マイクロ波の塗料乾燥への利用

UoC
667. 645. 5. 084

Microwave of Paint Useful

三 原 一 幸*・藤 本 隆 弘*

MIHARA Kazuyuki HUZIMOTO Takahiro

は し が き

マイクロ波による塗料, 印刷インクなどの乾燥については既に発表されている^{1)~5)}。

UHF というマイクロ波の電波を塗装物に照射すると誘電体 (電気を通さない物体, ガラス, プラスチックス木材, セメントなど) は発熱するから, この熱によって, 短時間に加熱硬化が完了するように作られた塗料であるなら, すべて適用が可能となる。しかしこの時間は秒単位であり, 発泡, 塗膜性能は通常のもの以上でなくてはならず, 可使時間は2日以上でなくては実用性がないことなどが, この塗料に要求される。

塗料, 塗装の分野では, 乾燥の短縮は, 大きい命題の一つであり, マイクロ波の利用は, 電子線法, 紫外線硬化法による塗膜乾燥法とともに, 今後の実用化の主流であると考えられる。

筆者らは既にその研究成果によって, 業界の一部で実用化が完了しているので, 以下これらについて述べる。

1. 電波硬化法の原理

鉄, 銅, アルミ, 合金類などは, すべて電導体だが, プラスチックス, 木材, ガラス, 陶器, セメント, 石などは不電導体である。

この不電導体のうち, 電気的に $\oplus$, $\ominus$ に荷電されている物質を誘電体という。

電波硬化法が対象となる被塗物は, この不電導性の誘電体であって, 誘電性のないポリエチレン, ポリプロピレン, ポリエステル樹脂などは, 同じ不電導性の絶縁体であっても適用できない。

また電導体の金属の場合は, 他の方法によらなければ, 塗膜硬化は完了しない。

したがって, フェノール, 尿素, メラミン樹脂といっ

た熱硬化プラスチック成型物や, ABS, AS, その他の熱可塑性プラスチック, ハードボート, 石膏ボード, 合板, 木工製品, スレート, 陶器, ガラス製品への塗装物, 印刷インキなどの乾燥には, この方法は秒単位で適用できる。

しかもこれらは, 何れも今までのような外部からの加熱による方法では, 熱伝導性のきわめて悪いものの代表であり, また木工製品にあっては変型という欠点を注意せねばならないから, この電波硬化法の適用はきわめて合理的なものといえよう。

1.1 誘電体の発熱の原理

不電導体に電波が当たると, 電気的に $\oplus$, $\ominus$ に荷電されることを分極という。この分極には次の3種のものがある。

〔a〕 配向分極 (Orientation Polarization)

双極子の配向による分極をいう [Po], この場合は, おおのこの分子が全部電場の方向に並ぶことができれば非常に大きい値となるが, 分子の熱運動に妨げられて, 平均としては部分的にしか配向できない。

〔b〕 電子分極 (Electronic Polarization)

原子核の $\oplus$ 電荷と電子群の $\ominus$ 電荷の中心の位置とがずれるために起こる分極をいう [P_E]。

一個の分子の電子分極は, その分子を構成している全原子について, この分極を加えたものになる。これを通常 α_E で表わす。

〔c〕 原子分極 (Atomic Polarization)

分子内の極性のある結合が, 電場によって曲がることによって生ずる分極を原子分極という [P_A]。

CO_2 において, 電場 E が, この分子に作用したとすると, 分子は変曲され原子分極が生じる。 α_A で表わす。

これら分極現象と誘電率 ϵ との関係は通常 Debye の式で示される。すなわち,

$$(\epsilon-1)/(\epsilon+2)=4\pi N_1 \alpha/3+4\pi N_1 \mu^2/9kT$$

昭 45. 11. 27 受理

* カシユ 機技術研究所

東京都荒川区西日暮里 2—2—14

図-1

図-2

- d = 電極の間隔]
- ϵ = 被塗物+塗膜の誘電率
- δ = ϵ の物体の誘電体損失角
- V = 電極電圧

上式で、 $\epsilon \tan \delta$ = 誘電体の損失係数という。マイクロ波では、電極などが無いので、この関係式は適用しないが、原理的な面のみを考えるなら、電波加熱における仕事量 (W) は、いま一定の物質、装置の場合には整理されて、

