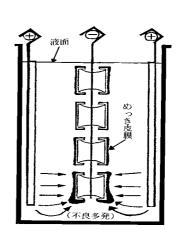


図 3-10 陽極が長すぎる場合は最下端 の品物に電流が集中する

従って、図 3-11 のように陽極長は品物最下端よりも、約 100~200mm 短くする。 もし、チタンバスケットなどで簡単に陽極長を短くできない場合は、陽極の下端部分を 不導体の塩ビ材などで、しゃへいするとよい。(図 3-12 参照)

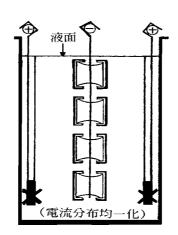


図 3-11 品物最下端よりも陽極長を短くすると不良は解消する

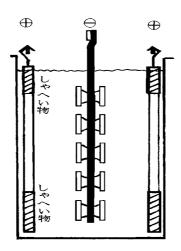


図 3-12 陽極の上下端をしゃへいした場合の例

#### 3-1-6 品物形状と陽極間隔の管理

めっき槽内の品物と陽極との間隔の管理は極めて大事であるので、2-2-8 項(めっき浴中の品物配置)の において、理論的に詳しく述べている。

とりわけ、凹凸の激しい品物を均一電着性の悪いめっき浴でめっき加工する場合には、 品物と陽極の間隔を十分広くする必要がある。

もし、均一電着性の悪い酸性浴(亜鉛・ニッケル・クロムめっきなど)では十分注意しないと、凹部分の内部や品物の裏面に、めっきが十分付き回らなくなる。

従って、全工程を自動搬送装置でめっきする場合などは、めっき液の均一電着性の相違により、品物と陽極の間隔を適切に変えるぐらいの注意を行わないと、めっき不良を多発生するばかりでなく、槽内の品物配置個数を増やすことができなくなる。

## 3-1-7 めっき槽内の絶縁内張り

めっき槽を電導性の鉄や鉛材で作る場合には、わずかではあるめっき加工中にめっき槽を通って電流が流れるため、各極に近い部分が電解的に腐食されたり、無駄なめっきが析出するので塩化ビニールの内張り、またはゴムライニングを施す必要がある。

また、このような現象は電源とめっき槽の関係についても起きるため、電源及びめっき槽には漏洩電流が流れないように絶縁する。

# 3-1-8 めっき槽へしゃへい板の設置

めっき槽内に配置した品物に対して均一なめっき加工を行い、また高い電流密度で高能率めっき作業を行うためには、図 3-13 を参照して液面部分と槽底部分にしゃへい板を設置しておくと効果的である。A、B、Cの種類と高さ・位置については適宣調整する。

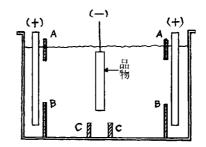


図 3-13 めっき槽に絶縁体の電流しゃへい板を設けた例

## 3-1-9 バイポーラー防止用の通電

とりわけ自動化生産ラインで、通電処理する槽においては、ひっかけ治具の出し入れ時に図 3-14 のようなバイポーラー現象が起きて、陽極に帯電した品物の部分に不活性被膜を生じて密着不良になりやすい。

従って、ひっかけ治具の出し入れ時にも適量の電流を通電する"通電ポール"を設置しておく必要がある。

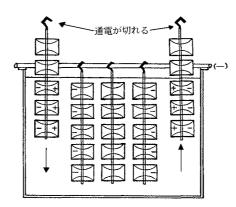


図 3-14 自動めっき設備でひっかけ治具の出し入れを行う場合に生じるバイポーラー現象の構図

## 3-2 めっき加工とめっき分布

めっき槽内に多数の品物を配置してめっき加工する場合には、品物 1 個間及びひっかけ 治具に掛けた品物内、そしてめっき槽内に配列したひっかけ治具に、めっき膜厚の差、つ まりめっき分布を生じる。

この状況について次に述べる。

## 3-2-1 めっき浴種によるめっき分布状況

めっき浴の種類により、均一電着性が異なるため、図 3-15 のように、ます状品物における外面、内面の膜厚が違ってくる。

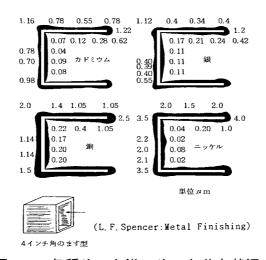


図 3-15 各種めっき浴のめっき分布状況

図 3-16 は、ホイールキャップにおけるシアン化銅、酸性銅、半光沢ニッケル、光沢ニッケルめっき浴のめっき分布状況を示している。

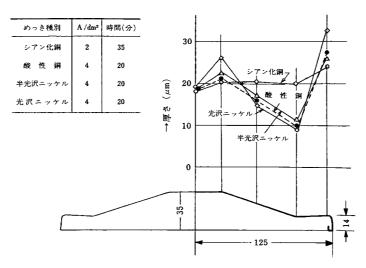


図 3-16 ホイールキャップのめっき厚分布

## 3-2-2 品物形状によるめっき分布状況

図 3-17 は、極端に凹凸のある品物における銅、ニッケル、クロムめっきの膜厚分布状である。このデータより、電気めっきでは凸部分に電流が集中することが分かる。

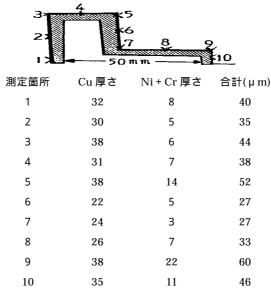


図 3-17 凹凸のある品物の各部分のめっき膜厚分布状況

#### 3-2-3 ひっかけ治具に掛けた品物へのめっき分布状況

図 3-18 は、光沢ニッケルめっきのひっかけ治具内におけるめっき分布状況である。

この例は、品物を2列に立体配置した場合のめっき分布である。

このめっき分布状況から、一般のめっき条件では、めっき膜厚はめっき槽の下端、上端に厚く、そして中央部に薄く付くことが分かる。

また、品物の角部分と中央部分では、相当大きな膜厚の差を生じていることも分かる。

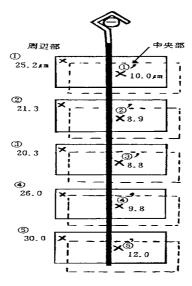


図 3-18 光沢ニッケルめっきのひっかけ治具内 めっき膜厚バラツキ状況

## 3-2-4 めっき槽内に配置した品物へのめっき分布状況

一般的な槽内品物配置とめっき条件でめっき加工すると、図 3-19 に示すような状況の ヒストグラム(品物指定点の膜厚バラツキ状況)になる。

光沢ニッケルめっきの場合、ひっかけ治具の改良や槽内品物配置を工夫しないと、30~40 µm 程度の膜厚バラツキを生じていることが分かる。

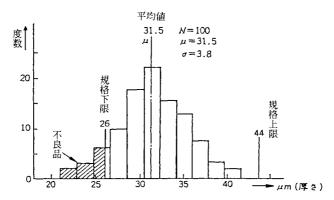


図 3-19 ニッケルめっき部品の厚さヒストグラム例

実は、このようなロット品質(めっき膜厚)のバラツキを小さくするためには、ひっかけ治具の改善・改良・管理が不可欠である。

図 3-20 は、めっき槽内で生じるロット品質のバラツキ状況を、ひっかけ治具の段数により層別してヒストグラムを作ったものである。このヒストグラムより、ひっかけ治具に掛けた品物の各層別の膜厚分布状況を理解できる。とりわけ、ひっかけ治具の最下端の層と中央部分の層に不良が発生しやすいことが分かる。

なお、このような層別によるめっき分布またはめっき品物を考察するためには、ひっか け治具設計の標準化が必要である。

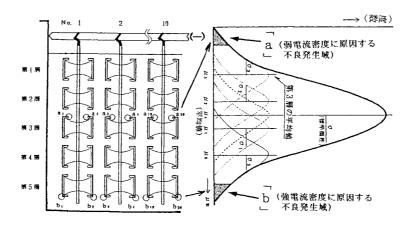


図 3-20 めっき部品の槽内配置状況と局部電流密度で層別したヒストグラムの構図 (めっき槽内の「a」・「b」部分に不良発生域がある)

## 3-3 ひっかけ治具の改善とめっき生産合理化の必要性

2 1世紀に向けてめっき企業が収益性向上を図るためには、難めっき部品、小ロット短納期の高品質部品を狙って経営していかない限り、単なる生産経費削減、節約程度では"焼け石に水"の効果に終わると思われる。

筆者の体験では、めっき生産における最大のムダは"不良仕損費"と"クレーム措置費" そして、"過剰品質ロス"と考えている。

"不良仕損費"については、めっき品質によって大きく違うが、一般のニッケル、クロムめっき部品でも、受注単価の 2.5~4 倍になることもある。これがロット単位で納品後にクレーム発注すれば、ハイテク部品の場合は素材及び素加工代の弁償責任を負うことになり、大変な損失額となるであろう(図 3-21 参照)。

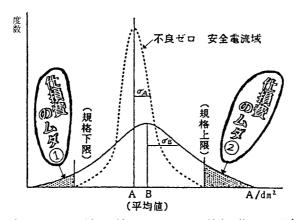


図 3-21 不良ひっかけ治具使用による"仕損費のムダ"発生の構図

#### 3-3-1 電流分布管理から見た生産合理化の評価

"不良仕損費"や"クレーム措置費"もさることながら、"過剰めっき膜厚加工"がめっき生産において"直接材料費(貴金属めっきで要注意)"及び"労務費(一般装飾・耐食めっきで要注意)"高の原因で、不良の発生に匹敵する利益対策上の問題点であることは、よく知られている。

ところが不均一なめっき膜厚や過剰品質仕様による不良発生を予防するため"操業時間 及び材料費のムダ"を生じ、収益性向上を難しくしていることにはあまり関心がないよう である。とりわけ、貴金属めっき加工では、想像以上の製造原価ロスになっている。

とは言っても、現在のところめっき槽内の電流分布を自由に均一化するような装置は市 販されていないようである。

そこで筆者は現在、21世紀において電気めっき生産の合理化及び品質保証のカギを握る「ひっかけ治具」に関する関係者の意識を刷新すべく、「ひっかけ治具」の抜本的な改革を提唱している。

表 3-1 は、ひっかけ治具を徹底的に開発・改善した場合の効果試算モデルである。

科	期間	現在の(別	業 續 平均值)	1 年後 <i>0</i> 目標 (	D 業 績 月平均値)	革命後 業績比	評価
予算調整原価項目	① 外 注 費 費 ② 聯 入 部 品 費 数	610 0 8,100 7,500 7,400 6,900	1.8 0 23.8 22.3 21.8 20.3	510 7,600 8,100 7,900 7,800	1.4 0 20.8 22.3 21.7 21.4	-16.4 -6.2 +8.0 +6.8 +13.0	0 <b>%</b> ©
	計	30,510		31,910		+4.6	
£7Z.	⑦ 売 上 高	34,000	100	36,400	100	+7.1	0
経営分析指標	8 製造原価	23,610	69.7	24,110	66.3	+2.1	*
析	⑨ 売上総利益	10,900	32.1	12,290	33.8	+12.8	0
檼	⑩ 総 原 価	30,600	90.0	31,910	87.7	+4.3	*
	① 経常利益	3,400	10.0	4,490	12.3	+32.1	0
経営分析指標	① 売 上 高 高 価			+2,400 +500 +1,390 +900 +1,310 +1,090		+7.1 +2.1 +12.8 +13.0 +4.3 +32.1	0* 0*0
生産性分析指標	(a)作業者人員(離)(M) (b)総 操業 時間(H) (c)総 操業 下間(H) (d)残業 時間(H) (e)不 良 仕 損 費(円) (g)操業一時停止時間(H)	18 211 3798 35 1,500	† † † † † †	21 165 3,300 5 750		+16.6 -22.0 -13.0 -86.0 -30.0 -37.5	**************************************
模	(h) 労働生産性(®/は)(ff) (i)賃金パフォーマンス(®/®) (j)人時生産性(®/は)(f)	606 1.45 2,870		585 1.51 3,724		-3.4 +4.1 +29.8	8
	備考	目標は" 操業時 "経常科生の向	間短縮"と  上"です!	全社的7命』に	ま『ひ‐ よる生ñ	っかけ治見 を機構改革	基 草

表 3-1 『ひっかけ治具改革』の推進による生産性向上の業績評価モデル

(注-1) 下記の生産性指標は、21世紀のめっき企業の生産構造改革による評価を行うために極めて重要です。
(1)「賃金パフォーマンス」: [売上総利益⑨] ÷ [労務費④]
(j)「人時(工数)生産性」: [売上総利益⑨] ÷ [総操業工数(c)]
(注-2)

E-2〉

◆『ひっかけ治具革命』推進後の業績評価基準
×:殆ど効果なし △:僅かに効果あり ○:効果あり
○:大きな効果あり

(注-3) 評価の欄で「※」印は、「労務費」を含んだ項目で、真の"生産の質"が評価が難しいことを示す。

#### 3-3-2 不良仕損費低減による製造コスト低減

従来のめっき企業における品質管理の考え方は、どちらかといえば発注者の受入検査に 無事合格して、ロット返品を防ぐために進められていた。

しかし、これからは市場で商品を買うお客様はそれだけでは満足してくれない。

それは、" p p m 水準ロット品質保証"が常識のこれからの時代では、「商品は適切な価格で無欠陥であり、無故障は当たり前」とお客様の要求が変わってくるからである。

このように " p p m 水準 " でロットを完全品質保証するためには、まずめっき電流分布を標準状態に管理・維持できるような「ひっかけ治具」を設計・管理する必要がある。

例えば図 3-22 に示すヒストグラムにおいて、常時顧客の要求する公差内にロット品質を管理できるようなひっかけ治具の設計・製作・管理を徹底することが最も大事である。(表 3-1 参照)

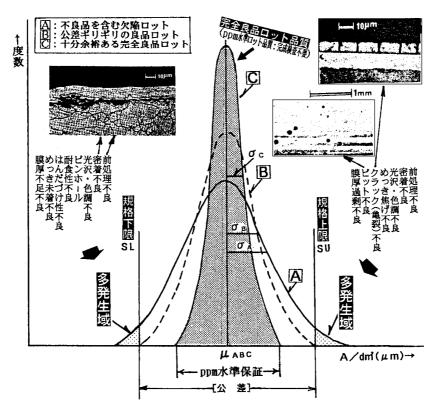


図 3-22 めっき槽内の電流分布により生じるロット品質バラツキと 不良多発生域モデル

#### 3-3-3 品物の配置個数を増やす作業能率の向上

同一の設備で、同一のめっき条件で作業能率を高めるためには、めっき槽内に1個でも 多く品物を配置して不良を出さないことがポイントである。

そのためには、まずひっかけ治具の改善とともに陽極配置法などを工夫して、めっき槽内の電流分布を均一化する必要がある。(図 3-23 参照)

また、写真 3-1 に示すひっかけ治具は、パイプ物で品物間隔を狭くしても不良になり難いので、ひっかけ治具を改善すれば、品物配置個数を増やせる可能性が十分にある。

写真 3-2 は、品物の上下間隔が広過ぎて槽内配置個数が少なくついている例である。槽底間隔に余裕があれば3段掛けにも改良できる。

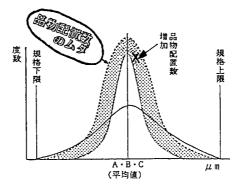


図 3-23 ロット品質のバラツキを小さくして槽内品物配置数を増やす構図



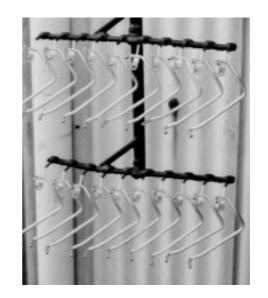


写真 3-1

写真 3-2

将来、めっき工場のライン生産能力を高めるには(詳細は後項で解説)2-6-10 及び 2-6-11 項で述べた"混載品物配置法"または"不均等品物配置法"を採用するのが賢明である。

図 3-24 はストーブ反射板とアイロンカバーの 2 種類の品物を"不均等品物配置法"及び "混載品物配置法"を併用した「不均等混載品物配置法」(2-6-12 項参照)を用い、極めて 過密に品物を配置した特殊なひっかけ治具の事例である。

図 3-24 中にひっかけ治具 1 本当たりのめっき加工全額の増額状況を示しているが、"不均等混載品物配置法"を利用すると、一般的な品物配置法の場合、 2 倍以上の作業能率が向上できることが分かる。

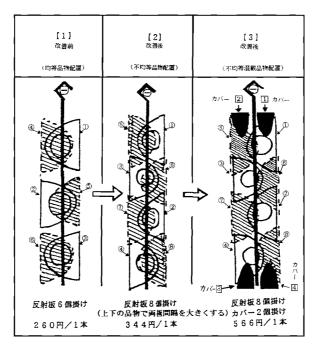


図 3-24 "不均等品物配置"、"不均等混載品物配置"への ひっかけ治具改善による経済的効果例

## 3-3-4 高電流密度作業による作業能率の向上

すでに述べてきたように、ひっかけ治具を改善・開発すれば、槽内の電流分布が均一に なり、高い電流密度でのめっき加工が極めて容易になる。

この結果、作業者は徐々に高い電流密度で作業する自信がつき、自然にめっき作業スピードも早くなってくる。(図 3-25 参照)

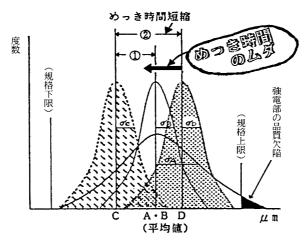


図 3-25 めっき槽内の電流分布均一化(ロット品質の均一化)により めっき時間短縮を図るための品質管理的構図(ミニマム管理の場合)

図 3- 25 より分かるように、(A)のロット品質分布であったものを、ひっかけ治具の改善により槽内電流分布を(B)の状態に改善すれば、品質の規格下限との間に余裕を生じる。この余裕()のめっき膜厚の分をめっき時間短縮できる。

今度は品質の規格上限との間に、めっき膜厚(電流密度の上限)に余裕ができた分( )だけめっき電流密度を上げても不良を生じなくなる。

したがって、高電流密度めっき作業で厚くめっきされ、ロット品質(D)を適正品質状態に改めるために、めっき時間を()だけ短縮してやる。

要するに、ひっかけ治具を改善してロット品質分布()を小さくすれば、不良発生を未然に防げるため、ミニマム管理でロット品質を保証する場合には、図 3-25 中の()の分だけめっき時間を短縮できることになる。(表 3-2 参照)

もちろん、めっき電流密度を高くして作業できれば、槽内への品物配置個数も増やすことが容易になり、総合的にめっき作業能率を向上することができる。

表 3-2 は、ひっかけ治具を改善・開発して、槽内電流分布を均一化した場合のめっき作業能率向上に関するメリット試算である。

表 3-2 槽内電流分布の均一化によるめっき作業能率向上後の生産性向上の具体例 (めっき作業スピード 5 0 %アップの実践計画表)

		,			
項目		従来の作業法	新しい作業法	改善の倍率	
めっき時間	めっき時間 Cu		692注①	1. 3	
(秒)	Ni	720	554注①	1. 3	
電流密度	Cu	2. 5	4.0	1.6注②	
$(A/dm^2)$	Ni	3. 5	5. 3	1.5注②	
めっき配置面積	Cu	600	(780)注③	1. 3	
(dm <sup>2</sup> )	Ni	500	(650)注③	1. 3	
槽液量	Cu	6000	6000		
(2)	Ni	5000	5000		
電流濃度	Си	0. 25	0.4(0.52)	1.6(2.1)	
(A/l)	Ni	0.35	0.53(0.69)	1.5(2.0)	
めっき配置密度	Cu	0. 1	0.13	1. 3	
$(dm^2/\ell)$	Νi	0. 1	0. 13	1. 3	
1時間当り理論加工数		240	312(405)	1, 3(1, 7)	
(めっき作業速度)	(個)	(ハンドルBの場合)	312(403)	1. 3(1. 1)	
操業時間	(分)	540	432(360)		
実質作業速度アップ率		1	注④		
		1	1.25(1.5)		
直接作業員	(人)	10	11(13)		

- 注① ロット品質を保証するための第1改善目標とした。
- 注② めっき配置密度を上げるために多少高目がよい。
- 注③ ( )内は、槽内めっき配置個数を増やした場合。
- 注④ 実質作業速度アップ率は、作業段取りの不備により理論アップ率に 達しないが、人員配置やマテハン改善によりさらに向上する。

#### 3-3-5 ロット品質均一化による直接材料費の削減

今日のように大きな経済の転換期においては、市場ニーズを先取りして新しい需要や顧客を創ることも大事であるが、工場の生産体質総点検を試み、徹底的に「生産ロス」を排除していくことも忘れてはならない。

高度成長期から今日までめっき企業を診断して痛感することは「不良仕損費」と「過剰 品質ロス」の大きいことである。

需要が順調に伸びていた時代には、売上高と納期優先の生産活動により、これらの「生産 ロス」を黙認してきたことは否めない。将来、ハイテク市場への進出を図る工場では規模 の大小を問わず生産設備の高度化が必須条件になるが、これらの生産設備を巧みに利用す るためには電流分布管理を巧みに行うためのひっかけ治具を完備していなければ、高度な 生産設備も「無用の長物」となってしまう。

一般にめっき企業では「不良仕損費」の削減には注目するが、「過剰品質ロス」には無関心になりやすい。そこで、次に過剰品質の代表例である「厚すぎるめっき」の解消についてロット品質均一化を中心に考えてみる。(図 3-26 参照)

いずれにせよ、「厚すぎるめっき」加工は、貴重な直接材料費や労務費などを捨てるような結果になるばかりではなく、生産要員の合理化意識を形骸化していくために、これからの利益対策では十分に注意する必要がある。

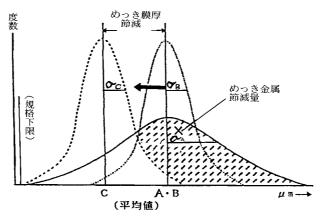


図 3-26 槽内電流分布均一化(ひっかけ治具改善)によるめっき 金属析出量(直接材料費)削減の構図

図 3-26 で分かるように(A)のようにロット品質バラツキ(分布)が大きい場合には、品質規格下限を保証するために、ムダな金属の析出が必要である。実はこの"ムダな金属析出量"が貴金属(金・銀・ロジウムなど)のめっきコスト高の直接原因になっている。

もしひっかけ治具を改善して槽内電流分布を均一化することができれば、(B)のヒストグラムのように、ロット品質のバラツキが小さくなってくる。この状態では品質保証の規格下限に担当の余裕ができるため、図 3-26 の(c)の状況に、ロット品質の平均値を薄くしても品質を保証できる。

この結果、めっき時間も短縮できるがその他に図 3-26 の網目印の分だけ析出金属量を削減できることになり、一石二鳥の効果が期待できる。図 3-27 は、その効果事例である。

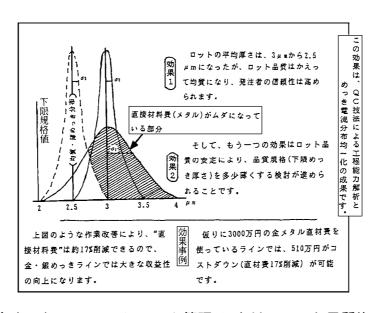


図 3-27 金めっき(2 µ mのミニマム管理)におけるロット品質均一化による 直接材料費削減の事例

#### 3-3-6 "ライン生産能力"向上による生産収益性の向上

最近、めっき企業を訪れると『設備は近代化し、しかも工程編成は最新の技術を駆使してやったのに、生産の"質(能率・効率)"が全く良くならない!』と嘆かれる工場責任者に出会うことがある。そんな場合に、筆者は、「チンタラ・空気めっき症候群」の話をして、生産の能率やライン稼働率の自己生産診断を勧めている。

では、その診断の要領を簡単に述べる。

#### 「チンタラめっき度」

"実施平均電流密度"を"標準平均電流密度(添加剤商品カタログ参照)"で除して百分率を求める。100%を割れば要注意。

#### 「空気めっき度」

"基準槽内の品物有効総表面積"を"品物側の陽極総表面積"で除し、百分率を求める。めっき種により標準と比較する。

もしも、標準以下であれば、自分達のライン生産能力に対し、自分達の手で徹底的な解析を勧める。

#### (1) "ライン生産能力"向上の考え方

現在めっき企業の「原価低減」は、"背に腹は変えられない"状況にある。そこで、次の要領で一刻も早く生産管理体制の刷新を決断し、全社的な"ライン生産能力向上計画"を進めて欲しい。

## めっき作業速度の向上

- 一般に、"めっき作業速度"は1時間当たりの加工数量の大きさで判断している。 そしてこの速度は、
- a.めっき速度・・1分間にどの位めっき厚がつけられるか?(ミリミクロン/1分間)
- b.槽内品物配置密度・・基準めっき槽内に何個の品物を配置しているか?

(品物配置個数/基準品物配置個数)

したがって"めっき作業速度"を高めるためには、めっき槽内の電流分布を均一にし、 なるべく高い電流密度で作業する「電流分布の管理」が必要になってくる。

ほかにも作業管理を徹底するとか、工程異常の発生を未然に防ぐ工程管理を徹底するなど、キメの細かい生産管理や作業改善活動が不可欠である。

どうかすると、人手不足のため悪いと分かっていても、つい不良や異常の発生後に、 応急的な処置をする慣習が残っている工場がある。しかしこんなことでは、どんなに高 度な自動設備や自動制御装置を導入しても、現状の生産技術水準で、年々"めっき作業 速度"を高められる保証はどこにもない。 "工程利用効率"の向上

めっき生産のように、「工程」の働き具合で生産性(例えば1時間当たりの加工個数)が、大きく左右される"装置工業"では、この"工程利用効率"がラインの生産能力向上に大きく関わってくる。では、どうすれば"工程利用効率"を向上できるだろうか。

- a.与えられた品質仕様を"価値分析"技法で点検し、過剰品質加工を事前に防ぐ。
- b. 品物の有効面の各部分に、品質の均一なめっき加工を行うために、付属設備(ひっかけ治具・バレル)の改善・管理を徹底し、ムダな工数(人員×時間)を削減する。
- c.膜厚の薄いめっき皮膜でも、要求される品質特性(外観性・耐食性・電気特性など) を保証できる生産技術を開発し、ムダな作業時間を削減する。

#### ライン稼働率の向上

一般に、"ライン稼働率"は、「実際のライン稼働時間」を「ライン操業時間」で除し、 百分率(%)で示す。

したがって、設備故障・不良発生・素材切れ・作業者の休息などによる"ライン稼働時間ロス"を削減する総合的な生産管理活動を徹底すれば、"ライン稼働率"をもっと向上できる。工程進度管理にパソコンを利用すれば、極めて効果的である。

#### (2) "ライン生産能力"強化による原価低減の事例

この工場では、車輌・家電関連部品を中心に、亜鉛・銅・ニッケル・クロムなどの装飾・防錆めっき加工を行っている。月3回の週休2日制導入及び残業短縮計画の推進を図るために、ライン生産能力強化の3年計画を進めてきた。次にその概要を述べてみる。

#### 作業能率の向上

めっきスピードアップと品物配置数の増加により、作業時間を短縮する。

#### 工程利用効率の向上

工程管理を徹底して、不良手直し作業を削減し、さらに過剰品質(過剰膜厚めっき)を 排除する。

#### 設備稼働率の向上

工程進捗管理や設備の事前保全管理の徹底及び混載めっき法の導入により、操業時間 ロスを排除する。これを次の式に当てはめると

式 1:作業能率向上(10%)×工程利用効率向上(11%)×設備稼働率向上(4%)

= ライン生産能力向上率(27%)

式2:(変動費比率×変動費低減率)×固定費比率×<br/>(60%)固定費増加率比率(5%)ライン生産能力向上率(27%)

= 製造原価低減率(10%)

とし、以上の3対策を中心に生産改善を進めたところ、式1により"ライン生産能力"が27%向上された。

式2はその結果、製造原価低減率が10%下がることが分かる。

そして、表 3-3 は"ライン生産能力"を強化することによって、操業時間が大幅に短縮され、全社的に生産改革に取り組んだ結果、生産高は10%、加工高も16%増加し、さらに残業時間は約20%短縮されたため、1人1時間当たりの加工高は、45%も高めたことを示している。

表 3-3 ひっかけ治具の開発・改善を中心に進めた「めっき生産合理化計画」の業績例

No.	項目	導入年度の 月平均(千円)	改善後の月 間平均(千円)	改善の 効果	備考
(1)	[生産高(部品費·返品損費除)]	60,000	66, 000	10%增加	ハイテク品受圧増加
(2)	労務費(直接・間接費) 40名	15,000	15, 000	±0	現状人員で生産改革
(3)	外注費(研磨・後加工費)	1,800	1, 782	1%低減	処理工程改善の効果
(4)	原材料費(直接・間接費)	16, 200	15, 390	5%低減	過剰厚めっきの排除
(5)	製造経費(減価償却費・電力費・ 修繕費・消耗品費他)	10, 800	11, 340	5%增額	生産設備の改造と試 験・計測機器の拡充
(6)	[製造原価 (2+3+4+5)]	43, 800	43, 512	1%低減	原材料ロスの排除
(7)	[一般管理販売費(技術開発費含)]	12,000	14, 400	20%增額	品質・機能開発の拡充
(8)	*加工高 {1-(3+4)}	42,000	48, 828	16%上昇	均質・薄めっきの成果
(9)	* 売上総利益 (1-6)	16, 200	22, 488	39%上昇	製造原価削減の成果
(10)	*原材料生産性 (4÷1)	(27.%)	(23.%)	15%向上	不良率低減成果
(11)	* 労働生産性(8÷2) (1人当りの加工高)	1,050 (千円)	1, 221 (千円)	16%向上	生産体質改善と品質・ 機能開発の成果
(12)	[月間操業時間 (残業を含む)]	250(Hr)	200(Hr)	20%削減	月2回遺体2日制へ
(13)	* 時間・労働生産性(11÷12) (1 人・1 時間当りの加工高)	4.2(千円)	6.1(千円)	45%向上	製造原価ロスのゼロ・ 省工数化の成果
(15)	[経常利益 (9-7)]	4, 200(7%)	8, 088(12%)	93%增益	生産機構改革の成果!

## (3) "ライン生産能力"倍増計画の実現を狙う全社的活動の進め方

図 3-28 は「ひっかけ治具改革」の推進を全社的に進める構図であるが、この計画推進の中心となるのはあくまでも「めっき槽内の電流分布と管理」であり、つまり、ひっかけ治 具の本格的な開発・改善にあることに注目してほしい。

なおこの計画推進にあたっては"IE(作業改善)"・"VA"(価値分析)・"QC"(品質管理)の3手法を巧みに活用する全社的な活動の展開が不可欠である。

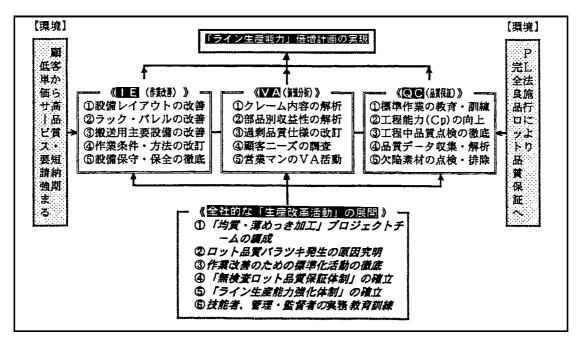


図 3-28 「ライン生産能力倍増計画」を実現する全社的展開の構図

## 3-3-7 "均質・薄めっき生産方式"で製造原価の低減

特に耐久消費財へのめっき加工では、無欠陥めっき層を有効面全面に均一被覆するといった"均質・薄めっき加工法"の開発が遅れているが、その原因は槽内電流分布の不均一性、つまり、「ひっかけ治具」の欠陥にあると言える。

一般に素材の表面では多かれ少なかれ欠陥があるばかりでなく、めっき面にもいろいろな欠陥(ピット・ざらつき・亀裂など)を生じる。従来はこれらの欠陥があることを前提として不必要なめっき膜厚を付けて、耐久性を維持するといった消極的な考え方があった。

もし、徹底的にひっかけ治具の改善・開発に取り組み、めっき前処理法、めっき加工法など関連技術の開発・改善を進めるならば、従来のめっき膜厚よりも30~60%位は薄くても十分耐久性及び機能を保証できると考える。

#### (1) 品物への局部電流密度の差とめっき品質

これまでは、ハイテク部品といっても品物局部の品質特性について問題にすることは少なかったが、現在、ハイテクめっき部品等で完璧な品質保証を要求されてくると、品物各部分(局部)の結晶構造や結晶配向の違いまで問題にされるであろう。

ちなみに新井氏は、電流密度と結晶構造の関係について次のことを述べている。

「各電流密度で得られたニッケル皮膜表面の電子顕微鏡写真を写真 3-3 に示す。写真 3-3 の a ~ d は浴温 45 度、無攪拌の結果、電流密度 4 A /dm²では、全体に角張った凹凸の激しい析出状態であるが、過剰な電流密度になり始める 16 A /dm²では緻密な結晶状態となった。さらに電流密度を上げていくと緻密な析出面が現れ、64 A /dm²の皮膜で見られるように、全体が入り組んではいるが均一な析出状態となった。」そしてまた、めっき皮膜の硬さと電

流密度の関係を「過剰電流密度とは電流効率が明らかに下がり始める約 15 A / dm² 以上の電流密度である。皮膜の硬さは限界電流密度以下の領域では、約 200 ビッカース硬度だが、過剰電流密度になり始める 16 A / dm² で 400 ビッカース硬度を超え、それ以上の電流密度では徐々に低下した」と報じている。(資料出所:新井進、過剰電流密度で電析したニッケル皮膜、表面技術、vol.44.No.4,1993)



(a) 4A/dm² (b) 16A/dm² (c) 30A/dm² (d) 64A/dm² 写真 3-3 各電流密度でのニッケル皮膜表面の電子顕微鏡写真

一般に電気通信機器に用いるコンタクトめっきでは、電気特性、硬度、耐摩耗性、耐食性等の性能特性が要求されることが多い。また、発注者が規格で定めためっき厚みを厳しく要求してくるのは、1個の部品にはめっき皮膜の厚さのバラツキがあり、所定の品質特性を十分保証できないからである。優れたコンタクトめっきを行うためには、めっき金属と素地との拡散の問題などがある。また、めっきについての注意点は、合金めっき皮膜の局部的な合金比率の相違及び膜厚とピンホールの関係も大事である。

どんな耐食性の優れた金属や合金をめっきしたとしても、ピンホールがあっては意味がない。ピンホールのために、かえってめっきしない場合より悪い結果になることがあるくらいである。めっき皮膜の厚さは、場所によってバラツキがあり、ピンホールの数、大きさも違ってくるので、最低めっき厚を十分に確保する部品の局部的電流密度の均一化が極めて大事である。

#### (2) "均質・薄めっき生産方式"を確立するための5レベル

筆者が最近「ひっかけ治具改革」を提唱した主な狙いは、"均質・薄めっき生産方式"を確立して、抜本的にめっき製造原価の低減とともにめっき品質信頼性の向上を図るためである。

これには、従来のめっき生産に関する抜本的な意識改革が不可欠になってくるが、図 3-29 のように「ソフトな技術」と「ハードな技術」の調和を図りながら、生産方式のレベルアップを着実に実践する工場の生産体制づくりが先決問題である。

図 3-29 の "均質・薄めっき生産方式"確立に関する 5 レベルは、筆者の現場生産体験を中心に作った一つのモデルにすぎないので、各企業または各生産ラインごとに適当に修正して欲しい。

<b>•</b> -	→目標達成活動の	ハードウエア関係	車の技術開発・改善を	舌動 (主要設備、付原	(設備、制御装置)
→導入準備	【レベル(1)】 「トップ主導 ・ボトムアッ ブ活動」によ る機動力強化	・付属設備の改善 ・ひっかけ治具、 バレルの改善 ・計測機器の完備 ・搬送設備の改善	・檀内電流分布均 一化に設備改善 ・めっき浴組成の 改良 ・電源の能力確保	・混載式ひっかけ 治具の工夫 ・自動制御装置の 利用 ・省力機器の利用	・特殊ひっかけ治 具の利用 ・浴中の不純物除 去装置の利用 ・新プロセス利用
ソフトウィ	・作業の標準化 ・設備保守の徹底 ・工程管理の徹底 ・職場教養の徹底 ・作業改善の徹底	【レベル (2)】 ① 工程中ロット品 質保証の実現 ② 不良・クレーム 発生の根絶			
エア関連の技術	・工程能力の向上 ・作業管理の徹底 ・4 M (人、機械 、素材、方法) の徹底		【レベル (3)】 ① めっき作業速度 アップ ② めっき作業時間 の短鞘		
術開発・改善と	・めっき生産設計 の開発 ・過剰品質仕様の 修正(VA) ・混載作業法利用			【レベル(4)】 ① 槽内品物配置個 数の増加 ② ライン稼働時間 の短縮	
活動	・品物の局部電流 密度の均一化 ・ppm水準品質 保証の徹底 ・保証資料の提出				【レベル(5)】 ①高品質・薄めっ き生産法の実現 ② 労務費と直接材料費の削減

