めっき液の加熱、冷却

山崎 道安*

Heating and Cooling System for Electroplating

Michiyasu YAMAZAKI*

Key Words : Electroplating, Heating System, Cooling System

めっき液の加熱、冷却について、熱交換の原理と熱交換容量の計算及びその方法等について概説する。

1. はじめに

熱とは、暖かい感じを生むベースで、一種のエネルギーである。熱にはいろいろな種類（顕熱・潜熱・蒸発熱）があり、その作用は異なっている。熱が移動することを伝熱と呼び、これには熱伝導、対流伝熱、輻射の三つの形式があり、熱が温度の高い場所から低い場所へ移動することには変わらない。熱量を表わす単位としては、キロカロリー（kcal）が使われる。これは質量1kgの純水の温度を1℃上げるのに必要な熱量を1キロカロリーという。

熱交換器とは、この熱移動を利用して、二つの流体（ガス体または液体）を薄い壁（一般に金属）を隔てて熱移動を効率良く行わせる機器である。これを一般に熱交換器というが、流体の組合せや相変化の有無、その他により、いろいろの名称がある。（例えば、加熱器、冷却器、コンデンサー、蒸発器。）また、構造上からもいろいろな種類があるが、これらについては専門書を参照されたい。

2. 熱交換器の能力

熱交換器の能力は、単位時間の交換熱量：Q〔kcal〕で表わされ、伝熱面積をどの位にするかを問うもので、小さい伝熱面積で伝熱速度の大きな性能こそがすぐれているといえる。ところで、両流体が共に状態変化（例えば、凝縮したり、蒸発したりすること）をしない時の交換熱量は次式で求められる。

$$Q = W \cdot C_p (T_2 - T_1) = w \cdot C_p (t_2 - t_1) \cdots (1)$$

W, w : 流量〔kg/h〕

C_p : 〔kcal/kg・℃〕

T₁, T₂ : 高温流体の初温と終温〔℃〕

t₁, t₂ : 低温流体の初温と終温〔℃〕

一般に熱交換器の伝熱面積を求めるには次の周知の関数式を用いる。

$$Q = U \cdot A \cdot (\Delta t) \ln \cdots (2)$$

Q : 交換熱量〔kcal/h〕

A : 伝熱面積〔m²〕

U : 総括伝熱係数〔kcal/m²・h・℃〕

(Δt) ln : 対数平均温度差〔℃〕

3. めっき浴への応用

めっき液温管理に使用される方法としては2通りの方法があり、一つは熱交換器を槽内に直接入れる投込型で、もう一つは、熱交換器を槽外に置き、ポンプ等で液を循環させる槽外循環型である。どの方法を用いるかは種々の条件より、メリット

* (株)昭和鉛鉄 (〒110 東京都台東区東上野 3-15-3)
SHOWA ENTETSU Co., Ltd. (15-3, Higashi-Ueno 3-chome, Taito-ku, Tokyo 110)

トの大きい方を採用すれば良い。

溶液を熱交換器の伝熱面にそって流す目的は、試験管内の溶液を振る作業と同じで、局部加熱を防ぐばかりか伝導伝熱をよくするためであり、振る作業を溶液を流すことに置き替えたものである。たとえばスチームで加熱された伝熱面は、冷たい溶液に熱を伝える。その溶液は、伝熱面に触れている所が薄膜上に昇温し加温される。加温されるにしたがいこの薄膜がふくれあがり、大きくなって伝熱面より離れて液中に入る。これが繰り返されつつ溶液は昇温されていくので、伝熱面に溶液の流れがあれば、加熱された薄膜が早く伝熱面より離れるので昇温に役立つ。

伝熱面積を決める総括伝熱係数は、この薄膜状の溶液を外す効率を溶液流量等により決められるため、溶液流量が当初より変われば当然加熱器の必要面積も変わってしまう。従って、投込熱交換器でも電気ヒーターなどは、槽内へ送り込むポンプの吐出口の近くに設けるのが望ましい。

外部熱交換器を使って昇温を行い、作業が終了してしまえば、スチームバルブ及び循環ポンプを止めてしまう。この時に、止めたスチームバルブが故障などにより少しづつスチームが熱交換器の中に流入していたとする。熱交換器内の溶液は少量でかつ静止状態であるから、局部加熱が始まる。すると一部分の伝熱面の溶液が昇温し、やがては、その伝熱面部の溶液が濃度変化をおこす。そのため、濃縮された薬液が固着したり、伝熱面の耐食性をも低下させたりするので、十分注意しなければならない。このことは投込熱交換器でも同じことがいえる。また、液循環量が減れば液の流れが遅くなり、投込熱交換器の動きの悪い設置場所の伝熱面と同じように、伝熱表面に汚物や薬液の濃縮物が付着したりして、効率を低下させる。そればかりか伝熱面を痛めるため、その付着物を取り除かなければならない。冷却も同様で、周期的に洗浄を心掛けなければならない。

