めっき液の冷却

小 暮 秀 夫*

Cooling System for Electroplating

Hideo KOGURE*

Key Words : Cooling System, Electroplating

表面処理には、それぞれ最適な作業条件がある。なかでも、温度は最重要事項の一つで、所定の温度範囲に設定・維持するためには浴の加熱、冷却、またはその両者が必要となる。本稿では、代表的なめっき浴について、高温、常温、低温の各領域に区分して、それぞれの冷却方法について解説した。

1. 熱の授受と冷却

1. 1 熱の授受

処理浴においては、下記の要因による熱の授受がおこなわれる。図1をあわせて参照いただきたい。

a. 電解熱…………… Q_E

電解を伴う場合、電気エネルギーが熱エネルギー

図1 表面処理における熱の授受

に変換し、浴を昇温させる。

単位時間あたりの発熱量は、

$$Q_E = 860 \text{ kA} \cdot V \cdot \varepsilon \dots\dots\dots (\text{kcal/h})$$

kA : 電流 (1,000Amps.)

V : 電圧 (Volt)

ε : 電力の熱への変換率 (めっきの实效値は、硫酸銅0.6, ニッケル0.6, クロム0.9, 亜鉛0.7~0.8などであり、ブースパーラックの電気抵抗で変わる。)

b. 反応熱…………… Q_C

化学反応を伴うばあい。たとえば、アルミニウムの陽極酸化では、下記の酸化熱を発生する。

$$Q_C = 2,330 \text{ kA} \dots\dots\dots (\text{kcal/h})$$

c. 浴の自由表面からの熱の授受…………… Q_F d. 槽からの熱の授受…………… Q_T e. 補給水による熱の授受…………… Q_W

f. 加工品の浴への持ち込みによる

熱の授受…………… Q_M

$$Q_M = \text{加工品総量 (kg)} \times \text{加工品比熱 (kcal/kg}^\circ\text{C)} \times \text{温度差 (}^\circ\text{C)} \dots\dots\dots (\text{kcal/h})$$

g. 空気かくはんによる熱の授受…………… Q_A

h. 浴の循環および、ろ過などに使用する

ポンプによる加熱…………… Q_P

$$Q_P = 860 \times \text{モータ出力 (kW)} \times \text{ポンプの}$$

軸馬力 (0.75)……………(kcal/h)

なお、 Q_F , Q_T , Q_W , Q_M および Q_A は、処理浴温度より高いときに浴の加熱、低いときに浴の冷却となる。

* 荏原ユージライト㈱ (〒110 東京都台東区東上野 2-18-8 ファーストビル)

Ebara-Udylite Co., Ltd. (First Bldg., 18-8, Higashi-Ueno 2-chome, Taito-ku, Tokyo 110)

1. 2 浴温維持に必要な冷却熱量

作業時における浴温維持のために必要な冷却エネルギーは、上記のすべての加熱熱量の総和 Q_1 (kcal/h) である。

$$Q_1 = Q_B + Q_C + Q_F + Q_T + Q_W + Q_M + Q_A + Q_P \quad \dots\dots\dots(1)式$$

このうち、実用上最も大きい冷却エネルギーは $Q_B + Q_C$ であるから、その他を一括し、

$$Q_F + Q_T + Q_W + Q_M + Q_A + Q_P = Q_S$$

として、(1)式を(2)式のように簡単にする。

$$Q_1 = Q_B + Q_C + Q_S \quad \dots\dots\dots(2)式$$

実用上、 Q_S は、 Q_B の10～15%とみればよい。

1. 3 作業開始までに必要な冷却熱量

24時間連続操業のばあいとは別として、通常の作業体系は、夕刻または夜間に終業し、翌朝再び立ち上げるのが普通である。よって、所定の作業温度とするために、予め浴を冷却しておかなければならない。この予冷に必要な熱量を Q_0 (kcal/h) とすると、