図 3-29 「ひっかけ治具改革」でハードウェア水準の向上を試みた

"均質・薄めっき生産方式の5レベル"

(注) レベル(1)の「目標達成活動」準備段階では、経営の理念、方針、目標、 計画を明示する。

「工程能力」の向上とは、工程でロット品質のバラツキ度(Cp、Cpk)を小さくすること。

「特殊ひっかけ治具」とは、しゃへい板、補助陰極・陽極を用いて槽内 電流分布を均一化する治具。

「混載式ひっかけ治具」とは、めっき槽内に各種の品物を混載できる 特殊なひっかけ治具

レベル(2)以降の各レベルの開発・改善活動には、前レベル迄の技術、設備を活用する。

#### 3-3-8 独自な設計・製作・管理によるひっかけ治具コストの低減

よくめっき工場の作業者は、「薬品を調合・調整する「化学」には強いが、小道具や設備を改善する「機械」や「電気」に弱い。」と言われている。

電気めっき生産の仕事が、中小企業として魅力があるのは、これらの3つの技術が融合し、 現場の実務経験が少ない技術者には苦手な「泥臭い生産技術」になっているからだと思う。

従って、現場でめっき生産に携わる管理・監督者や作業者は、言葉では言い尽くせない 苦労が多いかもしれない。しかし、その反面、生産合理化の勘どころを充分心得てさえい れば、意外に大きな成果を上げることができるので、"仕事の楽しみ"も多い。

工場やラインの責任者はもっと「ひっかけ治具」の生産的役割を考え、第1線の作業者に対して「ひっかけ治具」の開発・改善の仕事を思い切って任せてみてはどうであろうか。 (1) "ひっかけ治具意識"刷新のすすめ

最近、「ひっかけ治具」の設計・製作に関して、自工場で図面や治具の試作品を準備しないで一切業者に任せ、しかも納期に無理をいう工場が増えてきている。このような工場に対しては、治具メーカーがどんなに好意的であったとしても、作業能率・効率の良い「ひ

っかけ治具」を製作できる保証はない。もしそうであれば、将来、その工場の生産性の向上は全く期待できないことになる。

一般に、自動化生産ラインでは収益性が悪い工場では、「ひっかけ治具」の設計・試作技術に問題がある場合が多い。このような工場では設備設計の以前に、自社の生産形態に十分合致した「ひっかけ治具」を設計・試作できるような付属設備工作部門の充実を図っておく必要がある。また、特殊な仕様や部品については、逐次、専用化及び特殊化計画を進めることで、小回りの利いた生産ラインに改善する必要がある。

ところで、めっき生産合理化のために、本当に「ひっかけ治具」の価値を認め、21世紀の生き残りをかけて、"ひっかけ治具改革"に取り組む決意がありさえすれば、ひっかけ治具に関する機能向上やコスト低減は難しいことではない。

もし将来、ひっかけ治具意識改革を試みる企業では、早速、電流分布管理の基礎知識を 勉強し、既存のひっかけ治具の改良と標準化に取り組んで欲しい。その後に機能と寿命を 点検し、製作の方法を検討・改善していく。

地味ではあるが、これらの基本的な改善により、ひっかけ治具の生産的な役割と価値観が 従業員の1人ひとりに浸透していけば特別な仕様の品物や特殊な形状の品物から、専用化 及び特殊化を進めていくのが良いのである。

## (2) ひっかけ治具の機能向上とコスト低減のポイント

では次に、従来の「ひっかけ治具」に対する"消耗品意識"を改め、設備に十分マッチ したひっかけ治具を大事に、しかも永く使用するための10ポイントを列記する。

ひっかけ治具は自社で責任をもって設計する。

専用ひっかけ治具は、必ず工業実験を行って設計内容を改善する。

ひっかけ治具の防鍍コーティング皮膜の厚さは、標準厚さに加工する。

枝骨への防鍍コーティング加工は、特に密着性を良くする。

品質保証の厳しい品物、低単価受注のひっかけ治具の設計に対しては、自社の独自性 を十分生かして、特殊設計する。

品質管理、枝骨、接点の"めっきぶとり"防止対策の点から「理想接点」の採用を工夫する。

ひっかけ治具の日常保守要員には、専任者を十分配置して、接点部分の保守管理を徹底する。

「理想接点」の採用により、枝骨接点の"めっきぶとり"の化学はく離、電解はく離を極力避け、ヤットコやハンマーによる機械的なはく離法を工夫する。

「理想接点」による多接点法を採用し、枝骨の材料は電気抵抗の大きいステンレス材 を避け、比較的通電性の良いピアノ線、リン青銅材の利用を工夫する。

ひっかけ治具を外製する場合には、製作納期を十分に与え、しかも製作メーカーの希望する適正な製作費で品質に責任をもってもらう。

## 3-4 ひっかけ治具の改善と品質管理

最近、電子機器部品や自動車・家電部品で、めっき加工品に対するロット品質保証問題が厳しく取り上げられるようになってきた。

既に機械・組立工業では、無検査ロット品質保証はほとんどの場合、ppm 管理(ロット中に 100 万分の1~10 個の欠陥、不良が混入していてもロット返品になる厳しい受け入れ方式)を要求してきている。とりわけ、めっき生産では、「完成検査」によるロット品質保証が不可能に近いため、工程中でロット品質を計数的、つまり「工程能力指数(Cp・Cpk)」でつかみ、納品ロットに添付する品質保証方式が生産者の義務になると思われる。工程能力指数については後稿で詳述する。

元々、特殊工程に属しているめっき生産では、ロット中に欠陥・不良品の1個もない「完全良品ロット生産」は容易ではない。そこで今日のように工程管理の中途半端なひっかけ 治具を使用しているとロット品質の保証がますます難しくなってくる。

## 3-4-1 特殊工程での品質信頼向上の考え方

めっき生産は品質管理で、特殊工程に分類されている。ちなみに「ISO9000シリーズに関する条項」では、「特殊工程とは、後工程の検査や試験によってチェックできない工程のこと(例えば、溶接、メッキ、熱処理など)」となっている。

そして、特殊工程における工程管理のあり方を「特殊工程については工程で品質を作り込む方法を明確にし、特別な管理を行って品質確保をはかる」と、"特別な管理"の徹底を強調している。この"特別な管理"とは、めっき槽内の電流分布管理技術、つまり、「ひっかけ治具」の設計・製作・管理などが中心になっていると言っても過言ではない。

最近、ハイテク製品メーカーでは、めっき部品に関する品質トラブルを防ぐため、不良率をパーセント単位で示す「AQL(許容不良率)パーセント保証方式」に満足せず、100万個中に  $10 \sim 30$  個の不良品の混入まで問題にする"ppm 水準"でのロット品質保証方式、つまり、「ppm 管理」に切り替えるメーカーが増えてきている。

ところが、まだ品質管理の原則である「工程で品質をつくり込む」といった、"無検査ロット品質保証"の意識が十分浸透していないまま、完成品の検査室で、大勢の検査員が品質検査に熱中しているめっき企業が多い現状である。

ちなみに、「ppm(ピーピーエム)」とは、parts par million の意味で、100万個のロット中に不良品が混じっている状況を表す不良率の単位である。

品質特性に破壊試験項目の多い"特殊工程"のめっき生産では、外観的な品質(光沢、焦げ、亀裂、ピット、ピンホール、ざらつき、しみ、汚れ、エリア、傷など)や非破壊試験が簡単にできる代用特性だけを、どんなに厳しく検査しても、めっき部品の機能(寿命)を完全に保証することは無理である。

密着性、耐食性、はんだ付け性、ボンディング性、耐熱性、耐衝撃性、硬度など破壊試験の必要な品質特性については、素材の表面性状や設備の性能、そして工程能力など工程中での品質点検データが、納品後のロット品質を保証する貴重な保証書の代わりをすることになる。

注意することは、「特殊工程」のめっき品質管理では、破壊試験項目が多いため、つい 抜取検査が用いられる。

しかし、100ppm 未満の不良率のロットに対しては、統計的な見地から抜取検査では、ロット品質を正しく判定できないと言われている。そうだとしたら、とりわけハイテク部品へのめっき生産ラインでは、早く完成検査を返上する「ppm 管理」を導入するために、思い切って、「ひっかけ治具」の開発・改善に先行投資を試みて、表 3-4 に示すような「品質管理」的なメリットを得ることが大事である。

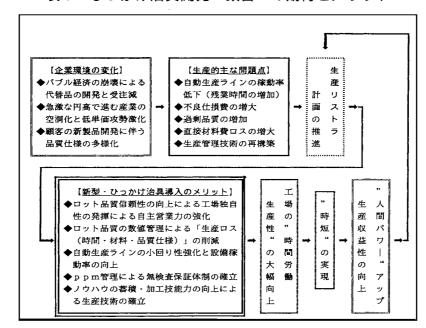


表 3-4 ひっかけ治具開発・改善への期待とメリット

# 3-4-2 「 4 M管理」の徹底による工程能力(Cp)の向上とロット品質信頼性の向上

図 3-30 は、"無検査ロット品質保証"で、「完成検査」を返上するための品質保証式の導入手順である。

この図では、 の「4M管理の徹底」及び「ひっかけ治具の標準化」に注目して欲しい。 なお、図 3-31 は、「4M管理」つまり、「ひっかけ治具」の改善と日常管理の徹底による「完成検査」返上の構図である。

この構図から、「ひっかけ治具」とめっき品質管理及び「完成検査」返上との密接な関係が理解できるであろう。

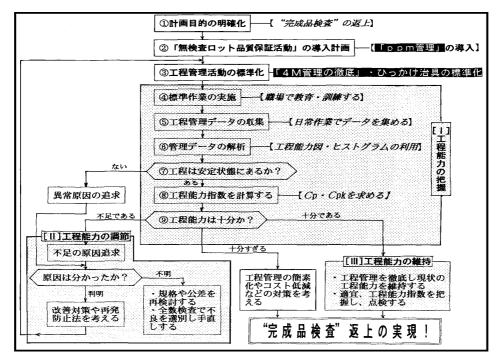


図 3-30 「完成品検査」を返上する無検査ロット品質保証方式導入の手順 (参考資料:細谷克也、現場のQC手法、日科技連)

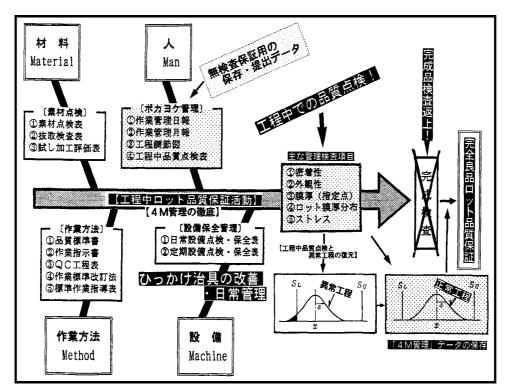


図 3-31 「 4 M 管理」徹底による完全良品ロット品質保証活動実践の構図

# 3-4-3 ひっかけ治具標準化によるロット品質バラツキの計数的把握の進め方(C p の求め方)

一般に工場で生産される製品のロット品質はバラツクものであり、その品質のバラツキ 具合は、設備や作業条件の影響を受けやすい。

統計的な考え方では、この品質バラツキがあることは認められているが、問題はこのロット品質のバラツキを、どうすれば公差(許容された品質バラツキ範囲)内に押さえ込むことができるかが問題である(図 3-32)。

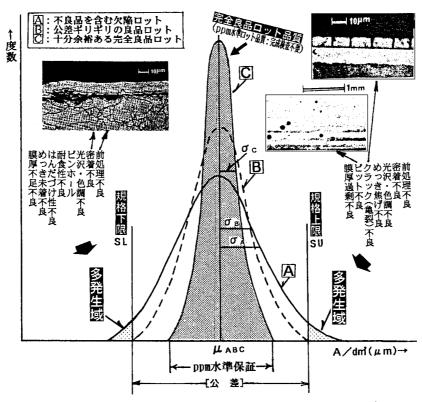


図 3-32 めっき槽内の電流分布により生じるロット品質バラツキと 不良多発生域モデル

最近、電子機器部品や自動車・家電部品で、めっき加工品に対するロット品質保証問題が厳しく取り上げられるようになってきた。すでに機械・組立工業では、無検査ロット品質保証はほとんどの場合、ppm管理(ロット中に百万分の1~10個の欠陥、不良が混入していてもロット返品になる厳しい受け入れ方式)を要求している。

このようなロット品質分布は、つぎの"工程能力指数(Cp)"で表示されるが、このためには「ひっかけ治具」の標準化が不可欠である(3-1-1項、図 3-1 参照)。

ちなみに、「工程能力」とは、工程のつくりだす"品質達成能力"のことである。品質管理の解説書によると、「工程を安定な状態に維持した場合に、その工程から生産される製品の品質が達成できるバラツキの幅」を「工程能力指数 Cp (process capability)」で表している。

また、工程能力を現場で分かりやすく表わす方法として、品質特性が計量値の場合は、図 3-33 に示すような「工程能力図」を用いる。数値的に評価するには、図 3-34 に説明する「工程能力指数」を求める。

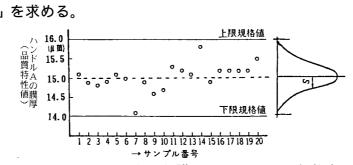


図 3-33 ハンドルAめっき膜厚(Ni)の工程能力図

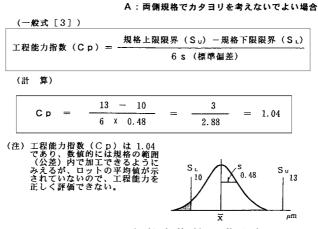


図 3-34 工程能力指数の求め方 (両側規格でカタヨリを考えなくてもよい場合)

表 3-5 は、"工程能力指数(Cp)"の値とロット品質分布の良否を示す一覧表であるが、 工程能力が悪い(ロット品質バラツキが大きい)場合の処置を説明している。

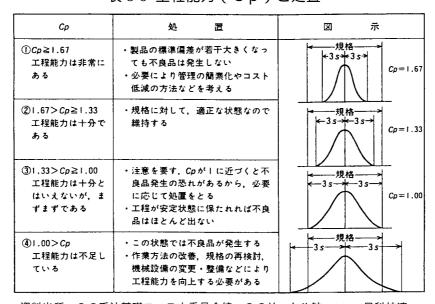


表 3-5 工程能力(Ср)と処置

資料出所: QC手法基礎コース小委員会編、QCサークル誌 335・日科技連

一般に、めっき加工ロットの品質保証で要求されるのは、図 3-35 に示すような"片側下限規格: S L"の保証であり、このロット品質管理のことを「ミニマム管理」と言っている。

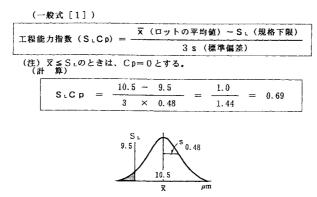


図 3-35 工程能力の求め方(片側<下限規格>の場合)

例えば、図 3-35 の場合は、"工程能力指数(S L C p)"が 0.69 であり、1.00 を割っている(表 3-5 参照)ので、下限規格(S L)を保証できなかったことになり、ロットアウトになるのである。

本稿では、両側規格でカタヨリを考える場合(Cpk)に関する説明は省略する。

## 3-4-4 ひっかけ治具の欠陥により発生するめっき不良の分析

一般に、めっき生産では「ひっかけ治具」の設計不良、保全不良に原因するめっき不良、 欠陥の発生が非常に多い。

次に特性要因図を用いて、主なめっき不良発生と「ひっかけ治具」の関係を示してみる。

(1) 不均一電流分布によるめっき不良

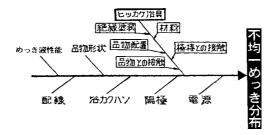


図 3-36 不均一電流分布発生の原因

(2) ひっかけ治具に原因する"ザラツキめっき不良"

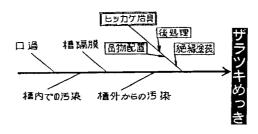


図 3-37 "ザラツキめっき"発生の原因

# (3) ひっかけ治具に原因する"めっき密着性不良"

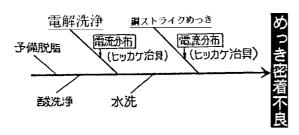


図 3-38 "めっき密着不良"発生の原因

## 3-4-5 重力式 (チョンがけ)ひっかけ治具は不良発生の元凶

「重力式(チョンがけ)ひっかけ治具」は、現在、自動化生産ラインとりわけ、青化亜鉛、ジンケート亜鉛浴、シアン化銅浴、ニッケルめっき浴などで相当量使用されている(写真 3-4 参照)。しかし、作業性が良いことから「ばね式ひっかけ治具」に改良しようと考えている工場は非常に少ない状況である。

この状況を続けていくと、めっき企業の環境対策を抜本的に解消できないばかりでなく、 作業効率が極めて悪く、不良も多発生するので、21世紀のめっき生産としては大いに反 省する必要がある。



写真 3-4 重力式 (チョンがけ)ひっかけ治具の例

次に、改めて「重力式(チョンがけ)ひっかけ治具」の生産的な問題点を列記してみる。 弱電流部分の脱脂洗浄力が弱くて有機溶剤を完全に省くことが難しくなる。

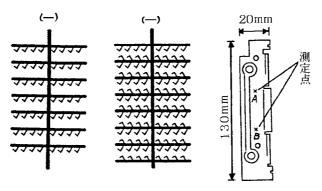
めっき作業中に品物が動くため、通電が瞬間的に切れる際に、バイポーラ現象が起き て密着不良を発生しやすい。

品物凸部への電流密度が大きくなり、高電流密度作業ができないため、凹部分や裏面へのつき回りが悪く、品物を過密に配置できない。

通電接点と品物が動くため、高電流密度作業が難しく作業能率が悪くなる(図 3-40、図 3-41 参照)。

品物との通電接点数が少ないため、ロットのめっき膜厚バラツキが大きくなり、過剰めっき膜厚作業が多くなる(図 3-40、図 3-41 参照)。

このような「重力式(チョンがけ)ひっかけ治具」の欠点を現場の生産で実証するためにシアン亜鉛めっきで次の実験を行った(図 3-39)。



重力式ひっかけ治具 2点接触ひっかけ治具 品物形状

図 3-39 重力式ひっかけ治具と 2 点接触ひっかけ治具の比較実験

その結果は、極めて均一電着性の良いシアン化亜鉛めっき浴における実験にもかかわらず、次のように「2点接触ひっかけ治具」において、優れた結果を得ることができた(表3-6参照)。

表 3-6 重力式 (チョンがけ) ひっかけ治具と 2 点接点ひっかけ治具のロット品質分布比較

重力式(チョンがけ)ひっかけ冶具

		A点	B点
最大值	Max	5.42 μm	6.04 μm
最小値	Min	3.33 μm	3.69 μm
平均値	x	3.99 μm	4.61 μm
標準偏差	s	0.51	0.51
工程能力指数(下限)	SLCp	0.01	0.40

#### 二点接触ひっかけ冶具

		A点	B点
最大値	Max	4.92 μm	4.99 μm
最 小 値	Min	4.14 μm	4.23 μm
平均値	x	4.58 μm	4.65 μm
標準偏差	s	0.17	0.17
工程能力指数(下限)	SLCp	1.13	1.25

(資料出所:橋本、上級表面処理講座修了認定研究レポート)

表 3-6 の結果により明らかに「 2 点接触ひっかけ治具」の性能が優れていることが理解できる。

表 3-6 の実験結果(工程能力指数: Cp)を統計的に考察するために、ヒストグラムで示したものが、図 3-40、図 3-41 である。この図より A 点、 B 点において「 2 点接触(ばね式)ひっかけ治具」の方が、同一めっき作業条件で、ロット品質(膜厚)バラツキが小さくなっていることがわかる。

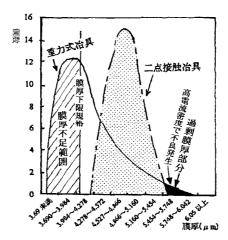


図 3-40 本実験結果(A点)のヒストグラム考察

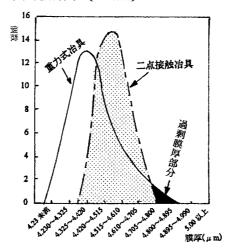


図 3-41 本実験結果(B点)のヒストグラム考察

この実験結果により、「重力式(チョンがけ)ひっかけ治具」を「2点接触ひっかけ治具」 に改善することで、めっき電流密度を上げて作業し、めっきスピードアップを実施できる ことも分かる。

この他にも「2点接触ひっかけ治具」を採用して、「重力式(チョンがけ)ひっかけ治具」を廃止すれば、現状の作業条件でめっき時間を短縮しても十分に膜厚下限規格(4 µ m)をクリアできるので、作業能率向上に効果がある。

## 3-4-6 丁寧な「ひっかけ治具」枝骨接点の保守、"めっきぶとり"剥離作業の必要性

めっき品質管理とロット品質保証において、枝骨接点機構の工夫、保全の大事なことは、 すでに繰り返して述べてきた。とりわけ「理想接点」の効用は予想外に大きいことも説明 してきた。

しかし、これらの優れた枝骨接点を設けたとしても、日常管理、保守作業を徹底しなければ、その効果は期待できなくなる。従って、専任のひっかけ治具保守要員を訓練して、保守作業の徹底が不可欠である。(写真 3-5~9 参照)



写真 3-5 保守専任者による枝骨接点 の補修作業状況

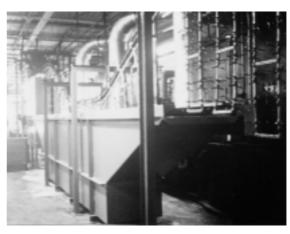


写真 3-6 自動化生産ラインに組み込まれた "接点めっきぶとり"剥離装置 (剥離作業条件の標準化必要)



写真 3-7 工場建設時からひっかけ治具格納 スペースを予定している工場の例

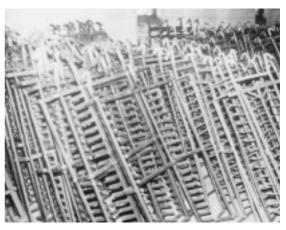


写真 3-8 乱雑なひっかけ治具格納の例 (接点の破損度が大である)

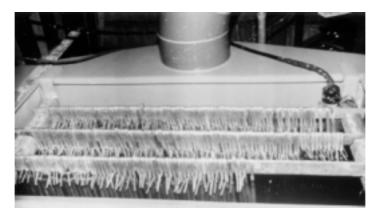


写真 3-9 標準作業を徹底している枝骨接点の剥離槽の例

## 3-5 ひっかけ治具の開発・改善と環境対策

これまでのめっき公害防止対策は、ややもすると汚染された廃水処理技術または汚染浴のリサイクル技術が中心になりがちであった。ところで、近年のように地球的規模の環境保全が真剣にとりあげられるようになると、コスト面や安全性の点から、めっき企業の公害防止方策をもっと根本から見直す必要がある。

ここに、筆者は過去のめっき生産体験を中心に、経済的に地球環境を守るための『汚染源を攻める脱公害めっき生産方式』として、つぎの5点を中心に、元から絶つ公害防止対策を考えてみる。

不良品手直し作業の返上(工程能力"Cp"管理)

つけ過ぎめっき作業の返上(VA(価値分析)提案)・作業の標準化

処理液・めっき液持込み汚染の返上(防鍍コーティング加工の密着性強化)

ひっかけ治具、枝骨、接点の"めっきぶとり"、はく離作業の返上(理想接点採用)

「重力式(チョンがけ)ひっかけ治具の返上」(ばね式接点の採用)

#### 3-5-1 公害防止対策を確立する生産技術の確立

ところで、事前対策では、問題が起きるのを待って問題解決にあたるのではなく、問題はなぜ起きるのか?」、「問題とはいったい何なのか?」と、一歩さがって見つめ、問題発生の真因を探し出し、抜本的に問題解決を進めところにポイントがある。

このような根本から問題を解決していく事前対策の優れている点はよく理解できたとしても、いざ計画・実行の段階になると、思うように進むものではない。

従って、このめっき企業の公害発生を元から絶つための「汚染源を攻める脱公害めっき 生産方式」は、下手すると机上の空論になりかねない。

そこで、筆者が前回提唱した「ひっかけ治具改革」の一環として、本生産方式の開発、導入を勧める。そして本生産方式を成功に導く秘訣は、"資産"ではなく、人(技能者)・時間(余裕)を創り出す一方で、全従業員の理解と"やる気"を高めることだと確信している。

もともと生産技術とは、いままでにないものを創造し、それに生産方法を与えて誰もが 使えるものに普遍化する創造活動であり、創意・工夫活動を中心に常に新しい生産の方法 を考えていく必要がある。

従って、めっき企業の環境保全対策にしても、「本当の問題とはいったい何か?」を正確 にとらえ、それにそった解決の方法を開発・選択するといった取り組み方が望ましい。

図 3-42 を見ると、めっき企業で地球環境を汚す原因について、その汚染源を探っていくと、日常の作業でなんとなく使っている薬品や金属そして電気・重油など光熱用エネルギーまでも、汚染に関わっていることがよく分かる。

そこで各工程で汚染源になるようなめっき作業を探し、その対策について考察を進める。

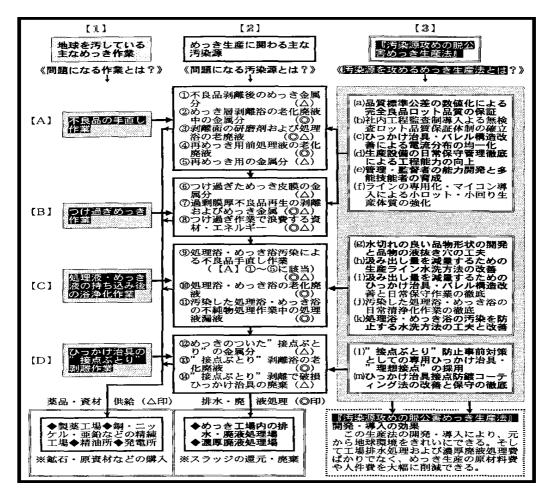


図 3-42 地球環境問題を元から解決する「汚染源攻めの脱公害めっき生産法」 開発・導入の構図

#### 3-5-2 不良品手直し作業の根絶

図 3-42 に示すように、めっき生産においていろいろな公害発生の汚染源がある中で、「不良品手直し作業」は、最大の汚染源であるとともに"生産ロス"であると言っても過言ではない。

しかしどういうわけか、不良の発生を半ば黙認している企業が多いのは不可思議である。 不良品を作れば、電解か薬品で欠陥めっき層をはく離し、再めっき加工を行うため、ど うしても金属の溶けた老化はく離浴の始末が問題になってくる。これから先、機能めっき 加工品が増えて、ロット品質の保証を厳しく要求されてくると、「完全良品ロット生産」の 生産体制を早く築きあげない限り、ますます公害対策に悩まされることになる。

従って、ラインの管理・監督者はもとより現場の作業者にも、ロット単位で品質を保証する工程管理の実務的な訓練を徹底すべきである。もちろん現場には、実際に役に立つ"ロット品質標準"や作業標準書などを取り揃えておく必要がある。

また、現場でロット品質標準を上手に活用するためには、統計的な品質管理手法のヒストグラム(度数分布図)を用い、作業者自身が工程中で品質のバラツキ状況をつかみ、標準値に従って自由にロット品質を調節する能力が必要である。

将来は、図 3-43 に示す新しい標準、つまり、管理目標を十分満足できる工程管理方式 を工夫するぐらいの管理・監督者の責任感と現場の実践力が「不良品手直し作業」を根絶 する必須条件になる。

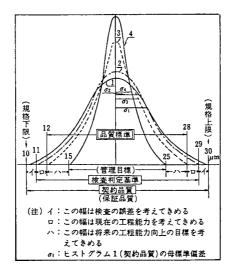


図 3-43 現在の品質標準を改め、優れたロット品質を生産するための"管理目標"

改めて、不良品手直し根絶の管理・監督者の責任をピックアップしてみると、「ひっかけ 治具」の開発・改善による電流分布管理の重要性がよく理解できる。そのポイントを次に 列記した。

素材受入点検(表面性状・表面仕上度・変形・傷・表面の変質層など)の徹底。

生産設備・装置(搬送機械・濾過機・浴攪拌装置・ひっかけ治具・バレルなど)などの日常保守・保全の徹底。

工程能力(ロット品質のバラツキ度)を標準に維持するため、浴組成・不純物点検・槽内電流分布・めっき作業条件などの点検・管理。

電解式前処理(脱脂・脱錆・脱スケールなど)工程における槽内の処理能力バラツキの解消。

ストライクめっき(銅・ニッケル・銀など)の性能維持・管理作業の徹底。

工程問における品物表面の水洗効果維持・管理作業の徹底。

## 3-5-3 膜厚のつけすぎによるめっき作業の撤廃

膜厚のつけすぎによるめっき作業は、とかく環境汚染とは無関係のように思われているが、なかには「自分の工場では、そんな馬鹿なことはやっていない」と、否定する人もいる。

しかし、現場へ行ってみると案外多いのが現状である。それは最近ではハイテク部品だけでなく、自動車・家電部品でもめっき膜厚を厳しく指定する部品が増えてきているからと思われる。

一方、破壊式めっき膜厚装置の普及により、ややもすると、膜厚を過信して品質トラブル を回避する悪い習慣が定着してきたことも否めない事実である。

よって前述した図 3-43 の品質目標で生産すれば、金属の消費量を減らすことにより、 極めて大きな効果が得られる。

ではどうして、現場作業者が品質保証のために、「膜厚つけすぎ作業」をやるのかと言えば、品物の各部分に膜厚のバラツキがあり、そして、もう1つの理由は、前述した図 3-18 に示すように、1本のひっかけ治具内の品物の配置及び位置によっても、膜厚のバラツキがあるからである。よって、めっき膜厚を均一化するための現場的注意事項を列記する。

重力式(チョンがけ)ひっかけ治具の使用を極力避ける(2-6-2 項参照)。

強制接点のバネ式ひっかけ治具を利用して、品物の各部分に平均して電流を回す。

素材自身に電気抵抗の大きい材質のものや広い表面積の品物には、通電接点を多くする多接点方式を利用する。

ひっかけ治具の技骨材料には、電気抵抗の小さいピアノ線、リン青銅線を用いる。 ステンレス線は極力避ける(2-2-4 項参照)。

陽極棒とひっかけ治具の接触機構には強制バネ機構を工夫する(2-2-6項参照)。

陽極棒とひっかけ治具の接点部分は、常に清浄化して各ひっかけ治具の接触抵抗を均一にする(2-5-2 項参照)。

めっき槽内の品物配置(陽極との関係を考慮して"めっき配置"という)を標準化してロット品質分布を標準状態に維持する(図 3-44 参照)。

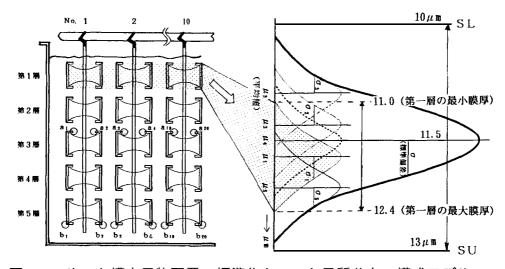


図 3-44 めっき槽内品物配置の標準化とロット品質分布の構成モデル

#### 3-5-4 処理浴、めっき浴に不純物を持ち込まない工夫と対策

めっき企業では、従来、次工程にめっき液を持ち込む公害対策に関心がなかったようである。実は、不純物を持ち込む量の多いラインほど不良率が高いばかりでなく、品質バラッキによる"膜厚つけすぎ作業"の原因となる。

一般に手作業ラインでは、不純物の持ち込み量が少ないが、自動化生産ラインでは、品物の搬送方式が制御された機械であるため、前工程からの処置液やめっき液の持ち込み量が多いばかりでなく、水洗作業も難しく、不純物の持ち込み量は増えることなる。

従って、図 3-45 に示すような、液持ち出し量が少なく、水切れ性の良いデザイン及び 品物配置を工夫する必要がある。

また、ひっかけ治具の枝骨部分の防鍍皮膜の破損には十分注意しないと、不純物を多量に持ち込むことになる。(写真 3-10、写真 3-11 参照)

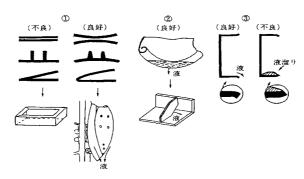


図 3-45 水切れ性を良くする品物形状による工夫例

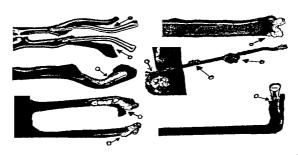


写真 3-10 水切れ性の悪い破損した枝骨コーティング皮膜の例



写真 3-11 処理液、めっき液の持ち出しを増やす枝骨防鍍コーティングの破損状況

## 3-5-5 枝骨接点の"めっきぶとり"を未然に防ぐ「理想接点」の活用

ひっかけ治具接点の"めっきぶとり"は、仕方がないと半ばあきらめている人が多いが、 少し工夫してやれば"めっきぶとり"のはく離期間を相当延ばすことができる。

一般に 接点の"めっきぶとり"は、酸または混酸に浸漬するか、電解法ではく離するが、どの方法を用いてもはく離溶液に大量の金属分が溶解するわけで、その老化廃液の処分が問題になる。

そこで、接点の"めっきぶとり"を未然に防ぐために、「理想接点」の活用を勧める。 (2-6-13 項参照)

この「理想接点」は、品物と接触する部分のみを露出しているので、接点に無駄な金属の析出が非常に少なくなる。その作り方は、ひっかけ治具の技骨に密着性の優れた防鍍コーティングを施し、品物と接触する部分だけを露出してやればよい。

しかし、枝骨金属とコーティング皮膜の密着が完全でないと、コーティング皮膜が剥げてかえって不純物を持ち込むことになる。(写真 3-10 参照)

### 3-5-6 処理液、めっき液の汲み出し量を少なくする品物配置の方法

めっき生産における汲み出し液量は、品物の形状やめっき配置法と密接な関係があるので、次の注意が必要である。

(a) 品物の広い面が液面に水平配置になるのを避ける

実際のめっき生産では、汲み出し量を大きくするようなめっきを配置つまり品物の広い平面と液面と水平になる配置(図 3-46 の b、写真 3-12 を参照)をよく見受ける。

これらの配置は図 3-46 の a のように品物の配置角度を変えることにより、液切れ性は非常に良くなってくる。

#### (b)液だまり下辺をなるべく短く配置する

一般に細長い形状の品物のめっき配置では、生産能率の関係から横に長い辺を配置する横吊り法が多く採用されている。しかし、汲み出し液量を少なくするためには,縦に長い縦吊り法を採用するのが良い。

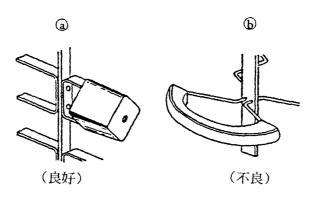


図 3-46 液面に水平な面を持つ品物の液切れ性とめっき配置例

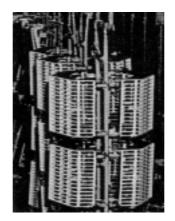


写真 3-12 液面に水平な面が広くて液切れの悪い配置例

次にパンパーによるひっかけ治具への配置法の例を写真 3-13 に示す。

(A) 良好

(B) 不良

(C) 良好

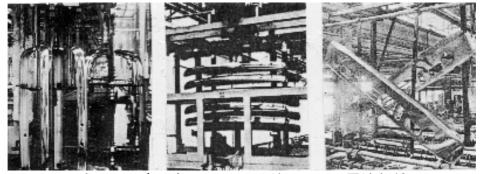


写真 3-13 バンパーのひっかけ治具への配置法各種

図 3-47 は、品物配置と液切り状況のモデルである。

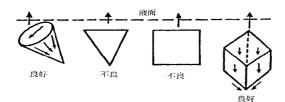


図 3-47 品物配置と液切り状況の良・不良例

図 3-48 と 3-49 に、品物配置と液切り状況に関する実験を紹介する。

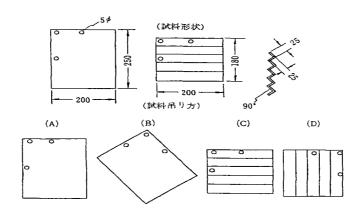


図 3-48 図 3-49 による実験の試料形状とひっかけ方

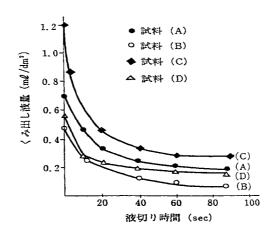


図 3-49 液切り時間と汲み出し液量の関係

## 3-5-7 サイホンを利用する液抜きひっかけ治具の応用

品物形状である程度の処理液、めっき液の汲み出し量の減量は可能である。 しかし、図 3-50 に示した凹部内の液を抜くことは極めて難しい。 従って、図 3-50 のようにサイホンを利用すると効果がある。