次にめっき作業に必要な加熱及び冷却に用いる熱交換器の大きさを知るための必要条件を整理してみる。

4. 加熱について

4. 1 昇温熱

熱量計算は(1)式で表わされているが、めっき浴においては、この(1)式を変形した次式を用いる。

$$Q = V \cdot (T - t) \text{ [kcal/h]} \dots\dots\dots (3)$$

V : タンクの液量 [L]

T : 使用温度 [°C]

t : 当初温度 [°C]

ただし、(液比重)×(液比重)=1として、1時間当りの昇温熱量とする。

4. 2 放熱

槽、配管、熱交換器の表面等からの放熱による熱損失については、種々の計算方法がある。概略値として、(3)式より求めた昇温熱量の10~20%程度〔 $T-t=20^{\circ}\text{C}$ 以上のとき〕とすれば良い。

4. 3 交換熱量

$$(\text{昇温熱量}) + (\text{放熱量}) = \text{交換熱量 [kcal/h]}$$

4. 4 加熱源

加熱源として、電気、湯、スチーム等があるが、交換熱量が大きい場合には、一般にスチーム（飽和水蒸気）が使用される。そこで、この使用する圧力と量が大切であるので、圧力が何 kgf/cm^2 ゲージで量が何 kg/h 使用出来るかを確認する事が大切である。（注：飽和水蒸気量物性表の圧力は絶対圧力であるから、ゲージ圧+1.033とする。）

①ボイラー効率の損失

ボイラー効率が低下すると、燃料の消費が増える。ボイラー効率はボイラーの本体構造、燃焼機構、燃焼ガスの流れが各々関係して決まる。使用期間中に効率を低下させる要因としては、すすや湯あかのスケール付着がある。これが厚くなるほど効率低下が大きくなり、熱効率を下げるばかりではなく水管の温度が高温度に加熱され、鋼材強度が低下し破裂する可能性があるといわれている。内部を掃除する際は、スケールを完全に除去し、安全確保を図らなければならない。

②放熱損失を減らす

配管や槽の表面から熱が大気中に逃げていけば、必要な熱量を確保するためには余分なスチームを使うことになる。これは個々の放熱損失が小さな

値でも、工場全体をまとめると意外なほど大きな値になる。

③良質で適切なスチームを

溶液の加熱に必要な熱エネルギーはスチームのもつ潜熱であるから、潜熱の多いスチーム、すなわち、低圧力のスチームが良い。同じ圧力のスチームでも湿り度の高いスチームは潜熱が少ないので、乾き度の高いスチームを使うのが望ましい。しかしこれは無理なので、実用上はなるべく乾き度の高い湿りスチームということになる。湿りスチーム中の水分は、加熱に有効な熱量ではなくドレンの増加になるだけである。乾き度の高いスチームを得るためには、小型ボイラーで0.5MPa(8 kgf/cm²)ゲージ程度のスチームを発生させ、ボイラーから出たところで減圧弁を用いて0.2MPa(2 kgf/cm²)ゲージ程度に絞れば、乾き度も上がるし、潜熱も増加してドレンの発生も少なくなる。しかし圧力を下げて潜熱を上げても、スチーム配管口径が同じでは量として流しきれないので、見合う大きさにしなければならない。以上の配管をする場合、スチーム圧力が高まれば、比容積が小さいので送気するには都合が良いが、前述のごとくあまり役に立たないので、その意味もあってスチーム圧力は輸送できる範囲で低圧の方が望ましい。そして末端はもちろん、途中にもスチームトラップを付けるのが望ましい。

④スチームトラップ

スチームトラップが故障し機器内にドレンが溜ると機器の性能が発揮できなくなるばかりか、ウォーターハンマーにより機器に障害をあたえる。トラップはドレンだけを排出するから、故障の場合には修理又は交換するのが当然であり、さらに正しい選定と正しい取付けも大切なことである。ドレン排出後のトラップは閉弁になるため、機器とトラップとの高低差のヘッドによる自然流下で、ドレンは機器からトラップ中に流入するので、トラップは機器の最低位置に取り付けるのが良い。トラップは、1基の機器に対して1個のトラップを取り付けるのが良く、2基以上の機器をまとめて1個のトラップでドレンを排出させることは、トラップ前の配管内で短絡現象(ドレンの流れやすい方のみ流れる)を起こしたり、温度ムラがで