$$Q_0 = V (t_1 - t_0) T \quad \dots\dots\dots(3)式$$

となる。ただし、浴の比重×比熱 = 1 とした。

V ; 浴量	Liter
t_0 ; 浴の初温度	℃
t_1 ; 浴の作業温度	℃
T ; 冷却時間	hr

2. 冷却方式

冷却方式は大別すると、下記の3区分となろう。

- 1) ジャケット方式
- 2) 槽内冷却方式
- 3) 槽外冷却方式

2. 1 ジャケット方式

図2のジャケット方式は最も簡便な方法で、浴槽を二重とし、外側に冷却水を通す二種のウォ

図2 ジャケット方式

図3 槽内冷却方式

ータバスである。

簡便ではあるが、処理槽内面に有機性のライニングを施したり、または浴槽自体をプラスチックで製作するばあいは、熱の伝導性が悪いので、冷却効率はよくない。

この方式は、急激な浴温調節でなく、むしろ、緩慢な温度上昇を抑え、温度の一定維持をはかる目的に適している。

2. 2 槽内直接冷却方式

槽内直接冷却方式は、一般に広く用いられている。後記のチューリングユニットの冷却水を用いたこのシステムの一例を図3に示した。

熱交換器には、処理浴の性状に対応して、種々の材質が選定できる。

a. 金属性熱交換器

各種耐食性材料による金属管が最も一般的である。中でも、鉛管は古くから用いられてきた冷却管の代表格である。この材料は比較的成本も安く、加工性もよいので多用されてきた。しかし、長期間使用すると、溶解・減量し、ある日突然に事故となりうるので、一種の消耗品とみなして、定期的に変換する必要がある。

ステンレス、チタンなどは、今日化学工場に不可欠な耐食性材料であり、表面処理においても、幅広く活用されている。さらに、タンタル、ニオブ、ジルコニウムなども熱交換器の材料として使用されている。

b. フッ素樹脂系（テフロン系）熱交換器

外径3.0～6.5mm、肉厚0.4～0.6mmのフッ素樹脂系のチューブを数十本～千本前後束ねた熱交換器が普及しはじめた。

この材料は一部の薬液には不適当であるが（発煙硫酸、高温度・高濃度アルカリや、強い極性の

図4 槽外冷却方式

ある溶剤など), 化学的には不活性であり, 表面処理においては, クロム, ニッケル, 銅などのめっきをはじめ, 硫酸, 塩酸および硝酸などの腐食性の強い溶液の処理に広く使用されている。耐摩耗性や潤滑性にすぐれ, スケールが付きにくいなどの, 実用上の利点も多い。

これら槽内冷却方式を採るばあい, 浴槽内には上下の温度差を生じがちである。このため空気かくはんやポンプによる浴の循環などを使用し, 浴温の均一化をはかるとよい。

2. 3 槽外熱交換器

槽外冷却方式が採られるのは, 次のようなばあいである。

- a. 浴量が比較的大きい。
- b. 厳密な温度管理が必要なとき
- c. 槽内の付帯設備を簡素化し, 構造を単純にしたいとき

図4に, このシステムの一例を示した。処理浴を槽外に導き, 熱交換器により冷却・循環をおこなうので, 浴のかくはん, したがって温度の均一化にも効果的である。

3. 表面処理浴の温度範囲と冷却

図5に, 冷却を必要とする代表的な表面処理浴(めっき, 陽極酸化)の作業温度範囲を示した。

それぞれに冷却の考え方, 取り入れ方が多少異なるので, 便宜上これらを高温領域, 常温領域および低温領域に区分して説明する。

3. 1 高温領域

ニッケル, クロムめっき, 電解研磨および化学研磨のように, 室温より高い温度領域の浴におい

図5 各種表面処理浴の温度範囲と冷却

ては, 作業の立ち上がり時には加熱を必要とするが, 定常の作業時にあつては, 電解熱のみにより外部加熱を必要とせず一定温度を維持できる。しかし, 時として, 特に夏場においては, 外的要因によりさらに升温するので, 冷却設備を必要とするばあいが多し。

a. 冷却に必要な熱量

(3)式から; $Q_0 = 0$ (通常は立ち上がりまでの予冷は考えなくてよい)

(2)式から; $Q_1 = Q_E + Q_M$

なお, 簡単のために, Q_M は Q_E の10~15%とする。

b. 方法

簡便な方法としては, コイル状に巻いた市販のビニールホースに水道水を通してニッケルやクロ

ムの浴を冷却している例もある。使用した水は水洗槽その他に再利用することは言うまでもない。

最も手近に利用できる冷却水は、確かに地下水や水道水などであるが、地下水の温度はわずか15～20℃であり、冷却に必要な温度差と水量の両面から、用途には自ずから限度がある。

