特集／機能性塗料

空調機用熱交換器の表面処理

三代沢 良 明*

Surface Treatment for Heat Exchanger of Air Conditioner

Yoshiaki MIYOSAWA*

ルームエアコン熱交換器の表面処理について、その必要性と、最近の親水化処理技術の展開について、今後の動向も含めて説明する。

1. まえがき

昭和61年におけるルームエアコンの生産台数は実に340万台に達し、一部屋一台の時代となって生活必需品の域になった。また、カーエアコンも自動車の高級化に対応してオートエアコンの普及など車の標準装着品として定着化されてきている。

これらのエアコンの心臓部である熱交換器の放熱板はアルミフィンにより形成されていて、より高性能化とコンパクト化を目指して色々な表面処理がなされている。本誌でも55年8月号で長谷氏による報文¹⁾が掲載されているが、ここではその後の技術的展開についてルームエアコンを中心にして解説する。

2. 空調機技術の最近の動向

機能目標として省エネルギー化対策(消費電力)、省資源化対策(軽量化、コンパクト化)、環境保全対策(白粉、騒音、水飛び、臭気)の三方向で改善改良が進められている。

2. 1 省エネルギー化対策

昭和54年10月に産業、民生、輸送機器分野の省エネルギー化を促進する「エネルギー使用の合理化に関する法律」の政令が發布され、空調機のエネルギー効率の平均7%アップおよびEER〔Energy Efficiency Ratio=冷房能力(kcal・h⁻¹)/消費電力(w)〕として2～3の目標値が出された。

この目標値を達成するために家電メーカー、カーエアコンメーカーではコンプレッサー、エバポレーターの改良を進め、この数年間に著しい技術の進歩がなされた。すなわちルームエアコンのコンプレッサーでは室内温度に応じて圧縮率を自動コントロールするインバーター方式(周波数変換装置)とか、圧縮方式を従来のピストンによるレシプロ方式からうず巻形状のスクロール方式に変えることによって高速冷暖房運転、高性能化が可能となってきた。

また、冷房に係るエバポレーターではアルミフィン面を親水化処理して結露発生を防止することによって通風抵抗(風圧損失)の減少が図られている。フィンの形状もコルゲートプレート(波形加工)からルーバースリットプレート(切り起こしスリット形加工)に変わってきており、伝熱管の形状も含めた改良で熱伝達効率のアップが図られている。また、温度分布センサーやヒートポンプ方式によって冷暖房効率の改善がなされている。

2. 2 省資源化対策

熱交換器の軽量化、コンパクト化がなされており、アルミフィン材料の薄肉化、フィン形状、フィンプレート間隔の縮小化などの技術展開がなされ

*関西ペイント(株) 工業用塗料本部

(〒254 神奈川県平塚市東八幡4-17-1, ☎0463-23-2103)

*Kansai Paint Co., Ltd.

(17-1, Higashi-Yawata 4-chome, Hiratsuka-shi, Kanagawa 254)

図1 空調機の冷暖房メカニズム（ヒートポンプ方式）

ている。フィンの加工方法もドロー方式（張出し、絞り加工）からドローレス方式（しごき加工）に変わってきている。

2. 3 環境保全対策

冷房時に発生する凝縮水によるアルミフィン材の腐食によって発生する白粉、結露にともなう騒音の発生、室内への水滴の飛散、カビ発生などによる臭気発生などに対する対策がなされている。

これらの技術展開に対して、最も諸性能に関係している要素はアルミフィンの表面処理技術である。

3. ルームエアコンの原理と熱交換器の問題点

3. 1 冷暖房の原理

ルームエアコンは、冷却部（吸熱）を受け持つエバポレーターと、放熱部（発熱）を受け持つコンデンサーより構成されている。その概略を図1に示した。熱媒体としてフロンが用いられ、その液化・気化のサイクルによって暖房・冷房がなされる。

その原理は次のようになる。まず、冷房過程は熱媒体のフロン液体が膨張弁を通してエバポレーターで急激に気化する時にその気化熱として外気の熱を吸収する。この時にアルミフィン表面の温

度が低下し、室内が冷房される。つぎに気化したフロンガスはコンプレッサーで圧縮されコンデンサーで液化する。この時にフロンガス内の熱エネルギーが外部に放出される。これが基本単位操作である。

一方、ヒートポンプ方式による冬の暖房システムは冷房運転操作の逆のサイクルを回すことによって、屋外の熱を汲み上げて室内にその熱を運んで放熱する方法によって達成される。