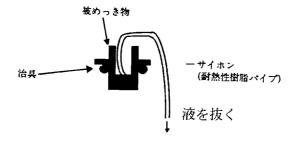


図 3-50 サイホンを利用した液抜き治具

## 参考資料(第2章・第3章)

- H.L.Pinkerton: Current and Metal Distribution,
   Graham, Electroplating Engineering Handbook (1962)
- 2) S.Dalby, J.Nickelsen and L.Alting: Metal Distribution in Electroplating, Electroplating and Metal Finishing(1975)
- 3) K.Stallman(VCH Verlagsgesellschaft mbH) Z/Werkstoffe, 16, 329-332(1985)
- 4) 全国鍍金材料組合連合会:めっき技術ガイド(1996)
- 5) 青江:現場管理技術 湿式法、治具の現場的改善事例(1)・(2)表面技術、表面技術協会 (1996)
- 6) L.F.Spencer: Design for Electroplating, Metal Finishing (1972)

- 7) S.Dalby: Electroplating and Metal Finishing(1975)
- 8) D.R.Turner: Plating & Surf Fin, Nil(1976)
- 9) VonH.Mendler, Markdorf: Galvanotechnik D-88348 Saulgau-89(1998)
- 10) 中路:電気化学用電気技術、オーム社(1953)
- 11) 内田:実用めっき()、日本プレーティング協会編、槇書店(1984)
- 12) 内田:めっき科(選択・実用めっき作業法)、職業訓練教材研究会(1997)
- 13) 内田:ストレートメッキ用ヒッカケ治具の管理(上・下) 現場パンフレット、 155、 金属表面技術協会(1967)
- 14) 内田: メッキ生産における電流分布管理と均一電着性向上の現場的考察、実務表面技術、 金属表面技術協会、 226(1972)
- 15) 内田:ヒッカケ治具管理の実際、現場パンフレット、金属表面技術協会(1961)
- 16) 橋本:青シアン化亜鉛めっき浴におけるひっかけ治具の違いとめっき膜厚分布、 第 33 回上級表面処理技術講座、研究発表レポート(2000)
- 17) 内田:トレンディ、㈱ハイテクノ、現場・現物主義のppm管理シリーズ(1997)
- 18) 内田: トレンディ、(株)ハイテクノ、二十一世紀の増益・時短作戦を考えるシリーズ(1999)
- 19) 前川:ひっかけ治具の実用事例(2000)
- 20) めっき技術便覧編集委員会:めっき技術便覧、日刊工業新聞社(1977)
- 21) 鵜飼他:表面技術便覧、㈱広信社(1983)

# 第4章 バレルの基礎

ここでは、セクションでは、バレルめっきをこれから取扱おうとする場合、あるいは現在取扱っている場合を対象にバレルに関する基礎知識及びそれを用いた電気めっき加工についての基礎知識をまとめ、それに加えて、現場での実作業の中から標準的と思われる各種作業条件を整理して把握しやすくすることを目的とする。

なお、最も引用した図書として、「"バレルめっき"槙書店」<sup>1)</sup>がある。理論的アプローチなど詳細についてはこの図書を活用してもらいたい。

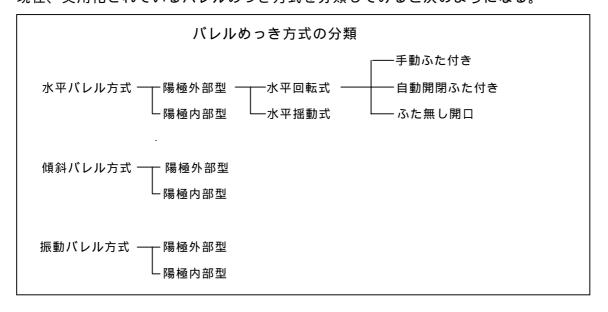
#### 4-1 バレルめっきの変遷

バレルを用いた電気めっき加工法は、1900年代から行われるようになったと言われており、傾斜型バレルがまず用いられ、ついで1920年代から現在多く用いられているような水平型バレルが用いられたとされている。<sup>2)</sup>バレルめっきの場合、品質ばらつきをあまり考慮しないで多量の小物部品を効率良く加工するためには、1バレルの容量を大きくすればよいわけで、そうすれば手作業では扱いにくくなり、当然、機械的運搬ができないかと考え、半自動方式から全自動方式へと移行していったのである。

バレルの回転方法も投入量の少ない傾斜型では対応できず、水平型が一般化し、多用されたのである。しかし、全自動方式といってもバレルの蓋は作業者が手で開閉しなければならず、人手不足、時間短縮、省力化の傾向から、バレルが見直され、蓋なしバレルやロボットコントロール方式が一部採用されている。このようなバレルそのものを含めたバレル方式の工夫改善は、生産性ばかりではなく近年では、バレルめっき品の品質改善の立場からも研究が盛んになってきている。

#### 4-2 バレルめっき方式の種類

現在、実用化されているバレルめっき方式を分類してみると次のようになる。



## 4-2-1 水平バレル方式

水平回転バレル方式が最も多く用いられている。大型のバレルから中型、小型のバレル に至るまで様々なバレルを使用しためっき装置は、全自動機械方式から半自動方式あるい は手動式に分類することができる。

バレルの形状は、6角形の筒状が一般的で、その他に8角形や円筒のものも用いられ、 蓋付きで側壁に多くの小さい丸穴またはスリット状の細長い穴をあけたものである。

丸穴やスリットの大きさや形は被処理物に応じて選択すべきであるが、往々にして全ての被処理物を一種類のバレルで処理しようとしている。

この方式は、バレルを水平にセットし、軸を中心に回転させながら、内部に入れた被処理物と陰極接点部との接触により電気めっきするものである。この場合、蓋を手動で開閉しなければならないが、近年、自動開閉ふた付きのバレルや開口型水平回転バレルなどが開発されている。<sup>3)4)</sup>

これに対して水平揺動バレル方式とは、図 4-1 に示すようにバレルの蓋をなくし、1回転させるかわりに一定の往復運動によってバレル内の被処理物をころがり混合させる方式である。5)

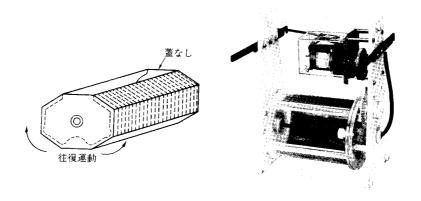


図 4-1 揺動バレルの概念図

バレルの形状は、回転方式と異なり、往復運動によって混合しやすくするため、開口部の反対側つまりバレルの底に当る部分には、内側に凸部状のステップを出した形になっている。外観的には、円筒や6角、8角など多角形筒のものが一般的で、水平回転バレルと同様である。

側壁には、やはり多くの小さい穴やスリットがあけられていて、図 4-2 (b) のように開口部が液面上に出ている場合の開孔率 (バレル側壁部分の全表面積に対する穴の部分の全面積の比率) は、水平回転バレルと変わらないが、図 4-2 (a) (c) のように開口部が液中で横になった場合は、当然開孔率は大きくなり液の流入が良く、電流が流れやすくなる。6 )

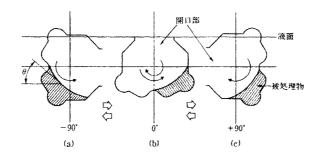


図 4-2 揺動バレルと開口部(開口率の変化)

#### 4-2-2 傾斜バレル方式

桶状の円筒または多角形バレルを図 4-3 のように 4 5 度に傾けて回転させ、めっきするものである。この方式には、次に示す 2 通りがある  $^{7}$  。

- (a)側壁に穴の開いていないバレルに、被処理物とめっき液を入れ、しかも、陽極、陰極とも内部にセットしたもの。図 4-3(a)
- (b) 側壁に他のバレル同様、穴やスリットを多数あけたバレルを用いた、陽極を外部に置いたもの。図 4-3(b)

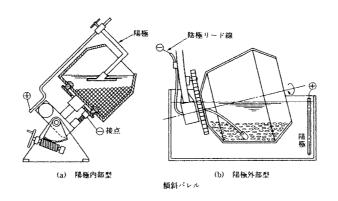


図 4-3 傾斜バレル

## 4-2-3 振動バレル方式

バレルを回転または揺動させることにより、被処理物をころがり混合させるのに対して、 微細な高速振動をバレル全体に与え、それによって起こる被処理物の流動混合を利用した バレルめっき方式のことをいう。この方式は、現在大別すると次の2種類に分類できる。

#### (a)振動式円周運動バレル

図 4-4 に示すようなバスケットに、らせん状のじゃま板がセットされていて上下振動によって被処理物は流動するが、このらせん状のじゃま板によって円周運動が生じ混合するものである。陰極はバスケットの底にボタン電極を埋め込んだ状態になっており、外部陽極との間でバスケット表面層にある被処理物からめっきされるものである<sup>8)</sup>。

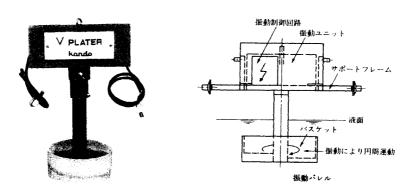


図 4-4 振動バレル

#### (b)振動旋回式バレル

サークル型振動バレル研磨機をそのまま改造したもので、めっきに使う研究が行われている $^{9\,)\,1\,0\,}$ 。その装置例を $20\,4-5\,$ に示す。

図のような形のバスケットは、水平に遊星旋回する運動と垂直運動の振動が与えられ、 それによってバスケット内の被処理物は、一定方向にスパイラル状の軌道を描きながら 流動するものである。

陰極は底部にセットされ、陽極はバスケット中央部に固定された陽極内部型になっている。

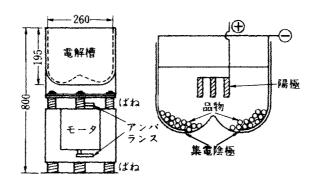


図 4-5 サークル型振動バレルめっき装置 (㈱敷島チップトン・カタログより)

## 4-3 バレルめっきの特徴と基礎理論

バレルめっきは、ひっかけ冶具方式と比べて根本的に違うバレルめっきならではの特徴を持っている。これは長所にも短所にもなりうるわけで、その特徴を十分理解することによって、できるだけ長所にすることが重要である。

水平回転バレルにしろ、傾斜バレルにしろ、更には振動バレルめっき方式など、いずれの方式にしても、バレルめっきはひっかけ冶具を用いた電気めっきに比べて、次のような特徴を持っている。一般的に多く使われている水平回転バレルを例に取り上げて説明する。

#### 【特徴その1】

バレルに投入された被処理物は、図 4-6 に示すように、形状により異なるが被処理物同士が接触した状態で堆積し、且つ浮力に打ち勝つ自重で点状、線状、あるいは面状に接触しているため、材質や形状により接触状態や接触抵抗が異なる。

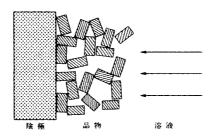


図 4-6 陰極との接触状態

陰極給電部と被処理物との接触状態がひっかけ冶具による場合は、冶具枝骨部分と被処理物とがそれぞれ 1 対 1 で接触しているのに対して、バレルめっきの場合は移動しながら点または線あるいは面接触で、しかも直接陰極給電部と接触しているものはわずかで、大半は被処理物同士の接触を繰り返している。

例えば、極めて小さい球状体の被処理物の場合は、被処理物同士が密に堆積し、隙間もほとんどない状態となるため、近似的には一つの大きな塊となり、図 4-7 のようにめっきは表面層部分にだけ優先的に析出し、内部は単に電気を通す電子電導体の役割をしていることになる。

このような状態の場合は、浮力の影響も小さく、接触状態は比較的良好であり、通電断続も起こりにくい。

逆にリング状の被処理物の場合は、隙間が多くなり、めっき液も堆積した塊の内部まで十分浸入していくため、電流分布に伴って表面層に厚くめっきされるが、内部の被処理物は電子電導体の役割をすると共に、めっき液との界面において弱い電気ではあるがめっきが施される。

このような形状の場合は、浮力の影響を受けやすく、接触状態はあまり良くない。従って、通電断続を起こしやすい。

さらに重要なことは、図 4-7 に示すように内部の被処理物は電子電導体の役割をしていることから、材質による導電性の違い、つまり金属の種類による導電抵抗及び接触抵抗を十分考慮しなければならない。

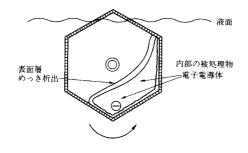


図 4-7 バレル内の被処理物は1つの大きな塊状態

この【特徴その1】についてもう少し理論的にアプローチしてみる。

なぜバレルめっきはバレルを回転させながら電気めっきするのか、もし回転させない状態で電気めっきしたらどのような電流分布になるのかを、実験例を示し、ひっかけ冶具による電気めっきの場合と比較してみる。

図 4-8 にひっかけ冶具を用いた光沢ニッケルめっきの場合のめっき膜厚分布例を示す。これに対して、図 4-9 に示すように、バレルめっきの場合、被処理物の形状によってバレル内に堆積した被処理物間の隙間が違うので、めっき液の浸入や電流分布状態が異なるが、傾向としては、ほとんどめっきされないバレル内部の被処理物が70~80%の割合を占めていることがわかる。

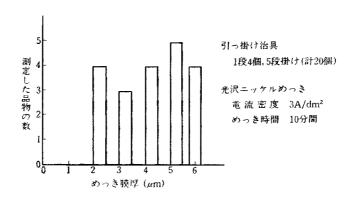


図 4-8 ひっかけ方式のめっき膜厚分布例

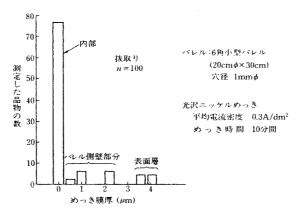


図 4-9 バレルを回転させないときのめっき膜厚分布例

従って、バレルを回転させ内部にある被処理物をできるだけ速く表面層に持ち上げて、 めっきされるようにする必要性がある。バレルを回転させた場合のめっき膜厚分布は通常、 正規分布の状態を示すようになると考えられる。

回転させない時できる一次電流分布に対し、めっき液組成、液の浸透性、液温度など諸条件によってばらつき状態の良否ができる。これを調査することによって、後で述べるバレル用めっき液の適合性の判断材料にすることができるのである。

バレルを回転させない状態の表面層から深さ方向への電流分布を理論的にとらえてみると、図 4-10 のような曲線を描くことができ、表面層が最大の局部電流密度を有し、それに対して深さ方向における局部電流密度は指数関数的に小さくなり、ほとんどゼロになる深さは極めて浅いものと考えられる。その深さは、被処理物の形状による隙間やめっき液による特性などにより変化するものである。

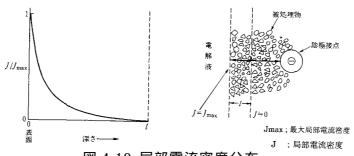


図 4-10 局部電流密度分布

バレルにおいて、このある値の局部電流密度を持つ部分は、図 4-11 中 a の点から考えて、a から b にいくバレル外周に沿った弧 ab の長さ部分と、b の点から考えて、頂点からすべり落ちて a にもどる弦 ba の長さ部分であり、面積的にみれば図中斜線で示した深さ方向までの部分と考える。さらに体積的にみるとバレルの長さ方向を考慮した部分である。この場合、バレル側壁、つまり弧 ab の部分には、穴やスリットによる開孔部分と壁の部分とが存在するため、開孔率を含ませなければならない。

ある数の被処理物 (N個)をバレルに投入してできた全処理物の容積に対して、瞬時瞬時においてある局部電流密度に達する深さまでの容積に含まれる被処理物の数 (n 個)の割合は重要で、n /N 1が理想であるが、できるだけそれに近付けることを考えてみる必要がある。なぜなら、n /N 0になるほど瞬時電流密度ゼロ (瞬時めっきされない)領域の被処理物が多くなってしまうことになる。

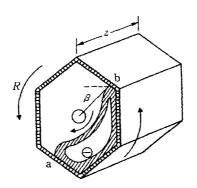


図 4-11 バレル内部の状態

#### 【特徴その2】

投入された被処理物は、図 4-12 に示すように、表面層、内部、バレル側壁部分とに分布し、バレルが回転することにより、この各位置を繰り返しながら移動する。

表面層にある被処理物が再び表面層に現れるまでの時間を「混合周期」と呼ぶ。2)

この混合周期は品質特性やめっき膜厚のばらつきに大きな影響を与える。さらに、ある時間めっきを行い、最終的に被処理物を取り出す場合も、この各位置に分布した状態で析出を終了した、つまり各電流密度での特性を持った表面を持つ被処理物が混在していることになる。

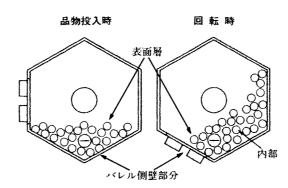


図 4-12 バレルに投入された被処理物の分布状態

例えば、バレルめっき開始時に、各位置に分布している個々の被処理物は、通電の場におかれた場合、表面層にある被処理物は高電流密度領域から析出が起こり、またバレル側壁部分にある被処理物は中電流密度領域から、さらに内部にある被処理物は極低電流密度領域から析出が起こるというように、それぞれ初期析出状態の違う被処理物ができ、さらに、ある時間バレルめっきした後、取り出す寸前の状態は、ころがり混合の均一化によってすべての被処理物のめっき膜厚が例え同じであっても、最終的に高電流密度領域で終ったもの、中及び低電流密度領域で終ったものなどというように、初期析出特性も、最終的な表面の析出特性も異なった被処理物が混在していることを考慮しなければならない。

バレルは、被処理物をいかに均等にころがり混合させるという一種の混合器であるから、 被処理物の形状によりいろいろな混合の仕方があって当然よいわけである。

前述したように、一番標準的な水平回転バレル、さらに傾斜回転バレル、水平揺動バレル及び振動バレルなどがある。ころがり混合効果を理論的にとらえてみることもできるが、 実際のころがりは、複雑にもみ合って一周するものであり、単純な動きではない。

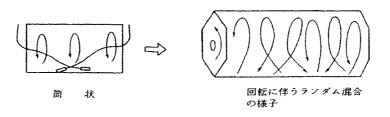


図 4-13 バレルに投入された被処理物のころがり

#### 【特徴その3】

図 2-14 に示すような一般的に用いられている陽極外部型のバレルめっき装置の場合、バレル側壁の穴やスリットを通して陰極と陽極間に電流が流れている。バレル内のめっき液も穴やスリットを通して外部液と流通しているため、めっき析出速度と外部からの金属イオンの供給速度とのバランスによって、バレル内のめっき液組成特に金属イオン濃度の変動に影響してくる。通常は外部からバレル内に金属イオンが拡散移動してくるため、どうしてもバレル内での析出の方が勝ってしまい、金属イオン濃度がめっき時間と共に低下していく。

それに伴って陰極電流効率の低下、水素イオン濃度の変動(pH の変動)など、析出状態及び品質特性への影響を考慮しなければならない。

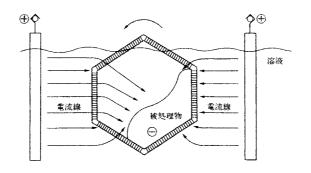


図 2-14 陰極外部型バレルの電解状態

バレルの穴とバレル側壁板の板厚について若干理論的にアプローチしてみる。

バレルに多くの穴をあけ、バレル側壁の表面積に対する開孔部の占める面積(開孔率という)が大きいほど、当然より低い電圧で、より大きな電流を得ることができるわけで、電気めっきの場合たいへん重要なポイントになる。つまり、電圧降下を極力小さくすることを考える必要がある。

穴の形状としては、通常、丸穴がほとんどであるが、特殊なものとして、楕円状、スリット状、斜形状など、あるいは、図 4-15 に示すような交換可能なカートリッジタイプなど、いろいろ工夫されている。

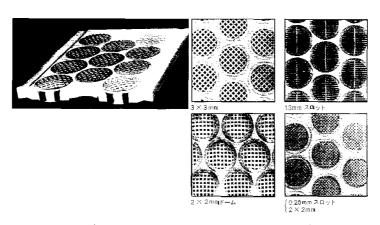


図 4-15 バレルの穴(リンホッフ社カタログより)

開孔率を考える場合、単位面積当りの穴径と数が関係するが、めっき液の表面張力及び 回転など運動中のバレルにおける内と外とのめっき液の交流難易度(ガス抜け、液の出し 入れなど)さらに、実際上のバレル製作加工性及びバレル強度という点から、穴径と数に はある限界がある。

丸穴についてみてみると、通常これらのことを考慮して、直径 0.8mm位から、被処理物が穴から落下したり穴に刺さって固定されることのない最大限の穴径が使用されるが、大体穴径 6 mm位までが多い。

穴径及び穴の間隔は、整列させて穴をあけるか、ちどり状に穴をあけるかで、多少単位 面積当りの開孔率が異なる。計算上、製作加工上を考慮して、整列させて穴をあけた場合 について考えてみることにする。

バレル強度および製作加工の面から、穴径に対して穴の間隔は、次のような関係になるであろう。

穴径と穴の間隔から開孔率を求めると図 4-16 に示す関係が得られる。これによると、次のようなことがわかる。

穴径 = 穴間隔の関係で穴をあけるのが最高であることから、最大開孔率は 19.63% である。

穴径が小さくなると、穴の間隔がわずか広がっても開孔率の大きな低下につながってしまう傾向にある。

実際に使われているバレルの穴径と穴の間隔から開孔率を調査してみた結果を図 4-16 にまとめて示す。

この図から、実際の開孔率がかなり低い状態でバレルめっきをしていることがわかるであろう。特に、穴径が 1 mm 以下になると、バレル側壁部の実開孔率 5 % 以下、蓋部の実開孔率 3 % 以下の大型バレルが実用されている。多く使われているバレルの実態は、穴径 2 ~ 3 mm 、穴の間隔 3 ~ 5 mm で、バレル側壁部の実開孔率 5 ~ 12 % 、蓋部の実開孔率 4 ~ 6 % 位のものであると判断できる。

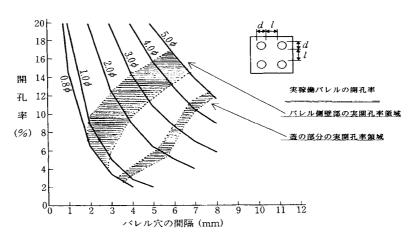


図 4-16 バレルの穴と開孔率の関係

小型バレルの場合は、穴径が 1 mm 以下でも、バレル側壁部の実開孔率 8 ~ 14%、蓋部の実開孔率 4 ~ 6%になっている。比較として、スリット状の穴にした小型バレルでは、バレル側壁部の実開孔率は約  $20 \sim 22\%$ 、蓋部の実開孔率は約  $5 \sim 7\%$ であった。

以上のことを参考に、穴径と穴の間隔には注意を払い、できるだけ効果的な開孔率が得られるようにしたいものである。

バレル側壁板の板厚は、バレルの大きさ、つまり容積に見合った被処理物の投入量に耐える強度を考えて経験的に求められたものであるが、これはバレル側壁板の材質に左右されるものであり、できるだけ板厚が薄く耐久性のあるものを求める方が、次に述べる理由から適していることになる。

その理由は電圧降下への影響及びめっき液の流通に対する影響で、図 4-17 で一目明らかなように、板厚が厚いほどめっき液の流通が悪くなり、また、その電圧降下は、同一のめっき液の場合、バレル側壁の開孔率とバレル側壁板の板厚との間で、次の関係があるとされている。

この関係式から、開孔率が同じでも板厚が厚くなるほど、電圧降下は大きくなるということであり、大型バレルになるほど一般的にバレル側壁板の板厚を厚くするので、電圧降下はより大きくなるわけで実際の状況とよく一致する。

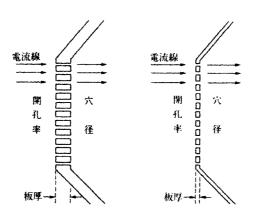


図 4-17 バレル板厚と電圧降下

#### 4-4 バレルめっきに影響を与える因子

バレルめっきに影響を与える因子を拾い上げると次のようになる。

(1)バレルの形状による影響

1:バレルの材質

2:バレルの筒状の形(例)6角、8角

3:バレルの筒径と長さ

4:バレルの穴径と数

5:バレルの蓋

(2)バレルの回転速度の影響

1:バレルの回転方法

2:バレルの回転速度

(3)バレルと被処理物の関係

1:被処理物の形状

2:バレル容量に対する被処理物の投入量

3:陰極の形状と大きさ

(4)バレルめっきにおける

電流の関係

1:被処理物の投入量に対する通電量

2:通電状態

3:バレルの開孔率と電圧降下

4:平均電流密度と局部電流密度

5:バレル効率とめっき時間

(5)バレル用めっき浴組成

の影響

1:めっき浴組成と電気伝導性

2:めっき浴組成と被覆力

3:めっき浴組成と均一電着性

4:めっき浴組成と腐食性

(6)その他の影響

浴温度、浴負荷量など

バレルめっきの難しさは、このように品質に影響を与える要因が多すぎるためである。 それでは、代表的な水平回転バレルを例に取り上げて、影響を与える因子とその関係についてまとめ、理解することによって品質改善および品質レベルの維持に挑戦してほしい。

### 4-4-1 バレルの形状による影響

バレルの形状や材質および穴やバレル側壁の形状など、バレルに関するものおよびバレルめっき装置に関する特許や実用新案の出願件数は、1985年以降をみても、自動化、省力化または品質改善に関する内容で、毎年数 10 件近い出願状況になっている。

ここでは、簡単にまとめておくので、詳細は特許公告、特許公開および実用新案の明細書をみてほしい。

## 1:バレルの材質

小型バレルから大型バレルに至るまで、現在実用化されているバレルの材質は、耐熱塩化ビニル樹脂(PVC)、アクリル樹脂(MMA)およびポリプロピレン樹脂(PP)の3種類に大別できる。元々、木製で木枠にセルロイド、ベークライトの穴あき板を取り付けたバレルから始まり、PVC製バレルが加工面、コスト面から主流になり、次いで小型バレルは耐熱性、透明性の面からアクリル製またはPP製が主体となったと考えられる。最近、大

型バレルにおいても PP 製バレルが増加している。以前からすでに欧米諸国では、耐薬品性を考え PP 製が使用されていたことは環境対策上からみても注目する必要がある。

## 2:バレルの筒状の形

基本的に、回転バレルは円筒形、6角形および8角形にする。ころがり混合を考慮して 一般的には、6角形が多く用いられている。

ランダム混合をより促進させる目的から、図 4-18 に示すような筒状からビヤダル型(実際にはバレル製作しにくい)または、ラクビーボール型に改良されているものがある。



図 4-18 ランダム混合の改善

さらに被処理物の横移動を促進させランダム混合を改善した図 4-19 に示すような偏心 形状、および自動投入、自動搬出のやりやすさを図った図 4-20 のような側面開口形状の バレルなどが考案され、一部実用化されている。

これからもいろいろなバレルの形状が考案されると思うが、応用範囲の広いものを選択 していかなければならない。

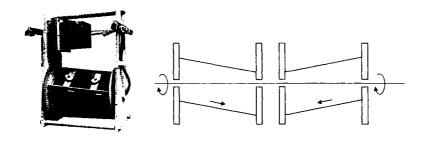


図 4-19 偏心形状のバレル(近藤耐酸槽㈱カタログより)



自動計量、投入装置



自動ワーク搬出装置

図 4-20 バレル自動投入・搬出装置

## 3:バレルの筒径と長さ

バレルめっきの「特徴その1」及び「その2」で述べたように、被処理物はバレルの回転に伴いできるだけ効率よく通電され、また、ランダム混合されることが重要である。そのためには、生産性および品質の両面からバレルの筒径と長さを選定することが必要で、その場合どう考えたらよいのか、選定に当っての注意点を Q&A の方式でまとめてみる。

実際上、現場では被処理物の受注量により生産計画を立てるわけであるが、その場合、 1 バレル当りの被処理物投入数量をいくらにして行えばよいかを考え、それに対してバレルの大きさ(筒径と長さ)を選定することになる。

Q 1 品質を考慮した 1 バレル当りの投入量は容積比でどのくらいがよいか?

後述するバレルと被処理物の関係のところで詳しく述べるが、生産性と品質を考えた場合、1 バレル容量に対して被処理物の容積を 2 0 ~ 4 0 %になる程度、投入するのが一番効率がよいと考える。しかし、生産性を同じにして品質を考慮した場合は、大きめのバレルで 1 バレル当りの投入量(容積比)を下げる方が好ましい。

Q2 バレルの筒径に対して長さ方向は長いほどよいと聞いているが、どうか?

A バレルの筒径に対して長さ方向は、被処理物のランダム混合と電流分布を考慮して決める必要がある。長さをあまり長くするとランダム混合しにくくなることは容易に想像できる。被処理物が長尺物など特殊な場合は別にして、一般的には、バレル径対バレル長さの割合は、1:1.3から1.5位になっているのが好ましい。

例えば、リード線タイプのバレルを考えた場合、図 4-21 に示すバレル内配置状態において、バレルの長さとリード線タイプ接点部の位置関係および図 4-22 に示すバレル長さ方向に生じるバレル内陰極部とバレル外の陽極部間での電流分布の関係から長すぎるのはよくないことが理解できると思う。

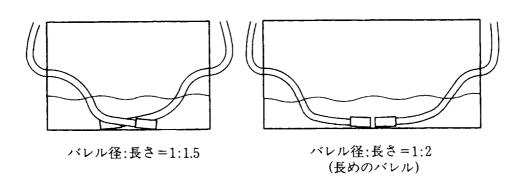


図 4-21 リード線のバレル内配置状態例

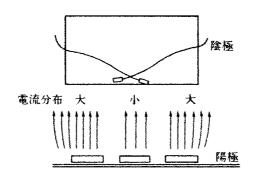


図 4-22 バレル(陰極)と陽極の関係

Q3 同じ被処理物の数量を投入する場合、同じ容量のバレルであればバレル 筒径が大きく長さの短いバレルと筒径が小さく長さが長めのバレルと

どちらの方がよいか?

A バレルめっきの「特徴その1」で述べたように、ある数の被処理物(N個)をバレルに投入してできた、ある局部電流密度に達する表面層の広がりが広いほど好ましいという理論的アプローチから判断して、この質問に答えると、図 4-23 に示した例のように、同じバレル容量の場合、筒径が小さく長さが長いバレルの方が、筒径が大きく長さの短いバレルよりも被処理物を投入した際できる表面層の広がりが大きくなり、従って、バレル径を小さくし長さを適当に長めにした方が適している。

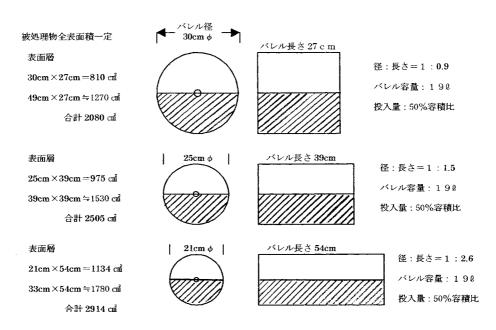


図 4-23 バレル形状と表面層の関係 【(例)バレル容量の同じ円筒バレルで考える】

Q4

1 バレル当りに投入する被処理物の数量が同じ場合、バレルの容量に対する投入量が 40%になるようなバレルの大きさを選ぶか、投入量 10%になっても大きめのバレルを選ぶか、品質面でどちらの方がよいか?

A Q4 の場合と同様に、バレル容量を大きくしてそれに対する投入量を下げた場合と比較して同じ数量の被処理物を投入した際にできる表面層の広がりを計算してみるとよい。図 4-24 に示す例のように、同じ数量の被処理物を投入した場合、バレル容量を大きめにして容積比を下げた方が被処理物を投入した際できる表面層の広がりが大きくなり、従って品質面から判断して適している。ただし、あまり大きなバレルにすると陰極部との接触ばらつきや回転に伴う打痕きずなど品質劣化が起こってしまうので注意が必要である。

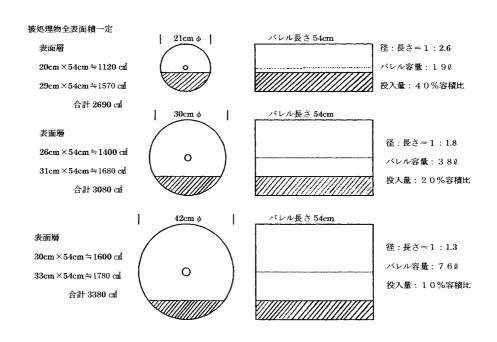


図 4-24 バレルの大きさと表面層の関係 【(例)バレル容量の違う円筒バレルで考える】

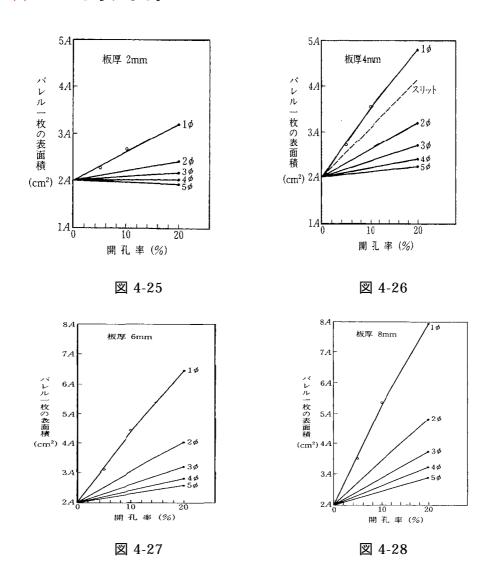
#### 4:バレルの穴径と数

バレルめっきの「特徴その3」で述べたように、バレルの穴径と数は大きな影響を与えるが、実作業において、バレル側壁板の板厚を合わせてあまり注意をはらっているようには見えない。

バレル側壁板の穴径と数および板厚は、開孔率とそれに伴う電圧降下の影響ばかりでなく、バレル出し入れに伴うめっき液の汲み出し量に大きな影響を与え、浴管理や排水処理管理上のリスクが大きい。

汲み出し量に対する要因は、バレル側壁板の表面積に対するめっき液の付着量であるから、穴径と数および板厚から成る開孔部分の表面積も加わり、全表面積が液付着に関与する。

バレル側壁板の穴のない状態での表面積(裏表の両面)を 2A(cm²)とし、それに対して開孔率および板厚による開孔部分の表面積がどの位になるか計算し、図にまとめてみると、図 4-25~図 4-28 のようになる。



## この図から明らかなように、

穴径が小さくなるほど、また、開孔率が大きくなるほど、バレル側壁板の全表面積は 大きくなり、従って液付着量は増える。

板厚が厚くなるほどその傾向は大きくなり、板厚 2 mm、4 mm、6 mm、及び8 mm で比較してみると、実用最大の開孔率で、例えば穴径5 mm の場合は、穴なしのバレル側壁板両面で表面積 2A ( $cm^2$ ) だったものが、板厚 8 mmあっても 1.5 倍の 3A ( $cm^2$ ) にしかならないが、穴径 2 mm になると、2.5 倍の 5A ( $cm^2$ ) に、さらに穴径 1 mm では、なんと 4 倍の 8A ( $cm^2$ ) にもなってしまい、液の付着量はかなり増えてしまい、まして液切れが悪くなると、バレルによる液汲み出し量は加速的に増加してしまう。

バレル側壁の形状については、小型バレルでは早くからダイヤカット状に加工されたアクリル板が製作されているため、それを用いてバレル側壁への被処理物のはり付き防止や 攪拌効果のレベルアップを図っていた。

大型バレルについては、PVC 製や PP 製のため、平板に穴を予定の数あけてから折り曲げ加工をしてバレル側壁板を製作しているため、被処理物の形状によっては側壁にはり付いたり、側壁板の板厚と穴径の関係から、液の液の出入りが悪かったり攪拌効果に問題がある。

最近では、手加工かあるいはコンピュータ制御加工により、側壁板にあらゆる形状の凹溝を削り込むことが可能になり、その表面加工をしてから適当な穴をあけるという手法が注目されつつある。ただし、あまり凹溝に凝り過ぎて穴の間隔が広がってしまうことのないように注意しなければならない。

## 5 バレルの蓋

Q5 バレルの蓋の隙間に被処理物がはさまり、それが混入してロット不良になる 場合がよくある。なにかよい対策はないか。

A 回転バレル方式の場合は、バレルに蓋をしなければならない。これは自動化を考える場合の難しさ、および作業中に蓋とバレル本体との隙間に被処理物が挟まって不良混入のトラブル発生が起こってしまうなど、蓋に関する問題がある。蓋を締め付ける方法には、基本的に次の2通りが実用化されている。図 4-29 に示す方法は、蓋にネジ部を固定したもので、押え板がフリーで、蓋をセットした後押え板をバレル本体の蓋締め付け用溝の中に回しながらセットし、ナットで締め付けるものである。

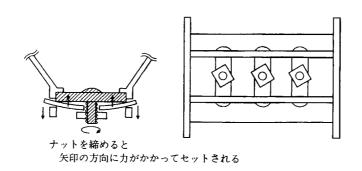


図 4-29 蓋にネジ部が固定されたもの

図 4-30 に示す方法は、蓋にボスを立て押え板がフリーに回せるようにし、(数本ある押え板を図 4-30 にように連結させてワンタッチ式にするとよい)押え板にメスネジをたて締め付けボルトを取り付けておき、蓋をしたらこのボルトを締めて蓋を押え付けるものである。

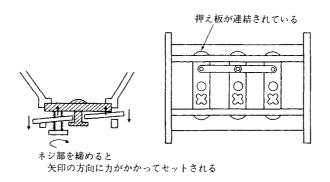


図 4-30 押え板にネジ部が付いたもの

蓋は毎回、着脱するため、一般的に軽くしようとして板厚を薄くし、かつ締め付ける押え板の数も少なくしようとするケースが多く見られるが、それでは変形や破損などが起こりやすく、特に大型バレルになるほどバレル本体との隙間ができてしまい、問題発生頻度を多くさせている。

蓋とバレル本体との隙間に被処理物が挟まる現象は、図 4-31 に示すように回転方向に対し受け側になる 印をつけた側の隙間に多く発生する。

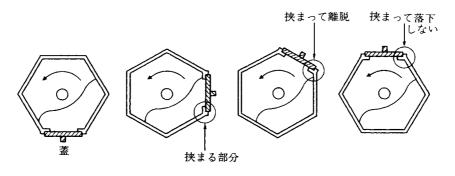


図 4-31 バレル回転による被処理物の挟まり

それを防止するための対策として次の項目があげられる。

## 蓋の板厚を厚めにする。

バレル側壁の開孔部は板厚を薄くしたいが、例えば6角バレルの場合、他の5面あるバレル側壁部に比べ、どうしても蓋の部分の開孔率は小さい。

そこで開孔率の効果はバレル側壁部で出し、蓋は耐久性を重要視した方がよいと考える。

## 蓋の枠を強化し、開孔部の板厚を薄くする。

バレルの大きさがあまり大きくない場合、またはバレル径と長さのバランスが、1:1.3 ~1.5 を保持し、蓋の幅に対する長さを制限した場合、図 4-32 に示すように開孔部を除いて板厚の厚い枠で蓋を作り、開孔部は板厚の薄いものを貼り付けるとよいと考える。

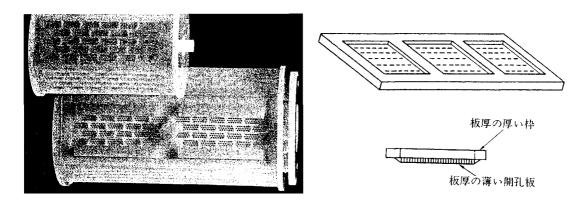


図 4-32 バレルの工夫(Whyco Chromium Co.Inc.)

