環境問題に対処した最近のペイントはく離方式の動向

間 宮 富 士 雄*

Paint Stripping Systems for Environmental Countermeasures

Fujio MAMIYA*

Key Words : Paint Stripping Systems, Environmental Countermeasures

環境規制の強化に伴い従来のペイントはく離剤（塩化メチレンベース）の使用が困難となりつつある。そこで、塗膜軟化剤と物理的方法との組合せが今後の環境対策として検討されている。この一文はその動向についての解説である。

1. はじめに

塗装部品の不良品再生や治具のメンテナンスのためにペイントはく離として化学的方法の代わりに機械的方法が採用されつつある。小物部品の場合には何ら問題はないが、航空機や車両などの大型物に対しては問題がある。そこで、これらの大型物—とくに航空機—のペイントはく離方式について最近の動向を述べる。

2. 代替ペイントはく離剤への開発理由

2. 1 大気汚染の問題

ペイントはく離剤に含まれる有機溶剤や塩素系溶剤は、塗料と一緒に掻き落とされ回収される以外は大気中に拡散される。このうち、多量に含有される塩素系溶剤（塩化メチレン）は、もともと沸点が低いので塗布時間が長いとその大半が蒸発する。現在、オゾン層保護に関する地球の規模の環境問題から、フロンをはじめ塩素系溶剤の全廃や削減が叫ばれている。塩素系溶剤は、オゾン層保護規制物質として何らかの規制がある。その中

で、塩化メチレンだけは現時点で生産量に関し何らかの規制対象には入っていない。

しかし、他の塩素系溶剤が次々に使用できなくなると塩化メチレンの消費量が増加し、いずれ何らかの規制が叫ばれてくるものと考えられる。しかしながら、それ以前の問題として塩素系溶剤を大量に大気中に放出することが問題となるので、環境にやさしい物質に変える必要がある。

2. 2 排水の問題

平成6年2月1日より環境基本法が改正された。人の健康の保護に関する環境基準（環境庁告示16号）による公共用水域と地下水に対する排水規制で塩化メチレンは0.02mg/L以下となり、一段とペイントはく離剤の使用が厳しくなったわけである。

2. 3 労働安全衛生上の問題

米国の労働安全衛生局（OSHA）が発表した作業中における塩化メチレンの暴露限界は次の通りである。

(1) 米国連邦の労働安全衛生局では、一日8時間の労働荷重平均濃度（TWA）は500ppm。

(2) 米国カリフォルニア州の労働安全衛生局では、一日8時間の労働荷重平均濃度は100ppm。

(3) 米国産業衛生専門官会議では、一日8時間の労働荷重平均濃度は25ppm。

(4) 1994年12月に米国連邦の労働安全衛生局は

* 間宮技術士事務所（〒144 東京都大田区東六郷2-6-2）

Mamiya Consulting Office (6-2, Higashi-rokugo 2-chome, Ohta-ku, Tokyo 144)

塩化メチレンの許容濃度を25ppmにする最終規則草案をOMB（行政管理予算局）へ行政手続き許容を求めて提出したが、ホワイトハウスより審議した結果、塩化メチレンの発がんリスクの推進に疑問を指摘されたため、さらに調査を重ねる必要を認め草案を取り下げた。

これは、欧州の塩素系溶剤協会（ECSA）の塩化メチレンは人間の発がん性は低いという研究結果によるものである。よって、近く塩化メチレンの新しい基準ができるものと思われる。

2. 4 廃棄物の問題

塗料と一緒に掻き落とされ回収した廃棄物、はく離後の水洗する場合の水洗水、マスキングに使用されたテープや防水紙等々は相当の量になる。はく離剤に含まれるクロム酸塩は還元した後、不溶化し無公害処理をしなければならない。また、フェノールは殺菌作用があるため高濃度の場合は、活性汚泥法で処理が難しいので焼却法で処理する。はく離剤を含む産業廃棄物処理工場の立地条件が限られており都心部は少ないので、一般に自社内で処理するか遠方まで運んで処理することになる。

3. 代替塗装はく離方式の動向

3. 1 プラスチックメディアブラスト方式（PMB法）

1985年に米国リパブリック航空（現在、ノースウエスト航空）は、PMB法により自社のDC-9機およびF-4機に適用したのが始まりである。次いで、1989年にアメリカウエスト航空が自社のB-137機にPMB法を導入した。