$$W = f$$

となる。すなわち、仕事量は、周波数の大小のみに比例することになる。

マイクロ波 (UHF) では、次式が適用される。

$$W = 1/1.8 \times f E^2 \epsilon \tan \delta \times 10^{-12}$$

- W = 熱に変わる電力量
- f = 周波数
- E = 電界の強さ
- ϵ = 物体の誘電率

周波数が一定であるから、同一の物体の発熱仕事量は整理されて、

$$W = E^2$$

となり、マイクロ波電界の強さのみに関係する。

1.3 分子摩擦のあり方

(A) VHF までの周波数の場合

VHF の 300Mc までの周波数帯では、電極としてのアンテナが用いられる。したがって分極した分子の運動は図-1 のようになる。

すなわち電極面の $\oplus$, $\ominus$ 交番による方向変換による摩

表-2 代表的な物体の比熱

アスベスト	0.19	コンクリート	0.21
雲母	0.20	磁器	0.19
エポナイト	0.34	スレート	0.18
花こう岩	0.18	木材	0.5~0.7
ガラス(普通)	0.184	レンガ	0.20
ガラス(石英)	0.174	モメン	0.31
軽石	0.24	セッコウ	0.26
ゴム	0.27~0.48	フェノール樹脂	0.35~0.40
コルク	0.4~0.5	ユリア樹脂	0.4
キシレン樹脂	0.35~0.38	塩ビ	0.2~0.5
ABS樹脂	0.33~0.40	メタクリル樹脂	0.35
シリコン樹脂	1~3	スチレン樹脂	0.32

擦となる。

(B) UHF 以上の周波数の場合

UHF の 2,450Mc の周波数になると、電極アンテナは不用となるから分極分子の運動は、電波による電磁界の生成による摩擦運動となる。図示すれば、図-2 のようである。

2. マイクロ波による加熱の方法

波長が短いので金属に対しては反射し、岩石への浸透もある。またこの波長のものは水道管の水のように、導波管というパイプによって、自由に、どのような場所へも導くことができる。

マイクロ波は、金属で囲まれたオープンの中で反射されつつ物体に吸収されて熱に変換されるから、加熱しようとする物体の形状には無関係になる。

また周波数が高くなるほど (波長が短くなるほど) 物体の吸収性はよくなるので、電界が弱くても物体の発熱はよくなる。時間と物体の重量が定められたときの必要温度上昇のための所要出力は、次式で計算できる便利さがある。

$$P = 0.07 \times \frac{K_g}{t(\text{分})} \times \frac{C \Delta T}{\eta}$$

C = その物体の比熱

ΔT = 必要とする温度上昇差 ($^{\circ}\text{C}$)

(20°C より 120°C にするときは、

$120 - 20 = 100$ となる)。

η = 加熱効率、マイクロ波では 0.7

P = 必要とするマイクロ波出力 (kW)

物体がマイクロ波エネルギーを吸収して発熱すると、電波は弱まる。電波の浸透の深さ (D) は、その電流の強さが、始めの $1/2.72$ の値になった点で示される。しかし塗装での加熱乾燥では、むしろこの点はあまり関係