## 蓋と本体の合わせ部にパッキン材を接着する。

バレル本体と蓋の合わせ目部分に耐薬品性のシリコンゴムなどセットして密閉する。 ただし、パッキン材を常に正常にセットしないと逆に部分的な隙間ができてしまうので蓋 の着脱時によく注意する必要がある。

## 蓋に凸部をつける。

蓋に図 4-33 のような凸部をつけまたバレル本体の合わせ部にも角部がないようにする。

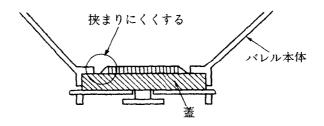


図 4-33 蓋に凸部を付ける

## バレルの取扱い作業時での打痕きずを防ぐ。

バレル本体の蓋受け周辺に打痕きずなど付けない作業および蓋を取扱うとき、合わせ面側に打痕きずなど付けない作業上の訓練と注意が必要である。

#### 4-4-2 バレルの回転速度の影響

バレルめっきのころがり混合効果において、バレル投入量と共に重要な要素になるのが バレルの回転方法と回転数であり、バレルの径の違いにより生じるバレル回転速度(表面 速度)である。

## 1 バレルの回転方法

バレルの回転方法には、次に示すような方法がある。

- (a) 一方向だけに連続回転させる方法
- (b) 一回転ごとに正転、逆転を繰り返して行う方法

この場合、蓋の部分を中心にして左右に 90 度の角度だけ正転・逆転させた場合を 揺動バレルという。

(c) ある回転数正転させ、次に逆転をある回数行い、それを繰り返して行う方法 いずれの方法を採用するかは、被処理物の形状によって異なり、最もころがり混合効果 のよいと思われる回転方法を選択する。

### 2 バレルの回転速度

通常、バレルの回転を表現する時、バレルの回転速度は毎分8回転(8rpm)という場合がよくある。これで実務上の目的は果たしているが、厳密に考えると間違いであり、十分な設定条件ではない。

それは、バレルの回転に伴う被処理物の動きの中で、前に載せた図 4-11 に示した弧 ab間の距離を移動する速度を問題にしているからである。

バレルの回転数が同じでもバレルの径の違いにより表面速度が変化し、被処理物のころがり状態が変化する。つまり、めっきの品質に影響を与えるのはバレルの回転数ではなく、回転速度ということになる。

従って、外部回転動力装置を可変できるような設備にすると、被処理物の形状やバレル の径を変えた場合でも適用しやすく融通性がよくなる。

通常、バレルの径が同じ場合、バレル回転数(回転/分)を大きくすると、混合周期が短くなり、めっきの品質を向上させる方向にいくが、大き過ぎると被処理物のころがりが高まりすぎて、接点の断続や表面層をすべらず落下して、被処理物に打痕をつけたり、さらに遠心力が働き、ころがり混合を悪化させるようになる。

これを表しているのが図 4-34 で、めっき膜厚ばらつきと回転数の関係およびその傾向をよく示している。

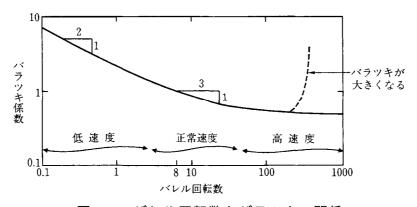


図 4-34 バレル回転数とバラツキの関係

経験的にバレルの回転数6~8(回転/分)が実用的とされている場合が多い。しかし、 最適回転数はバレルの径と被処理物の形状や大きさによって決めなければならない。 一般的には、バレル径250mmのとき8(回転/分)を目安とし、バレル径が大きい場合は回転数を小さくし、バレル径が小さい場合は回転数を大きくするとよい。その範囲としては、3~15回転/分の間で決めるとよい。

その場合、バレル回転速度は一定にするのではなく、バレル径の大きい方でやや速めにするようにする。その範囲は、ほぼ500~1500(cm/分)位の回転速度(表面速度)がよいと考える。

さらに被処理物が小さく形状もころがりやすい場合は、回転速度を大きくした方がよい。 このようなことから考えて、バレルめっき装置はバレル回転方法や回転数あるいは回転 速度を可変できるように設計しておく必要があり、それを適宜活用することによって、よ り品質レベルを高めることができる。

## 4-4-3 バレルと被処理物の関係

## - 1 被処理物の形状

バレルは、被処理物をいかに均等にころがり混合させるかという一種の混合器であるから、被処理物の形状により、いろいろな混合の仕方があって当然よいわけである。

従って、被処理物の形状によってころがり混合しにくいものは一般的にめっき処理する ことが難しくいろいろな対策を駆使する必要がある。

Q6 バレルめっきすることが難しい被処理物の形状にはどうようなものがある か?また、その場合の対策としてどのような方法があるか。

A

一般的にバレルめっきすることが難しい被処理物の形状は次に示すようなものである。

筒状のもの、特にコップ状のように口広がりで重なってしまうもの。 非常に薄板材で、特に平板形状のもの。

からみ合ってしまうもの。

このような形状の被処理物を品質ばらつきの少ない仕上がりにするためには、混合の仕方や、いろいろな形状や材質のダミーを適当に加える方法など、試行錯誤を繰り返しながら探さなければならない。実状に即したころがり混合の状態を調べる方法として、透明バレルをテスト用に用意しておくと便利である。参考までに2~3対策方法の例を示す。

(a)筒状のものは内面にめっきを施すことが必要な場合がよくある。

そのような場合は通常のめっき作業ではなく、脱脂作業の工程から真空脱気と筒内処理液充填を繰り返しながら平均電流密度を低めの状態でバレルめっきすることによって良好な処理が行える。

- (b) 平板状のものはバレル内に貼りついたり、被処理物同士が貼りついたりしやすいもので、それを防ぐためにはバレルの回転方法やダミーの利用あるいはハンマーリング方式と呼ばれるバレルの回転に合わせてバレルに衝撃を外部から与えて貼りつきを防止するなどの方法が採用されている。
- (c) からみ合いを防止したり、通電性を改善する目的で導電性の媒体(メディア) 通称 ダミーと呼ばれるものを併用する方法がある。材質が鉄製、銅製、黄銅製またはガラスやセラミックス上に無電解ニッケルが施されているもので、形状は球、円筒、ある いは円錐形などその場に応じたものが一般的に使われている。

## - 2 バレル容量に対する被処理物の投入量

この点については、前述 4-4-1「 - 3 バレルの筒径と長さ」の項で述べたので、ここでは省略する。

#### - 3 陰極の形状と大きさ

バレルめっきにおける陰極給電部は堆積して流動している被処理物に、確実でしかも十分に給電していけるだけの陰極接点容量を持っている必要がある。

その給電方式と大きさの選択の良し悪しは、作業能率や品質ばらつきの少ないめっき処理を行う上で、たいへん重要なポイントになる。ドイツのリンホッフ社で考案された各種方式を図 4-35 に示す。

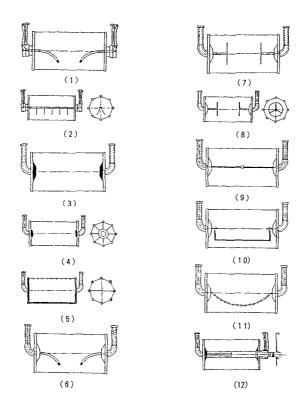


図 4-35 各種陰極接点方法(リンホッフ社カタログより)

## 4-4-4 バレルめっきにおける電流の関係

Α

#### - 1 被処理物の投入量に対する通電量

Q7 新規の被処理物をめっき処理する時や投入量を変えた場合、1 バレル当り の電流値をどの位に設定したらよいか悩んでしまう。どのように決めたらよいか。

バレルめっきと通電量(1バレル当りの電流値の決め方)

」 まず、バレルに被処理物を投入してから、1バレル当りに流す電流をどのように決めているか、このことは、初めてトライする被処理物の場合やバレルへの投入量が変わった場合に、いつも悩むことではないだろうか。

引っ掛け治具を用いた場合は簡単で、被処理物1個の表面積を計測し、何個引っ掛けたか全表面積を算出して、適正電流密度を掛ければ、引っ掛け1本当りの電流が決まる。

バレルめっきの場合は、前に述べた特徴の通り、めっきされる被処理物がバレル内に堆積しており、しかも被処理物の大きさにより堆積の状態が変化する。被処理物の大きさが小さくなれば緻密に詰まっていき、被処理物同士のすき間は段々なくなり、内部にめっき液がほとんど入れ込まれない状態となる。

その場合は特に表面層に露出した被処理物しかめっきされないはすである。

逆に被処理物の形状により、被処理物同士にすき間が多くなれば、めっき液の内部に入り込み、表面に露出したものから内部に向ってめっきされるようになる。しかし当然、内部になるほど表面層に比べて単位時間内でのめっき膜厚は極めて薄くなるはずである。

このように見てくると、引っ掛け方法の場合のように被処理物全表面積に、そのめっき液に適した適正電流密度を掛けて全電流値を決める事は、バレルめっきの場合には問題が生じることになる。

例えば、ごく小さい被処理物をバレル内に入れ、緻密に詰まった状態はあたかも1つの大きな塊と仮定することができ、その表面層にめっきされることになる。図 4-36 のように投入量を2倍にした場合、被処理物全表面積に対しては、引っ掛け方法と同様にすると2倍の電流を流れなければならない。しかし、1つの塊と判断すると、その表面積は2倍入れた場合でも、さほど大きくならないことは容易に想像できるであろう。

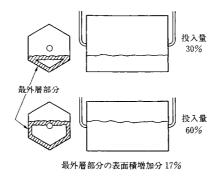


図 4-36 投入量を 2 倍にした場合の表面層の増加

従って、投入した被処理物全表面積に対応して引っ掛け方法と同様に電流を設定してしまうと、電流過大になって、コゲやヤケといった以上析出の不良を招いてしまうことになる。そこで、1 バレル当りの通電量を決める方法として、次の手順が発表されている 11)。

被処理物の表面積を測り、その被処理物に適したバレルへの投入量でめっきをして、 好適の電流を測る。これをIアンペアとする。

引っ掛け方法で行った場合の電流 I アンペアを引っ掛け方法での好適電流密度と表面積から計算する。

 $I'(A) = 好適電流密度(A/dm²) \times 全表面積(dm²)$ 

この I アンペアと I ´ アンペアの比

I / I ´ = ,( < 1) を求める。

この は、被処理物の形状が違った場合でもあまり変わらないので、バレルめっきで の通電量は

I (A) = 好適電流密度 (A/d m²) × 全表面積 (d m²) × で決定できる。

必要なめっき膜厚のためには、時間を変えてめっきをし、調節する。

筆者の場合は、いろいろデータ取りした結果、現場的に考えて次の方法を紹介している。 被処理をバレルに投入した時にできる近似的な表面層の面積(図 4-37 参照)をバレル の各長さから算出する。なお、バレルが回転した場合はこれより大きくなるが、停止 している時の近似的表面積でよい、また、バレル側壁の穴の開孔率も100%として よい。

この近似的表面層の面積と各めっき液の引っ掛け方法での適正電流密度から通電量を 計算する。

必要なめっき膜厚のためには、平均電流密度を求め、その値での析出効率を考慮して 時間で調節する。

平均電流密度 $(A/dm^2) = I(A)/ \pi U$  がレル投入の被処理物全表面積 $(dm^2)$ 

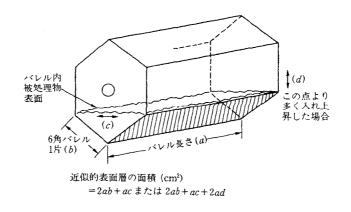


図 4-37 バレル内被処理物の近似的な表面層の面積

## - 2 通電状態

ころがり混合の均一化を優先に考えすぎてバレル回転速度を大きくした場合、接触していた被処理物同士が離れ浮遊し始め、通電断続が発生してくる。また、小物の電子部品の中にはガラスやセラミックスが装着され、部分的に金属が露出しているチップコンデンサーなどで、形状的に相互間の通電が難しい場合、あるいはプラスチック部品のように軽い被非処理物をバレルめっきする場合なども、通電を継続させることは困難になってくる。

Q8 バレルめっきではバイポーラ現象が常に起こり得ると聞いているがど のような現象か。

A 通電断続とバイポーラ現象

□ さて、陰極部から離れて浮遊した被処理物は、電流が流れている場に無通電状態で存在することになり、バイポーラ現象というものが生じて、折り曲げ試験をしたとき、ニッケル・ニッケル間の層間剥離など密着不良を起こしてしまう。バレルめっきでの通電断続によるバイポーラ現象の発生状態を、引っ掛け治具を用いためっきでの場合と比較して、その注意点を述べる。

バイポーラ現象とは、陽極側と陰極側に電圧をかけ、イオン電導により電流が流れているめっき液中に、図 4-38 のように無通電の金属を挿入すると、金属は電流の影響を受け電子電導体となり、電流が金属を経由して通電中の陰極側に流れるようになる。その結果、陽極側に近い陰極化(M-F・化)してめっき液から金属析出が生じ、反対側が陽極化(P-F・化)する。これが双極現象(M-F・7・現象)である。

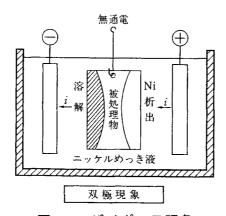


図 4-38 バイポーラ現象

従って、例えば図 4-39 のように 3 つの金属体が直列に並んで無通電状態になった場合 も、それぞれにバイポーラ現象が発生してしまい、また図 4-40 のように並列に並んで無 通電状態になった場合も同様に、それぞれにバイポーラ現象が発生してしまうのである。

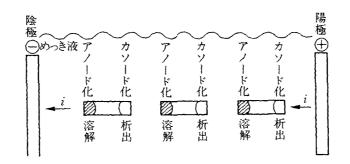


図 4-39 直列に並んだ金属体でのバイポーラ現象

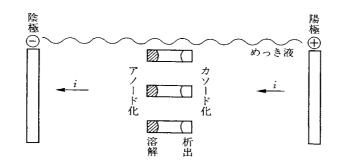


図 4-40 並列に並んだ金属体でのバイポーラ現象

以上のように、無通電状態になってしまった被処理物が定位置にとどまっている場合は、 片側にめっき析出、反対側に陽極酸化あるいは素材溶解という区分けができてしまう。

しかも、次の瞬間、通電復帰すると通常のめっき析出が全面に行われるが、陽極側になった方でその境から、めっき剥がれが発生してしまうという、方向性を持った独特の密着不良現象が発生する。

これが引っ掛け治具を用いた場合のめっき槽での通電断続によるバイポーラ現象の表情である。

それに対してバレルめっきの場合は、バレル回転により被処理物が移動しているため、 これとは様子が違ってくる。バレルめっきにおけるバイボーラ現象には、

通電状態にあるバレルめっき槽の中で、1バレルだけ通電が切れた場合

バレル全体は正常に通電しているが、バレル回転に伴って被処理物のいくつかが浮遊 して通電断続を起こした場合

とが考えられる。

通電状態にあるバレルめっき槽の中で、1バレルだけ通電が切れた場合、被処理物全体が1つの塊状態となり、陽極に近い塊部分が陰極化し、反対側の塊部分が陽極化する。その双極部分が回転移動に伴って変化するため、結局全体が一様に陽極化と陰極化をくり返し、通電状態の電流値が大きいとはっきりするが、引っ掛けの場合と異なり、被処理物全面に薄いめっき皮膜が析出する。

しかも、すべての被処理物にバレルの穴目がシミ状に現れる特徴を示す。実際、途中で通電断続したときは、程度にもよるが、最悪の場合は被処理物全般に密着不良やシミ不良が発生してしまう。

つまり、バレルめっきの場合、被処理物全体がバイポーラ現象を受けるが、ころがり混合しながら個々の被処理物は、陰極化したり陽極化したり常に繰り返しながら変動している状態になる。陰極化してめっき析出、陽極化して酸化を繰り返し、結局全体に薄くめっきが施されると考えられる。

次に、バレル全体は正常に通電しているが、バレル回転に伴って被処理物のいくつかが 浮遊して通電断続を起こした場合はどうなるか。

図 4-41 に示すように、回転速度や被処理物の形状によって浮遊し、通電断続してしまった被処理物には落下するまでの瞬間、電流値によって程度は異なるが、通電断続した個々の被処理物に陽極化した部分と陰極化した部分とが生じ、陽極化した部分に酸化反応に伴う密着不良やシミ不良現象が現れ、不良品の混入というトラブルが発生してしまう。

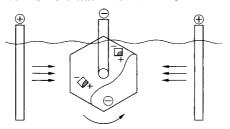


図 4-41 浮遊した被処理物

Q9 | 浮遊した被処理物の発生を極力防ぎ、そのダメージを極力小さくするに はどのような対策があるか。

Α

- (対策-1)被処理物の形状により、ころがり性や回転に伴う浮力の程度が異なるため、回転数が変えられるような設備にするとよい。また、被処理物の状態に応じて回転数及び通電量のコントロールができるとよい。
  - (対策-2)バレルの形状を工夫する。回転数が変えられてもバレルの径が大きすぎると回転速度のコントロールがしにくく、従って、あまり大きな径のバレルは避けた方がよい。

バレル側壁が平板状の場合(一般的には平板状が多い)、被処理物が側壁 に貼り付いて持ち上げられて浮遊することがある。

バレル側壁をダイヤカット状にすると被処理物の離脱を良くすることができるので、それに近い方法で側壁板を工夫するとよい。

(対策-3)バイポーラ現象によるダメージを小さくするため、1バレル当りの電流値を低めに設定し、めっき時間を長めにして、ねらい膜厚を求めると共にばらつきの低減を図るとよい。

# 3 バレルの開孔率と電圧降下

この点については、バレルめっきの「特徴その3」で述べたのでここでは省略する。

# 4 平均電流密度と局部電流密度

この点については、バレルめっきの「特徴その1」で述べたのでここでは省略する。

# 4-4-5 バレル用めっき浴組成の影響

バレルめっき方式は、引っ掛け治具方式によるめっきと大きく異なる特徴を持っているため、本来はめっき浴組成をバレル用、引っ掛け用と区別して調整し、それぞれの特徴に適合しためっき浴にしなければならないはずである。しかし、実際そのように分けて調整管理している企業はすくないが、行っている所はそれなりに品質の優れためっき技術を確立している。

めっき浴の基本組成としては、次に示すものが含まれている。

|主成分の金属塩|: これは一般に金属と酸の化合物が多く、例えば代表的な硫酸ニッケル、塩化ニッケルは、さらに結晶水を持っている溶解度の高いものが用いられる。このように水に溶けやすくイオン解離(電離ともいう)し、液中で金属陽イオンとなる金属塩が主に使われる。

ただし、これとは別にめっき浴の種類によっては、液中で金属の大部分が陰イオンの中にあり、ごくわずか解離して金属陽イオンになっている化合物にする場合がある。

これは、金属と無機あるいは有機錯化剤とから成る化合物で「錯塩」と呼ばれ、めっきでは重要な役目をしている。

代表的なものは、シアン化銅錯塩、ピロリン酸銅錯塩、クエン酸ニッケル錯塩などであり、その他、各種錯塩が用いられている。

ここで注意しなければならないことは、金属と化合している陰イオンや錯化剤が電解中に陽極あるいは陰極で酸化分解または還元分解して、有害もしくは不快なガスによって飛散しやすいもの、例えば、硝酸塩やアンモニウム塩などは比較的敬遠した方がよいということである。

電気伝導塩: めっき液はイオン電導体であり、電気伝導性が悪ければ、所定の電流を保持するために電圧を高く上げる必要があり、それに伴って熱が発生してくるようになる。 それを防ぐため、電気伝導塩を加え浴電圧を下げている。

特にバレルめっき浴の場合は、バレルシステムの特徴により接触抵抗が大きくなる傾向にあるので、重要な添加剤となる。

| p H 緩衝剤、p H 調整剤|: 中性めっき液を含め、p H = 3 ~ 11 位までの液は比較的水素イオン濃度が低いため、電解に伴って陰極側での水素ガスの発生、陽極側での酸素ガス発生といった電解反応の影響を受け、p H の変動が大きく、めっき皮膜に何らかの影響を与える。

バレルめっきの場合は、バレル側により隔離された状態で電解が継続されるので、バレル内は水素ガス発生を伴ってpH上昇が起こりやすい、そのpH変動を最小にするため、ホウ酸や有機酸など、pH緩衝剤やpH調整剤がめっき液中に添加される。

|陽極溶解補助塩|:電気めっきを行う場合、溶解性の陽極を使う場合と不溶解性の陽極を使う場合とがある。めっき液の変化や老化を防ぐには溶解性の陽極を使う方が好ましいが、金属の中には陽極として溶解しにくいものや、浴組成の関係からどうしても不溶解性陽極を使わなければならない場合がある。

溶解性陽極を用いた単一金属のめっき浴、さらに合金めっきのように 2 種類以上の金属を陽極溶解で供給していくなど、簡単ではない場合も含めて、電解に伴う陽極溶解のムラや金属微粒子の混濁等を防ぐために、塩化物やロッシェル塩など、陽極溶解を補助する化合物を添加する。

特にバレルめっきの場合は、陰極電流効率と陽極電流効率との兼ね合いによる金属濃度の上昇、或いは作業に伴うめっき液の汲み出しロスの程度から、金属濃度の低下も考えられる。

浴組成の変動を少なくするために、陽極溶解補助塩の濃度管理は重要な意味を持つ。

各種めっき浴の組成を、このような分類に当てはめてみるとよい。それによって、現場で起こる現象と管理のポイントが見えてくるはずである。

Q10

バレル用浴組成としての必要条件はなにか。

Α

浴組成の必要条件

特にバレルめっき用に適した浴組成にするためのポイントをあげると次のようになる。

浴電圧,浴温度の上昇を防ぐため、電気伝導性の良い液にする。

低電流密度側での付き回り、つまり被覆力の良い液にする。

高電流密度側でコゲなど異常析出の起こりにくい、つまり均一電着性の良い液に する。

バレルの回転に伴い、被処理物が内部の電流密度がほとんどゼロになる領域に入っても、素地やめっき皮膜を侵さない液にする。

以上のポイントを考慮して、バレルめっき浴組成を作り上げるよう心掛ける必要がある。 これは品質バラツキをより良くしようとするための必要条件であり、バレルめっき技術 をレベルアップする上で根幹を成すものである。

# 第5章 バレルによるめっき加工の実際

#### 5-1 バレルめっき工程

### 5-1-1 前処理

バレルめっき工程における前処理としては、前段で機械加工されたまま油付着した被処理物を直接バレルに投入して工程内で脱脂洗浄などを行いめっきまで一貫作業する場合とめっき工程に入れる前にバレル研磨等表面清浄を行う場合とがある。

それぞれについて説明する。

# (1) バレル研磨と脱脂

A このような侵炭、窒化あるいは熱処理加工品をバレルめっきする場合、前処理としてバレル研磨するとよい結果が得られる場合が多い。そこで、バレル研磨についてまとめて説明する。

バレル研磨は、プレスなど機械加工後の、被研磨物のバリやカエリの除去、処理後のスケール除去、めっき前の脱脂・表面仕上げ、光沢仕上げなどを行う熱研磨・研削法の一種で、第2次大戦後、欧米で発達したものであり、大量精密加工仕上げの要求に答えられるものとして日本に紹介されたといわれている。初期には、バレル中に被研磨物とコンパウンド(研磨補助剤)を入れ、共ずり作用により、油取りやスケール落しをする回転研磨法であったが、その後、いろいろ改良、進歩して各種バレル研磨法が出現している。

現状では、転換や振動あるいは高速旋回による遠心力を与えたバレルの中に、被研磨物、メディア(研磨石、研磨材など研磨用砥粒媒体)およびコンパウンド(被研磨物の平滑性、光沢性を出すための緩衝、バリ・カエリ取りと一時防錆および脱脂洗浄をもたせ、研磨作用を促進する補助剤)を入れて、水を加え、バレルの運動により被研磨物を整然としたすべり層を作り、そのすべり層中での流動現象で研磨が行われる。したがって、加工面の形状に制約されず、複雑な被研磨物でも脱脂洗浄および表面アラサの向上、つや出し、バリ取りなどの表面仕上げを行えるようになっている。

すべり層を作り出す為に、バレルに与える運動の状態によって、次のようなタイプのバレル研磨法が実用化されている。その分類表を図 5-1 に示す。

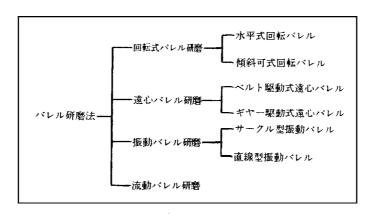


図 5-1 バレル研磨法の分類

### (a)回転式バレル研磨機

この研磨機は、水平回転バレルめっき装置と同様、構造は単純で手軽に導入できる利点がある。バレル内壁にゴムなど軟質材料を内張りして、被研磨物の打痕キズ発生を防止する対策がとられている場合が多い。

回転式バレル研磨機による、均一でバラツキの少ない研磨を行うための理論を、バレル めっき技術と比較して考えてみる。

図 5-2 に示すように、研磨能率にとって一番重要なのはバレル内すべり層の形成であるが、これはバレルめっきの場合のめっき膜厚分布の良否に対する重要さと同様の意味を持つものである。

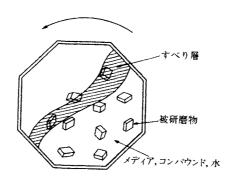


図 5-2 回転バレルのすべり図

バレルの回転を高速化するだけでは、大部分の被研磨物がバレル側壁に押し付けられたままで回転するため、すべり層域が少なく研磨されにくい、最適なすべり層の厚さは、バレル容量に対する投入量(被研磨物、メディアおよび水を含めたもの)および被研磨物とメディアの混合比などに影響される。

最大すべり層を得るための投入量は  $50 \sim 70\%$  が良いといわれている。その状態でも、すべり層厚さは、バレル径に対しわずか  $10 \sim 20\%$  程度と考えられている。例えば、バレル径 1 mの場合、すべり層厚さは  $10 \sim 20$  c m。

なお、投入量は被研磨物の多少に関係なく、その量を維持しなければならない。さらに、

極端に投入量を少なくすると研磨効果がほとんどなくなる場合がある。

以上の点を考えても、めっきと研磨とは、その目的から、同じバレル処理でもめっき仕上げの良さと研磨仕上げの良さを追求する場合、バレルの設計に大きな違いのあることがわかる。

また、被研磨物とメディアの混合比が不適当な場合、研磨効果が十分でなかったり、被研磨物に打痕キズや変形を生じさせてしまう。

一般的な混合比の目安は次の通りである。

研磨物が鉄系素材の場合、被研磨物:メディア=1:3~1:5

鉄系素材、非鉄系素材の表面研磨の場合、被研磨物:メディア=1:5~1:10

平滑仕上げ、光沢研磨の場合、被研磨物:メディア=1:10~1:20

その他変形しやすい被研磨物や精密研磨仕上げの場合、被研磨物:メディア 1:20 以上

さらに、バレルの回転数もまたバレル研磨の重要な条件のひとつである。通常、回転数は  $6\sim30$ rpm の範囲で、バレル径との関係については松永 $^{12}$ )が Enyedy $^{13}$ )の記録を整理して、式(1)の関係式を推奨している。

R: バレル回転数、D: バレル径(m)

例えば、バレル径 1mの場合、回転数 14rpm、バレル径 50cm の場合、回転数 20rpm が標準的な目安となる。もちろん被研磨物の材質、形状および研磨の目的によって選定しなければなれない。研磨の目的から、バリ・カエリ取り速い回転数、仕上げ研磨は遅い回転数の方が良い。経験上、注水量は使用するコンパウンド、バレル容量、投入量および研磨程度などによって変わるが、目安としては、被研磨物とメディアを投入した後、その表面より若干水位が上がる位(炊飯の時の水位の要領と似ている) 水を入れた方が研磨効果が上がるようである。

以上が、回転式バレル研磨機を用いた場合の主な処理条件である。

バレルめっき用前処理として予備脱脂洗浄のみを考える場合は工数を省くためにメディアを使わないでコンパウンド(主に脱脂洗浄用)と水だけで比較的遅い回転数で共ずり作業するケースも多い。

### (b)遠心バレル研磨機

遠心バレル研磨機の基本原理は、図 5-3 に示すように、中央部に固定ギヤー、ターレット円盤にバレルギヤーと中間ギヤーを介して、バレルギヤーが逆方向に回転し、しかもターレット円盤の公転回転数(N)とバレルギヤーの自動回転数(n)が同じになるようにすることで(すなわち、n/N=-1)ある。

例えば、バレルの蓋の部分がどの位置にあっても上部に位置するといった具合にバレルの姿勢が常に保たれ、その結果、内部の被研磨物がバレルとの相対位置を変えながら一定の速さで旋回するため、すべり層が形成されるものである。その場合、望ましいすべり層を形成させるためには、バレルの形状が重要で6角バレルが良いとされている。

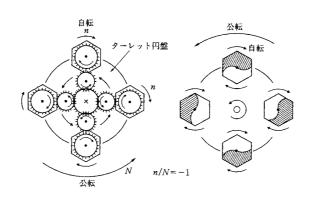


図 5-3 ギヤ駆動式遠心バレル研磨機の原理

遠心バレルの研磨能率が高い理由は、回転数が 100~200rpm 位で大きいことと、それに伴う遠心力の大きいことがあげられる。

例えばバレル径 20cm、回転数 190rpm の遠心バレルバレル径 25cm、回転数 28rpm の回転バレル

の研磨能率を比較すると、遠心バレルの方が約 50 倍位高いといわれている。したがって 研磨程度が同じなら、かなりの時間短縮が可能になる。

また投入量は、被研磨物、メディア、水の総量がバレル容量に対して  $35 \sim 90\%$  とかなりの幅があり、目的に応じて選定できる。ただし、一般的に投入量が少ないと、バリ取りなど研削力は大きくなるが、仕上げが悪くなる。脱脂洗浄を目的とする場合は  $70 \sim 90\%$  位の方が良さそうである。

注水量は、回転バレルより多めに入れた方が変形や打痕キズの発生が少なく、良好な仕上がりが得られる。

#### (c)振動バレル研磨法

振動バレル研磨法は、バレルを振動させることによってバレル内の被研磨物とメディアが流動運動を行い、絶えず相互摩擦されることにより研磨が行われる方法である。

したがって、流動運動と互いの摩擦を効率良く繰り返すためには、できるだけ乾式か、それに近い状態の湿式が好ましい。そのためには、バレル容量に対する被研磨物とメディアおよび水の総投入量は  $70 \sim 80\%$ 位とやや多目にし、注水量は回転バレルと比べ約  $1/4 \sim 1/5$  位と、ごく少量にしなければ研磨効果が出ない。水が多いと振動を与えても水の抵抗および浮力などの影響で接触摩擦力や流動運動の妨げとなってしまう。

しかし、バレルめっき用前処理として、研磨効果よりも脱脂洗浄を主な目的とする場合は、脱脂液を多目に入れて振動バレルすることは、好ましい前処理方法といえる。

振動発生源は、直接振動モータをバレルに取り付ける方法と、バレルの下部に偏心軸を 取り付ける方法とがある。

特に、図 5-4 に示すようなサークル型振動バレル研磨機では、省スペースで無人化が図れるメリットがある。

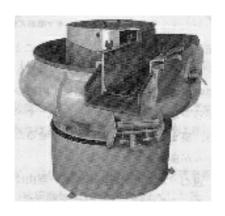


図 5-4 サークル型振動バレル研磨機 (株)ピーエムジーのカタログより)

### (d)流動バレル研磨法

流動バレル研磨法は、図 5-5 に示すように底部回転盤を高速回転させることによって遠心力を発生させると、被研磨物は固定研磨槽に押し付けられ、水流と共にトロイド軌跡を形成して図 5-6 に示すような流動運動をしながら研磨される。

この研磨法は湿式で行い、研磨途中の状態を見ながら高速研磨仕上げが可能であるため、 重研削をはじめ、スケール除去、仕上げ研磨および脱脂洗浄など広範囲に利用されている。

しかし、被研磨物の形状によっては、変形や研磨ムラの発生する恐れがあるので注意が必要である。

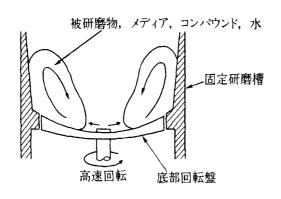


図 5-5 流動バレル研磨法の原理

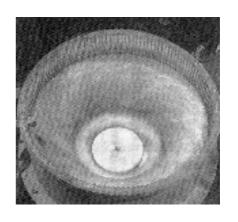


図 5-6 流動バレル研磨機 (株)ピーエムジーのカタログより)

# (2) 脱トリクロロエタンの予備脱脂

Q2

鉄素材の小物部品を多量にバレルめっきしているが、トリクロロエタンをやめてから工程中に油が浮上して困っている。何かよい前処理方法はないか。

A

各種金属加工法を用いて成形加工されたあらゆる部品は、一般的に油汚れのあら取りとして予備脱脂が行われる。それには従来、引火性がなく、脱脂、洗浄及び乾燥において優れた性能を示し、めっき業界をはじめ金属工業界その他で、

手軽にトリクロロエタンや特定フロンなど塩素系・フッ素系有機溶剤が使われていたが、 1996年をもってオゾン層破壊物質として使用禁止の方向へと動いたことは、すでに周知の 通りである。

バレルめっきの場合は、被処理物の形状が小さく、かつ処理が多いため、加工油の付着している全表面積は非常に大きく、当然加工油の量は多くなる。したがって、そのままの状態でめっき工程内に持ち込むと、バレルの移動に伴って前処理工程で浮上あるいは分散した油汚れが広範囲に広がってしまう恐れがある。そのため、効果的な前処理工程として、前段にトリクロロエタン予備脱脂など溶剤脱脂を行うよう推奨していたのである。

その効果として次のようなことがあげられる。

脱脂において:はざ折り部、スポット接合部、深絞り等、油の種類や熱処理加工など油 の付着状態および素材の種類など、多様化に低コストで対応できた。

乾燥において:引火性がなく低沸点溶剤であるため、乾燥も手っ取り早く、量産性に 適していた。

いざ使えないとなると、代替技術および設備面における不便な問題ならびにコスト問題がクローズアップしてくる。現在、市販されている脱脂洗浄剤を油除去性から分類してみると図 5-7 のようになる。