クーリングタワーを利用すると、水の循環により、運転経費を節減できる。この方法は、原理的に外気との接触により水の蒸発熱を奪うものであるから、季節変動—温度と湿度—により性能が変わる。夏場においては、冷却水の温度は30～35℃といわれ、したがって、高温領域のニッケルやクロムめっきなどの冷却にしか使えない。しかし冬場においては、冷却水の温度はかなり低下するので、後に述べる常温領域の浴の冷却にも利用できる。

熱交換器を使用し、図3による槽内冷却方式を採るのが一般的であるが、設備が大型化し、さらに管理精度を増すためには、図4の方式により槽外熱交換をおこなう。このばあいには、循環回路にろ過機を取り入れることもできる。

3. 2 常温領域

硫酸銅、亜鉛、スズ・はんだ、黒クロムなどの各種めっきやアルミニウムの陽極酸化など、常温領域において冷却を必要とする表面処理は意外に多いものである。

硫酸銅めっきの例を挙げると、この浴は、電流効率が高いので電力の熱変換率は比較的低いけれども、室温、かくはん空気、ラックと加工物との接触不良による発熱などが問題となる。とくに、室内温度が季節変動するような作業環境では、浴温は著しく変動する。

最近、プリント基板に硫酸銅めっきが多用されており、基板の機能上の要求から高度の浴管理が要求され、このため冷却は不可欠である。

また、アルミニウムの陽極酸化においては、電解熱のほかに、酸化熱を伴うので、浴温を一定に維持するために、より強力な冷却が必要となる。

a. 冷却に必要な熱量

[めっきの場合]

$$(3)式から \quad Q_0 = V (t_1 - t_0) T$$

$$(2)式から \quad Q_1 = Q_E + Q_C + Q_M$$

[陽極酸化のばあい]

$$(3)式から \quad Q_0 = V (t_1 - t_0) T$$

$$(2)式から \quad Q_1 = Q_E + Q_C + Q_M$$

(酸化熱 Q_C が加わることに注意)

b. 方法

地下水や水道水の温度では冷却できないので、チューリングユニットによる冷水を使用する。チューリングユニットは、図3または図4のように、冷凍機の冷媒により冷水をつくり、これを冷水循環ポンプにより供給するシステムで、5～10℃の冷水が得られる。

設備が小型の場合は、図3の槽内冷却方式でよいが、2. 3で述べた理由により、図4の槽外冷却方式がベストである。

3. 3 低温領域

低温領域で作業する表面処理は極めて限定される。一つの実例として、アルミニウムの硬質陽極酸化がある。このばあい、浴温が零度以下に設定されることもあり、文字通り強力な冷凍領域の設備が必要となる。

a. 冷却に必要な熱量

3. 2-aと同じ

b. 方法

浴温が極度に低いので、冷凍機の冷媒を処理槽内に設定した熱交換器に送り込み、冷媒の蒸発熱によって、直接に浴から熱を奪う以外に方法はない。

4. その他考慮すべきこと

4. 1 冷却設備の容量

図6に冷却経過の模型図を示した。

図6-aは、予冷から作業に至る温度の経過を示す。図6-bおよび図6-cは、それぞれ冷却に費やされる熱量の維持を示し、仮に、

$$Q_0 \text{ (予冷熱量)} < Q_0 \text{ (維持熱量)} \text{ をAタイプ}$$

$$Q_0 > Q_1 \text{ をBタイプ}$$

とした。

冷却設備の容量検討には、いずれか大きい方を基準とすべきことは当然である。

4. 2 経済性

その一方では経済性も問われるので、下記の配

図6 冷却経過模型図

慮も必要である。

(とくにAタイプのばあい)

a. $kA \times V$ (電解熱) は整流機の最大規格値でなく、常用の負荷を算出する。

b. 外部からの熱吸収を防ぐために、槽や配管の保温を十分におこなう。

(とくにBタイプのばあい)

c. 連休明けなどは特例として、立ち上り時間を通常の倍に設定するとか、作業開始時間を遅延させるなどの対処をする。

(その他)

d. クーリングタワーを備えた冷凍機を使用するばあい、配管の切替えにより、冬季には、クーリングタワーの冷却水だけを利用できるようにすると、動力の節約になる。

4. 3 機器の選定

実際の熱交換器、チューリングユニット等の機種仕様の選定については、それぞれの専門メーカーに相談いただきたい。信頼のおけるメーカーであれば、多年の技術的経験や現場的ノウハウを積み上げているので、実用に即した適切な機器を選定してくれるはずである。

(1989-8-2 受理)