3. 2 熱交換器の問題点

上記のメカニズムによって夏場は室内機のアルミフィン表面が、冬期は室外機のアルミフィン表面が露点以下の温度になるので、空気中の水分が凝縮水となってフィン表面に付着することになる。この凝縮水は水滴となってフィン間に水のブリッジを形成し、空気の通風路を狭め通風抵抗が大きくなって電力の損失、騒音の発生、水滴の飛散などの不具合が発生する。

また、屋外機では冬期の寒冷地域で熱交換器が凍結して熱効率が著しく低下することになる。したがって、アルミフィン材は結露防止の対策が最も重要な技術となる。

4. 熱交換器の製造工程と表面処理剤設計の条件

表面処理した熱交換器コアの製造プロセスは、空調機メーカーで成形組立後に浸せき処理するアフターコート方式と、あらかじめ表面処理したアルミニウムプレートを用いて成形加工・組立するプレコート方式がある。図2にその概略を示した。両方式に適用する塗布型の処理剤を開発するには、それぞれが下記の機能を満足することが必要である。

4. 1 アフターコートにおける留意点

①耐水性、耐食性、親水性。②不活性なアルミフィン面に対する皮膜の付着性。③皮膜の均一性（上、下部の膜厚差、端面部の薄膜化（スケ）の防止）。④処理剤のたれ切れ性（処理剤のたまりの防止）。⑤処理作業性（界面活性剤などの併用による気泡発生の防止）。⑥処理剤の安定性。

4. 2 プレコートによる留意点

図2 熱交換器コア製造プロセス

①耐水性，耐食性，付着性，親水性。②高速度造膜性（たとえば焼付時間30秒以内）。③コイルングにおける耐ブロッキング性。④耐プレス油性，耐トリクレン脱脂性，耐アルカリ性，耐酸性。⑤プレス加工時の非金型摩耗性。⑥溶接時の耐熱黄変性，非発臭性。

5. 最近の表面処理技術

アルミフィンの腐食防止対策と結露防止対策に

分類することができる。表1に現時点までに実用化された処理剤およびシステムの性能を示した。

5. 1 フィン材の腐食防止

凝縮水によるアルミの腐食によってその腐食生成物である白粉が発生する。この組成はパイアライト ($\beta\text{-Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) が主体で一部ベーマイト ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) があり，その他に大気汚染物の塩素，硫黄化合物などが認められる。この防食方法は下記の二種類がある。

5. 1. 1 反応型クロメート

表1 各種表面処理板の性能概要

処 理	目 的	耐 食 性	親 水 持 続 性		加 工 性	工 業 的 生 産 性
			水ぬれ性	接 触 角		
クロメート	防食 -	○	×	×	△～×	○
ベーマイト	- 親水	△	○	○	△～×	×
水ガラス	- 親水	△	○	○	△	○
有機樹脂	防食 -	○	×	×	○	○
有機樹脂-シリカ - 界面活性剤 } 混合	- 親水	×	○	×	△	○
有機樹脂-シリカ - 界面活性剤 } 複合	- 親水	△～○	○	○	△	○
クロメート+ 水ガラス } 複層	防食・親水	△～○	○	○	△	○
クロメート+ 有機シリカ複合 } 複層	防食・親水	○	○	○	△	○
有機樹脂+ 親水有機樹脂 } 複層	防食・親水	○	○	○	○	△
ベーマイト+ 水ガラス } 複層	- 親水	△～○	○	○	○	△

○：良好 △：やや劣る ×：劣る

アルミニウムの表面に酸化アルミニウム、クロム酸クロムよりなるバリア皮膜を形成させて腐食を防止する方法で、耐食性を要求される業務用エアコン、カーエアコンなどに利用される。

5. 1. 2 有機樹脂

クロメートは公害物質であるため、その使用には制限がある。最近では代替えとして有機樹脂による塗布型皮膜が利用されている。防食性はクロメートと遜色なく、ドローレス加工適性に優れているため、プレコート向処理剤として多用されるようになり、膜厚1 μm 程度のアクリル-メラミン樹脂などが利用されている。

5. 2 フィン材の結露防止

冷房時に発生する凝縮水による結露防止手段として、つぎの三通りの方策が考えられる。

- 1) 塗膜の表面を極度にはっ水性にして水滴が付着しないようにする。
- 2) 塗膜を吸水性にして、水滴となる前に凝縮水を皮膜中に取り込むようにする。
- 3) 塗膜表面を親水性にして水滴になる前に凝縮水を塗膜表面に広がるようにする。