これらに該当する市販の脱脂洗浄剤について、主な特性を比較してみると、表 5-1 のようになる。

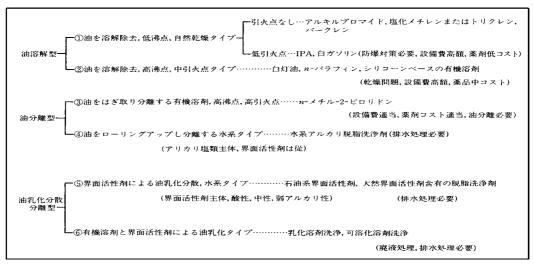


図 5-7 脱脂洗浄剤の油除去性からの分類

表 5-1 脱脂洗浄剤の特性比較

○秀れている △多少問題あり

分類	溶	斉	7]	系	水		系	準	水	系
特 性	塩素系	ICFC	石油系	アルコ ール系		エマル ジョン 型	アミン 型	石油系溶 剤エマル ジョ型	Nメチ ルビロ リドン	その他
脱脂洗浄力	0	0	0	0	△~○	0	△~0	0	Δ~0	0
乾 燥 面		0	△~0	△~○	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
廃液 処理	0	0	0	0	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
ランニングコスト	0	Δ	0	Δ	0	0	0	Δ	0	Δ
毒 性·安 全 性		Δ	Δ	Δ	0	0	0	△~○	△~○	△~○
設備面の課題	環境」 禁止	_使用	防爆	設備	設	:備大型	化	]	設備大型	rt

水系脱脂洗浄剤及び準水系脱脂洗浄剤ともに溶剤系に比べて特性面で多少問題があるが、 図 5-8 や図 5-9 などに示すような各種ステンレス性バレルやアミ籠を用いて被処理物を入れ、回転や振動など物理的な力を加えたり、70~80 の温度を加えたり、時間をかけて行うなど、めっき工程とは分けて予備脱脂作業を行うとよい。

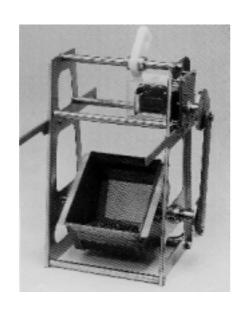


図 5-8 揺動式ステンレス バレル



図 5-9 振動式洗浄装置

通常、水系脱脂洗浄剤が検討されるが、あくまでもバレルめっき工程外で予備的に脱脂する場合を考えて、非イオン系界面活性剤主体の弱アルカリ性水系エマルション型脱脂剤を選定することを奨める。

主剤として非イオン系界面活性剤を使い、乳化分散力を高めるために高分子化合物を併用する。例えば、乳化剤としてポリエチレングリコールなどを少量添加し、エマルション100%型ではなく、ミセル、マイクロエマルション混合型にして、さらにミセル臨界濃度を下げ、界面活性力補強を考慮し、弱アルカリ性(pH9~10)を保持する助剤を若干使用したものである。

油をミセルに可溶化および乳化させ脱脂洗浄するタイプで、温度を上げると効果が高くなるが、非イオン系界面活性剤を主体にしているため、60 付近で曇り点があり、それ以上では親水性がなくなり、非イオン系界面活性剤どうしが会合して分離を起こし、効力がなくなるものもある。注意しなければならない。

また、非イオン系界面活性剤の中で特に特性がよいとされているポリオキシエチレンアルキルエーテル、ポリオキシエチレンオクチルエーテルおよびポリオキシエチレンノニルフェニルエーテルは、多くの分野で多量に使用され廃棄されるところから PRTR の第一指定対象化学物質に取り上げられている。従って、老化廃液の処分等、使用上の制約も考慮しなければならない。

水系脱脂洗浄剤の場合は、浮上油が生じはじめた後も脱脂洗浄効果を持続させるために、 油分離を上手に行うことが重要である。

Q3 水系脱脂洗浄剤の寿命を延ばすために油分離する必要があると思う が、油分離方法についてどのような方法があるか知りたい。

# 油分離方法

A 水系脱脂洗浄のメカニズムから判断して、界面活性剤と油汚れとの反応は物理的親和力による結合であり、何らかの方法でそれを破壊し、持ち込まれた油汚れを系外に分離してしまえば、脱脂洗浄液は老化しないはずである。これが油分離とリサイクルの基本的なねらいである。

水を分散媒として非イオン系界面活性剤に囲まれた油滴あるいは、可溶化・乳化分散し 粒径の小さい分散度の高いエマルション状態にある油分に対し、温度を下げ静かに放置し ておくと、通常、油滴の密度が水の密度より小さいため、密度差を駆動力にして浮上して くる。これをエマルションの濃縮化(クリーミング)という。さらに、凝集が起こり合一 化が進むと油相となって油分離が行われてくる。

実際、脱脂洗浄力を高めるには、油汚れの可溶化能、乳化分散能を高める必要があり、 それに伴ってエマルション安定性が良くなり、自然放置では過剰に入り込んだ油分以外は なかなか油分離しない状態にある。

そこで外部から何らかのエネルギーを与えて可溶化・乳化分散している状態を破壊する 解乳化方法が考えられ実用化されている。その方法を列記してみると次のようになる14%

- (1)浮上油分離
- (2) ろ過分離
  - (a) 限外ろ過(UF膜)によるろ過分離
  - (b) 分散相のぬれやすいろ材でろ過し、ろ材表面でエマルションを凝集合一させて分離
- (3) 電圧印加によるエマルションの破壊分離

- (4) 非イオン界面活性剤の場合、効果的な加温による O/W 型エマルションの W/O 型 への転相(曇り点という)を利用した不溶化分離
- (5) 遠心力付加によるエマルションの凝集、合一と分離
- (6) 多価カチオンを含む塩(CaCI2など)を加え、塩析分離
- (7)酸の添加によるエマルションの破壊分離
- (8) 超音波照射によるエマルションの破壊分離
- (9) その他
- (3) バレルライン内のアルカリ脱脂
  - Q4 バレルライン外でバレル研磨や予備脱脂を行えば、ライン内でのアル カリ脱脂工程は省略できるか。
- 述べてきた「(1)バレル研磨と脱脂」及び「(2)脱トリクロロエタンの予備脱脂」の方法で、被処理物の表面付着油の大半は除去できる。

一 その後、バレルめっきラインのバレルにこの被処理物を投入し、ライン内アルカリ浸漬脱脂から始まり、一連の工程でバレルめっきされることにより、最適な前処理工程といえるわけである。

- (a)バレルめっき用アルカリ脱脂剤の選択上のポイント
- 予備脱脂を終えた状態または直前ライン内のアルカリ脱脂で行う場合共、被処理物の材質および加工油と加工暦による汚れの状態を考慮して、生産ラインの条件に適切なアルカリ脱脂剤を選択することが必要である。簡単に選択のポイントを列記すると次のようになる。

ラインで処理する被処理物の付着油すべてに対応できるものを選ぶ。アルカリビルダーとして、水酸化ナトリウムとケイ酸塩を主体とするタイプおよび水酸化ナトリウムとリン酸塩を主体とするタイプとがあるので、選定の目安にするとよい15%。

界面活性剤の選択により、洗浄性、低起泡性、消泡性、浸透性、水洗性など作業性の 良いものを選ぶ、参考までに界面活性剤の選択ポイントを表 5-2 に示しておく。

#### 界面活性剤の種類

非イオン系(ノニオン)活性剤:無機性汚れの洗浄性良い。低起泡性、アニオン

活性剤との併用効果あり。

陰イオン系(アニオン)活性剤:金属へのぬれ性を良くする。極性汚れ(脂肪酸)

の洗浄性良い。

陽イオン系(カチオン)活性剤:洗浄剤への扱いが面倒。腐食抑制用途に使える。 両性(アンフィビアス)活性剤:洗浄性能を高める目的でアニオン活性剤と併用

することがある。

# 界面活性剤の選定と組合せのポイント

- (a)脱脂洗浄力を増強させるための、非イオン系活性剤の数種併用による HLB の加成性効果と陰イオン系活性剤の組合せ効果
- (b)重度の油脂汚れに対する洗浄は、その汚れを乳化分散するのに十分な量 (汚れ重量の3~5%に相当する活性剤)の濃度保持を目安とする。
- (c)油分離性を良くする界面活性剤の選定。
- (d)排水処理及び環境保全を考慮した生物分解型の界面活性剤を選定する。

油に対し分散性、乳化性があり、作業中は浮上油再付着防止ができ、かつ作業停止後油分離しやすいタイプのものを選ぶ。

バレルからの沈み出しにより排水処理への負荷が心配である。できるだけ負荷の少ないタイプのものを選ぶ。(COD,BOD,重金属沈降性,n-ヘキサン値など)ランニングコスト(経済面)で単なる見掛け上の単価だけでなく、洗浄能力、液寿命、排水処理性など、総合的評価から選択する。

(b)バレルめっき用アルカリ脱脂剤の作業管理上のポイント

 $\mathbf{Q}6$  バレルライン内アルカリ脱脂工程の作業管理上のポイントはなにか。

A 脱脂洗浄力に影響する要因は、浴濃度、浴温度、バレル回転による攪拌、脱脂時間および、油分離除去など液浄化の5つが考えられる。

浴濃度については一般的に、有効アルカリ度、全アルカリ度を分析し、濃度測定と補給を行い、液寿命については、目視による液汚れ判定が最も現場的であり経済的判断といえる。

液寿命に最も影響するのが浮上油の湯分離であり、オーバーフロー方式の脱脂槽を用い、作業中のバレルや被処理物への油再付着防止および作業停止時の油分離を徹底するとよい。

バレル方式の場合、バレルの変形を防ぐためにも浴温度はあまり高温にすることができない。

したがってバレルの出し入れ、バレルの材質等をよく把握して、浴温を少しでも高めの適切管理範囲で作業できるようにする。

脱脂液の攪拌は効果的であるため、バレル回転による攪拌と同時に、ろ過機による液の流動攪拌も行えるようにする。

脱脂槽はできるだけ2槽以上に分け、多段アルカリ脱脂方式が行えるようにすると、より精密洗浄ができ、脱脂剤使用量の低減が可能となり経済的になる16)17。

さらに、忘れがちなポイントとして、アルカリ脱脂後の水洗工程がある。

アルカリ剤はよく水洗洗浄しないと残留したり、バレルに汚れ付着が起こり思わぬシミ 不良や密着不良の原因になる場合がある。

バレルの水洗性はひっかけ冶具の場合と違って、閉鎖的なバレル内に存在する前段処理液をいかに速く水と置換し、全体に均一希釈するかであり、それなりの対策を行っておく必要がある。

ある工場での実験では、アルカリ脱脂槽からバレルを新しい水の入った水洗槽に移し、 しばらく回転させた後バレル内外のpHを測定したところ、バレル内ではかなりpHが高 く外部の水との落差が大きかったと報告している。また、その場合、バレルを一度水洗槽 から引き上げ液切りをした後、もう一度水洗槽の中に入れると、バレル内外のpH差はほ とんどなくなったと報告している。

#### (c)バレルによる酸洗浄

 $\mathbf{Q7}$ 

バレルライン内の酸洗浄工程はどういう目的と役割を持っているか。

A 被処理物の表面から油汚れを除去する脱脂洗浄を行った後、通常工程としてバレルによる酸洗浄が行われる。

被処理物の表面に形成されている主の無機系の汚れ、例えば、さび(腐食生成物) スケール(酸化皮膜) スマット(不浴成分による微粉末状付着物)および加工表面変質層、ならびに加工表面硬化層などの除去を目的とし、その程度によってビックリング(比較的長時間浸漬) エッチング(金属表面を溶解し適度に粗面化) ディッピング(短時間浸漬による表面活性化)など、酸洗浄液組成によって目的別に分類することができる。

酸洗浄に使用される主な薬品としては、塩酸、硫酸、硝酸、有機酸、およびフッ化水素酸などがあり、酸洗浄方法としては、浸漬法、電解法、機械的方法が通常用いられる。 バレルによる酸洗浄の場合は、浸漬と、ころがり運動による機械的作用が複合された状態で効果的な洗浄が期待できるが、重度な無機系汚れについては通常、バレル研磨による表面洗浄を前段で行い、もっぱらバレルによる酸洗浄においては、酸活性に重点をおいた弱酸ベースで行う、その方が排水処理その他を考慮して経済的であると考える。

素材別に酸洗浄液を選択する必要があり、また、バレルによる酸洗浄の場合は液の汚れや劣化が比較的早いため、洗浄液の管理および更新時期を的確に把握しなければならない。

# (d)バレルによる電解洗浄

Q8

バレルライン内で電解洗浄する場合の注意点はなにか。

A

電解洗浄には、

被処理物を陰極側にして行う陰極電解洗浄

被処理物を陽極側にして行う陽極電解洗浄

被処理物を陰極電解洗浄した後、陽極電解洗浄するなど、交互電解洗浄

被処理物の極性を周期的に逆転させ、陰極電解洗浄と陽極電解洗浄を繰り返す

PR (Periodic reverse) 電解洗浄

などがある。

引っ掛け法による電解洗浄では、これらが目的に応じて単独、または複数組合されて行われているが、バレルによる電解洗浄では、一般的に陽極電解洗浄が行われている。

その理由は、リード線接点部などを介して被処理物に給電され、こりがり混合に応じて 局部電流密度が大きく変化する関係上、陽極電解洗浄にした場合、陽極エッチング、陽極 酸化の状態及びリード線接点部の陽極溶解ダメージなどを考慮しなければならないためで ある。

また、PR 電解洗浄にした場合、極性切替周期と、転がり混合周期とのアンバランスの 影響を考慮しなければならない難しさがある。

電解条件としては、引っ掛け方法の場合、電解洗浄液の組成や被処理物の種類によって異なるが、一般的に液温を高めにし、高電流密度( $5 \sim 10 \text{A/d m}$ )で行うのであるが、バレルによる電解洗浄の場合は、めっきの場合と同様、平均電流密度  $0.5 \sim \text{A/d m}$ で、液温もバレルの変形を考慮して適温にし、ころがり混合効果を向上させるために電解時間を長めにする。

それによって、被処理物表面の機械的攪拌効果と、陰極であれば、表面からの水素ガス 発生に伴う隙間やピンホール部のガス発生攪拌効果が相乗されるものと考えられている。

電解洗浄液の組成および管理次第で、非処理物のめっき仕上げ外観、密着性などに大きな影響を与えるため、めっき浴と同様、バレルめっき用電解洗浄液組成を確立することが望ましい。

電解洗浄液の基本組成は、シアン化ナトリウム併用型、有機錯化剤配合型、錯化剤非配合型の3通りに分類され(表 5-3 参照)アルカリ脱脂洗浄剤で使用されている、水酸化ナトリウム、オルソケイ酸ナトリウム、炭酸ナトリウム、リン酸ナトリウムなど、アルカリビルダーと表面張力低下や洗浄力アップを図るため界面活性剤が添加されている18%。

表 5-3 電解洗浄液の基本組成

電解洗浄剤	主 成 分	特徵
シアン化ナト リウム併用型	カセイソーダ及び他の アルカリ塩、シアン化 ナトリウム	主体は陰極電解であり、鉄、非鉄用 として用いる。金属イオンが増加し ても洗浄効果は急激に低下しない。
有機錯化剤配 合型	上記アルカリ塩、グル コン酸ナトリウム、 E DTAなど	陽極または PR 電解で鉄用に用いられることが多い。重金属イオンの影響が生じやすいので管理が必要。
錯化剤非配合型	上記アルカリ塩(複合 リン酸塩及びシアン化 ナトリウムを除く)	陽極または PR 電解として用いられる。非鉄金属は陰極とする。性能は上記のものに劣るので、処理工程の組合せを十分に検討する必要がある

ここで注意しなければならないことは、起泡性の高い界面活性剤を用いると、陰極で発生した水素ガス、陽極で発生した酸素ガスが、液面およびバレル内を覆う起泡中に蓄積し、スパークなどにより爆発する危険が生じるため、低起泡性の界面活性剤を選択する必要がある。

# 5-1-2 各種めっき浴

次に従来、バレルめっき用として発表されている各種めっき浴についてまとめ、さらに 筆者が行ったバレルめっき用浴組成の現場的改良方法により求めた浴組成例を示す。

# (1) 亜鉛めっきの要点

Q9 現在シアン浴を用いてバレルめっき方式で亜鉛めっきを行っているが、環境対策を含め今後の管理ポイントについて知りたい。

A 亜鉛めっきは鉄製品の防錆を目的としためっき皮膜として、幅広く使用されて いる。

バレルめっきにおいては、シアン化亜鉛めっき浴が最初に実用化されているが、 1950 年代に公害問題がクローズアップされ、低濃度シアン浴や非シアン浴が開発され、その後、光沢塩化亜鉛めっき浴も加わり、各種亜鉛めっき浴が現在実用化されている。

# (a)シアン化亜鉛浴

バレルめっきは作業に伴うめっき液の汲み出しが多い為、一般的には中濃度シアン浴または低濃度シアン浴が使用されている。

バレルめっき用として発表されている主なシアン浴の組成を表 5·4 に示す。

表 5-4 バレルめっき用シアン化亜鉛めっき浴

	高濃度1	高濃度 2	中濃度1	中濃度 2
金属亜鉛 (g/L)	50	34	18	16.7
シアン化ナトリウム(g/L)	105	94	45	48.3
水酸化ナトリウム (g/L)	120	79	90	65
M tt	1.8 ~ 2.2	2.5 ~ 2.8	$2.2 \sim 2.3$	2.6 ~ 2.9
光沢剤	必要量	必要量	必要量	必要量
清浄剤	0 ~ 1	0 ~ 0.5	$0 \sim 0.25$	$0 \sim 0.25$
温 度 ( )	32 ~ 49	22 ~ 36	23 ~ 32	20 ~ 30
陰極暖流密度				
バレル (A/d m²)	$0.1 \sim 4.0$	0.1 ~ 4.0	$0.1 \sim 1.5$	0.1 ~ 3.0

シアン浴中での亜鉛イオンは、

 $Zn^{2+}$  + 4  $CN^{-}$   $\gtrless$   $Zn(CN)_4^{2-}(シアン化亜鉛錯陰イオン)$ 

このようなシアン化亜鉛錯イオンとジンケート錯イオンとを形成し、混在しているとされている。両錯塩が浴中にとのような割合で混在しているかは明らかではないが、Hull および Wernlund らは、通常の浴で 75~90% がジンケート錯塩であると報告している 19)。これら錯塩の浴中での平衡関係は次のようになる。

 $Na_2Zn(CN)_4 + 4NaOH \ge Na_2Zn(OH)_4 + 4NaCN$ 

NaOH を加えない Zn (CN)  $_4$  <sup>2</sup> だけを含む溶液からは、微細結晶の平滑な亜鉛めっきが得られるが、電流効率が 20 %にも達しない。また、Zn (OH)  $_4$  <sup>2</sup> だけの溶液からの亜鉛めっきは、スポンジ状で素地に密着しない。

したがって、2つの錯塩が適度な濃度と比べ存在する浴が、効率良く優れている。 平衡関係は、

NaOH が増加すると平衡が に移り、Na₂Zn(OH)₄が増加する

温度が上昇しても平衡が に移り、Na<sub>2</sub>Zn(OH)<sub>4</sub>が増加する

NaCN が増加すると平衡が に移り、Na, Zn (CN) が増加する

そこで、管理上一般的には、次の式で示す M 比と呼ばれる係数と水酸化ナトリウム濃度が使われている。

M比=全NaCN(g/L)/Zn(g/L)

ひっかけ方式用浴組成に対してバレルめっき用浴組成は、4-4-5 中の浴組成の必要条件のところで述べた4つのポイントの中で次の3つを考慮して、管理範囲として以下に示すようにすることが望ましいと考える。

低電流密度側でのつき回り、つまり被覆力の良い液にする。

高電流密度側で、こげなど異常析出の起こりにくい、つまり均一電着性の良い液にする。

バレルの回転に伴い、被処理物が内部の電流密度がほとんどゼロになる領域に入って も、素地やめっき皮膜を侵さない液にする。

# 【管理範囲】

亜鉛金属濃度:10~20g/L NaCN : 13~40g/L

M 比 : 1.3~2.0

ポイント 、 を考慮し、ひっかけ方式より、やや低めで管

理範囲を狭くする。

NaOH :  $7.0 \sim 8.0 \, \text{g/L}$ 

ポイント を考慮し、ひっかけ方式より、やや低めで管理範

囲を狭くする。

浴 温 度 : 15~25

低濃度化するに伴い浴温度変化に敏感になる。一般的に低温

の方が光沢が出る。

(参考)バレル用めっき浴種における平均膜厚とばらつきの比較

表 5-5 に示す実験条件で、1 バレル当りの被処理物投入量をほぼ一定にして、通電量を変え、つまり平均電流密度を変えた場合のシアン浴における平均膜厚とばらつきの比較を行ってみた。結果を表 5-6 に示す。

表 5-5 バレルめっき実験条件

# 実験条件

バレル : 6 角形小型バレル (直径 190mm × 250mm) アクリル製

穴径1mm、穴間隔2mm、ダイヤカット板

回転数8rpm

バレル内容量 5.2L

被処理物:鉄製キャップ状製品; 4.86 cm<sup>2</sup> (直径 15mm×2mm)

バレル投入数量;1000個

バレル投入量;容量比 19.3%

シアン浴は Zn 濃度および M 比などによって陰極電流効率が変化するが、バレルめっき 用浴組成として取り上げた表 5-6 の場合をみると、

平均膜厚をほぼ同値にした場合、試験 (1)、(4)、(6)の比較から、平均電流密度を変えてもあまりばらつきに変化は見られない。

めっき時間をほぼ同じにして、平均電流密度を上げて平均膜厚とばらつきの関係を見てみると試験 (4)、(7)、(8)より、平均電流密度を上げることにより平均膜厚は大きくなるが、ばらつきは僅かながら小さくなるような傾向が見られる。つまり変動係数が僅かずつ小さくなる。

以上のことから、シアン浴の場合、高電流密度側になるほど電流効率が低下していく、いわゆる均一電着性に優れているため、平均電流密度を上げてスピードアップを図っても、変動係数には大きな変化は見られないことがわかる。しかし、陰極電流効率の低下は水素ガス発生を多くする方向にあるため、あまり高電流密度にすると水素脆性問題が拡大される恐れが考えられるので、注意が必要である。

間 | 計算上 | n=50 | 陰極電 | 標 | の平均 | 平 均流効率 | 膜厚 | 膜 厚 (%) | ( | (μm) | æ(μm) | (%) | ( 試 験温 度通電量平均電時流密度 シアン浴 (A) |A|(°C) 浴組成 (分) dm²) (µm) (%) 1.82 7.83 (1)20 0.1 2.32 78. 5 0. 146 Zn  $: 11 \, g/l$ (2)0.1 80 2.32 1.65 71. 1 0. 134 8, 13 NaCN : 24 g/l (3)10 0.2 50 2.90 2.37 81.7 0.215 9.30 M H: : 2.18 0.148 12.2 (4) 15 0.3 20 1.74 1.21 69.5 NaOH : 80 g/l (5)20 0.4 28 3.25 2.35 72.3 0.248 9.7 光沢添加剤:適量 (6)25 0.5 15 2. 18 1.55 71. 1 0.196 12.7 (7)30 0.6 20 3.48 2.35 67. 5 0. 255 10. 8 (8)35 0.7 20 4.06 2.69 66. 3 0. 230 8.54

表 5-6 シアン浴での実験結果

#### (b) ジンケート亜鉛浴

Q10 ジンケート亜鉛浴を用いてバレルめっきしているが、ねらい膜厚通り になかなかいかず、薄い場合が多い。どこを注意したらよいか。

したがって、金属亜鉛濃度と水酸化ナトリウム濃度の割合が重要な管理ポイントになる。 通常 NaOH /  $Zn = 11 \sim 13$  の範囲で管理している。

しかし、浴中の亜鉛濃度を増加させると電流効率は良くなるが、15g/L以上になると 光沢めっきが得られなくなり、ふくれも発生しやすくなる。また、ジンケート浴からの亜 鉛電析皮膜はスポンジ状あるいは樹枝状になりやすく、緻密な析出状態を得るためには有 機添加剤が必須条件となる。

添加剤、光沢剤としては、PVA、種々のポリアミン、エピクロルヒドリン・イミダゾール反応物のような複素環を持つカチオン、あるいは芳香族アルデヒドなどが用いられる。

通常、水酸化ナトリウム濃度が 80~90g/L 以下になってくると、亜鉛陽極板が溶けにくくなり、特に陽極電流密度が高い場合には金属微粒子の生成や陽極酸化を伴い、浴中亜鉛金属濃度の低下が起こってくる。

ひっかけ方式の場合には、 $Zn:10\sim13\,g$  / L、 $ZaOH:120\sim150\,g$  / L 程度(NaOH /  $Zn=11\sim13$ )が良く、陰極電流効率も図 5-10 に示すように、電流密度の上昇に応じて低下する均一電着性の良い状態を示す。

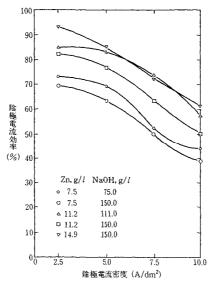


図 5-10 ジンケート浴における陰電流効率

バレルめっき用浴組成としては次の点を考慮する必要がある。

前述した浴組成のポイントの中の「 バレルの回転に伴い、被処理物が内部の電流密度がほとんどゼロになる領域に入っても素地やめっき皮膜を侵さない液にする」に対して、水酸化ナトリウム濃度 120 g / L 近く、あるいはそれ以上になると十分亜鉛析出皮膜を再溶解させる恐れが出てくる。

実際、予想以上に析出速度が遅かったり(ハルセル試験やひっかけ方式での析出速度との比較) 奥まった部分のある形状をした被処理物での付き回り性が悪い(被覆力が低い)といった現象がみられる場合がある。

そこで、水酸化ナトリウム濃度を陽極溶解に支障のない程度まで下げて管理することが望ましい。それには、亜鉛金属濃度  $9 \sim 11\,\mathrm{g}/\mathrm{L}$ 、水酸化ナトリウム濃度  $90 \sim 110\,\mathrm{g}/\mathrm{L}$  (NaOH / Zn =  $10 \sim 11$ ) がバレルめっき用浴組成として考えられる。

# (参考)バレル用めっき浴種における平均膜厚とばらつきの比較

前述した表 5-5 に示す実験条件で、1 バレル当りの被処理物投入量をほぼ一定にして、通電量を変え、つまり平均電流密度を変えた場合のジンケート浴における平均膜厚とばらつきの比較を行ってみた。結果を表 5-7 に示す。

ジンケート浴 浴組成	就 Na	温 度 (°C)	通電量 (A)	平均電 流密度 (A/ dm²)		計算上 の平均 膜厚 (um)	n=50 平 均 膜 厚 x(μm)	陰極電 流効率	標 準 偏 差 (μm)	変
	(1)	20	5	0. 1	80	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·			· ·	
Zn : 10 g/l	(2)		10	0.2	50	2.90	2.67	92. 1	0.236	8.8
NaOH : $110 \text{ g/}l$	(3)		15	0.3	20	1.74	1.47	84.5	0.162	11.0
光沢添加剤:適量	(4)		20	0.4	28	3.25	2, 59	76.8	0.269	10.4
	(5)		25	0.5	15	2.18	1.58	72.5	0.178	11.3
	(6)		30	0.6	20	3.48	2.44	70.2	0.250	10.2
	(7)		35	0.7	20	4.06	2.68	66.0	0.233	8.7

表 5-7 ジンケート浴での実験結果

ジンケート浴については、Zn 濃度及び Zn / NaOH の比率により陰極電流効率は変化するが、バレルめっき用浴組成として適していると判断される表 5-7 に示す場合について見てみると、

平均膜厚をほぼ同値にした場合、試験 (1)、(2)、(4)、(6)、(7)及び(3)、(5)の比較から、平均電流密度を変えてもあまりばらつきに変化は見られない。

めっき時間をほぼ同じにして平均電流密度を上げて、平均膜厚とばらつきの関係を見てみると試験 (3)、(6)、(7)より、平均電流密度を上げることにより平均膜厚は大きくなるが、ばらつきは僅かながら小さくなるような傾向が見られる。つまり変動係数が僅かずつ小さくなる。

以上のことから、前述のシアン浴と同様な傾向を示すものでありバレルめっき用浴組成 を確立することによりシアン浴に匹敵する膜厚ばらつきを得ることができると考えられる。

# (c)塩化亜鉛浴

 $\mathbf{Q}11$  塩化亜鉛浴でバレルめっきする場合の注意点はなにか。

A 使用実績は、シアン浴、ジンケート浴に比べて少ないが、作業電流密度範囲での電流効率が他のよくに比べて良いこと、ならびに水素脆性に対して脆化率が少ないこと、及び鋳物など、アルカリ性浴では困難な素材にも容易にめっきできることなど、その特長を利用することができる。

浴組成には、塩化亜鉛の他に塩化アンモニウムを主成分とするアンモニウム浴、塩化カリウムを主成分とするカリウム浴および、塩化ナトリウムを主成分とするナトリウム浴の3種類がある。

3種類の中では、アンモニウム浴が作業範囲も広く使いやすいが、最近の窒素規制強化から、排水処理対策上カリウム浴が注目されている。

表 5-8 に示すひっかけ方式用浴組成に対してバレルめっき用浴組成は、塩化亜鉛浴の場合、前述した酸性浴の特長、つまり陰極電流効率が高いことと水素脆性の防止、それに伴う析出速度の速さ、鋳物素材へのめっきなどを満足させることが重要であり、そのためにはひっかけ方式同様、高濃度でなければならず、浴組成の違いはあまりない。

		1 114 1-20	
	アンモニウム浴	カリウム浴	ナトリウム浴
塩化亜鉛 (g/L) 塩化アンモニウム(g/L)	40 ~ 50 200 ~ 220	60 ~ 80	70 ~ 80
塩化ナトリウム (g/L) 塩化カリウム (g/L)		180 ~ 220	120 ~ 140
ほう酸 (g/L)		20 ~ 30	20 ~ 30
pH	5.0 ~ 6.0	5.0 ~ 6.0	5.0 ~ 6.0
添加剤	適量	適量	適量

表 5-8 塩化亜鉛浴組成

バレルめっき用として注意する点は、めっき液による素材等の腐食であり、金属不純物の蓄積と影響は無視できない。例えば、鉄イオンの増加は起こりやすく、50mg/L以上からバレル穴跡模様の発生が出やすくなってくるなどのトラブルを防止する必要がある。

そのためには、浴のpH 管理範囲を、ひっかけ方式よりやや高めのpH 5.5 ~ 5.8 にすると共に、定期的に金属不純物除去を行うようにする。一般的な金属不純物除去法を表 5-9 に示しておく。

不純物	許容限界	現 象	除去対策
6 価クロム	3ppm	光沢低下 均一電着性低下 ブリスター発生	・亜鉛未処理 ・弱電解処理
鉛	2ppm	光沢性低下   均一電着性低下	・亜鉛未処理 ・弱電解処理
銅	10ppm	硝酸浸漬で黒変化	・亜鉛未処理 ・弱電解処理
鉄	50ppm	バレル穴跡発生	・過酸化水素添加
ニッケル	250ppm	2 次加工性低下	・長時間の弱電解処理が必要
有機物		汚染物により異なる	・活性炭処理

表 5-9 金属不純物除去法

# (参考)バレル用めっき浴種における平均膜厚とばらつきの比較

前述した表 5-5 に示す実験条件で、1バレル当りの被処理物投入量をほぼ一定にして、通電量を変え、つまり平均電流密度を変えた場合の塩化亜鉛浴における平均膜厚とばらつきの比較を行ってみた。結果を表 5-10 に示す。

塩化亜鉛(カリウム浴) 浴組成	試 験 No.	温 度 (°C)	通電量 (A)	平均電 旒密度 (A/ dm²)		計算上 の平均 膜厚 (μm)	n=50 平 均 膜 厚 π(μm)	陰極電 流効率 (%)	標 準 偏 差 σ (μm)	変 動 係 数 σ/x (%)
	(1)	25	5	0.1	60	1.74	1.57	90.2	0.176	11.2
$ZnCl_2$ : 70 g/l	(2)		10	0.2	50	2.90	2.89	99.7	0.215	7.0
KCl : 200 g/l	(3)		"	"	"	"	2.66	91.7	0. 283	10.6
$H_3BO_3$ : 25 g/l	(4)		15	0.3	53	4.61	4.21	91.3	0. 263	6.0
光沢添加剤:適量	(5)		20	0.4	15	1.74	1.40	80.5	0.239	17.0
pH : 5.0∼5.5	(6)		25	0.5	20	2.90	2.80	96.6	0.289	10.3
	(7)		60	0.6	19	3.31	3. 17	95.8	0.356	11.0
	(8)		35	0.7	23	4.67	4.36	93.4	0.455	10.4

表 5-10 塩化亜鉛(カリウム)浴での実験結果

塩化亜鉛(カリウム)浴については、この表から次の傾向が見られる。

平均膜厚をほぼ同値にした場合、試験 (2)、(3)、(6)、(7)及び(1)、(5)並びに(4)、(8)の結果から、概して平均電流密度を大きくするとばらつきが大きくなる傾向が見られる。

めっき時間をほぼ同じにして平均電流密度を上げて、平均膜厚とばらつきの関係を見て

みると、試験 (2)、(3)、(4)及び(6)、(7)、(8)の結果から、平均電流密度を上げることにより平均膜厚が大きくなると共に、ばらつきも大きくなる。

つまり変動係数がほぼ等しい傾向を示すようである。

以上のことから、塩化亜鉛(カリウム)浴の場合は特別バレル用浴組成というものはないようで、変動係数を小さく保つためには、一般的に平均電流密度を下げ、めっき時間を 長めにする必要がある。次に塩化亜鉛(アンモニウム)浴の結果を表 5-11 に示す。

塩化亜鉛(アンモニウム 浴)浴組成	試 験 Na	温 度 (°C)	通電量 (A)	平均電 流密度 (A/ dm²)	•	計算上 の平均 膜厚 (μm)	n=50 平 均 膜 厚 π(μm)	陰極電標 差 流効率 (%) (µm)	変動係数(%)
	(1)	25	5	0.1	100	2.90	2.45	84. 5 0. 0989	4.0
$ZnCl_2$ : 25 g/ $l$	(2)		10	0.2	40	2.32	2.13	91.80.127	6.0
NH <sub>4</sub> C1 : 160 g/1	(3)		15	0.3	30	2.61	2. 23	85. 4 0. 178	8.0
光沢添加剤:適量	(4)		20	0.4	15	2.02	1.48	73. 3 0. 157	10.6
pH : 5.5∼6.0	(5)		25	0.5	30	4.35	3.80	87.40.322	8.5
	(6)		30	0.6	22	3.83	3. 32	86.70.285	8.5
	(7)	1	35	0.7	10	2.03	1.57	77. 3 0. 210	13.4

表 5-11 塩化亜鉛 (アンモニウム)浴での実験結果

# この浴についてはこの表から次に示す傾向が見られる。

平均膜厚をほぼ同値にした場合、試験 (1)、(2)、(3)及び(4)、(7)並びに(5)、(6)の結果から、概して平均電流密度を大きくするとばらつきが大きくなる傾向が見られる。めっき時間をほぼ同じにして平均電流密度を上げて、平均膜厚とばらつきの関係をみてみると、試験 (3)、(5)及び(4)、(7)の結果から、平均電流密度を上げることにより、平均膜厚が大きくなると共にばらつきも大きくなる。つまり変動係数がほぼ等しいか、僅かに大きめになる傾向を示すようである。

以上のことから、塩化亜鉛(アンモニウム)浴も塩化亜鉛(カリウム)浴と同様な傾向を示すことがわかる。

また、 $G.J.Casey Jr. 6^{20}$  によるバレル用亜鉛めっき浴の研究からも、同様な傾向が見られている。

#### (2) 銅めっきの要点

銅めっきは、例えば鉄素材または銅及び銅合金素材に対して、ニッケルめっきあるいは、 すず・鉛合金めっきなどを施す場合の下地めっきとして、密着性確保という重要な役割を 担っている。

バレルめっきにおいて、現在実用化されている浴は、シアン化銅めっき浴が圧倒的に多く、その他ピロリン酸銅めっきおよび硫酸銅めっき浴などがある。

鉄素地や亜鉛ダイキャスト素地など、銅より卑な金属素材には、最も卑な電極電位を示

すシアン化銅めっき浴しか密着よく直接めっきすることができないため、バレルめっきに おけるシアン化銅ストライクめっきは不可欠となっている。

(a)シアン化銅めっき浴

Q12

現在シアン化銅めっき浴を用いてバレルめっきしているが、液管理の 見直しと非シアン浴についても見直したい。その点でのアドバイスは ないか。

Α

電圧

現在、バレルめっき用として発表されている主なシアン化銅めっき浴組成を示 すと表 5-12 のようになる。<sup>21)</sup>

低濃度浴 中濃度浴 高濃度浴 シアン化銅 (g/L) 45 60 シアン化ナトリウム (g/L) 70 85

 $90 \sim 100$ 120 ~ 140 遊離シアン化ナトリウム  $18 \sim 20$  $18 \sim 20$ 20~30 (g/L) ロッシェル塩  $45 \sim 75$  $45 \sim 75$  $45 \sim 75$ (g/L) 水酸化カリウム 8 ~ 15  $8 \sim 15$  $8 \sim 15$ (g/L) 浴温度 50 ~ 65 50 ~ 65  $50 \sim 65$ 