表-3 被塗物となるべき物体の比誘電率

アスファルトおよびアスベスト製品	3.0~3.5	マイカおよびマイカ製品	2.6~3.4
シリカ材料	3.5~4.5	ガラス	2.3~6.1
陶磁器	4~3,200	大理石その他	6~7.5
黒色絶縁ワニス	2.5~4.5	セラックワニス	2.8~4.7
フェノール樹脂ワニス	3.5~4.5	ニトロセルロースラッカー	6.7~7.5
アセチルセルロースラッカー	3.2~6.4	エチルセルロースラッカー	2.9~3.2
シリコンワニス	2.8~3.3	歴青類	1.9~3.2
ゴム (生)	2.3~2.7	加硫ゴム	2.5~4.6
エポナイト	2.6~5.8	塩化ゴム	2.7~3.5
環化ゴム	2.6~3.1	合成ゴム	2.1~20
セラック	2.3~3.8	コーパル	2.5~4.7
ロジン	2.6~3.5	コハク	2.8~2.9
フェノール樹脂	4.0~15	フルフラール樹脂	4~20
ユリア樹脂	6.2~9	メラミン樹脂	4.7~10.2
アニリン樹脂	3.4~3.8	カゼイン樹脂	6~7
シリコン樹脂	3.7~5.0	アルキド樹脂	3.7~4.5
エポキシ樹脂	3.5~6.2	多硫化エポキシ樹脂	2.5~6.0
アリル樹脂	3.3~5.0	ポリエステル樹脂	2.8~6.0
ナイロン	3.4~4.1	ポリスチレン	2.3~2.65
塩化ビニル	3.3~6.0	塩ビ-酢ビ樹脂	3.3~9.0
塩化ビニリデン樹脂	3.0~6.0	ポリビニルアルコール	2.6~3.5
ビニルホルマール樹脂	3.0~3.7	ビニルブチラール樹脂	3.3~3.6
アクリル樹脂	2.7~4.5	ポリエチレン	2.2~2.3
フッ素樹脂	2.0~2.8	アセチルセルロース	4.0~6.0
アセチルブチルセルロース	3.2~6.4	セロハン	4.3~15
ニトロセルロース	6.2~7.5	セルロイド	3.3~11
エチルセルロース	2.6~4.2	ベンジルセルロース	3.4~6.6
木材 (乾)	2~6	木材 (湿)	10~30
含浸木材	4~15	絶縁紙	1.2~3.5
ワニスペーパー	2.8~5.2	プレスボード	2~5
ファイバー	2.5~7.5	モメン	3~7
絹	1.3~2.0		

ない。厚さが問題になるほどの塗膜厚は考えられないからである。

だがマイクロ波加熱は、主としてその物体の D 値あたりから発熱が開始されるから、赤外線炉や、ガス炉、あるいは熱風炉のように外部より内部への加熱方式ではないから、低発泡体や、熱可塑性樹脂の成型物では、熱変型が大きくなるから用いられない。

被塗物になるものと予想される物体の比熱は表-2 のようである。

マイクロ加熱用の素材として好ましいか否かは、その

表-4

プラスチック成型物	10 ~ 60 秒
木材	20 "
木材合板	20 "
陶磁器	120 "
スレート	20 "
紙類	5 "
ハードボード	20 "

物体の比誘電率あるいは誘電体率に依存する。代表的なものについて示せば表-3 のようである。

表-3 の数値は、成型、加工のための混和物の差、量によって、表中の数字のような差が生ずる。

ただ注意せねばならないのは、誘電体の異なるものの塗装物を、マイクロ波中に混合して置かないことである。比誘電率の高い方に、マイクロ波は集中的に吸収され、何れか片方のみが重点的に加熱される。

3. 塗料的な問題

マイクロ波による塗料の乾燥は、空気の流れ温風による外部加熱方式ではなく、その被塗物の誘電発熱によるから、温度上昇が短時間で急激であるため、発泡が生じやすいことになる。この点の研究に主力を置くようにせねばならない。

また、被塗物が厚い場合は、その層の中心部から加熱が始められ、外部へと移る。このため、塗料の硬化に必要な熱量を得ることは、マイクロ波による場合は自由だが、そのために被塗物が熱破壊を（あるいは熱劣化）しない範囲で、加熱硬化がなされるように新しい合成化学的手段を用いるべきであって、既存の方法論では好ましいとはいえない。

ラッカーのように自然放置によって、乾燥するような塗料の強制乾燥的なものでも、マイクロ波には、やはりマイクロ波的な悩みも発生してくるので、そのままの利用は好ましくない。