1) によるのはっ水性表面は水の接触角で 120° 以上が必要であることが知られており、低い表面エネルギー面を有するフッ素樹脂、シリコン樹脂が検討されたが耐久性がないこと、生成した水滴が室内に飛散するなどエアコンには適用できないことが知られている。

2) の方法は凝縮水の吸着により皮膜が著しく膨潤するため、かえって通風抵抗が大きくなること、塗膜の付着性が低下することなどからこの方法もまた適当ではない。結局、3) の塗膜表面の親水化処理が主体となる。

5. 3 親水化処理方法

材料的に分類すると、①無機物質（ベーマイト、水ガラス、シリカ）、②有機樹脂（親水性樹脂、界面活性剤の併用）、③有機樹脂-シリカ（界面活性剤の併用）であり、皮膜構成的には単層膜系と複層膜系とに分類される。

単層膜における重要な機能は皮膜の全面水ぬれ性と適度な水の接触角（概略 40° 以下）である。複層膜のシステムはカーエアコン、業務用エアコンに採用されている方法で、最近では家庭用エ

コンにも適用され始めた。上記の単層皮膜系は親水性のためアルミニウムの防食性に対して十分でない場合があり、アルミニウム面に防食機能を有する皮膜を形成させ、その上に親水性皮膜を形成させることによって防食性と親水性を付与する方法である。

また、この複層膜はプレコート化アルミニウムにおける前出（4. 2項目）の諸条件を満たすための手段として、それぞれの皮膜の特性を組み合わせることによって機能を達成させることにも利用されている。

5. 3. 1 ベーマイト皮膜

トリエタノールアミンを促進剤とした煮沸純水中でアルミニウムを処理するとベーマイト（ $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ）と称する水和酸化アルミニウムが生成する。この皮膜は水ぬれ性で接触角が低く（ $0\sim 10^\circ$ ）親水持続性が良好である。この方法による熱交換器のぬれ面における風圧損失比は未処理板に比べて44%低減される²⁾。

しかし、処理条件が厳しいことからアフターコート用として利用されている。最近、プレコート用として促進剤として無機酸塩を用いた方法が開発され、上層に水ガラス皮膜を併用した複層膜として実用化が進められている³⁾。

5. 3. 2 水ガラス皮膜

ケイ砂と炭酸ナトリウムの溶融物を水溶化した水ガラス（ケイ酸ソーダ、一般式 $\text{mSiO}_2/\text{nNa}_2\text{O}$ ）を利用した技術で、この水溶液を塗布して加熱硬化させることによって、水ぬれ性と接触角 20° 以下の皮膜が形成する。安価で親水性の良好な皮膜であるが、耐食性の点でやや難点がある。この対策として、下層にクロメートあるいはノンクロメート処理を施した複層皮膜システムが考案され、アフターコートではカーエアコン用処理として、プレコートではルームエアコンの処理として実用化されている。

5. 3. 3 有機樹脂皮膜

初期の親水性皮膜として界面活性剤の併用によって水ぬれ性と低い接触角を確保する設計で実用化されたが、界面活性剤の持続性が劣るため、現在ではほとんど使用されていない。

一方、水ぬれ性の良好な親水性の多糖類樹脂と

写真1 耐食性(塩水噴霧テスト 360時間)

写真2 皮膜外観(SEM像)

写真3 結露性(乾湿テスト 30サイクル後)

耐食性の良好なアクリル-メラミン樹脂との複層膜のシステムが開発され、ドローレス加工対応のプレコート板として業務用エアコンに適用されている⁴⁾。

5. 3. 4 有機樹脂-シリカ皮膜

この処理剤の親水性は水ガラスと類似構造を有する無機高分子のシリカ(二酸化ケイ素, SiO_2)の親水性と保水性を利用するところにある。この材料は水可溶性の成分がないので皮膜の耐水性、耐食性の点で良好な結果を示す。

この系統の処理剤はシリカ単独では造膜しないので有機樹脂をバインダーとして併用し、更に低接触角を維持するために湿潤性の界面活性剤(アニオン, ノニオン系)を併用する組み合わせになっている。これらの三成分は単に混合して処理剤⁵⁾としたものと有機樹脂とシリカとを化学的に反応させた有機-シリカ複合樹脂⁶⁾に界面活性剤を併用した処理剤の二種類がある。

後者の処理剤はシリカ成分として超微粒子状のコロイダルシリカ(粒子径20m μ)と水酸基含有の有機樹脂をシランカップリング剤で反応させることによってち密で強じんな皮膜を形成する組成からなっている。