表 5-12 バレル用シアン化銅めっき浴組成

シアン化銅浴は、シアン化第一銅をシアン化ナトリウムまたはシアン化カリウムといっ たシアン化アルカリ溶液に加えて溶解させたもので、次の反応式に従ってシアン化銅錯塩 が形成される。

6~10

 $6 \sim 10$ 

 $6 \sim 12$ 

(1) CuCN + NaCN NaCu (CN)<sub>2</sub>

(V)

NaCu (CN)<sub>2</sub>+ NaCN (2)Na<sub>2</sub>Cu (CN)<sub>3</sub>

(3)Na<sub>2</sub>Cu (CN)<sub>3</sub>+ NaCN Na<sub>3</sub>Cu (CN)<sub>4</sub>

中でも Na<sub>2</sub>Cu (CN)<sub>3</sub>の形のシアン化銅錯塩が大部分を占め、錯塩を形成しない余剰の シアン化アルカリが遊離している状態になる。この遊離したシアン化アルカリを「遊離シ アン」と呼んでいる。

遊離シアンの量が適切に存在することにより、めっき析出皮膜の状態、均一電着性の状 態、陽極溶解の状態などによい影響を与えるものである。

シアン化銅錯イオン〔Cu(CN)<sub>3</sub>²-〕は、銅イオンとシアンイオンへの解離が極めて小 さいため、銅より卑な金属である鉄や亜鉛上にも銅の置換反応を起こすことなく電析させ ることができ、密着のよいめっきが得られる。特にストライク銅めっきは、銅濃度の低い、 かつ遊離シアン濃度の高い浴が用いられ、バレルめっきにおいても、出来るだけ高電流密 度で操作し、陰極電流効率が悪い分、水素ガスの発生に伴う一種の電解洗浄作用を利用し、 付きまわりと密着性のよいめっきを得るように調整する必要がある。

バレルめっき用厚付け銅めっき浴には、表 5-12 に示した低濃度浴、中濃度浴および高濃

度浴とがあるが、バレル内被処理物の全表面積に比べて一般的に陽極面積の方が小さいた め、どうしても陽極電流密度が過大になりやすく、陽極の溶解が低下しがちになる。

その対策方法には次のようなものがある。

遊離シアン化ナトリウムをひっかけ方式の場合より高めにする。

ロッシェル塩を添加して陽極溶解を促進する。

バレルめっきの特徴を考慮した浴組成として、筆者は実験結果から次のように考えている。 シアン化銅濃度が高いほど大きな電流が流せることは周知のことであるが、バレルめっき では、陰極の平均電流密度と局部電流密度のばらつき関係と共に、陽極電流密度および電 圧降下と浴電圧の影響から適性通電量が必要であることは、前述した通りである。また汲 み出し損失は、回収リサイクル化を図り低減させることは可能であるが、経済的な銅濃度 がある。そこで、シアン化銅濃度 40g/L ( Cu として 28g/L ) で遊離シアン化ナトリウム を 6~18g/L まで変化させた場合の、小型バレルを用いた通電量と平均膜厚およびばらつ きの状態、析出速度と陰極電流効率の変化を実験してみた。結果を表 5-13 及び図 5-11 に 示す。これらの結果から、次のような傾向が見られる。

遊離シアン化ナトリウム 8g/L以上 18g/Lまで変動係数(標準偏差/平均膜厚)が小 さく、ほぼ同じ程度の値を示している。

遊離シアン化ナトリウム 6~10g/L 位での、バレルめっき実測値から求めた平均電流密 度における平均膜厚からの陰極電流効率の傾向は類似しているが、遊離シアン化ナトリ ウム 14g / L、さらに 18g / L となると、陰極電流効率がかなり大きく低下してしまうこ とが見られた。

表 5-13 シアン化銅めっき浴での実験結果

Cu+濃度	遊離 NaCN	pH 範囲	温度	通電量	平均電 流密度	時間	計算上の 平均膜厚	実測値 <i>x</i>	陰 極 電流効率	標準偏差	変動係数
(g/l)	(g/l)	pri negari	(°C)	(A)	(A/ dm²)	(分)	(µm)	(μm)	(%)	(μm)	(%)
28	6	12~12.5	50	5	0.1	70	3.08	2.88	93.5	0.12	4.2
				15	0.3	25	3.30	2.97	90.0	0.14	4.7
				30	0.6	15	3.96	2.43	61.4	0. 19	7.8
28	8	12~12.5	50	5	0.1	90	3.96	3.76	95.0	0.08	2.1
				15	0.3	30	3.96	3.50	88.5	0.14	4.0
				30	0.6	15	3.96	2.60	65.7	0.14	5 <b>. 4</b>
28	10	12~12.5	50	5	0.1	90	3.96	3. 25	82.1	0.07	2.2
				15	0.3	30	3.96	2.81	71.0	0.07	2.5
				30	0.6	20	5.28	3.06	58.0	0.08	2.6
28	14	12~12.5	50	5	0.1	90	3.96	2.86	72.3	0.07	2.5
				15	0.3	35	4.62	2.37	51.3	0.07	3.0
				30	0.6	20	5.28	2.21	41.9	0.07	3. 2
28	18	12~12.5	50	5	0.1	90	3.96	2.47	62.4	0.08	3. 2
				15	0.3	50	6.60	2.06	31.2	0.07	3.4
				30	6.0	45	11.88	2.41	20.3	0.08	3.3

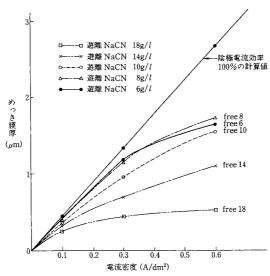


図 5-11 シアン化銅めっき浴での平均電流密度と平均めっき膜厚の関係

以上のことから、シアン化銅めっきはバレルめっき方式に適しており、膜厚ばらつき(変動係数)を小さく保つ浴組成範囲(ここでは遊離シアン化ナトリウムのみ示している)および平均電流密度範囲が広いことがわかる。

しかし、めっき皮膜の特性、浴組成管理などを含め、経済性を考慮して適度な陰極電流 効率を持ち、高電流にして、時間短縮が可能な浴組成範囲を考えてみると、表 5-14 のよう になる。

		ストライク銅	厚付け光沢銅
シアン化第一銅	(g/L)	Cu として 20~30	Cu として 40 ~ 50
シアン化カリウム(ナトリウム)	(g/L)	30 ~ 50	55 ~ 70
遊離シアン化カリウム(ナトリウム)	) ( g/L )	10 ~ 15	$11.5 \sim 12.5$
рН		$12.0 \sim 12.5$	$11.5 \sim 12.5$
光沢剤		-	適量
ロッシェル塩	(g/L)	-	20 ~ 40

表 5-14 バレルめっき用浴組成

### (b)その他の銅めっき浴(非シアン浴)

その他の銅めっき浴として、アルカリ性浴のピロリン酸銅めっき浴および酸性浴の硫酸 銅めっき浴、ホウフッ化銅めっき浴などがあげられるが、いずれもバレルめっき浴として は使いにくい欠点を持っており、プラスチックス製ボタンなど特殊な場合にのみ使用され ているようである。

シアン化銅めっき浴は1価の銅イオンからの析出であるのに対し、他の銅めっき浴は全て2価の銅イオンからの析出であり、従って析出速度はシアン化銅めっき浴より遅くなる。 硫酸銅めっき浴、ホウフッ化銅めっき浴は、いずれもpH1以下の強酸性であり、腐食性が強いため、鉄素材や亜鉛ダイキャスト素材上に直接バレルめっきすることは困難である。 その場合はニッケルめっきを下地に施してから行うようにするとよい。

なお、S. E. Craig Jr.らにより、バレルめっきにおける銅めっき浴の比較としてシアン 化銅めっき浴、硫酸銅めっき浴、ピロリン酸銅めっき浴、ホウフッ化銅めっき浴及びアミ ン浴について行っている。

それによると、膜厚ばらつきはめっき浴の p H と概ね相関関係があり、酸性側になるめっき浴ほど膜厚ばらつきが大きくなると述べている。

# (3) ニッケルめっきの要点

Q13

現在、ひっかけ作業のラインと同じワットタイプの光沢ニッケルめっき浴組成でバレルめっきを行っているが、バレルめっき用ニッケルめっき浴というのはあるのか。

A 現在、ニッケルめっき浴の主流はワット浴であり、一般的にはひっかけ冶具によるめっき作業で使う浴組成がそのままバレルめっき作業にも使われている場合が多い。

ニッケルめっきはワット浴の基本組成からわかるように、錯化剤を使わない単純塩浴から電析し、しかも広い電流密度範囲で陰極電流効率がほぼ100%に近い。従って、ファラデーの法則に従う関係上、一般的に均一電着性があまりよくないとされている。

バレルめっきにおいて、めっき膜厚ばらつきをより良くするためには、ワット浴の基本 組成そのままではなく、バレルめっきに適した浴成分、浴組成の選択がたいへん重要になってくる。

バレルめっき用として発表されているめっき浴組成を表 5-15 に、めっき膜厚分布と均一電着性試験結果を表 5-16 に示す $^{2}$   $^{2}$   $^{3}$ 

成 分 めっき 液の種類	硫酸ニ ッケル (g/l)	塩化ニ ッケル (g/l)	塩化アン モニア (g/l)	食 塩 (g/l)	ホウ酸 (g/l)	DNS (g/ <i>l</i> )	ゼラチン (g/l)	ブナンジ オール (g/ <i>l</i> )	カドミ ウム (g/l)
I	150		15		15				
П	150		15		15				0.05
M	250	40			30				
Ŋ	250	40			30	7	0.01		
V	250	40			30	7	0.01		0.1
M	250	40			30	7		0.1	
VII	250			30	30				

表 5-15 バレルニッケルめっき液組成(7種類を表示)

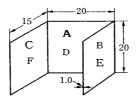
[注] DNS:ジナフタリンスルホン酸ソーダの略(光沢剤, NDS と同じ)

バレルによるニッケルめっきでは、浴中の塩素量が光沢の均一化、付きまわり性などに、 ひっかけによるニッケルめっきの場合よりも大きく影響すると考えられている。

表 5-16 の結果からもそのような傾向が見られる。

表 5-16 バレルニッケルめっきの厚さの分布と均一電着性

試料の めっき 位置 液の種類	Α (μ)	Β (μ)	C (µ)	D (μ)	Ε (μ)	F (μ)	均一電着性 (D/A× 100%)
AII AI IA III II	7.8 5.8 6.8 5.7 5.6 5.5 5.7	7.3 5.5 6.4 5.3 5.3 4.8 5.8	8.3 5.9 7.1 4.8 5.8 5.0 5.5	2.3 0.9 1.4 1.2 1.3 0.8 1.6	2.0 1.0 1.5 1.4 2.2 0.9 2.1	2.0 1.0 1.9 1.5 2.3 0.9 1.9	29.5 15.5 22.1 21.0 23.2 14.5 28.3



バレルめっきに使用した サンブルの形状と膜厚測 定位置

ワット浴と塩化アンモニウム浴を比較すると、浴中塩素濃度はほぼ同じであるが、ニッケル金属濃度が低い塩化アンモニウム浴の方が光沢剤無添加の場合、均一電着性が良い 結果となっている。

これは浴中ニッケル金属濃度に対する塩素濃度の比 $(Cl^-/Ni^{2+})$ が、ワット浴 $(Cl^-/Ni^{2+})$  = 12g/L / 65.3g/L)より、塩化アンモニウム浴 $(Cl^-/Ni^{2+} = 10g/L / 33.5g/L)$ の方が約2倍位高いための影響と思われる。

しかし、光沢剤添加浴では、あまり有意差が認められなくなっている。

ワット浴と塩化ナトリウム浴とを比較すると、光沢剤無添加の場合ではワット浴より塩化ナトリウム浴 (Cl $^{-}$ /Ni $^{2+}$  = 18g/L / 55.8g/L ) の方が、浴中ニッケル金属濃度に対する塩素濃度の比が同じでも均一電着性が良い結果となっている。

これは浴中塩素濃度が高いための影響と思われる。

Q14

バレルめっき用のニッケルめっき浴として、塩化物濃度が重要である と聞いたがその点についてもう少し詳しく知りたい。

A

では、表 5-17 に示すワット浴の変形を含むワット浴タイプのニッケルめっき浴を用いて、筆者が行った実験結果をまとめて示す。

表 5-17 (ワット浴の変型を含む)ワット浴系ニッケルめっき浴組成

浴	NiSO <sub>4</sub> ·6H <sub>2</sub> O (g/l)	NiCl <sub>2</sub> -6H <sub>2</sub> O (g/l)	Ni 金属分 (g/l)	Cl-濃度 (g/l)	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> (g/l)	pH 範囲	光沢剤
(a)	250	20	60.6	6	30	4.2~4.8	適量
(P)	250	40	65.4	12	30	4.2~4.8	適量
(c)	250	50	67.8	15	30	4.2~4.8	適量
( <b>d</b> )	250	60	70. 2	18	30	4.2~4.8	適量
(e)	200	80	63. 9	24	30	4.2~4.8	適量
( <b>f</b> )	200	100	68 <b>. 6</b>	30	30	4.2~4.8	適量
(g)	150	100	57.4	30	30	4.2~4.8	適量
比較		NaCl				1	1
(h)	220	30	49. 1	18.2	30	4.2~4.8	適量
(i)	250	30	55.8	18.2	30	4.2~4.8	適量

# (a) ハルセル試験による均一電着性 (Throwing Power) の比較

市販の 267ml ハルセル槽を用いて、ハルセル陰極板上に全電流 0.5A で 15 分間電析させ、次に図 5-12 に示す定位置 4 ヶ所のめっき膜厚を蛍光 X 線式膜厚計を用いて測定し、表 5-18 に示す方法で 1 次電流分布比と 2 次電流分布比を求めて、Field の式に代入し、均一電着性を評価してみた。

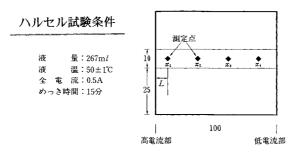


図 5-12 ハルセル試験条件と膜厚測定位置

表 5-18 均一電着性の評価方法

高電流部 からの距 離 L (mm)	測定位置	電流密度 (A/dm²)	1次	、電流分布比 P	2 次電流 分布比 <i>M</i>	Field の式	TP %
10 35 60 85	$egin{array}{c} x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4 \ \end{array}$	2.55 1.13 0.511 0.115	$P_{x_1/x_3}$	$P_{x_1/x_4} = 22.2$ $P_{24/xx} = 9.86$ $P_{x_1/x_3} = 4.99$	M <sub>x1/x4</sub> M <sub>x2/x4</sub> M <sub>x1/x3</sub>	$TP\% = \frac{(P-M) \times 100}{P+M-2}$	

結果を表 5-19 に示す。その結果から均一電着性を比較評価してみると、ワット浴の中でも塩化ニッケル濃度を下げた(a)浴で、比較的均一電着性が劣る傾向にあり、塩化ニッケル濃度を上げていくに従って均一電着性がよくなっていくように見えるが、はっきりとは判断できない。

表 5-19 均一電着性評価試験

表17に示す めっき浴種	めっき外観	P	M (μm)	TP (%)
(a)	光沢は他より劣る	22. 2	6.53/0.48=13.6	25.4
		9.78	3.24/0.08 = 6.75	20.9
		4.99	6.53/1.80 = 3.63	20.5
(ь)	光沢良好	22. 2	7.40/1.03=7.17	54.9
		9.78	4.03/1.03=3.91	50.2
		4.99	7.40/2.27=3.26	27.7
(f)	光沢良好	22. 2	6.83/0.97=7.04	55.7
		9.78	3.72/0.97 = 3.84	51.1
		4.99	6.83/2.12=3.22	28.5
(i)	比較光沢	22. 2	6.81/0.99=6.88	56.6
		9.78	3.59/0.99=3.63	53.9
		4.99	6.81/2.14=3.18	29.3

# (b)被覆力 (Covering Power) の比較

均一電着性が比較的悪いといわれるニッケルめっきにおいて、被処理物どうしの隙間や パイプの内面および凹部の奥まで付きまわる被覆力は非常に重要な要素となる。

バレルめっき用浴組成を開発する場合、組成を変えて被覆力の良し悪しを比較的簡単に 評価できる試験方法はいろいろ考えられるが、筆者は次のような方法を用いている。

図 5-13 に示すような縦 50 mm、横 200 mm、深さ 40 mm(液面深さ 20 mm)のアクリル製セルを作成し、外部の加温槽にて温度コントロールできるようにする。

市販のハルセルテストピースを利用し、3枚を図 5-13 に示すような 5mm間隔にセットしてめっき試験に供する。3枚のうち両側のテストピースは電気よけをするためのじゃま板であり、観察をするテストピースは中央のもので、両面のめっき被覆状態を目視観察(素材が例えば黄銅の場合、黄銅色が露呈している境までの被覆距離で比較)あるいは、全面被覆した場合はめっき膜厚測定により良否を比較する。

試験条件は、所定浴温、攪拌なし、全電流 0.12A( めっきされる全表面積  $20mm \times 100mm \times 6$  面 =  $120cm^2$ 、つまり平均電流密度  $0.1A / dm^2$ ) で行う。

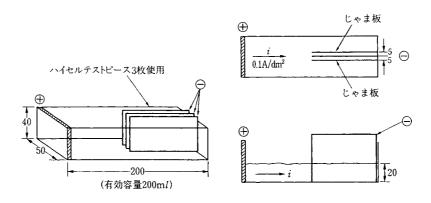


図 5-13 筆者の考案した試験装置

ー例として、表 5-17に示すニッケルめっき浴組成を用いて、5 分間めっきした場合の目視観察結果を表 5-20にまとめて示す。

この表より、ニッケルめっき皮膜の被覆する距離が長い、いわゆる被覆力の優れた浴は、 ニッケル濃度が比較的低く、塩素イオン濃度の高い塩化ナトリウム浴およびワット浴タイ プでも塩素イオン濃度が高い浴となっている。

CI-濃度 / Ni<sup>2+</sup>濃度比でみると、32.6%(塩化ナトリウム浴)及び 43.7%(ワット浴タイプ)の(i)浴及び(f)浴が特に優れている。

ただしこの実験では、光沢剤添加量及びpHなど、被覆力に影響する他の要因はすべて同一にして、塩素イオン濃度に注目して比較したものである。従って、光沢剤の過剰やpHの高すぎまたはpHの低くすぎは被覆力に悪影響を与えるので、バレルめっきでは特に注意しなければならない。

表 5-20 被覆力の比較結果(斜線部分がめっき被覆範囲)

表4-18に示す めっき浴種	浴 温(℃)	全電流 (A)	めっき 時間 (分)		被覆力の比較
(a)	50	0.12	5	被寶距離 15mm	(馬泰佩) 高電部 100mm 低電部
(b)	50	0.12	5	20mm	
(c)	50	0.12	5	25mm	
(f)	50	0.12	5	58mm	
(i)	50	0.12	5	70mm	

# (参考)小型バレルを用いた比較実験

前述の(a)均一電着性、及び(b)被覆力の傾向が、実際に被処理物をバレルめっき した場合のめっき膜厚ばらつきに、どのような違いとして現れるかを小型バレルを用いて 比較してみた。

表 5-17 に示したニッケルめっき浴の中から、(a)浴、(b)浴、および(f)浴を選択して、次に示す実験条件でめっきを施し、ランダムに 50 個抜き取って膜厚を蛍光 X 線式膜厚計にて測定し、膜厚ばらつきを求めた。

### 実験条件

バレル : 6 角形小型バレル (直径 190mm × 250mm ) アクリル製

穴径 1mm、穴間隔 2mm、ダイヤカット板

回転数 8rpm

バレル内容量 5.2L

被処理物 : 黄銅キャップ状製品 (直径 15mm×2mm)

1個の有効表面積: 4.86 cm<sup>2</sup>

バレル投入数量 : 1000 個

バレル投入量 : 容量比 19.3%

めっき : 浴温: 50±5

通電量 : 30A (平均電流密度 0.6A / dm )

時 間 : 45 分間(膜厚 5 µ m ねらい)

その結果を図 5-14~図 5-16 に示す。

図 5-14 に示す(a)浴の組成による膜厚分布状態と図 5-16 に示す(f)浴の組成による膜厚分布状態を比較すると、明らかに(f)浴の場合の方が膜厚ばらつきは少なく、しかも(a)浴、(b)浴及び(f)浴と、塩化ニッケル濃度を高くしたワット浴タイプにするほど膜厚のばらつきが少なくなる傾向が認められた。

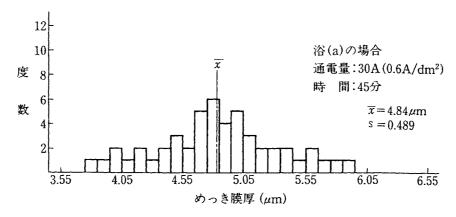


図 5-14 ニッケルめっき浴(a)の膜厚分布状態

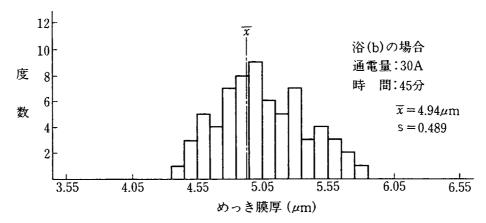


図 5-15 ニッケルめっき浴(b)の膜厚分布状態

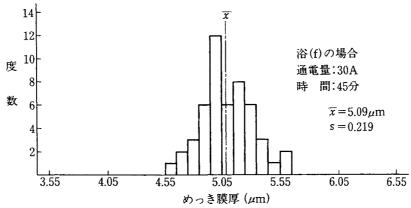


図 5-16 ニッケルめっき浴(f)の膜厚分布状態

このことは均一電着性及び被覆力の傾向とよく一致する。

以上の結果から、バレルめっき用浴組成を考えてみると次のようになる。

ニッケル濃度はバレルめっきの場合、ひっかけ方式のめっき浴より低濃度にしても問題なく作業でき、しかも汲み出し損失を軽減できる。ただし、被覆力を高め膜厚ばらつきを少なくするためには、塩素イオン濃度を高くする必要がある。

塩素イオン濃度を高くすれば陽極の溶解を促進させるため、ニッケル濃度は析出量及び液汲み出し量と陽極溶解量とバランスに影響される。

そこで、

ニッケル濃度 : 50~60g/L (ワット浴の基本濃度:68g/L)塩素イオン濃度:18~30g/L (ワット浴の基本濃度:12g/L)

(ひっかけ方式より塩素イオン濃度は高めに管理する)

Cl<sup>-</sup>/Ni<sup>2+</sup>比 : 30%以上

(例) NiSO<sub>4</sub>·6H<sub>2</sub>O 150g/L

 $NiCl_2 \cdot 6H_2O$  100g / L

または NiSO<sub>4</sub>・6H<sub>2</sub>O 250g/L

NaCl 30g/L

ほう酸 : 30~45g/L

p H :  $4.2 \sim 4.8$ 

(バレルめっきの場合はバレル内液の p H が重要であり ひっかけ方式よりやや低めの管理範囲にする。塩素イ オン濃度の管理に注目し、硫酸と塩酸を併用しながら

管理する。)

光沢剤 : バレルめっき用光沢剤 : 適量

(ニッケルめっきの光沢剤は電流密度により、かなり消耗量が異なる。低電流密度ほど消耗量は多くなるのが一般的である。ひっかけ方式用光沢剤、例えばブチンジオール、サッカリン Na 塩などと同系の光沢剤が使用できるが低電流密度での消耗量のできるだけ少ないバレルめっき

用光沢剤の選択が重要である。)

# (4) 貴金属めっきの要点

ここでは一般的に使用されている銀めっきと金めっきについて取り上げ、バレルめっきの要点を解説する。

# (a)銀めっき浴

銀めっきは、その独特の真っ白な色調および銀自体の持つ極めて優れた電気伝導性など種々の特性から、装飾分野をはじめ工業的用途としての機能分野に至るまで幅広く使用されている。

特にバレル方式による銀めっきは、軽薄短小の電子部品、弱電部品の処理に多く利用され、光沢銀めっき浴の指定および半光沢・無光沢銀めっき浴の指定といった具合に、被処理物の用途別に指定分けされている。

銀めっきを分類する場合、硬質銀めっきおよび軟質銀めっきという呼び方がある。

表 5-21 に示す例のように、銀めっき浴中に他の金属を添加して、光沢を出すと共に硬さを増加させる方法が実用化されている。これが硬質銀めっきであり、アンチモンやビスマスなどが使用され、コネクターなど硬度と耐磨耗性を要する機能分野に利用されている。それ以外の工業的用途では無光沢状の軟質銀めっきが要求される場合があり、使い分けられている。

また、装飾的用途の場合は、ほとんど完全鏡面光沢が要求され、光沢ニッケルめっき上に施される場合が多い。

表 5-21 硬質銀めっき浴の例

金属銀として(シアン化銀)	30 g/l
アンチモニーとして(酒石酸アンチモニーカリウム)	3 g/l
遊離シアン	120 g/l
酒石酸カリウム	70 g/l
水酸化カリウム	80 g/l
陰極電流密度	$0.5 \sim 1.0 \text{A/dm}^2$
温度	20 ~ 25

Q15 光沢シアン化銀めっき浴を用いて装飾小物部品をバレルめっきして いるが、密着性に不安がある。作業上の注意点はなにか。

近年、使用されている銀めっき浴のほとんどはシアン浴であり、特にバレルめっき用浴組成という区別はなく、表 5-22 に示す浴組成が一般的で、ひっかけ方式及びバレル方式として用いられている。

表 5-22 一般的銀めっき浴組成

#### 1. シアン化銀を用いた場合

1. ノ / ノ   し 歌 を 用 い た 場 ロ							
	範 囲	標	準				
金 属 銀(g/l)	30~ 50		30				
シァン化銀(g/l)	37~ 61		37				
シアン化カリ (g/l)	160~295		150				
炭 酸 カ リ (g/l)	10~ 20		15				
2. シアン化銀カリを用	2. シアン化銀カリを用いた場合						
	範 囲	標	準				
シアン化銀カリ (g/l)	56~ 92		56				
シアン化カリ (g/l)	120~265		130				
3. ソーゲ浴の場合	<del>-</del>						
	範 囲	標	準				
金 属 銀 (g/l)	30~ 50	}	30				
シアン化銀カリ (g/ <i>l</i> )	56~ 92		56				
シアン化ソーダ (g/l)	90~200		100				
炭酸ソーダ(g/l)	10~ 20		10				

バレル方式で銀めっきを施す場合、最も注意しなければならないことは、銅及びニッケル下地上に銀めっきする場合のバレル内部の無通電領域での銀置換による密着不良の発生である。

そこで、その防止策として銀ストライクめっきが重要な役割を果たしている。バレルめっき用銀ストライクめっき浴組成としては、銀イオン濃度は低めにし、シアン化カリウム濃度を高めにする必要がある。

表 5-23 に示す浴組成が適用範囲の広いものとして多く利用されている。

# 表 5-23 ストライク銀めっき浴組成

シアン化銀<br/>シアン化カリウム(シアン化ナトリウム)(銀として) 1 ~ 2 g/l( 銅上では 1 ~ 4g/l)80 ~ 120 g/l<br/>20 ~ 60 g/l

この組成にしても銀置換が起こりにくくなるだけであり、従って、バレルめっきにおける銀ストライクの作業条件と管理が、めっきの密着性や外観のばらつきに影響してくる。 作業条件としては、

浴 温 : 15~25

陽 極 : ステンレス不溶解性陽極板または銀板との使い分けによる銀イオン

濃度の管理

ろ 過 :連続ろ過

銀ストライクめっきの平均電流密度は、バレルの大きさや形状、被処理物の形状、バレル投入量及びバレル回転速度などにより変更しなければならないが、通電設定としては、電流を通じながらバレルをめっき液中に浸漬し、比較的短時間で速やかに被処理物全体に銀めっきが施されるようにする。

一般的には、 平均電流密度 : 0.05~0.3A/dm²表面局部電流密度 : 0.5~3A/dm²

通電設定の工夫として、初期に高めの電流でめっきし、より速やかに被処理物全体に銀めっきを施し、置換防止と密着性向上を図り、次に電流を下げて析出の均一化を図るという方法がある。

初期設定電流密度 :  $0.1 \sim 0.3 \,\text{A} / \text{d m}^2$  後期設定電流密度 :  $0.05 \sim 0.15 \,\text{A} / \text{dm}^2$ 

途中での通電量変更は面倒であるが、1つのよい工夫だと考えている。

銀ストライクめっき浴の管理で重要なポイントは、次の通りである。

# 銀イオン濃度の管理

シアン化銀による補給、またはステンレス不溶解陽極と銀陽極との使い分けにより 濃度管理を行う。銀イオン濃度が高くなってくると密着不良が起こりやすくなる。

炭酸カリウムまたは炭酸ナトリウムの濃度管理

炭酸塩は液の電導性、均一電着性の向上に影響を与えるため、最低 20g/L 以上にする。ただし、60~70g/L 以上高くなっていくと密着不良が出やすくなる傾向が見られるため、炭酸塩の生成抑制の点から浴温 25 以下の管理が必要になる。

# 浴温の管理

バレルめっきの場合、陽極および陰極接点の良し悪しで発熱により浴温の上昇が考えられる。常に最低 25 以下に管理しておかなければならない。

光沢あるいは半光沢・無光沢銀めっき浴で所定のめっき膜厚を得るため、一般的には表 5-22 に示した浴組成が使われる。

銀イオン濃度があまり高いとバレルめっきの場合、汲み出し損失が大きく影響してくるため、 $30\,\mathrm{g}$  /  $\mathrm{L}$  以下  $20\,\mathrm{g}$  /  $\mathrm{L}$  以上の範囲で管理するようにした方がよい。

以上の点から、バレルめっき用浴組成として、表 5-24 に示すものが良いと考えている。

表 5-24 バレルめっき用銀めっき浴組成及び条件

	T	
シアン化銀	銀として 20~ 30 g/l	
遊離シアン化カリウムまたは	80 ~ 120 g/l	
遊離シアン化ナトリウム	60 ~ 100 g/l	
炭酸カリウム(炭酸カリウム)	20 ~ 50 g/l	
浴温	15 ~ 25	
陽極	銀板	
ろ過	連続ろ過	
平均電流密度	無光沢・半光沢銀めっき	$0.05 \sim 0.1 \text{ A/dm}^2$
局部電流密度	光沢銀めっき	$0.1 \sim 0.3  \text{A/dm}^2$
	無光沢・半光沢銀めっき	$0.5 \sim 1 \text{ A/dm}^2$
	光沢銀めっき	1 ~ 3 A/dm <sup>2</sup>

#### (b) 金めっき浴

金めっきは、金地金の示す独特の黄金色色調および大気中での酸化、腐食、変色など、経時変化もほとんどなく、いつまでもその色調を保つところから、装身具、宝飾品など装飾分野でたいへん貴重な表面処理技術となっている。

19世紀以降、多くの研究<sup>23)~26)</sup>が行われ、めっき析出皮膜の解析、物性評価など、金めっきの機能分野への応用、対応面での技術開発、技術研究がなされ、現在に至っている。

軽薄短小化の進展と共に電子部品、弱電部品など、小物部品を被処理物とするバレル方式による金めっきの要求が増加している。

金めっきは使用目的から、高純度の軟質金めっきと、純度の高い状態で僅か他元素を共析させた状態から同比率程度の合金まで幅広い範囲での硬質金合金めっきとがある。

JIS 規格では従来、1種(等級  $1\sim6$  級) 99.7%以上の軟質金めっきと 2 種(等級  $1\sim6$  級) 硬質金合金めっきとに分類されていたが、現在では JIS-H-8622(1993)「装飾用金及び金合金めっき」及び JIS-H-8620(1993)「工業用金及び金合金めっき」とに分類され、それぞれ金含有率が 99.9%以上の一般軟質金めっきと、金含有率 58.5%以上 99.9%未満の一般硬質金めっきという特性分けになっている。

Q16

バレルめっき方式で金めっきを行っているが、汲み出し損失と膜厚ば らつきの大小がコストに大きく影響してくる。

バレルめっきに適した金めっき浴とはどのようなものか。

A

金めっき浴は、特にバレルめっき用浴組成として明示されているものはなく、 ひっかけ方式と同じ組成のめっき浴が使用されている。その代表的な浴種と浴

組成を表 5-25 に示す。

表 5-25 金めっき浴組成

組 见	$\zeta = (g/l)$	(A/dm²)	(°C)	備 考
シアン化金カリウム	6~ 18	0.5 以下	50~65	高温シアン浴
炭酸カリウム	30		•	
リン酸二カリウム	30			
シアン化カリウム	30			
シアン化金カリウム	6~ 18	0.6 以下	13~25	低温シアン浴
シアン化カリウム	90			金属として Ag, Co, Ni,
金属光沢剤	0.01~0.12			Sb など
シアン化金カリウム	30	0.5~1.5	50~70	スルホン化油としてトルコ
シアン化カリウム	70			赤油など
スルホン化油	1			
シアン化金カリウム	5~ 25	0.2~0.6	21~32	アンチモン化合物はアンチ
水酸化カリウム	20~ 60			モン換算
シアン化カリウム	40~ 160			例:吐酒石
アンチモン化合物	0.2~ 1			多価アルコールはグリセリ
多価アルコール	8~ 32			ン,ソルビットなど
スルホン化油	2.5~ 24			
塩化金酸	2, 65	0.2~0.7	50~70	遊離シアンを含まないフェ
フェロシアン化カリウム	15	1	]	ロシアン浴
炭酸ナトリウム	15	1	1	
pH 10 以下		}		

金めっき浴種とバレルめっきにおける膜厚ばらつきとの関係については、F.~I.~Nobel らが 1966 年に報告している  $^{27}$  。 表 5-26 に示すそれぞれの金めっき浴について行ったバレルめっき実験結果を表 5-27 に示す。

表 5-26 金めっき浴種と実験条件

#### 実験条件

バレル:水平回転小型6角バレル(10cm×6.5cm)

回転数 10rpm

被処理物 0.71mm × 1.3cm のニッケルピン

投入量 2300 ピン

#### 金めっき浴種

酸性金 (23.9K 相当); Ni 含有及び有機光沢剤+錯化剤

酸性金 (23.9K 相当); Co 含有及び錯化剤

酸性金 (高純度金)

中性金 (高純度金、弱酸性金)

中性金 (高純度)

比較(アルカリシアン金浴)

表 5-27 から、浴種による膜厚とばらつきの関係は図 5-17 のようになり、酸性金 の浴及び中性金 の浴とも、めっき膜厚が増加するに伴いばらつき(標準偏差)が大きくなる傾向を示した。しかし、酸性金 の浴の方がばらつきの増加が少なく、変動係数(標準偏差/平均めっき膜厚)で見ると、酸性金 の浴はほとんど 5%前後であるのに対して、中性金 の浴では 14%前後とかなり大きい。

		pН	浴温	電 流 密 度 (A(dm²)	陰 極 電流効率	均 一電着性	めっき 間	平均膜厚	標準偏差	$\sigma/\bar{x}$
		pii	(°C)	(A(dm²)	(%)	(%)	(分)	(µm)	(μm)	(%)
1	酸性金- I	4.0	49	0.32	20.0	23.0	40 66 120	1.32 1.98 3.13	0.07 0.05 0.08	5. 4 2. 6 2. 5
2	酸性金−Ⅱ	4.3	43	0. 32	46.6	34.0	20 24 35 55	0.98 1.26 1.97 2.70	0.06 0.07 0.10 0.12	5. 2 5. 2 5. 3 4. 6
3	酸性金-Ⅱ	3.7	49	0.11	63.0	52.5	40 60 90 120	1. 12 1. 68 2. 06 2. 96	0.04 0.07 0.60 0.06	3. 4 4. 4 3. 1 2. 2
4	中性金- I	6.0	60	0.11	84. 2	78.5	25 40 60 85	0. 96 2. 45 2. 57 3. 05	0. 18 0. 34 0. 29 0. 35	18.5 13.8 11.4 11.6
		6.0	60	0.43	85.9		10	2.47	0.45	18.0
(5)	中性金- Ⅱ	7.0	60	0.11	96.0	81.5	40	2.41	0.26	10.7
<b>6</b>	アルカリシアン金	10.8	60	0.11	65.8	54.0	60	2.38	0.35	14.5

表 5-27 金めっき浴実験結果

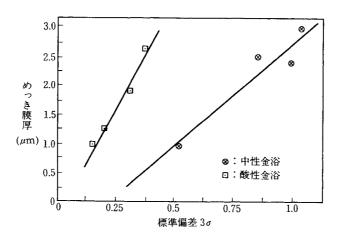


図 5-17 めっき膜厚と標準偏差の比較

膜厚ばらつきと金めっき浴種 (pHの違い)の関係は図 5-18 のようになり、

<u>酸性金めっき浴<中性金めっき浴<アルカリシアン浴</u>の順に膜厚ばらつきは大きくなっている。

変動係数で見ると、表 5-27 にまとめたように、 pH 約 4 位の酸性金めっき浴が膜厚ばらつきの最も少ない良好な結果となり、それに対し pH 約 6 位の中性金めっきは変動係数にして約 3 倍のばらつきを示し、 pH 約  $10 \sim 11$  のアルカリシアン浴に至っては、変動係数にして約  $4 \sim 5$  倍のばらつきを示す結果となっている。

