アルミニウム箔の接着とその応用

山本 政史*

Journal of Japan Institute of Light Metals, Vol. 49, No. 1 (1999), pp. 41-44

Adhesion of aluminum foil and its application

Masashi YAMAMOTO*

Keywords: aluminum foil, adhesive, residual oil, coating, impurity

1. はじめに

本解説では、アルミニウム箔自体の接着性に関する内容およびアルミニウム箔をベースにして、他の各種材料との積層体を形成する際の接着の応用について述べる。

アルミニウム箔は、一般的に鉄や銅のような金属に比べ、その表面が比較的安定であり、金属の中では、接着させやすい金属材料であると言える。

接着技術は、たかだか40年程の浅い歴史しか持たない合成高分子の飛躍的な開発に依存しているところが大いだが、アルミニウム箔についても、大いにその恩恵を受けている。アルミニウム箔の国内需要は、1997年度で年間約13万¹⁾トンであり、その約6割は何らかの形で、後加工にて他の材料と接着させる用途に利用されており、近年ますます用途が多様化している。我々の日常生活においても、アルミニウム箔を他の材料と接着させて、その特徴を大いに利用しているケースはいいたるところで見受けられる。

2. アルミニウム箔表面の性状

2.1 表面の濡れ張力と残油

アルミニウム箔は、その圧延時に圧延油として、鉱物油をベースにして、これに圧延性や潤滑性を付与する目的で酸、エステル、アルコール等の添加剤を加えている。したがって圧延終了時点では、アルミニウム箔表面にはある程度の油膜が存在しており、その油膜を除去するために焼なましを行う。(焼なましにはもう一つ、加工硬化したアルミニウム箔の軟質への調質という目的もある。)軟質箔へ調質せずに硬質箔のままで使用する場合があります、また例外的には、アルミニウム箔表面に少量の油を残しておく場合もある。

アルミニウム箔表面上の残油量とその表面張力(JIS-K6768の濡れ試験での検査方法に準拠)は、おおむね表1の通りである。

740 $\mu\text{N}/\text{cm}$ は、水の持つ表面張力であり、アルミニウム箔表面が、あらゆる他の物質に対して濡れやすいことを示している。我々はアルミニウム箔表面に、最終的に何らかの物質を接合する場合は、一般的な管理レベルとして、その表面が水濡れレベルを確保するように設定する。

表1 箔表面の残油量と表面張力の関係

残油量 (mg/m^2)	0~2	2~5	5~10	10~15
表面張力 ($\mu\text{N}/\text{cm}$)	740以上	740~540	540~400	400~300

後述するが、接着剤として親油性の高いタイプを使用する場合は、アルミニウム表面への接着剤の濡れに関しては、水濡れレベルを必ずしも必要としないが、より安定した接着力を求める場合は、やはり水濡れレベルに管理することが好ましい。

2.2 アルミニウム箔の表面清浄度

アルミニウム箔の接着性を高めるには、その表面を清浄な状態に保つ必要がある。そのために、アルミニウム箔表面に残った圧延油量やアルミニウム微粉のコントロールが必要である。

アルミニウム箔表面の圧延油は、焼なまし中に気化蒸発し、減少していく。焼なまし時の温度、時間などを配慮し、アルミニウム箔表面の残油量をコントロールしている。アルミニウム微粉は、圧延時にロールと箔表面の摩擦により生じるため、圧延条件を管理し、アルミニウム微粉が多くなりすぎないようにしている。

したがって、これらの工程条件を管理することにより、表面の清浄度を保ち、接着性に優れたアルミニウム箔表面を提供することが重要である。しかし、アルミニウム箔はその厚みが薄いために、特殊なケースを除いては、一般的には特別な洗浄は行わない。

3. アルミニウム箔の不純物

アルミニウム箔の不純物については、その圧延性および機械的強度特性の必要性から、Fe, Si, Cu, Mn, Mg 等が添加されている。

これらの不純物の中では、Mgのように、焼なまし時にアルミニウム箔表面に濃縮してくることにより、接着性を低下させるものがある。したがって、このMgについては、十分な管理が必要である。

* 東洋アルミニウム(株)加工箔生産部 (〒108-0014 東京都港区芝 4-1-23)。Toyo Aluminium k.k. (4-1-23. Shiba, Minato-ku, Tokyo 108-0014).