PMB法は、はく離効率の点では一定の評価があるものの、依然として素材を荒らしたり、クラック面の目つぶしの可能性があり、作業パラメーターの許容範囲が狭いこと、設備費が高いこと、複合材に対してはアルミニウム以上に損傷を与える危険性がある、などの欠点がある。

メディアについては、米軍規格MIL-P-85891に品質規格や作業条件（パラメーター）の基準が設けられているが、ボーイング社では、クラッドアルミの場合、板厚0.036インチ以上では1回実施を可とし、ダグラス社は板厚0.05インチ以上

では4回実施を可とすると規定している。

3. 2 高圧水方式（アクアストリップ）

ルフトハンザ航空が1988年頃より開発を進めてきた方法で、1992年春より実機へ試験的導入を開始したものである。現在、開発されている方式は6個の回転ノズルを取り付けたヘッドを遠隔で操作するロボットが開発され、機体表面までは手で接近し、そのあとは距離、圧力などは自動的に制御して塗膜をはく離するものである。大量に使用される水はろ過して循環使用される。

この方式では、最高500kg/cm²の高圧水を使用することから、素材への影響が懸念されている。また、当初ルフトハンザ航空は塗膜軟化剤を使用しない方式を目指していたが、やはり軟化剤が必要となり、軟化剤塗布作業もさることながら、均一なはく離を得るのにも技術を必要としている。

また、軟化剤は有害な成分を含まないといっても、一般には排水処理が必要であり、先の水の大量使用と相まって施設に大きな投資が必要となる。

3. 3 高圧水方式（USBI方式）

米国プラット&ホイットニー社（ユナイテッドテクノロジー社傘下）の子会社であるUSBI社が開発した方式で1200～1500kg/cm²の高圧水のみで塗膜をはく離を行うものである。

この方式はもともとスペースシャトルのロケットブースターのコーティング除去のために開発されたもので、現在ジェットエンジン部品のコーティング除去技術も確立し、最近GE社でも承認したものである。また、米空軍とはB-1、B-52、KC-135などの大型機用に自動塗装はく離装置（LARPS）の開発契約を結び開発を進めている。

3. 4 氷粒ブラスト方式

氷粒を高速で塗装面に打ち当てることによって塗装をはく離する方法で、もともとは洗浄の目的で考案されたものである。この方式には、カナダのIxtal社方式とフランスのCEA社方式が代表的である。

Ixtal社方式は、製氷機と粉碎機によって作られた2～6mmの大きさの氷粒を圧縮空気により塗装面に打ち当てて塗膜をはく離を行うもので塗装の質により氷粒の大きさを選んで実施するが、メディアの硬度が低いためにはく離効率が劣り、効率

を上げるためにノズル圧を高くすると素材、特に薄いハニカム部材に反りや損傷を与えるので航空機外板への適用性は低い。

一方、CEA社方式はCEA社が特許を有し、Linde社が使用権を持つCRYOLIN-LINJETと呼ばれる氷粒ブラストシステムである。氷の製造は低温の液体窒素／窒素ガスを使用し、 -100°C の氷粒を利用することが特徴である。 -100°C の氷粒は塗装はく離能力が高いため、最高 $40\text{kg}/\text{cm}^2$ 程度のノズル圧力でもはく離可能である。

しかし、実際のはく離には塗装軟化剤を併用することが考えられる。はく離効率はこの軟化剤の能力によるところが大きい。

3. 5 ドライアイスブラスト方式

この方式は米国アリゾナ大学のHoeing教授が発明した方法で、空気中の炭酸ガスを液化し、さらに固体（結晶化）にした、いわゆる固体炭酸（ドライアイス）を押し固めてペレット状にし、これを圧縮空気で塗装面に打ち当てて低温の熱衝撃を与えながら、機械的に塗装をはく離する方法である。もともとは、部品に付着した油やグリースなどの油污れの洗浄や複合材部品の製作の際に、型に付着した樹脂の除去用として開発されたもので、米国のCold Jet社とフランスのL'Air Liquid社が代表的である。ドライアイスも氷粒と同じようにメディアの硬度が低いため、はく離効率が劣る。よってドライアイス単独での航空機外板への適用については、少なくとも航空会社の関心は低い。米軍では、現在Cold Jet社と塗膜軟化剤との組合せによりはく離効率をあげる方法を研究中である。