つまり、バレルめっきにおいては、酸性金めっき浴が膜厚ばらつきの点からみてバレル めっき用浴組成として最も適しているといえる。

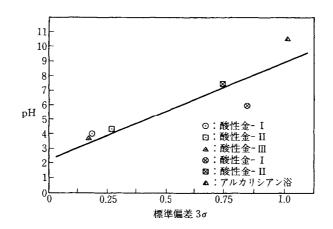


図 5-18 pH と標準偏差の関係

また下条ら<sup>28)</sup>の報告によると、エレクトロニクス部品のバレルめっきにおいてコバルト含有酸性金めっき浴が多く使われ、アルカリシアン浴よりピンホールが少なく硬度、耐磨耗性が高い長所を持っているが、接触抵抗変化、皮膜の柔軟性に欠点<sup>29)30)</sup>があるとしており、接触抵抗の安定性要求のためには中性金めっき浴が適していると述べている。

金めっきは金地金コストが高価であることから、極力目的とする品質を維持する範囲で、できるだけ薄い膜厚にする傾向がある。特に金フラッシュめっきと称して 0.05 µ m位の仕上げもあるが、色調が不揃いになってしまうことをよく経験すると思う。

バレルめっき膜厚ばらつきを考慮して、色調の均一化ができる最低の膜厚を求めて施さなければならない。

薄い膜厚をねらう場合は、めっき浴種による均一電着性も重要であるが、被覆力の良し 悪しの方が大きく影響してくる。

金めっき対象品は下限膜厚を保証するケースがかなり多いので、被処理物の形状、めっき規格及びめっき浴種や設備による膜厚ばらつき状態を的確に把握し、バレルめっき用浴組成及び作業条件の確立とねらい膜厚及び平均膜厚の設定をすることが重要課題となる。

Q17

半導体用金めっき(中性浴)を用いてバレルめっきしているが、最近 バレルの回転数を上げたところ、電流値及びめっき時間が同一なの に金めっき膜厚が厚くなっている。バレルの回転数を変えた場合、 めっき速度が変化するのか。

A

図 5-19 に示すサンプルを使って中性金めっき浴を用い、バレルの回転数を 6rpm、8rpm、11rpm と変化させて実験を行ってみた結果を次に示す。

# 実験条件

バレル ; 6角形(径 250mm×長さ 400mm)

被処理物投入量; 16000個、容積率40%

めっき電流値;一定めっき時間;一定

金めっき ; 0.3µm以上

バレル回転数 ; 可変 (6rpm、8rpm、11rpm)

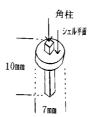


図 5-19 試験サンプル

実験結果を表 5-28 及び図 5-20 にまとめて示す。

表 5-28 実験結果 (バレル回転数可変)

回転数	6 r	p <b>m</b>	8 r	p <b>m</b>	1 1	rpm
	角柱	ジェル平面	角柱	シュル平面	角柱	シェル平面
n = 1	Au 0.36	Au 0.34	Au 0.40	Au 0.38	Au 0.45	Au 0.41
2	0.35	0.36	0.38	0.36	0.43	0.40
3	0.35	0.34	0.38	0.36	0.39	0.39
4	0.38	0.36	0.39	0.40	0.45	0.41
(5)	0.36	0.35	0.40	0.38	0.41	0.41
6	0.36	0.35	0.36	0.36	0.43	0.40
7	0.39	0.38	0.42	0.41	0.43	0.42
8	0.33	0.33	0.38	0.37	0.42	0.40
9	0.40	0.38	0.39	0.38	0.42	0.40
(10)	0.33	0.34	0.36	0.36	0.39	0.39
	<u></u>					
T	3.61	3.53	3.86	3.76	4.22	4.03
x	0.361	0.353	0.386	0.376	0.422	0.403
S	0.00489	0.0026	0.0030	0.0028	0.0040	0.00081
V	0.00054	0.00029	0.00034	0.00032	0.00044	0.00009
S	0.023	0.017	0.018	0.018	0.021	0.010
μ95%範囲	$0.36 \pm 0.017$	$0.35 \pm 0.012$	$0.39 \pm 0.013$	0.38±0.013	$0.42 \pm 0.015$	0.40±0.007
データの存在	$0.36 \pm 0.055$	$0.35 \pm 0.04$	$0.39 \pm 0.044$	$0.38 \pm 0.042$	$0.42 \pm 0.050$	$0.40 \pm 0.023$

母集団からの抜き取りから母平均  $\mu$  の 95%信頼区間を求める。 それぞれ別々に計算する。

平方和  $S = X i^2 - (X i)^2 / n = X i^2 - C T$ 

分散 V = S / (n - 1)

自由度 f = n - 1 標準偏差 s = V

母平均 µの 95%信頼区分は、

x - t(n-1,0.05) V/  $n < \mu < x + t(n-1,0.05)$  V/ n t表から求める

個々のデータの 95% 存在範囲の推定

 $x \pm t(n - 1, 0.05)$  (1 + 1 / n) V

< 回転数の効果について有意差判定 >

- (a)総平方和 S<sub>T</sub> = (個々のデータの 2 乗) C T f<sub>T</sub> = 総データ数 - 1
- (b)要因の変動

 $S_A = \{(それぞれのデータの合計)^2 / データ数 \} - CT$   $f_A = 水準数 - 1$ 

(c) 残差変動 S<sub>e</sub> = S<sub>T</sub> - S<sub>A</sub>

 $f_e = f_T - f_A$ 

(d)分散分析表の作成

角柱

有意差判定

F2/27(0.01) = 5.49

		平方和S	自由度 f	分散V	Fo
回転数	ξA	0.019	2	0.0095	21.59 * *
残差	е	0.0119	27	0.00044	
	Т	0.0309	29		

シェル半面	
-------	--

有意差判定

F2/27(0.0	(1) =	5.49
-----------	-------	------

		平方和S	自由度 f	分散V	Fo
回転数	άΑ	0.0125	2	0.0063	27.0 * *
残差	е	0.0063	27	0.00023	
	Т	0.0188	29		

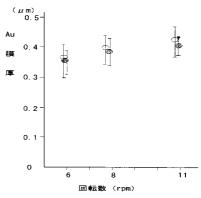


図 5-20 回転数と膜厚の関係

以上の統計的手法による検定から次のことが明らかである。

バレルの回転数を 6rpm から 11rpm に変えた効果を F 検定によりみてみると、高度な有意差をもって金めっき膜厚に違いが現れていることがわかる。

これは、回転数を適正にすることにより、ころがり混合効果が高まり効率よくめっきされたためで、いわゆる「バレル効率」がよくなったということである。従って、めっき速度が変化したわけではないが、被処理物の形状によって大きな効果が期待できる。ただし、重量のある被処理物では、ころがりによる打痕など適正な回転を求める必要がある。

#### (5) 合金めっきの要点

合金めっきというのは、2種類あるいはそれ以上の金属同士、または金属と非金属を同時に析出させ皮膜形成させたものである。

めっき方法としては、電気めっき、無線解めっきなど、目的により種々方法が考えられ、 現在も応用範囲が広がっている。

電気めっきで得られる主な合金と状態図の関係を表 5-29 に示す<sup>31)</sup>。 表から合金には、(a)固溶体を形成(成分元素が完全に混ざりあった状態の結合体)

(b)共晶体を形成(成分元素が完全に混ざり合わず、それぞれ小さい結晶体で入り混じった状態)

(c)金属間化合物を形成(成分元素がある特定の割合で結合している状態)

など、様々な状態が形成され、その結果として次のような特性が具備されるものと考えられる。

耐食性の向上

独特な色調を呈する。

融点、抵抗、はんだ付け性など、要求する性質が得られる。

耐磨耗性、強度の向上

表 5-29 現在までに報告された合金めっきの平衡状態図による分類

	<u> </u>			
分	A-type	B-type	C-type	D-type
類	固相において完全に 溶け合う	固相において 一部溶け合う	固相において全く 溶け合わない	金属間化合物を形成する
状態図の例	全率固溶型	共晶反応型·包晶反応型	共晶反応型あるいは 偏晶反応型	金属間化合物型あるいは中間相型
報告されている2元合金めっき	Ag-Au Au-Cu Ag-Pd Au-Ni Au-Pd Co-Pt Au-Pt Co-Pd Bi-Sb Co-Rh Co-Ni Cr-Fe Cr-W Cr-Mo Cu-Ni Cr-V Cu-Pd Cu-Mn Cu-Pt Ni-Pd Ir-Rh Mo-W Pd-Pt Pd-Rh Pt-Rh Se-Te	Ag-Cu Ag-Pt Ag-Pb Au-Fe Ag-Pb Au-Fe Ag-Rh* Cd-Sn Ag-T1 Co-Cu Au-Co Co-Mn Au-Mo Cu-Fe Au-Rh* Fe-Mn Bi-Sn Fe-Ni Cd-Pb In-T1 Cd-Zn Ni-Re Cr-Ni Ni-Ru Ga-In Pb-T1 Ge-Sb Pd-Ru Pb-Sb Pt-Re Pb-Sn	Ag-Bi Ag-Co** Ag-Ni* Ag-Re** Ag-Re** Ag-W* As-Pb Bi-Cu Cr-Sn* Cu-Mo** Cu-Pb* Cu-T1* Fe-Pb* Ga-Ge Ga-Zn Ge-Sn Ge-Zn In-Zn Mn-Pb* Ni-Pb* Ni-Pb* Ni-T1* Pb-Zn* Su-Zn T1-Zu*	Ag-Cd   Cd-Cu   Cu-S*   Mn-Sn   Ag-In   Cd-In   Cu-Sb   Mn-Zn   Ag-Sb   Cd-Ni   Cu-Se*   Mo-Ni   Ag-Se   Cd-Pt   Cu-Sn   Nd-Ni   Ag-Sn   Cd-Se*   Cu-Te*   Ni-P   Ag-Zn   Cd-Se*   Cu-Te*   Ni-Pt   Al-Co   Cd-Te*   Fe-Ge   Ni-St   Al-Ni   Co-Bi*   Fe-P   Ni-Sn   As-Cu   Co-Cr   Fe-Pd   Ni-Ti   As-Co   Co-Ge   Fe-Pt   Ni-W   As-In   Co-Mo   Fe-Sn*   Pt-Sn   Au-Bi   Co-P   Fe-Ti   Pt-Zn   Au-Gd   Co-Sb   Fe-V   Re-W   Au-In   Co-Sn   Fe-W   Rh-W   Au-Mn   Co-Ti   Fe-Zn   Sb-Se   Au-Sb   Co-W   In-Ni   Sb-Sn   Au-Sh   Co-W   In-Ni   Sb-Sn   Au-Sn   Co-Zn   In-Pb   Se-Zn*   Au-Zn   Cr-Pm   In-Sb   Zn-Zr   Bi-In   Cr-P   In-Sh   Bi-Pb   Cr-Re   Mn-Ni   Bi-Sb   Cu-In   Cu-In

<sup>\*</sup>液相において一部溶け合う \*\*液相において全く溶け合わない

バレル方式による合金めっきの歴史は古く、なかでもシアン浴による銅・亜鉛合金めっきは黄銅めっきと呼ばれ、装飾用および工業用としてバレルめっきの実績は長い、参考までに主な浴組成を表 5-30 に示し、作業条件を表 5-31 に示す。

表 5-30 黄銅めっき浴組成

品 名	種類	低濃度浴	高濃度浴
シアン化第一銅	(g/l)	20~30	60~68
シアン化亜鉛	(g/l)	7~11	22~33
または (酸化亜鉛)*	(g/l)	(5~7.5)	(15~22.5)
シアン化ナトリウム	(g/l)	45~50	125~140
炭酸ナトリウム	(g/l)	30~50	30~50
アンモニア水 (28%)	(ml/l)	2~ 6	2~ 6
金 属 銅 分	(g/l)	14~16	42~48
金属亜鉛分	(g/l)	4~ 6	12~18
Cu/Zn		3∼ 5	3~ 5
セミトータルシアン化	ナトリウム (g/l)	22~26	63~75
N 比*2		1.35~1.65	1.35~1.65

<sup>\*1</sup> シアン化亜鉛か酸化亜鉛のいずれか一方を使用する.

<sup>\*2</sup> N比=  $\frac{\text{セミト-タルシアン } (g/l)}{$ 銅分 (g/l)

表 5-31 黄銅めっき浴の作業条件

条	件	種 類 	低濃度浴	高濃度浴
pН	静止浴		11.5~12.6	11.0~12.0
	バレル浴		10.5~11.5	10.5~11.5
温	度		28°C±3	28°C±3
陰極	電流密度	(A/dm²)		
	静止浴		0.5~1.5	0.5~2.5
	バレル浴		0.2~0.5	0.2~0.5
陰極	:陽極		1:2~3	1:2~3
陽	極		Cu : Zn=7 : 3	3 真鍮板

金属塩を含む溶液から金属を得る難易度は、一定条件下でのその金属特有の標準電極電位の影響を受ける。合金電析しせるためには、実用電流密度領域において合金を形成する 各金属の析出電位が接近していなければならない。

したがって基本的には、標準電極電位の近い金属同士はさほど問題はないが、離れたもの同士の場合は、無機または有機錯化剤の添加、金属塩濃度比あるいは作業条件などから作り出された分極によって、それぞれの析出電位を上手に合致させていく必要がある。

錯化剤として古くからシアン化物がよく用いられるのは、金属シアン錯体からの析出電位が非常に接近するためである。

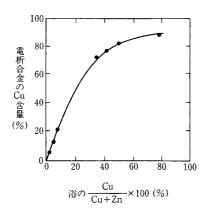
金属同士の合金ばかりではなく、非金属も含めると合金めっきは複雑であり、変則共析 (abnormal codeposition)(より卑な金属が優先析出する)及び誘導共析(induced codeposition)(単独では析出しない元素が他の金属の影響を受け共析する)などといった合金析出を示す合金めっき浴組成もあり、はなはだ難しいめっき技術である<sup>3 2 )</sup>。

ましてやバレル方式による合金めっきの場合、バレル内の液組成および p H の変化による影響に加えて、局部電流密度の変化に伴って析出合金比率が変わる恐れがある。

特に合金比率により色調が異なる合金または物性が異なる合金は、十分な液管理及び作業条件の設定と管理が重要ポイントになる。

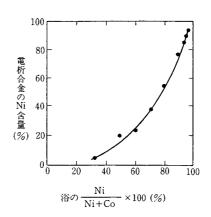
合金めっきの場合は、膜厚のばらつきより合金比率のばらつきが重要であるため、1バレル当りの適正投入量や通電量は、単一めっき浴の場合より神経を使って管理しなければ、めっきは密着良く析出していても、合金比率の不備で不良になってしまう確率が高くなる。

参考までに、浴中の金属イオン濃度比の変化による析出合金組成比への影響について、正常共析、変則共析、誘導共析の例を図 5-21~図 5-23 に示す各図から、電流密度が一定の場合でも、めっき浴組成の変化によって合金皮膜組成が大きく変化することがわかるであろう。



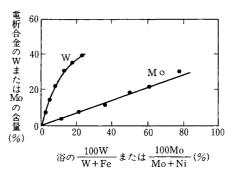
浴組成と電析合金組成との関係 (Cu-Zn 合金めっき:シアン化物浴、全金属濃度  $25\sim55 g/l$ 、電流密度、 $1A/dm^2$ または  $2A/dm^2$ )





浴組成と電析合金組成の関係 (Ni-Co合金 めっき:塩化物浴, 金属濃度約 0.5mol, ホウ酸 15g/l, pH1.5, 20℃, 1.6A/dm²)

図 5-22 変速共析の例



浴組成と電析合金組成との関係 (W-Fe合金めっき:酸性浴, pH2,98℃,11A/dm², Mo-Ni合金めっき:アンモニア性クエン酸浴, pH10.5,25℃,10A/dm²)

図 5-23 誘導共析の例

従って、めっき浴組成において、例えば2種類の金属合金の場合、より貴な金属イオンの全金属イオンに対する割合、A/(A+B)(ただしAはBより標準電極電位が貴である)及び錯化剤の量と当該金属イオンの濃度比を分析把握し管理できる技術が必要になる。

また、電流密度と析出合金組成の関係も同様に重要であり、極力変化の少ないものにすることが、技術改良であり、ノウハウの蓄積となるのであると考える。

図 5-24 に示す通り、理想的には実線のように電流密度の変化に対して析出合金組成比が変われなければ、すべての被処理物が同一の合金組成皮膜で被覆されたことになるが、 実際は電流密度の上昇に対して、例えば、A/( A + B )が上昇する曲線を描くかになるが、 極力理想に近づけることが必要である。

さもないと、バレルめっきの場合は前述したように、ある最大局部電流密度からほとんどゼロに近い局部電流密度まで変動をくり返し合金析出が起こるため、合金組成比の違う 皮膜の層がくり返し重ね合わされていくことになり、好ましい結果になりにくいはずである。

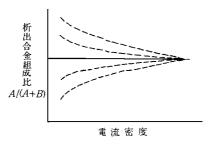


図 5-24 電流密度と合金組成比

これがひっかけ方式の場合でもいえることで、それを極力防ぐために、バレルめっきの場合もひっかけ方式めっきの場合も、平均電流密度を数十分の一から数 A / d ㎡という低めの範囲で設定するようにしている。

さらにバレルめっきの場合は、汲み出し損失を考慮して液濃度を一般的に低めにして管理する方向にあり、めっき浴組成および電流密度の変化に対して、析出合金組成の変動をできるだけ少なくするようなバレルめっき用浴組成に改良していく努力が大きな効果を生む。

参考までに、標準電極電位の近いSn - Pb 合金めっき( $Sn/Sn^2$  + = 0.14V ,  $Pb/Pb^2$  + = -0.13V ) と標準電極電位の離れているSn-Cu 合金めっき( $Sn/Sn^4$  + = 0.005V ,  $Cu/Cu^+$  = +0.52V ) を取り上げ、バレルめっき用浴組成を示す。

Sn-Pb 合金めっき (Sn-Pb=9:1) のバレルめっき用浴組成は表 5-32 に示す例であり、比較として引っ掛け用も併記しておくが、バレル用は低濃度化され、浴中金属濃度比と合金皮膜組成との関係 (図 5-25 参照) および電流密度と合金皮膜組成との関係 (② 5-26 参照) について示すと、このようになる。

項 7 浴 アルカノールスルホン酸第一スズ (g/l)180(150~250) 90(80~150) アルカノールスルホン酸鉛 (g/l) $10(7.5 \sim 15)$ 5( 4~ 6) アルカンスルホン酸 (g/l)103(86~126) 114(95~139) Sn24 (g/l)18( 15~ 25) 9( 8~ 15) Pb (g/l)2(1.5~ 3) 1(0.8~1.2) 全 酸 100( 80~120) 100( 80~120) (g/l)

30( 20~ 40)

8( 5~ 20)

20(15~30)

6( 4~ 20)

(ml/l)

(ml/l)

添加剤

ホルマリン (試薬一級)

表 5-32 Sn - Pb 合金めっき浴組成例(9:1)

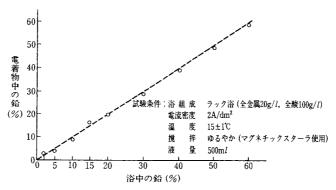


図 5-25 浴中の鉛濃度と析出合金組成の関係例

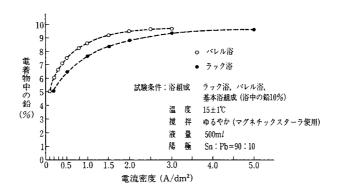
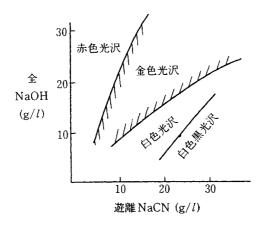


図 5-26 電流密度と析出合金組成の関係例

浴中金属濃度比を維持管理していれば、アルカノールスルホン酸とのバランスが多少変化しても、比較的析出合金組成の変動は少ない、ただし、極端に少なくなると低電流密度領域で Pb の共析が少なくなる傾向になる。

それに対して、シアン浴のSn-Cu 合金めっきの場合は、シアン化銅錯塩とスズ酸塩(スタネート)、つまり $Cu^+$ とシアン化物の割合および $Sn^+$ と水酸化アルカリの割合、並びにめっき浴中の $Cu^+$ /( $Sn^{4+}+Cu^+$ )比が重要な管理ポイントになる。

青谷ら $^3$ 3 $^3$ )の報告によるとめっき浴組成; Na $_2$ SnO $_3$ ·3H $_2$ O = 100g/L、CuCN = 25g/L、全 NaCN = 50g/L、遊離 NaCN = 22g/L において、遊離 NaCN と全 NaOH の変化に対する Sn-Cu 合金の色調の変化は図 5-27 のようになり、また浴中の Sn $^4$ +と Cu $^+$ の変化に対する Sn-Cu 合金の色調の変化は図 5-28 のようになる。



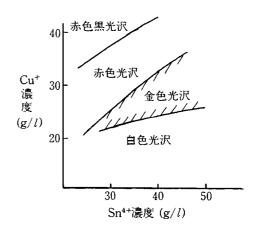


図 5-27 遊離 NaCN と金 NaOH の変化 による Sn - Cu の合金の色調

図 5-28 浴中の Cu<sup>+</sup>と Sn<sup>4+</sup>濃度による 合金の色調

図 5-29 に示す Sn-Cu 合金と色調の関係から判断しても、析出合金組成の変動状態が大きいことがわかる。

一例として、市販のバレル用浴組成をひっかけ用と比較して表 5-33 に示す 34)。

これより、設定電流密度の違いからバレル用とひっかけ用で浴中の  $\mathrm{Cu}^+/(\mathrm{Sn}^{4+}+\mathrm{Cu}^+)$  比が大きく違うことがわかるであろう。

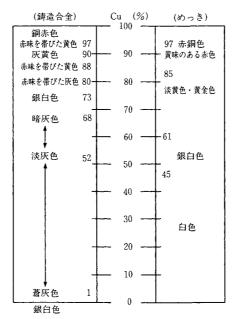


図 5-29 Cu - Sn 合金の色調

表 5-33 市販の Cu - Sn 合金めっき浴

		バレル用	引っ掛け用
Cu+	(g/l)	7.5~7.5	11.5~13.5
Sn4+	(g/l)	30~40	11.5~13.5
遊離 KCN	(g/l)	45~55	45~55
KOH	(g/l)	25~35	遊離 KOH 3~6
pН		11~13	11.5~12.5
浴 温	(°C)	50~65	58~62
電洗密度	$(A/dm^2)$	0.3~0.8	2~5
析出合金組成	(%)	Си 53~57	Cu 53~57

現在話題になっている各種鉛フリーはんだめっきについても同様な問題がある。 ここでは触れないが、以上のことを考慮して実用化研究に取り組むことが必要である。

## 5-1-3 後処理と乾燥

めっき後の後処理として、仕上げ水洗による洗浄と共に、防錆処理や変色防止処理あるいは封孔処理などが種々必要に応じて行われる。ここでは最終仕上げ水洗と乾燥および亜鉛めっき後のクロメート処理と乾燥についてのみ取り上げる。

#### (1)最終仕上げ水洗と乾燥

水洗工程には、目的によって2つの役割がある。そのひとつが、めっき工程の最終仕上げとしての水洗であり、もうひとつが、処理工程間での水洗である。

この水洗の役割は本質的に違う。処理工程間の水洗は、次工程に害を及ぼさない程度であれば良いわけで、特に酸活性後の場合は、段階的に濃度が薄くなった処理槽と水洗槽の役割を兼ね備えていることになる。

しかし、最終仕上げ水洗工程の場合では、水道水は決してきれいな水ではない、これでは、めっき皮膜の変色やシミを完全には防止することができないので、品質要求に応じて水道水より更に綺麗な水で洗浄する必要がある。特に要求される場合は、超純水と俗にいわれている水を使用しなければならないが、最低でもイオン交換水が必要になる。

そのような仕上げ水洗を行う場合は、当然バレルから被処理物をアミカゴなどに入れ替えてから行うようにしなければ純水の汚れも早く、経済的ではない。また、脱水乾燥機としては最近、被処理物の傷や変形を防止する目的から図 5-30 のような傾斜型乾燥機が多く使用されている。



図 5-30 傾斜回転式乾燥機(株)ワザワ提供)

# (2)クロメート処理と乾燥

亜鉛めっきはバレル方式に限らず、めっきしたままで使用されることは少なく、ほとんど各種クロメート処理を行って仕上がり品としている。特にバレル方式による亜鉛めっき装置においては、各種クロメート処理方法に各社それぞれ工夫をしながらより良い後処理を目指しているのが現状である。

Q18 亜鉛めっきの後処理に使われるクロメート処理とはどんな処理 か。

A

クロメート皮膜の生成反応と皮膜の性質

各種クロメート処理液の浴組成は、いろいろ考案されているが代表的な例を表5-34に示す。

表 5-34 クロメート処理液の組成と処理条件
-------------------------

成	分	光 沢 クロメート	有 色 クロメート	黒 色 クロメート	グリーン クロメート
無水クロム酸	(g/l)	0.1~2	4~10	10~40	10~30
硫酸クロムカリウム	(g/l)				
硫 酸	(g/l)	0.3~5	0.5~5	2~30	1~10
硝 酸	(g/l)	0.5~10	1~5		0~10
リ ン 酸	(g/l)	0~2		0~20	0~30
フッ化水素酸	(g/l)	0~2			
酢 酸	(g/l)			0~100	0~70
銀	(g/l)			0.2~0.4	
温 度		室 温	室 温	室 温	室 温
浸 渍 時 間	(sec)	10~30	10~30	30~120	30~120

クロム酸を主成分とする処理液中に亜鉛めっき品を浸漬すると、その表面に非晶質の複雑な組成の皮膜が化成される。

a) 亜鉛の溶解反応  $Z n + 2 H^{+} Z n^{2+} + H_{2}$  ( $p H = 1 \sim 4$ )

b) 還元反応 4 H<sub>2</sub> + C r<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>2 ·</sup> 2 C r (O H)<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>O p H の上昇と共に C r O<sub>4</sub><sup>2 ·</sup> + 8 H <sup>+</sup> + 3 e C r <sup>3 +</sup> + 4 H<sub>2</sub>O

 C)化成反応 Zn<sup>2+</sup>+CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ZnCrO<sub>4</sub>
 あるpH領域で 2Cr(OH)<sub>3</sub>+CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup>+2H<sup>+</sup> Cr(OH)<sub>3</sub>・Cr(OH)・CrO<sub>4</sub>+2H<sub>2</sub>O

化学皮膜の構造は、図 5-31 に示すようなポリマー状錯体であると考えられている。図 5-31(a) はCr-OH-Cr というオール結合の多い状態、また図 5-31(b) は乾燥温度による脱水が進むに伴って Cr-O-Cr という結合が多くなった状態を示す。

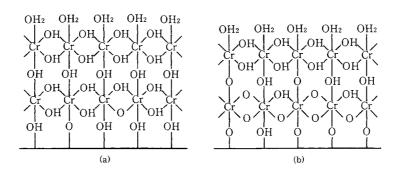


図 5-31 クロム水和酸化物の構造

このようなポリマー状錯体は、浴成分等、環境によって図 5-32 のような何種類かの陰 イオンが置換した構造になると推定されている。

$$\begin{array}{c|c} H_2O \\ HSO_4 \\ \hline \\ Cr \\ OH \\ HCrO_4 \\ \hline \\ (CI, NO_3) \\ \end{array} \begin{array}{c} H_2O \\ OH \\ HSO_4 \\ \hline \\ (HCrO_4) \\ \end{array} \begin{array}{c} Cr \\ HSO_4 \\ \hline \\ HCrO_4 \\ \end{array} \begin{array}{c} Cr \\ HSO_4 \\ \hline \\ (\# CrO_4) \\ \end{array} \begin{array}{c} (\# \mathcal{C} \text{if } F \text{$$

図 5-32 各種陰イオンの置換した構造

したがって、クロメート液中のクロム酸、無機酸、各種陰イオンなどの種類や濃度によって、あるいはカルボン酸など有機酸,金属塩の添加によって構成成分が変わり、前記表5-34に示した黒色系などのクロメート皮膜も出来上がるのである。

現状、実用化されているクロメート皮膜の種類は4種類である。いずれのクロメート皮膜も前述したようにクロム酸クロムの水和物であり、非結晶質皮膜で皮膜生成時ぬれた状態ではゲル上で、触れるとすぐキズついたり破壊されてしまうほど弱いものである。

乾燥工程に入り脱水され始めると皮膜硬化し、撥水性を示すようになる。ただし、乾燥しすぎるとクラックが激しくなって耐食性が低下する性質を示すクロメート皮膜の耐食性は、この皮膜状態により大きく左右されるため、乾燥を含めた後処理が重要なポイントになるわけである。

そのような理由から、バレル方式により亜鉛めっきを施した後、そのままバレルごとクロメート処理する場合、回転されることにより形成されたクロメート皮膜がキズだらけになったり、処理ムラによる皮膜破壊が進んで耐食性の弱い亜鉛クロメート品が出来上がってしまうことが起こりうる。

実際、自動バレルラインによる亜鉛めっき後、クロメート処理まで行っていた時期があった。

しかし、より品質の高いバレル方式による亜鉛めっきクロメート仕上げ品を得るための対策として、最近では、亜鉛めっき後、バレルから非処理物を取り出し、脱水カゴを兼ねたステンレス製のアミカゴに入れ替えてから一連のクロメート処理をする図 5-33 に示すような自動機あるいは、クロメート処理工程に上下動作およびねじり動作を組み入れた後処理自動機と脱水乾燥機をセットにした図 5-34 のような自動機が考案され実用化されている。

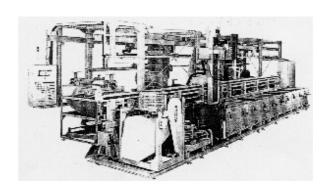


図 5-33 バレルめっきとクロメート処理をセットした自動機(㈱ワザワ提供)

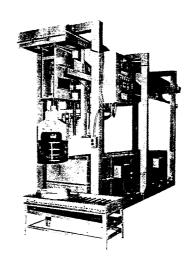


図 5-34 後処理自動機(東京化工㈱提供)

Q19 クロメート処理および乾燥の作業管理ポイントはどのようなところ か。

A クロメート処理および乾燥の作業管理ポイント クロメート処理液は前述した反応を繰り返して亜鉛金属分の溶解蓄積、pH の上昇、Cr³+の蓄積など、液組成の変動と老朽化が起こるのである。したがって、液管理

面では次に示すポイントを維持管理していかなければならない。

## (a)液組成の変動と更新時期をつかむ

Zn<sup>2+</sup>溶解量の分析とそれに応じたCr<sup>6+</sup>の濃度上昇を行う。

Z  $n^2$  \* 溶解量とC  $r^6$  \* の必要濃度の目安を低濃度有色クロメート液の場合で示すと建浴時、Z  $n^2$  \* 溶解量 0 g/L の場合、C  $r^6$  \* 濃度  $3\sim 5g/L$  とすると、Z  $n^2$  \* 溶解量 5 g/L になった場合、C  $r^6$  \* 濃度として約 10 g/L 必要になり、さらに Z  $n^2$  \* 溶解量 15 g/L になった場合、C  $r^6$  \* 濃度として約 30 g/L 必要になると考えるとよい。

そこで経済性と品質面から、 Z n <sup>2 +</sup> 溶解量 15g/L になった時点で老化とするのが一般的になっている。他のクロメートもほぼ同じ傾向を示す。

pHの測定とコントロール

#### (b)外的条件

攪 拌 :必要・・・できるだけ被処理物どうしを激しく衝突させないようにする。

温 度 :室温(20~25)

浸漬時間 : 10~30秒

自動機の場合、ダクト時間が長くなるので、浸漬時間をコントロールし やすくする遅行装置が必要になる

乾燥の作業管理ポイントとしては、遠心脱水乾燥機をいかに上手に工夫して使い、クロメート皮膜に傷をつけないようにするかが重要になる。

乾燥温度 :80 以下、できれば 40~60

乾燥時間 :あまり長くしない

乾燥機内の湿度:湿度を低くする工夫が必要、乾燥機内の湿気を外部に吸い出すような設備面での工夫が必要で、できるだけ低い湿度で速やかに乾燥できるようにすることが重要である。

## 5-2 バレルめっきの環境対策

バレルめっきの環境対策として最も考慮しなければならないことは、バレルの移動に伴 う液汲み出し量の多いことであり、そのリサイクル化が難しいことである。

さらに、水洗工程におけるバレル内の液とバレル外の水との交換があまり良くなく、時間がかかることが挙げられる。

以上のことから水洗水量が多くなり、また無駄に排水された処理液により排水処理費用がアップするという二重の無駄が生じ、思いもかけないコストアップ要因があることを常に考えておかなければならない。

# 5-2-1 回収、リサイクル対策

バレルめっきでは、バレルの形状と穴径及び被処理物の形状と投入量などの影響を多分に受けるが、例えば小さい被処理物で全体面積が大きく、重なり合った被処理物同士のすき間に液が溜まっていて、バレルを処理浴槽外に出した時、液切り時間を十分取らないと、次工程への持ち込み量が極端に多くなってしまう場合がよくある。

これば引っ掛け治具を使っためっき処理の場合に比べると、バレル本体、液処理物及び すき間の液残りなど、はるかに汲み出し量が多く、かつ液切れ時間も長く掛かってしまう。

そこで、例えば図 5-35 に示すように、めっき処理槽と水洗槽との間に空の回収槽を設けて汲み出された液の液切り回収をすることが考えられる<sup>36</sup>。

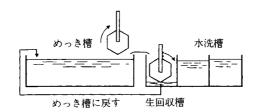


図 5-35 バレルめっきでの生回収槽の設置

これによって確かに液切り時間は十分取れて、汲み出だされた液の回収はできたが、その得失をよく考えて効果の持続を図かなければならない。

単純に考えたメリットは、いうまでもなく高価なめっき液の生回収であり、再利用しやすいことである。しかし、生回収されためっき液が、場合によってはめっき槽に戻せないことがある。これでは何のために回収したのか意味がなくなってしまう。

したがって、デメリットになる点をよく理解し、メリットのある方へできるだけ転換していく努力をしなければならず、そう簡単なことではない。

まず始めに考えなければならないことは、めっき処理槽の前後工程における液の持ち込み、汲み出しの量バランスを調べておくことである。

例えば、自動機によってその状況は異なってくる。図 5-36 に示すエレベータータイプ の自動機の場合は、めっき槽に入る前の活性化工程後の水洗では、生回収槽(空回収槽と も呼ぶ)による水の回収は、空気中における被処理物の表面性持続を妨げ、不活性化に結 びつくため避けなければならない。

それに対して、めっき処理後の水洗工程前には生回収槽を用いることができるが、この工程で行うと、仮に水洗水の持ち込み量とめっき液の汲み出し量が同じ場合(ただし、めっき液には金属イオンなどを多く含み、水より比重が重いが、添加剤として界面活性剤を含んでいるため表面張力が低く液切れが良いので、通常は水洗水の持ち込み量の方が多くなるが)めっき液量は変わらないことになるため、生回収しためっき液は本槽に戻せない状態になってしまう。

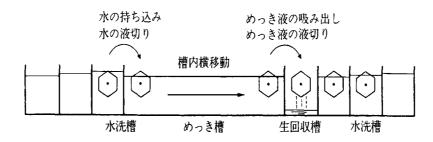


図 5-36 エレベータータイプの自動バレルめっき装置図

また、図 5-37 に示すキャリアタイプの場合は、めっき槽中の各定位置にバレルを置くため、その位置によっては上昇後、次工程に移動する間に液切れ時間の長短が生じる。図の中で(1)の位置にあるバレルは次工程に移る間にめっき槽上で液切れがよくできる。逆に(n)の位置のバレルは次工程に移る間あまり液切れができない。

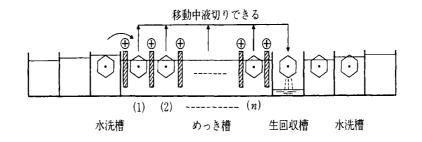


図 5-37 キャリアタイプの自動バレルめっき装置図

したがって、長時間稼働を継続させると、前工程の水洗槽からは水が定量ずつ持ち込まれ、めっき槽からは(1)の位置からのめっき液汲み出し量が最も少なく、結局めっき槽の液量は増加していくことになり、生回収槽のめっき液は当然そのままでは本槽に戻せない事になる。以上の事から,加熱されているめっき液で蒸発減量がある場合は生回収のメルットは大きいが、亜鉛めっき液などのように加熱されない。むしろ冷却しているめっき液では液量が増加していく傾向にあるため、生回収のメリットは小さい。