筆者らのこれについての研究は長い、ほぼ通常の焼付け型と同様の塗膜性能を持つ塗料を得て、4kW 出力のマイクロ波による、乾燥時間は表-4 のような結果を得ている。

ライン化によるスペースの縮少で、塗装工場の単位面積当たりの生産量の向上に役立つ。

4. その他

マイクロ波による塗膜の乾燥は、出力を被塗物の大きさによってコントロールするなり、あるいはコンベアスピードの増減によって自由に適正条件が設定できる。

スイッチオンで直ちに加熱乾燥が開始され、不用になれば、スイッチオフで退社でき、何らの火災その他の心配はない。また冬期、炉内温度の上昇のために準備する時間、労力などは不用であり、消費電力も小さいなど、多くの利点がある。しかも乾燥時間は、秒単位あるいは2分以下であり、電気的回路は単純なので故障はほとんどない。

人体への影響は、マイクロ波はガンマー線、X線、中性子のように物質をイオン化するだけの十分な量子エネルギーはもたないで、それほど神経質に考えることもないと思われる。

電波はほとんど漏洩しない設計になっているが、2,450Mc は通信用として使用されてる波長とは関係が

ないので妨害電波とはならない。915Mc は一部の移動局用に使われているので注意せねばならない。

む す び

省力化、スピード化が塗料産業の方向であり、このための方法としてのマイクロ波の利用は、大きい意義があると考えている。

文 献

- 1) C & EN, 1969, March, 31, P-20.
- 2) J. Gerling, *Am. Ink Maker*, 47 [4], 32 (1969)
- 3) J. Kirozenberg, *Rev. Gen. Caoutchouc Plastiques*, 46 [12], 1453 (1969)
- 4) 美濃地, 塗装の技術, 5 [1], 20 (1970)
- 5) 三原, 塗装と塗料, 1970, [5], 41.

業界ニュース

東部技術協議会

45.9.21 日塗工(東)

1. ILO ベンゼン含有量の規定について協議しILOの1%, 日化協会の5%, 日塗工現規定2%を比較検討
2. 塗料工業機械の耐用年数の改訂に関し, 通産省に對して陳情した報告。

3. 公害対策について同研究会は工場の廃水処理設備の報告書を作成し役員会に提出する。

4. ベールかんの JIS 改正に関して日塗工案についての意見をあつめた。

5. 骨材入塗料の一括認定の陳情と JIS 化の陳情。

船舶用塗料 JIS 原案作成(委)(8回)

45.9.25 日塗工(西)

1. 前回議事録の確認ののち, 生産合理化委員会塗装対策専門部会設置経過の説明と日本造船工業会の機構の説明。

2. 鋼船々底塩化ゴム塗料 JIS 原案の検討, 同案はA/C, A/F, B/T の3種類について規定されている。

塗料試験方法研究会第4分科会(第15回)

45.9.28 日塗検(東)

塗膜の欠陥調査表の審議ではじき, へこみ, あな以外のむら, しま, はけ目, たるみ, 流れ, しわを検討した。塗料試験方法研究会ビヒクル分析分科会。

塗料試験方法研究会第5分科会小委員会

45.9.28 日塗検(東)

1. 塗膜の付着性試験方法の研究(案)の検討
2. 付着性の破壊の状態の判定とそのチェックの方法

公害対策研究会(西部) 45.9.29 日塗工(西)

1. エマルジョン塗料製造における排水量について, 水量, ビット, 排水処理設備などに関するアンケート調査し, その経過について検討した。

2. 排水量3トンと5トンの場合のビットの大きさと強制沈殿に要する薬品量について次回までに検討しておく申合せ。

西部技術協議会

45.9.29 日塗工(西)

東部技協の議題と同じくその他防衛庁仕様書(DSP)についての報告があった。

45.10.2 日塗検(西)

赤外分光分析の基礎事項について竹中亨京大助教授の講演ののち具体的方針を協議した。