きたりする。なお、1基の機器であっても、中の加熱器や配管状態によっては、同じことが起きるので注意されたい。又、トラップを正しく働かせるためには、トラップの入口と出口に圧力差が必要であるから、出口側の配管抵抗はできるだけ少なくするのが良い。(図1)

4. 5 熱交換器の大きさ

交換熱量、スチームの条件がきまれば、液とスチームの温度条件により対数平均温度差(Δt)_{ln}が分り、かつ総括伝熱係数U値が分れば、前述の(2)式により、熱交換器の伝熱面積が求められる。

5. 冷却について

5. 1 電解熱

電気めっきをおこなうと、電力を使用するために、これが熱に変わり液温が上昇する。これは1 kW・hが860kcalの熱量を保有するためである。この理由によりめっき作業によって発生する電解熱は、次式により求めることが出来る。

図1 代表的な加熱のプロシード

$$Q = V \times A \times 0.86 \times \eta$$

Q : 電解熱 [kcal/h]

V : 浴電圧 [ボルト]

A : 浴電流 [アンペア]

η : 熱変換率 [%] (100%=1.0)

熱変換率とは、使用電力が熱に変わる割合を表わし、液質及び引掛け等により相違する。

5. 2 その他の熱源

①吸熱・放熱

液温と室温の差による吸熱や放熱がある。液温が室温より低い場合には吸熱となり、逆の場合には放熱となる。故に、吸熱の場合は加算し、放熱の場合は減算すればよい。

②循環ポンプ熱、空気かくはん熱を加算する。

③酸化熱によるもの（アルマイト処理等の場合）：使用される電流に比例する。

$$Q = 2.33 \times A$$

以上の各発生熱を加算したものを冷却熱量 (kcal/h) として求めればよい。

5. 3 冷却水の用途

冷却水としては、地下水、上水道等が使用されているが、多量の冷却水が必要となるために別の方法がとられるようになって来た。多量の水が必要となる主な理由は、加熱でものべた“適切な液の循環量”と同様に、冷却水循環量も同じことができるからである。一般に槽外循環式では、熱交換器の構造上、液側の通過面積に比べ、冷水側の通過面積のほうが数倍と大きいので、流速を上げるには当然水量も多くほしくなる。また、一方、伝熱面積を決める一つの要因として、冷却水温が低ければ、伝熱面積も小さくなる。そのため現在では、チューリングユニットで作り出す低い水温（7℃～10℃）を使っている。また、この他に冷凍機の冷媒を直接に熱交換器の中に入れて、伝熱面を境に溶液を流しながら冷却させるユニットもある。どちらも空冷式と水冷式があり、おおきさ

は、計算された冷却熱量をうばい取ることが出来るものを選定すれば良い。

①チューリングユニット

溶液温度が20℃以上のものが適している。冷水の送水方法は、蓄熱槽を兼ねたクッションタンクを設け、チューリングユニットに見合う冷水ポンプにて、単独にチューリングユニットとクッションタンク間を循環させる。クッションタンクは大きい程良く、チューリングユニットの動・停時間を長くとれるのがよい。（1時間当りの動・停時間は6回以下が良い）そして熱交換器に見合う水量をもつ別の冷却水ポンプにて、クッションタンクと熱交換器とを循環させるのが良い。溶液が希望温度に達したならば、冷水ポンプを止めるか、配管中に三方弁等を設けて、水路変更を行うのが良い。またどの方法を用いるかは、いろいろの条件により決められる方がよい。

②冷凍機直膨型

直膨型の場合は、チューリングユニットに比べ、冷媒温度が冷水温度により低い値がとれるので、溶液温度は、25℃以下に適している。またチューリングユニットと違い、中型以下の冷凍機で、いくつもの溶液槽に別けて使うのは複雑になるので、おもに単独槽の方が適している。

③クーリングタワー水での冷却

溶液温度は、50℃以上がよいであろう。冷却水温度は一般に外気湿球温度27℃のとき、32℃といわれている。この時のクーリングタワーの型番を決めるには、熱交換器に使用される水量（但しクーリングタワーに入る水温が37℃以下）を、L/minに換算して13L/minで除した値がこの型番に近い。

$$\text{クーリングタワーの型番} = \frac{\text{使用水量 (L/min)}}{13 \quad (\text{L/min})}$$

(1989-8-2 受理)