—技術論文—

槽内のかく拌強度の測定法

星野 重夫*

A Measuring Method of Agitation Strength in Bath

Shigeo HOSHINO*

1. 緒 言

表面処理の分野では、いろいろな目的で処理液のかく拌が行われている。その目的には処理液の濃度や温度の均一化をはじめ、複合材のめっき液中への浮遊、めっきの析出速度の増大、光沢範囲の拡大、水洗効率の向上、電極表面からのジュール熱の除去などが上げられる。このうち処理液自体の濃度や温度の均一化は比較的ゆるやかなかく拌で目的が達せられるが、被処理物と溶液間の熱や物質移動の促進を目的とする場合は槽内のかく拌の強さやその分布が重要な問題となる。

かく拌に関する研究は従来、化学工学の分野でなされ、多くの報告¹⁾²⁾や総説³⁾⁴⁾、成書⁵⁾が発表されている。しかし表面処理の分野でしばしば利用される空気かく拌や電極振動法に関しては、定性的な解説⁶⁾はなされているが定量的なかく拌強度についてのデータはあまり報告されていない。

槽内におけるかく拌強度やその分布を求めるためには槽内各点における流速を測定する必要がある。その方法としてはピトー管、熱線流速計、写真法、サーミスター、酸化還元電極法などが提案されており、最近ではアルミニウムの陽極酸化時の電圧-電流の変化からかく拌強度を測定しようとする試みもなされている⁷⁾。しかしこれらの方法には一長一短があり、表面処理に用いられるような強酸、強アルカリの溶液系に直接適用するには問題がある。

本研究では、これらの問題を勘案した熱式流速計を試作して、その性能を調査したところ流速計として充分利用できることが判った。そしてこれを用いて空気かく拌および電極振動法におけるかく拌強度を定量的に測定した結果、そのかく拌特性がかなり明らかとなったので報告する。

2. 実験方法

2-1 流速計の構成と原理

試作した流速計の概要を図1に示す。A部（直径4φ mm）は流速の検出部で、本体をアルミニウムとし、その表面にラセン状の溝を設け、表面を陽極酸化して絶縁したのち、ここにニクロム線（0.007φ mm、総抵抗16.7Ω）を巻きつけた。そしてエポキシ樹脂を表面に薄く塗布して、ニクロム線を固定すると同時に耐薬品性を付与した。B部は液温の検出部で、この中央部とA部の中央部に熱電対（C-C）を直列につないで埋込み、両者の温

図1 かく拌強度測定装置の概略図

* 武蔵工業大学
〒158 東京都世田谷区玉堤 1-28
☎03-703-3111

* Musashi Institute of Technology.
1-28, Tamazutsumi, Setagaya-ku, Tokyo 158

度差を電位差計で測定する。A部のニクロム線をバッテリー電源を用いて一定電力で加熱すると、A部の温度はB部より高くなり、その温度上昇度は溶液の流速により変化するので、流速に対する温度変化率を予め求めておけば槽内の溶液の流速が測定できる。ここでA部を球状にしたのは流れの方向性の影響を除去するためである。

流速に対する温度変化率は水を円筒内に定速で流し、この中に流速計を挿入して測定した。

2-2 かく拌強度

空気かく拌や電極振動法では、流体および品物の運動が複雑となり、通常の流速として正確に測定することは困難である。そこで本報告では今回試作した流速計の読み、すなわち、均一な流れに換算した時の流速 (cm/sec) をかく拌強度 (cm/sec) とした。

2-3 かく拌方法

(1) 空気かく拌 実験には総容量110lの円筒容器(440φ×730mm)および5lピーカー(200φ×200mm)を用い、その底部中央に空気吹出口(0.8~3φmm)を設け、コンプレッサーから空気を吹き込んだ。吹き出し空気量はフローコントロールバルブで調整した。槽内のかく拌強度分布は容器の中央断面をX-Y方向に細分して、各点で測定した。

(2) 電極振動法 偏心カムを用いた上下動式の振動装置を試作し、この先端に流速計を取りつけ、これを水槽内に入れて振動させ、その時のかく拌強度を測定した。振幅および振動数はそれぞれ2-10mm, 13-33Hzの範囲とした。

3. 実験結果と考察

3-1 流速計の性能

今回試作した流速計の液流速と温度上昇度の関係は図2に示すごとく、流速の増加と共に温度上昇度は減少し、温度の変化率は流速計への加熱量の大きなものほど大きくなる。従って加熱量の大きい方が流速の検出感度が高いことになるが、あまり加熱量を大きくすると表面被覆層が溶解するなどの弊害が起るので、本実験では0.057 cal/secを標準とした。なおこの装置の温度検出感度は 10^{-2}°C 以下であるので、流速計として充分利用できる。