3. 6 重炭酸ソーダブラスト方式

メディアとして重曹の粒を使用する方法である。米国Schmit Mfg.社が開発した専用ブラスト装置は、ブラスト時の粒子の飛散を抑制するため重曹と少量の水を噴射させる方式であったが、最近では大量の水に重曹を分散させた方式に変化している。はく離効率は、試験板上の試験結果では、比較的良好であったと報告されているが、ボーイング社で行った試験ではメディアの腐食性を指摘している。メディアのメーカーであるChurch & Dwigh社では、メディア表面に腐食防止剤をコー

ティングする方法を考案したが、潜在的に腐食性の問題は残っている。

3. 7 小麦でんぷんブラスト方式

カナダの大手穀物製品メーカーであるOgilvie社が開発したEnvirostripと呼ぶ小麦でんぷん粒子をブラストメディアに利用する方法である。ブラスト装置はPMB装置をそのまま利用できる。Envirostripは、小麦を精製して結晶状に固めたでんぷん粒子でプラスチックメディアに比して硬度が低いためにはく離効率は多少劣るが、素材表面に損傷を与える可能性は小さいと言われている。

メディアメーカーであるOgilvie社は、このメディアは、板厚 0.4mm 程度の薄いアルミニウムに対して変形を与えることもなく、平滑な仕上げ面を得ることができ、かつクラック面の目つぶしの問題もない。また、プラスチックメディアほど回収はよくないが、再利用は可能であり、もちろん人体に無害であると述べている。

ボーイング社はこの方法でアルミの疲労試験などを実施中で、近くボーイング社の見解が出る見込みである。

3. 8 Flash Jet (Xenon Flash Lamp/ CO_2) 方式

前述のCold Jet社、Maxwell Lab.社およびダグラス社の3社が共同で開発した方法である。

Xenon Flash Lampのパルス発光による熱エネルギーで塗装を加熱し、次いで低圧のドライアイス（固体 CO_2 ）を噴射して素材の冷却と洗浄を行って塗装はく離を行う方法で特許申請中である。

3. 9 レーザー方式

レーザー光により、瞬間的に塗膜を熱分解し蒸発させて塗膜をはく離する方式にて、前述のXenon Flash Lamp方式と同様、素材への熱影響を低減させるためにパルスレーザー方式を採用している。現在、米国空軍との契約下でInternational Technical Associate (InTA)社とLaser Technologies社が開発を進めている。この方式では、実験の結果、アルミニウム、複合材ともに素材の損傷は心配ないと伝えられるが、陽極酸化アルミに対しては酸化皮膜に損傷を与え、母材アルミに亀裂発生の源を作る可能性があることが一部で指摘されて

図1 航空機の上面塗装面へのはく離剤の塗布

図3 航空機の側面のはく離剤塗布後のはく離状況

図2 塗料軟化後のはく離剤と塗料のかき落とし

いる。

4. 塗装方式の改善／塗膜軟化剤の動向

4.1 航空機用塗料（図1～3）

航空機用塗料は、耐候性、耐油性および耐食性が優れていることが必要であり、特に民間機の場合には作動油としてリン酸エステル系のものが使用されていることから溶剤・油類によく耐えることが要望されている。

また、航空機の外部塗装は4～5年間で現在塗り替えられており、航空機メーカーの規格では、これらの塗装は通常の化学はく離剤で容易にはく離できることが規定されているが、実際には強力なはく離剤を使用しても容易にはく離しないのがその実態である。

そこで、欧州の航空機メーカーは、通常のはく離剤（フェノールを含有しない）でも容易にはく

離できる塗装システムの研究を早くから塗料メーカーと共同で実施してきたのである。その例は次の通りである。

(1) 開発された塗装システムは、従来のように塗装を下地まで完全にはく離するものではなく、上層のみを通常のはく離剤で安定的にはく離する方式である。すなわち、下塗り（プライマー）と上塗り（トップコート）の間に中間塗料（インターメディエートコート）またはバリアー塗料と呼ばれる選択はく離性塗料を入れ、はく離はこのはく離用塗料まで行うというものである。前者ははく離剤が中間塗料までを侵し、中間塗料と上塗りが一緒にはく離するもの（ICI社）、後者はバリアー塗料が侵されず、上塗りのみをはく離するもの（Akzo社、Courtaulds社）である。しかしながら、この方式は依然として塩化メチレンをベースとしたはく離剤を使用することを前提としている。