その解決策としては、めっき前の液切り時間を確保するため、キャリアタイプ自動機の場合、工程配置を変えて図 5-38 に示すように、前処理工程のキャリア進行を逆にして、最後水洗からめっき槽までの間に駅切り時間を作る方法が生回収しためっき液を本槽に戻し再利用する場合、注意しておかなければならないのは、金属不純物や分解不純物の蓄積が無視できないこと、また、汲み出された不純物をまた本槽に戻すことは、不純物をまた本槽に戻すことは、不純物をまた本槽に戻すことは、不純物の蓄積を加速すること、さらに生回収槽に入れ込んだ外部からの不純物も持ち込んでしまう恐れがあることである。

従って本槽に戻す場合は、不純物の除去を行ってからでなければならない37)。

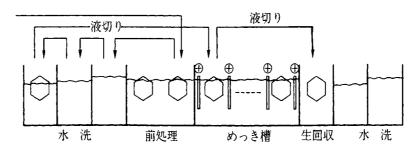


図 5-38 水洗水の持ち込みを減少させる例

生回収を行う場合のもうひとつの注意点は、生回収槽におけるバレル回転に伴う被処理物の変形、打痕、変色、さび発生など、品質に関するトラブルの解決策を考えておかなければならないことである。

そのためには、一般的にどのような生回収がどの程度の効果をもたらすか、実験を行ってみた。その結果を次に示す。

#### <実験比較>

変形、打痕、さび発生を極力防ぐ生回収の仕方として、一般的に考えられる方法は、 めっき槽から引き上げた時点で、静止状態のまま有効で最低限度の液切り時間を設ける(図 5-39(a))

めっき槽から引き上げた時点で、バレルを 1/2 回転させる時間だけ、バレル回転を行いながら液切りさせる。( $oxed{2}$ 5-39(b))

#### などである。

これは生回収槽を設けてバレル回転させながら液切りさせる方法(変形、打痕の問題あり)(図 5-39(d))と比較して、その結果を見てみた。

## <実験条件>

バレル : ・6 角形小型バレル、直径 190mm x 250mm、アクリル製

・穴径 1mm、穴間隔 2 mm、ダイヤカット板

・回転数 8 rpm

・バレル内容量 5.21

被処理物:・黄銅キャップ状製品、直径 15mm×2 mm

・1個の有効表面積 4.86 c m<sup>2</sup>

・バレル投入量 容量比0%,20%,40%

めっき浴:・光沢ニッケルめっき液

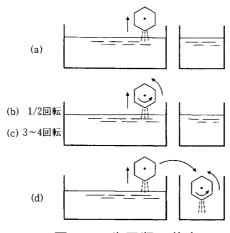


図 5-39 生回収の仕方

#### 結果を図 5-40 に示す。

被処理物を投入していないバレルをめっき槽から引き上げた場合、引き上げるだけでバレル内部の液はほとんど流出してしまい、図 5-40 に見られるように、測定可能な 5 秒後のバレル付着液量は約 100mlで、バレル内容量 5.2L に対して約98%液切りされたことになる。被処理物投入量が多くなるに従ってバレルおよび被処理物付着液量は当然多く、液切り時間も遅れが出てくる。

被処理物の形状により大きく影響されるが、図 5-40 の静止状態のままでは、30 秒経過してもバレルのみより倍近い汲み出し量になってしまう。それに対して、めっき槽から引き上げ 2~3 秒後、バレルを 1/2 回転 (4 秒間) させ、その状態で静止させた場合の方法では、方法 より被処理投入バレルにおいて効果があり、約10秒以降ほぼ一定の汲み出し量になっている。回転させたままでバレルを引き上げ、4回転(30 秒) させる方法 と生回収槽に移動して約1分間(8回転)回転液切りさせた場合を見てみると、確かに付着液は回転に伴って脱落していくが、4回転以降ほぼ一定の付着量に留まっている。

しかし、被処理物を 4 回転の時点と 8 回転の時点で取り出し目視観察してみたところ、 打痕傷が4回転の時点ではさほどでもないが、8回転の時点では目立つようになっていた。

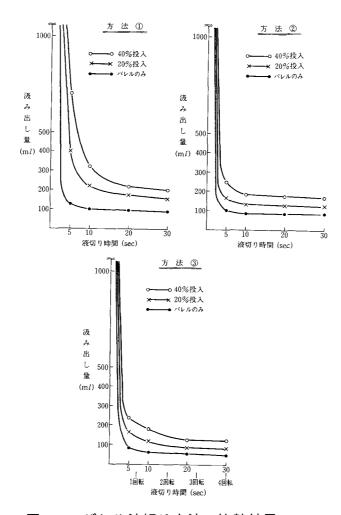


図 5-40 バレル波切り方法の比較結果

方法 、方法 、及び方法 を比較してみると、図 5-40 からこの実験の場合、液付着量、つまり汲み出し量の差は概略、方法 にして方法 より約 30%低減、方法 にして方法 より約 20%低減できることから、方法 を採用すると、引き上げて静止したままの場合にくらべ汲み出し量をおおよそ半減させることができる。

打痕傷、変形などを防ぎ、液切り時間をできるだけ短く効率的にするには、方法 の採用がよいのではないかと考える。

それ以外にも、バレルを斜めにして液切りするとか、手動ではいろいろな方法が考えられるが、自動機の場合には機械的工夫が必要になる。

#### 5-2-2 排水処理対策(節水)

バレルの水洗性は引っ掛け治具の場合と違って、閉鎖的なバレル内に存在する前段処理 液をいかに速く水と置換し、全体に均一希釈するかであり、それなりの対策を行っておく 必要がある。 引っ掛け治具の場合は、水洗槽中でほとんどの表面が開放的で、水への溶解拡散を助長する空気攪拌等で、かなり短時間のうちに水洗水全量で希釈できるのであるが、バレルの場合は大きく異なり、ある工場での実験では、めっき槽からバレル(内径約 200mm、長さ、340mm、穴径 3mm)を 50L の新しい水を入れた回収槽へ移し、しばらく回転させた後バレル内外の液濃度を測定したところ、バレル内では 1163m g/L、外では 96m g/L であったと報告している。又その場合、バレルを一度回転槽から引き上げ液切りをした後、もう一度回収槽の中に入れると、バレル内液濃度は 405m g/L で、外の液濃度は 325m g/L になったと報告している 37)。

筆者の場合は、PVC 製バレル、PP 製バレルおよびアクリル製バレルを用いて、それぞれどのような水洗挙動を示すか実験を行ってみた。その結果を次に示す。

## <実験 >

バレル : 6 角形小型バレル (直径 200mm x 長さ 250mm) 3 種類

PVC 製バレル : 径 1mm、穴間隔 2mm、平板

アクリル製バレル:径 1mm、穴間隔 2mm、ダイヤカット板

PP 製バレル : スリット孔 0.5mm x 長さ 8 mm

バレル回転数:8rpm

被処理物:黄銅製キャップ状製品(ニッケルめっき品)直径 15mm×2mm

バレルをニッケルめっき槽(Ni 金属濃度 60 g /l の液)から引き上げ 1/2 回転させ、20 秒間液切り後、20L 水洗槽にバレルを図 5-41 のように浸漬する。その瞬間のバレル内液及びバレル外水洗水をサンプリングし、バレルを回転させる。その 10 秒間後からサンプリングを繰り返し、バレル内外のニッケル濃度がほぼ等しくなるまでの時間を分析値から求める。

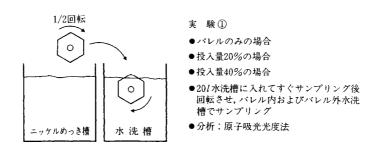


図 5-41 実験 の操作

実験 において、被処理物投入なしのバレルのみの場合、投入量 20%の場合、投入量 40% の場合について比較してみた。

穴径 1 mm の PVC 製とアクリル製バレルの差がほとんどなかったので、アクリル製バレルの場合の結果を図 5-42 に示す。

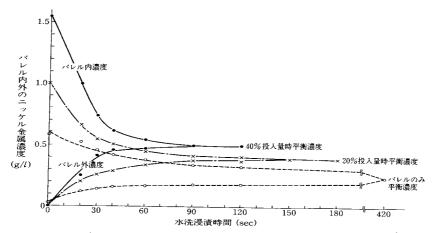


図 5-42 バレル内外濃度と浸漬時間の関係(アクリル製バレル)

バレル内外の液濃度と水洗浸漬時間の関係は、一般的に図 5-43 のようになると考えられている。

バレル内外の液濃度が等しくなる、いわゆる平衡濃度に達するまでの時間が短く、しか もその平衡濃度が薄いほど、水洗効果が大であり、かつ汲み出し損失が少ないということ になるわけである。

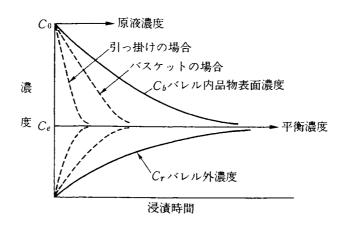


図 5-43 バレル内外濃度と浸漬時間の関係

図 5-42 から判断すると、バレルのみの場合、平衡濃度にまで達する水洗浸漬時間が約 7 分かかっているのに対し、被処理物投入量 40%になるに従って、平衡濃度に達するまでの時間が短くなっている。それでも投入量 40%の場合で 90~120 秒近くかかっている。

これはバレルの回転による被処理物のころがり運転がバレル内の攪拌を促し、バレル内外の液交換を向上させているためと考えられる。この現象はバレルめっき中でもいえることで、実際の液出入り効果はバレルの液浸漬率によるポンピング効果(図 5-44 参照)よりも<sup>38</sup>、被処理物投入量によるころがり運動に伴う液交換作用の方が効果が大きいのではないかと考える。

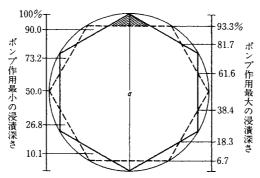


図 5-44 6 角バレルの浸漬深さとポンプ作用(バレル回転径 d を 100%とする)

## <実験 >

実験 と同じ装置を用いて、液切り後、20L 水洗槽にバレルを図 5-45 のように浸漬する。その瞬間のバレル内液およびバレル外水洗水をサンプリングする。バレル 1 回転後(約 10 秒)、回転を停止させ速やかにバレルを水洗槽から引き上げ、約 10 秒間液切りし、再び水洗槽に浸漬、バレル 1 回転(約 10 秒)させた時点でサンプリングする。これをくり返して平衡濃度に達するまでの時間を分析値から求める。

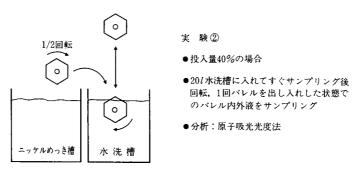


図 5-45 実験 の操作

被処理物投入量 40%の場合の結果を図 5-46 に示す。これから、水洗槽に浸漬したままの状態よりも、やはりバレルを一度でもよいから水洗槽で出し入れすることにより、バレルの水洗効果はかなり向上することが確認された。

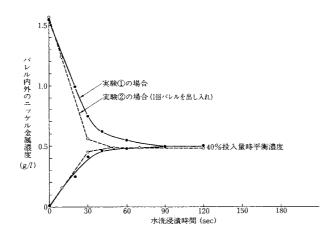


図 5-46 実験 の場合のバレル内外濃度差(実験 との比較、アクリル製バレル)

PP 製のスリット孔を有するバレルについても同様に実験をしてみた。比較として、非処理物投入量 40%の場合に結果のみ図 5-47 に示す。図 5-46 に示す直径 1mm 丸穴の PVC 製及びアクリル製バレルの結果よりも、予想外に水洗効果が悪く、平衡濃度到達時間が長く、また汲み出し量も多い結果となった。

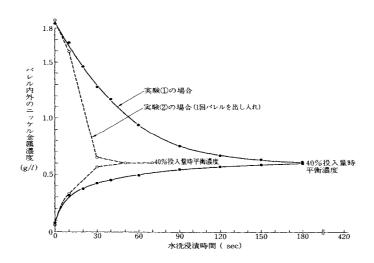


図 5-47 PP 製スリット孔バレルの場合のバレル内外濃度変化

スリット孔にしたバレルは、液交換性が良く、かつ液切り性が良いという、うたい文句であったが、筆者の実験では逆の結果が得られてしまった。水洗槽で一度でもバレルを出し入れした場合は、やはり平衡濃度到達時間がかなり短縮されている。

バレルめっきにおける汲み出し量および水洗性については、多くの因子が含まれていて、 思いがけない結果になる場合が多い。

本来、汲み出し量を極力削減することが省資源の上から必要であるが、バレル本体への付着液量は、しばしば投入した被処理物全表面積に付着する液量より多くなる場合が見られる。

バレルめっきにおける汲み出し量について、太田ら<sup>39)</sup>の報告では、次のような汲み出し量を求める式を導き出しており、

D = D B + S S D S

DB = KSB

D:全汲み出し量(m1/回)

DB: バレルのみの汲み出し量(m1/回)

Ds:被処理物のみの汲み出し量(ml/dm²・回)(0.5~1.5)

S B: バレルの全表面積(d m²)

Ss:被処理物の全表面積(dm²)

:定数(バレルの単位面積当りの汲み出し量(m1/dm²・回)

 $(2.5 \sim 3.5)$ 

バレルのみの汲み出し量と被処理物のみの汲み出し量とに分けて、それぞれの改善あるいはそれぞれの特徴を述べている。

## 5-2-3 作業環境対策

以上の実験から、バレルで連続作業する場合のめっき液汲み出し量の削減及び水洗効率 の向上策について理解できたと思う。

めっき液の汲み出し量削減とリサイクル化及び水洗水の節水対策は大きな意義があるが、 実際現場においては、いろいろな形状の被処理物、あるいは、いろいろな種類のめっき液 などを考慮すると、実施することはそう簡単なことではない。

そこで、少なくとも現状よりレベルアップさせるための対策であれば、以上のことを参 考に改善することで、そう難しいことではない。

汲み出されためっき液の液切り時間の設置および水洗槽でのバレル出し入れ対策の他に、例えば、図 5-48 に示すように<sup>36</sup>、めっき処理後、バレルからバスケットに被処理物をあけ替え、汲み出されためっき液の生回収効率を高めると共に、水洗工程での水洗性を良くすることは十分可能である。しかし、この場合めっき液の飛散防止や作業者への安全対策が必要である。

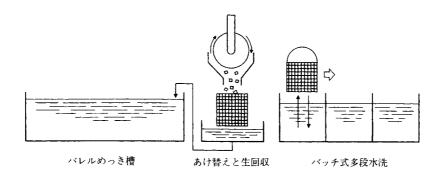


図 5-48 バスケットにあけ替えて水洗する方法

バレルめっきでは、被処理物を多量に扱う関係上、どうしてもバレル投入・搬出作業場に被処理物を山積みにしたパレットをいくつも置いて作業している現場が非常に多い。 そのため作業スペースが狭くなり、しかもめっき前の油付着した被処理物を取り扱うため、床の油汚れがひどく滑りやすくなっている。

対策として、油分の排水への広がり防止あるいは作業環境の改善を図る必要性がより高くなることから、バレルラインでめっき処理する前に予備脱脂洗浄を前述したバレル研磨法などで行い、油汚れの除去と集約化を行うとよい。

また、バレルから被処理物を取り出す際かなりの水がこぼれるため、いつも床が水浸しの状態になる。そこで、地下浸透や流出防止を図るため、受け皿、防液堤またはピットを設ける必要がある。

さらに作業場周辺をはじめ、4S(整理、整頓、清潔、清掃)を推進して、作業スペースの確保と作業安全の向上を図る。

## 5 - 3 バレルの品質管理

前述したようにいろいろな要因が複雑にからみ合っているバレルめっきの品質を管理するには、工程管理の中で、特にバレル間の通電状態と液管理および電着性試験の定期チェックが重要である。

## 5-3-1 バレル間の通電状態

バレルめっきの場合、おおむねめっき膜厚分布は正規分布に近い状態をしているはずであるから、平均膜厚と上限値、下限値を定め、バレルめっき作業条件を標準化(マニュアル化)することを推奨する。

そうすることにより、バレルめっきの膜厚ばらつきに対する被処理物の形状、用途と作業条件の設定の関係を高レベルで把握することができ、技術改善、技術開発など、技術向上が期待できるはずである。

以上は、1 バレルについてとらえたものであるが、実際はいくつものバレルを同時に用いてバレルめっきしているはずであるから、バレル間の膜厚等、品質ばらつきが大きければ、例え 1 バレル内が良くても何にもならない、そこで、次にバレル間の問題について考えてみる。

複数のバレルで同時にめっきすることができる装置を、多連バレルめっき装置と俗に呼んでいるが、その場合、図 5-49 に示すように設備の搬送方式によって、直列型、並列型が考えられる。

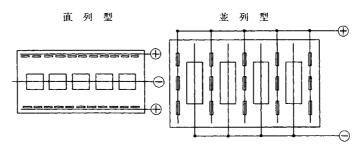


図 5-49 多連バレル配列図

そこで、直列型多連バレルめっき装置の場合を例に、膜厚ばらつきについて考えてみると、手動式装置のように、定位置にバレルがそれぞれ固定されてめっきが行われる場合、それぞれの陰極部、陽極部接点での接触抵抗のばらつきにより、1バレル当りの電流値に違いが生じることがある。

そうなると、1 バレル内での膜厚ばらつきを最小に制御できたとしても、図 5-50 に示すように、それぞれの分布を重ね合わせて全体の分布が出来上がるため、ロット膜厚ばらつきは大きくなってしまうことになる。

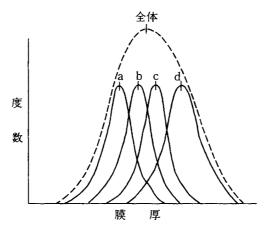


図 5-50 バレル間のバラツキと全体分布

#### それを回避するためには、

陽極部、陰極部の接点が常に正常になるよう保守管理する。

全通電量に対し、電気抵抗に伴う発熱損失を極力回避し、安全電流を考慮した配線にする。

定位置に固定されて、電流を分けあっている場合は、位置によるばらつきが予想されるため、エレベータータイプの自動機のように、全バレルが横移動して位置を「入」から「出」まで一定の動きをするようにして平均化する。

並列型の場合は、1 電源で多連バレルに電流分配するのでなく、1 バレル 1 電源にして、それぞれの位置での接点抵抗に応じて電圧を上下させ、通電量を調整して平均化する。

#### 5-3-2 液管理と電着性試験

めっきの試験をする目的として、次のように考える。

浴組成の管理範囲内の保持

浴からのトラブル予測および防止

析出皮膜の品質の安定化

浴不調の際の調整

そのための試験法を分類すると、次のようになる。

電着性試験 ・・・・・ハルセル試験、ロータルーカソード試験、

均一電着性試験、被覆力試験、電流効率測定

化学分析 (機器分析)・・浴主成分、浴補助成分、添加剤、不純物

物理化学試験・・・・・浴の pH、液の比重、浴温度測定、析出皮膜の成分 この中で、生産現場の実状を的確に観察することができるのは、電着性試験である。

## (1) 電着性試験

#### (a)ハルセル試験

ハルセル試験の試験条件は一般的に表 5-35 に示す設定で行われるが、どちらかというとこれは引っ掛け方式用に設けられているため、バレルめっきの場合は、このままで適切な観察が行いにくい。

したがって、バレルめっき用には、表 5-36 に示すように、全電流を 1/10 位に下げ、 弱い手攪拌をしながらめっきすると良いようである。

時 間 (分) テストピ 全電流 温 度 (°C) めっき液 攪 拌 備 老 (A) シァン化銅 鉄 2 無・空気 PRを行うこともある ~60 黄銅 楍 酸 貓 2~3 5~10 18 空気 ピロリン酸銅 黄銅・鉄 50~60 2 空気 ヶ N 黄銅 2~3 5~10 40~60 なし ル 黄銅  $1 \sim 0.5$ 5 40~60 空気 金属不純物 シアン化亜鉛 鉄 2 5 room たし シンケート 鉄 2 5 room なし 塩 化 亜 鉛 鉄 2 5 room なし 酸性スズ 鉄·銅 2 5 18~20 カソードロック スズ・鉛合金 鉄・銅 2 18~20 カソードロック 真鍮板不可

表 5-35 一般的なハルセル試験の条件

表 5-36 バレルめっき用ハルセル試験の条件

めっき液	テストピース	全電流 (A)	時 間 (分)	温 度 (°C)	手 攪 拌	備考
シアン化銅	鉄	0.5	5~	~60	あり	PRを行うこともある
硫 酸 銅	黄銅	0.5	5~	18	あり	
ピロリン酸銅	黄銅・鉄	0.5	5	50~60	あり	
ニッケル	黄銅	0.5	5~	40~60	あり	
ニッケル	黄銅	~0.5	5	40~60	空気攪拌	金属不純物
シアン化亜鉛	鉄	0.2~0.5	5	room	あり	
ジンケート	鉄	0.2~0.5	5	room	あり	
塩 化 亜 鉛	鉄	0.2~0.5	5	room	あり	
酸性スズ	鉄・銅	0.2~0.5	5	18~20	あり	
スズ・鉛合金	鉄・銅	0.2~0.5	5	18~20	あり	真鍮板不可

表 5-36 の条件でめっきしたテストピースでは、そのままバレルめっきにおける局部電流密度分布を見やすい範囲に広げた状態となっている。観察結果を記録に残す場合は、めっきしたテストピース上をクリアコートで保護しておくか、あるいは析出状態を図 5-51 に示すような記号でスケッチしておくとよい。

ただし、ハルセル試験によりめっき浴の調子を判断する場合には、正常な時のハルセル テストピースを保管しておいて、これと比較して判断した方が適切である。

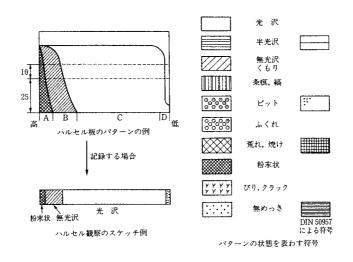


図 5-51 ハルセル試験結果の記録方法

## (b)ロータリーカソード試験

この試験は、バレルめっき用として実状と同じような状態の電流密度の変化及び電流 の流れの妨害を伴うように、屈曲陰極板を回転して試験を行うものである。

また、筆者が独自で行っている方法は、バレルめっき用浴組成の現場的改良方法として、図 5-53 に示すような試験装置を作り、活用している。この試験装置の特長は、バレルめっきにおける被処理物の形状や投入量に伴うことがり混合と局部電流密度の変動及び分布状態を、しゃへい板の回転と陰極屈曲パネルの回転によって複雑にからみ合わせることができ、めっき仕上がり状態は、図 5-54 に示す屈曲パネルの各位置を観察することによって判断するものである。

めっき液種によって、最大局部電流密度は引っ掛け方法での適正電流密度になるようにして、0~ある値の電流密度の範囲で試験を行う。

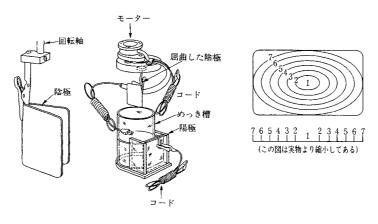
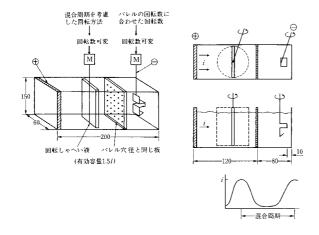


図 5-52 ロータリーカソード試験器と電流分布状態



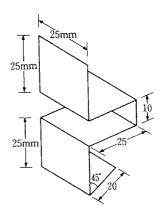


図 5-53 筆者の考案した装置

図 5-54 筆者が使用している屈曲パネル

## (c)均一電着性試験

均一電着性(Throwing Power)は、めっき膜厚分布の均一性を表すもので、めっき 浴の能力である。これは浴組成、pH、浴温度、液攪拌の有無などによって変化するの で、測定条件をすべて記録すておく必要がある。

均一電着性を求める測定方法としては、Haring が提案したハーリングセルを用いて行う簡便な方法などがある。

#### (d)被覆力試験

めっき浴に被覆力(Covering Power)は、めっき膜厚に関係なく、析出金属で素材を完全に覆う能力を示すもので、バレルめっきでは特に要求される性能である。

これは、浴組成、操作条件のみでなく、素材お種類、表面状態にも影響されるため、比較試験をするときは測定条件を同一にして行う必要がある。

バレルめっき用浴組成を開発する場合、組成を変えて被覆力の良し悪しを比較的簡単 に評価できる試験方法はいろいろ考えられるが、筆者はニッケルめっき浴の項で述べた 方法を用いている。

# (2)化学分析(機器分析)

液管理としての化学分析は、作業に伴う浴組成の変化の傾向を把握する手段であり、 その情報によって補給の適否を判断し、補給量の調整、作業改善を含めて組成変動をで きるだけ少なくするようにしていかなければならない。

特にバレルめっきの場合は液汲み出し量が多いため、化学分析は定期的に行う必要がある。

#### (a)浴主成分及び浴補助成分

中和、沈殿、酸化還元、キレート滴定法による定量分析が適用される。

手分析:指示薬の変色域など目視判定による終点検出

自動滴定分析:各種電極センサーを用いた終点検出

その他、原子吸光光度法、分光光度法、イオンマイクログラフ法、キャピラリー等 速電気泳動法などが用いられる。

#### (b)光沢剤、添加剤

有機物の微量分析として、イオンクロマトグラフ(IC)、高速液体クロマトグラフ (HPLC)、サイクリック・ボルタムメリトリ・ストリッピング(CVS)が開発されているなど、機器分析法が主であるが、操作が複雑であり、また分析試験から適正を調べることがよく用いられる。

## (c)不純物

金属不純物は、原子吸光光度法、イオンクロマトグラフ法により定量分析される。 手軽にハルセルテストによる電着時の悪影響の状態を調べる方法を用いる場合が多い。

## (3)物理化学試験

浴組成以外のpHや浴温、あるいは合金めっきの場合の皮膜成分などは、浴組成が正常であっても変動していれば、めっき析出皮膜や物性に大きな影響を与える。

従って、物理化学試験は毎日あるいは随時行う必要がある。

## (a)pH の測定

めっき浴の pH 範囲は浴種によって、強酸化タイプ (pH 3 以下)と pH 3 ~ 11 の範囲にある弱酸、中性、弱アルカリタイプおよび強アルカリ性タイプ (pH11 以上)と大別することができる。

pH が重要な操作条件の 1 つとなるのは、 $pH3 \sim 11$  の範囲にあるめっき浴で、ニッケルめっき浴、無電解ニッケルめっき浴、酸性金めっき浴など数多くある。

これに該当するめっき浴は特に p H 測定と調整が必要で、原則としてバレルめっきの場合、1日1回以上 p H 測定する必要がある。

pH の測定法には、pH メーター、pH 試験紙が使われている。pH 管理を自動制御で測定・調整しようとする場合には、自動 pH 調節装置が市販されている。

#### (b)浴温の測定

めっき槽には浴温度を測定・管理する温度調節器付き加熱部を付帯し、温度をある一 定範囲に調整しているのが普通である。

バレルめっきの場合は、バレルの出し入れが頻繁に行われるため槽内温度バラツキは 比較的少ないが、温度センサーの校正やヒーターの破損に注意し、定期的に別の温度計 で浴温のチェックをする位の心遣いが、思わぬ不良を未然に防ぐためにも必要である。

#### (c)合金めっき皮膜組成の測定

めっき皮膜の測定には、薬液に溶解したり、皮膜切断面を精密に露呈させてから、原子吸光光度計やイオンクロマトグラフあるいはX線マイクロアナライザーなどを用いて行う破壊式測定法と表面から蛍光X線分析装置などで測定する非破壊式測定法とがある。

## 5 - 4 バレルのメンテナンス

バレルを正常な状態で維持することは基本であり、また品質管理上重要な作業である。 ISO-9000(2000年版)においても治工具管理の重要性を取り上げ要求している。 バレルのメンテナンスとしての主な項目をとりあげると次のようになる。

バレルの穴の目詰まりとメンテナンス バレルの蓋の反りや破損とメンテナンス バレルの回転ギャ部の歯こぼれとメンテナンス その他

中でも手遅れぎみになるのが穴の目詰まりである。

バレルの穴径が2mm以下と微小になると、目詰まりが起こりやすくなる。

特にシアン浴の炭酸塩、すず合金めっき浴のスライム、あるいは酸性金めっき浴に発生 するカビなどが付着して目詰まりを起こす事が多い。

その他にも使用後の管理が悪いと例えばニッケルめっき液の結晶付着による目詰まりもなかなか除去しにくい。

従って、使用後のバレルの管理方法として、バレルの水洗、湯洗あるいは薄い酸類での 洗浄など、正しい処理による日常管理が必要である。

その他のメンテナンスについては、目視検査による定期点検が必要になる。

#### 参考資料(第4章・第5章)

- 1) 星野芳明: "バレルめっき"、槇書店(1995)
- 2) 川崎元雄: "実用電気めっき"、日刊工業新聞社(1980)
- 3) "「キョークロ」バレルめっき装置"、実務表面技術、 3(1988)
- 4) 開放型バレルによる高速めっき装置の開発 "、静岡県機械指導所研究報告、21号(1986)
- 5) "揺動型バレルめっき装置の生産性について"、実務表面技術、 7(1979)
- 6) "各種給電方法とその損失"、実務表面技術、 3、p.11(1988)
- 7) " 最新表面技術総覧 "、 p.537、広信社(1983)
- 8) "振動法による新しいめっきシステム"、実務表面技術、 3、p.44(1988)
- 9) 縄舟秀美、水本省三、他:金属表面技術協会第59回講演大会予稿集(1979)
- 10) 縄舟秀美、水本省三、川崎元雄:電気鍍金研究会講演資料、8月(1979)
- 11) 加瀬敬年、他: "めっき技術"、p.362、日刊工業新聞社(1960)
- 12) 松永正久: "バレル仕上法"、誠文堂新光社(1959)
- 13) R.F. Enyedy: "Handbook of Barrel Finishing", Reinhold(1955)

- 14) 北原文雄、古沢邦夫:"分散·乳化系化学"、p.245、工学図書(1979)
- 15) "最新表面処理技術総覧"、p.169、産業技術サービスセンター(1987)
- 16) 星野芳明:トレンディ、9~12月号、(株)ハイテクノ(1992)
- 17) 星野芳明:表面技術、Vol.45、p.875(1994)
- 18) "めっき技術ガイドブック"、p.17、東京都鍍金材料協同組合(1980)
- 19) R.O. Hull & C.J. Wernlund: Trans. Electrochem. Soc., Vol.80, p.407(1941)
- 20) G.J. Casey Jr., CEF and R.K. Asher, CEF: Pating and Surface Finishing, Vol.8, p.51(1979)
- 21) "実用めっき(1)"、日本めっき技術研究会編、槇書店(1978)
- 22) 大久保敬吾、永井周造:金属表面技術、Vol.17、 3、p.93(1966)
- 23) Lugi, V. Brougnatell: Ann. Chem., Vol.18, p.152(1800)
- 24) F. Frary: Trans. Amer. Electrochem. Soc. , Vol.23, p.25(1913)
- 25) E. C. Rinker: U.S. Pat , 2905601(1950)
- 26) E. A. Parker: Plating, Vol.40, p.621(1953)
- 27) F. I. Nobel, B. D. Ostrow: Plating, Sep., p.1099(1966)
- 28) 下条武美、安藤和臣: 実務表面技術、Vol.35、 3、p.156(1988)
- 29) Ch. J. Raub 他: Plating and Surface Finishing、Vol.63、p.35(1976)
- 30) F. B. Koch 他: Plating and Surface Finishing、Vol.67、p.52(1980)
- 31) 倉知、迫田: "合金めっき"、金属表面技術, Vol. 31、p. 512(1980)
- 32) A. Brenner: Electrodepsition of Alloys , , Academic Press
- 33) 青谷薫: プレーティングとコーティング "
- 34) 上村工業㈱のカタログより
- 35) 輿水勲: 実務表面技術、Vol.32、p.539(1985)
- 36) "めっき工業におけるクローズドシステムの理論と応用"、中村経営研究所(現㈱ハイテクノ)
- 37) "リサイクル化ハンドブック"、金属表面技術協会環境保全対策委員会(1979)
- 38) A. K. Graham : "Electroplating Engineering Handbook", Van Nostrand Reinhold(1971)
- 39) 太田重郎、石川強:金属表面技術、Vol.13、 5、p.200(1962)
- 40) Eugene G. Chapdelaine: Plating, Vol.53, p.471(1966)

# 第6章 特殊な治具によるめっき方法の事例

## 6-1 プラスチック印字ダイヤルの金属化

ひっかけにもバレルにも属さないその他のめっき方法として紹介される手法である。 タイプライター、プリンターなどに用いられる印字ダイヤルを次のような目的をもって プラスチック化するために電気めっきを特殊な治具によって実用化した事例である。

## (1) 電気めっきの目的

印字機の軽量化と小型化・高速化 印字ダイヤルによる刻字を鮮明にする ダイヤルの印字にインクの乗り性能を向上する

## (2) 電気めっきの仕様

備されている。

ポリアセタールの印字ダイヤルの表面に、耐衝撃性に優れ、インクの乗り性の良い無 光沢スルファミン酸ニッケルめっきを施す。

耐衝撃性と耐久性を保つためにめっき厚さは最低60μmとする。

印字が鮮明に印刷されるために、ダイヤル表面のめっき厚さは特に均一性を必要とし、100±20µmの目標値を定める。

# (3) 仕様達成への具体的な技術開発

回転治具による自転・公転を併用するめっきを行なった。

回転治具はあらかじめ無電解ニッケルめっきをした印字ダイヤル30個を写真6-2のようにスプリングに通す。スプリングはダイヤルの内径より大きめの外径を持ち、これによって通電を行なう。連続してセットしたダイヤルの両端は両端のダイヤルの過剰の電流分布をよけるために補助陰極としてステンレスの円盤で押える。

30個のダイヤルも字を一字ずつ同じ字が重ならないようにスパイラルにずらし、表面積の違う字のために起こる電流の集中やバラツキを避けるよう注意する。

写真 6-3 は 写真 6-2 の治具 1 0 本を回転ドラムにセットした状態である。

治具はそれぞれ上部に電気接点のコネクターと治具を自転させる歯車のついたステン レスのシャフトによって貫かれている。

写真 6-4 は治具への通電の方法を示すものであり、回転コネクターの接触抵抗値は 10m で、給電のロスは殆どなく、10本の治具相互間の給電のバラツキはない。 回転ドラムへは、図 6-1 のように、めっき槽の下から回転しながら給電されるよう設

# (4) 結果

ダイヤルの印字キャラクターによるバラツキも含めてめっき厚さを  $9.5 \sim 1.1.0$  μ mの 範囲に、制御することを可能にした。写真 6-1 はめっき後のダイヤルの例である。 また図 6-2 は印字ダイヤルのめっき層の断面である。

(石川進造委員:株式会社 ヒキフネ提供)



写真 6-1 ニッケルめっき後のダイヤル

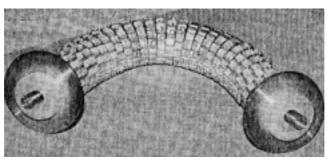


写真 6-2



写真 6-3 ユニット全体(スプリング + 回転コネクター部)

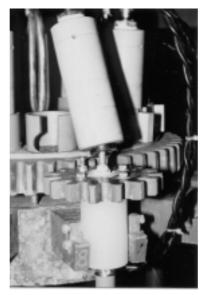
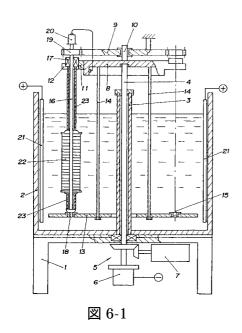


写真 6-4 回転コネクター(治具 + 回転コネクター)



# <回転めっき装置の断面図>

1.架台 13.下部回転支持板

2.めっき槽 14.吊下杵

3.管状部 15.支承孔

4.回転軸 16.杵状治具

5.傘歯車機構 17.軸受スリーブ

6.回転通電ボックス 18.止め具

7.モータ 19.ピニオン8.上部回転支持板 20.回転コネクタ

9.歯車 21.陽極板

10.軸頸部 22.被めっき加工物

11.回転支持鍔部 23.補助スリーブ

12.凹欠部





図 6-2

## 参考資料

小林道雄、石川進造: エンプラ上の強化メッキ 金属表面技術協会メッキ技術研究会 12 月例会 1986.12

平成12年ものづくり人材支援基盤整備事業-技術・技能の客観化、マニュアル化等-

発行 中小企業総合事業団 情報・技術部 技術振興第二課 〒105-8453 東京都港区虎ノ門 3-5-1 虎ノ門 37 森ビル TEL:03-5470-1523 FAX:03-5470-1526

無断転載を禁ずる

Copyright C 2001 中小企業総合事業団 All right reserved.

このマニュアルは、全国鍍金工業組合連合会の協力を得て、中小企業総合事業団が作成しました。