次に本流速計の形状を完全な球形と仮定し、この装置の温度上昇度 (Δt) と流速 (u) の関係を検討する。いま直径 (d) なる球体が熱量 (Q) で表面加熱されているとき熱的平衡状態、すなわち、定常状態における温度上昇度 (Δt) は次式で与えられる⁸⁾。

$$Q = \lambda Nu \Delta t / d \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで λ は流体の熱伝導度、 Nu はヌセルト数で強制対流の場合次式で与えられる⁹⁾。

$$Nu = 2 + 0.55 Red^{0.5} Pr^{\frac{1}{3}} \quad (10 < Red < 1.8 \times 10^3) \quad \dots\dots\dots (2)$$

図2 流速とブローブの温度上昇度の関係

$$Nu = 2 + 0.34 Red^{0.57} Pr^{\frac{1}{3}} \quad (1.8 \times 10^3 < Red < 1.5 \times 10^5) \quad \dots\dots (3)$$

但し、 Re , Pr はそれぞれレイノルズ数およびプラントル数で次式で定義される。

$$Red = ud / \nu \quad Pr = \nu / \alpha$$

ここで u , d , ν , α はそれぞれ流速, 球の直径, 流体の動粘度および温度伝導度である。

(1)(2)式より、流速計の温度上昇度 (Δt) と流速の関係は理論的に次式で与えられることになる。

$$\Delta t = 1 / (k\sqrt{u} + b)$$

$$\text{但し、} k = 0.55 \lambda / Q d^{\frac{1}{2}} \alpha^{\frac{1}{3}} \nu^{\frac{1}{6}}, \quad b = 2 \lambda / Q d$$

上式に次の値、 $Q = 0.114 \text{ cal/cm}^2 \text{ sec}$, $d = 0.4 \text{ cm}$, $\lambda = 1.43 \times 10^{-3} \text{ cal/cm sec}$, $\nu = 0.01 \text{ cm}^2/\text{sec}$, $\alpha = 1.43 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{sec}$ を代入すると次式となる。

図3 流速 $\sqrt{u}$ と温度上昇度 $1/\Delta t$ の関係

図4 流速計のプローブ温度の時間的变化

$$1/\Delta t = 0.21\sqrt{u} + 0.06$$

図3は図2のデーターを縦軸に $1/\Delta t$ をとり、 $\sqrt{u}$ の関係でプロットしたもので、図中の点線は上式による計算値であり、 $Re = 1.8 \times 10^3$ 以上の領域は(3)式の Re 数の指数を0.5で近似して求めた値である。

図3からわかるように実測値は $Re = 1.8 \times 10^3$ を境とした2本の直線からなり、傾向的には理論値と良く一致している。ここで実測値と理論値にずれがあるのは、流速計の保持具に熱の一部が放出されることと、発熱体が面ではなく、線状であるためと考えられる。

本流速計での流速は検出部の温度が定常状態に達した時に読み取るので、測定にはある時間を要する。図4は流速計を20および80cm/secの流体中に置いて加熱を開始したときの温度変化を測定したものである。図より温度が定常に達する時間はほぼ10秒間であり、流速にはあまり影響されていないことがわかる。

これらの結果より、本流速計では流速が早く変動する系、すなわち空気かく拌浴や電極振動法に適用した場合には、短時間の流速変化は測定できず、平均的な流速が求められることになる。

本流速計の測定に要する時間を短縮するには、検出部の径を小さくすれば良いが、¹⁰⁾あまり小さくすると空気かく拌系に適用した場合、液の振動によって温度変化がはげしくなり、その平均値を読み取ることが難しくなる。一方、径を大きくすると測定に要する時間が長くなり実用性が低下するので、検出部の径は測定する系の特性を考慮して決める必要がある。

3-2 空気かく拌槽内のかく拌強度とその分布

水槽(110l)の底部中央の空気吹出し孔(孔径1φmm)から5l/minの空気を吹き出したときの槽内各点におけるかく拌強度を測定した結果を図5に示す。図

図5 空気かく拌浴におけるかく拌強度の分布

より空気かく拌時のかく拌強度は吹出し孔の真上がもっとも強く、液面に近づくにつれて漸次減少することがわかる。そして流速分布は上にラップ型となり、上部ほど左右の強度差が小さくなった。またこれらのパターンは空気量や吹出し孔径を変化させてもあまり変らなかった。

ここで吹出し孔近辺でかく拌強度が大きいのは空気の吹出し圧力すなわち初速が大きいためであり、上部で強度分布が広がるのは空気泡がラセン運動を行い、上部ほどその運動径が大きくなることと、液の振動が圧力の低い上部方向に伝播し易いためと思われる。また液の表面層では空気泡の上昇のため液面が盛り上がるため、ここより周辺部への流れが生じるので、表面層の速度分布が広がることになる。