(2) 一方、米国においては、米海軍が開発した低VOC、ノンクロメートのワンコート塗料である（米国連邦規格TT-P-2756適合品）。しかし、軍用機のためにリン酸エステル系の作動油の試験がなされていないため、この塗料をベースとして各塗料メーカーにて改善がなされている（DEFT社、Crown Metro社）。もちろん、この方式も塩化メチレンをベースとしたはく離剤を使用することを前提としているが、プライマーとトップコートがワンコートシステムになっているためにはく離がしやすい。

4.2 塗膜軟化剤

はく離剤メーカーにおいても、従来から塩化メ

チレンやフェノールなどの有害物を成分としない新しいはく離剤の開発に努力しているが、やはりはく離性能に格段の差を余儀なくされており、現状ははく離剤としてではなく軟化剤という形で、機械的、物理的はく離法と併用する方向で開発されている。次に、塗膜軟化剤とブラストによる組合せ方式を目標としての塗膜軟化剤に対する要求性能について述べてみると次の通りである。

(1) 人体に対する安全性

軟化剤を塗布する場合は、現状のペイントはく離剤の塗布作業と同じ労働環境であるから安全な薬剤で構成される必要がある。

(2) 環境公害性、廃棄物処理性

軟化剤を構成する成分は、現時点では法律上あるいはその他の条例などで問題視されていなくても、化学的にみて将来、環境に悪影響を与える恐れのある成分は極力含まないことが必要である。

(3) 消防法危険物の問題

軟化剤は消防法の危険物に該当しないことが望ましい。しかし、どうしても引火性が解消できず第4類危険物に該当する場合でも、取扱量の制限のゆるやかな第3石油類(引火点70~200℃)以上に分類されることが必要である。

(4) 貯蔵安定性

塗装はく離時の軟化剤の使用量は、塗装の状態や作業方法その他により一定していない。そのため在庫を余分に持つことになるので、長期間保管しても変質しないことが求められる。

(5) 塗装の軟化に対する性能

航空機に使用される塗装に対し後処理としてのブラストで十分に、しかも完全にはく離できるだけの軟化性能をもつ必要がある。特に少々のブラスト圧の変動があってもはく離性に問題がないことが要望される。

(6) 軟化時間に対する性能

軟化時間が短いほど良いが現在使用できる化学薬剤が相当に制約されることから、そんなに早く軟化する軟化剤は望めない。そこで、塗装はく離工程の作業時間帯に合わせた性能が得られること

が必要である。

(7) 軟化剤コスト

軟化剤に使用される原材料は簡単に入手でき、製造コストが安いことが望まれる。

(8) 軟化剤の作業性に対する要望

これについては、軟化剤の除去性、軟化剤の粘度(作業性とコストの面に関連する)、マスキング材に対する安全性、航空機材料に対する安全性、軟化剤使用後の再塗装性などが考えられる。

塗膜軟化剤については、各はく離剤メーカーが開発に努力している。メーカーとしては、Elf Atochem, BASF, McGean-Rohco, Brent Ardrex などである。一例をあげるとBASF社はN-メチル-2-ピロリドンをベースとした軟化剤を開発している。この場合は、二液型ウレタン系塗料のプライマーとトップコートに対して塗装面に塗布しそのままの状態にて12時間放置し、膨潤し、やわらかくなった塗膜を高圧水にて除去する方法である。また、McGean-Rohco社はベンジルアルコールをベースにした軟化剤を開発している。この場合はポリウレタン/エポキシアミド系の塗装面に対しては3時間で除去できると報告している。

5. おわりに

環境問題に対応したペイントはく離方式の最近の動向について記述した。今後とも塩化メチレン代替としての塗膜軟化剤の開発とともにブラスト方式との組合せにより新はく離方式の自動化の可能性につき検討し、より低コスト、高性能、無公害のはく離システムを検討する必要がある。

(1997-3-11 受理)

文 献

- 1) McGean-Rohco, Inc. Cee-Bee Division ; Pre-Forum Seminar (1995)
- 2) International Aerospace /Airline ; Plating and Metal Finishing Forum (SAE) (1995)