この皮膜は組成中の微粒子シリカおよびシランカップリング剤が金属面に配向して強固なバリア皮膜層を形成することによって、単なる混合組成物よりも優れた防食性が得られる。また、特殊な界面活性剤と有機-シリカ複合樹脂との強固な吸着によって界面活性剤の持続効果が維持されている。写真1に実用化されている混合系処理剤による塗板と複合系処理剤による塗板の耐塩水噴霧テスト 360時間の結果を示した。また、写真2には各塗板の皮膜外観を示した。

この結果から複合系塗板はち密な皮膜を形成しており、適度な表面粗さによって保水性を与え親水持続性の優れた皮膜構造となっていることが分かる。写真3には複合処理剤で処理した熱交換器コアの結露性を示した。

この有機樹脂-シリカ系処理熱交換器の通風抵抗値は未処理熱交換器と比べて約40%低減⁵⁾、騒音の低下、水滴防止の効果を有することが認められている⁷⁾。この複合系処理剤はアフターコート、

プレコートの両方の分野で活用されており、数社の家電メーカーの製品として、約5年の実績がある。

表2にこの系統の処理板の促進テストによる性能を示した[※]。

6. あとがき

この数年の間にルームエアコン、カーエアコンとも熱交換器フィン材の親水化処理が不可欠な技術として定着化した。一方、エアコンの小型、軽量化はますますエスカレートし、より高耐食性で超親水性のものが要求されている。

たとえば、屋外機の結露防止、凍結防止対策とか、あるいはエアコンの設置場所の多様化に対応した構造に適合したシステム、環境衛生面ではエアコンの臭気対策などが必要となってくる。

熱交換器製造プロセスでは今後プレコート化に移行してゆくと思われるが、省力化と公害対策の

点でプレス油を使用しなくて加工可能な潤滑性－親水化処理板や高度の加工性に耐え得る処理板などが必要になってくるであろう。

参考文献

1) 長谷; 実務表面技術, 6, 417 (1980)
2) 湯山, 山崎, 小松, 上妻; 三菱電機技報, 54, 723 (1980)
3) 谷川, 岩間; 軽金属学会第4回金属成形セミナー要旨集 (1986)
4) 斉藤, 佐々木, 小林, 奥田, 広前; 軽金属学会第70回講演大会要旨集 (1986)
5) 畑田, 中野, 田中; 第15回空気調和冷凍連合講演会要旨集 (1981)
6) 三代沢; 塗装工学, 20, 342 (1985)
7) 大河内; 第17回空気調和冷凍連合講演会要旨集 (1983)
8) 三代沢; 塗料の研究, No.109, 73 (1984)

表2 有機樹脂およびシリカ複合系処理剤の性能

確性項目	条件	処理板	有機・シリカ複合樹脂		有機樹脂
		塗装法	プレコート	アフターコート	プレコート
		表面性質	親水性	親水性	撥水性
硬化条件	熱風電気乾燥機		230℃-30秒	165℃-20分	230℃-30秒
乾燥膜厚	重量法(μm)		1.1	1.2	1.0
トリクレン脱脂性 (プレス油塗布後) 蒸気脱脂	(5分) ・減量(%)		0.5	2.6	2.3
	(30分) 減量(%)		1.0	3.7	3.6
	ゴバン目テープ付着性		100/100	100/100	100/100
流水浸せき (トリクレン脱脂板) 流量15kg/nℓ/hr.	(初期) 水ぬれ性		良好	良好	—
	接触角(°)		5~10	20~25	75
	(720時間) 水ぬれ性		良好	良好	—
	(720時間) 接触角(°)		10~20	30~35	65
	ゴバン目テープ付着性		100/100	100/100	100/100
乾湿サイクル (流水, 7時間) 乾燥17時間	水ぬれ性		良好	良好	—
	(30サイクル) 接触角(°)		10~20	30~35	80
	ゴバン目テープ付着性		100/100	100/100	100/100
寒暖サイクル (-10℃ 17時間) +100℃ 7時間	水ぬれ性		良好	良好	—
	(30サイクル) 接触角(°)		5~10	20~25	80
	ゴバン目テープ付着性		100/100	100/100	100/100
実機対応テスト※1 通風抵抗減少率 乾湿サイクル促進 (湿潤 7時間) (乾燥 17時間)	(初期(%))		50	50	—
	(促進10サイクル)		50	45	—
	(促進30サイクル)		50	50	—

※1 未処理初期との比率