この空気かく拌槽に比重が水に近い固体粒子を入れてその動きを観察した結果、液は全体的には吹出し孔より上昇して表面に達し、周辺的に広がる運動を行うが、その速度は流速計で測定された速度と比較してかなり小さいことがわかった。従って空気かく拌によるかく拌強度は大部分、空気泡の移動に伴う液の振動によるものと思われる。このことは空気かく拌の場合、本流速計の出力がかなり振動することからも明らかである。図6は5l/minの底部中央部に吹出し孔(1φmm)を設け、空気量を変えたときの容器各点におけるかく拌強度を測定した結果である。かく拌強度は各点とも空気量と共に増加するが、その増加率は1l/minを境として変化する。

図6 空気の吹出し量とかく拌強度の関係

図7 かく拌強度に及ぼす空気吹出孔径の影響

すなわち、風量の少ない領域では急激なかく拌強度の増加が見られるが、 1 l/min を越えるとその増加率はかなり減少する。なお空気量をあまり大きくすると液が容器から溢れたり、また飛散したりするので、空気かく拌によるかく拌強度にはこの意味での限界が存在する。本実験の場合、単一孔で約 8 l/min がその限界であった。

図7は5 lピーカーを用い風量を一定(1.1 l/min)として空気の吹出し孔径を変えたときの槽内各点におけるか

図8 2つの空気吹出し孔を5 cmはなして設置した場合のかく拌強度の槽内分布

く拌強度を測定した結果である。図より吹出し孔径の大きいものが槽中央部でややかく拌強度が大となる傾向がみられるが、全体としてはそれほど影響しないことがわかった。

空気かく拌は通常、多数の吹出し孔を設けて行うので、図8および図9には吹出し孔を2個とし、その間隔をそれぞれ5および15 cmとしたときの槽内のかく拌強度の分布を示す。この時の総吹出し空気量は 5 l/min である。これらの図より、吹出し孔の間隔が狭いものほど、その間のかく拌強度は大となり、液面よりかなり低い部分まで良くかく拌されることがわかる。またこれらの結果を図5の単一孔の場合と比較してみると、複数個の吹出し孔を設けたものは単一孔のものを単純に横に並べたものと考えられ、空気泡の相互作用等の特別な効果は無いものと思われる。

以上の結果および実験時の観察結果を総合すると、空気かく拌におけるかく拌強度は吹き出し孔のごく近辺を除くと、ある限界があり、液の飛散などを考慮すれば、約 1 m/sec が実用上の限界と考えられ、現場的に用いられている空気かく拌の強度は $30\sim 60\text{ cm/sec}$ 程度と思われる。

3-3 電極振動法のかく拌強度

表面処理の手法の1つとして電極振動法がしばしば用いられており、このもののかく拌効果の大きいことに着目した高速めっき法も開発されている¹¹⁾。しかしなが

— Synopsis —

A Measuring Method of Agitation Strength in Bath

A spherical heat type flow meter has been developed for the measurement of agitation strength in bath. The flow meter was made of aluminum and composed of a thermo-couple and a nichrom wire for heating attached to aluminum surface. Flow velocity was determined from difference between temperature of flow meter and that of liquid in the bath. It was found that the flow meter could be applied to quantitative determination of flow velocity in an agitated bath for surface treatment. Agitation strength in an air agitated bath showed a trumpet-shaped distribution. The velocity near the nozzle in a 110 liter tank agitated with an amount of 5 l/min of air was 1 m/sec. The agitation strength increased greatly with the amount of air supply up to a critical amount of 1 l/min. The flow meter showed that the agitation strength of liquids agitated with air in practical surface treatment of metal was in the range 30 ~ 60 cm/sec. Agitation strength of the vibrating flow meter in water increased with increasing frequency and amplitude of vibration and reached a maximum value of 2 m/sec. at 33 Hz in frequency and 20 mm in amplitude.

統計処理プリンター機能付
電解式メッキ膜厚計
モデルGP-08、G-07

新型GP-08は、従来の器械に全自動統計処理プリンターを内蔵し、増々、便利になりました。G-07は計算器が付いており、校正計算、統計処理等の計算(プリント)が簡単に出来ます。

モデル GP-08

モデル G-07

膜厚計の総合メーカー販売輸出／英国エルコメーター社総輸入元
電 測 工 業 株 式 会 社
ELEC FINE INSTRUMENTS CO., LTD.
東京都中野区中央 2-47-1 電話(03) 365-0861 (代表)
テレックス 232-3131