受理日：平成10年9月21日

4. アルミニウム箔への機能性付与とその応用²⁾

アルミニウム箔は表2に示す方法により印刷・コーティングしたり、紙、天然樹脂、合成樹脂等と積層することにより機能性を付与し、付加価値を高めている。その用途は年々多岐にわたるようになってきており、食品包装、医薬品包装、電気・電子材料を始めとする各種工業材料の包装およびその部品等に利用され、要求される性能も同様に多岐にわたる、また難易度も高くなってきている。

4.1 接着剤を使用しないもの

(1) 印刷

アルミニウム箔に印刷する場合は、グラビアロール方式による場合が圧倒的に多く、まれに医薬品包材で、フレキソ印刷を行う場合がある。

使用するインキは、その要求性能により使い分けるが、最も汎用的なインキは、ニトロセルロース (NC)/ポリアミド (PA) 系および塩-酢ビ共重合系である。又、耐熱性や隠ぺい力を必要とする場合は、塩化ゴム系や塩素化 PP (ポリプロピレン) 系のインキを使用する。ただしこの二系は、アルミニウム箔との接着性が乏しいため、下塗り剤として塩-酢ビ共重合+アクリル系樹脂を用いる。下塗り剤の塗布量は、 $0.5 \sim 1.0 \text{ g/m}^2$ で十分である。

アルミニウム箔への印刷インキの密着度合は、インキの乾燥条件のみならず、箔表面の残油量に依存する。一方、硬質アルミニウム箔を使用する用途では、印刷インキとして NC (ニトロセルロース)/ポリビニルブチラール系、エポキシ系、変性アクリル系等の焼付けタイプを用いるのが一般的である。実例として硬質箔は、医薬品の錠剤包材等で、プレスルーパック (略称 PTP) として使用されている。

(2) コーティング

アルミニウム箔表面へのコーティングの目的は多岐にわたり印刷インキの密着性向上 (PR コート)、印刷の保護および耐熱性向上 (OP コート)、防錆、滑性付与、ヒートシール性付与等がその主なものである。

コーティング方式は、印刷と同様にグラビア方式が主であり、厚膜を必要とする場合やコーティング膜のピンホールレスを目指す場合は、ダイレクトロールコート方式、リバースロールコート方式、ナイフコーター方式およびコンマコーター方式等が採用されている。

コート剤に使用する合成樹脂は、その目的・用途別に選択されるが、水溶液系と有機溶剤系に大別される。水溶液系では、アルミニウム箔表面の残油や清浄度の影響を受けやすく、場合によっては濡れ不良を生じ、接着不良を招く。その対策としては、箔表面の品質向上または水溶液に、表面張力が低くかつ水に親和性の高いアルコールを添加することも、しばしば行われる。

水溶液系は、さらに二系に分類され、エマルジョンタイプとディスパーションタイプがある。塗工工程において、前者は比較的安定であるのに対して、後者は分散樹脂の二次凝集が起こりやすく、塗工時に液循環に注意を払う必要がある。

一方、有機溶剤系のコーティング剤は最も多く使用されており、使用樹脂も多岐にわたる。用途別の代表的使用樹脂は表3のとおりである。

ヒートシールコート剤は、表3のように多種あり、その用

表2 アルミニウム箔への接着・積層方法

接着剤なし	①グラビア方式等による印刷 ②各種ロールによるコーティング ③熱ラミネート方式 ④Tダイによる直接樹脂押し出し
接着剤使用	①ウェットラミネーション ②ワックス・ホットメルトラミネーション ③ドライラミネーション (溶剤型、無溶剤型) ④Tダイによる樹脂押し出し (コート、ラミネート)

表3 有機溶剤系コーティング剤

(1) PR コート	①塩-酢ビ+アクリル系 ② NC 系
(2) OP コート	① NC 系 ②エポキシ系 ③アクリル系
(3) ヒートシールコート	①塩-酢ビ系 ②塩-酢ビ+アクリル系 ③酸変性ポリプロピレン系 ④ポリエステル系 ⑤エチレン-アクリル酸系 ⑥アイオノマー系

途および被着体により選択される。ほとんどの医薬品包装材料用は、アルミニウム箔との接着および被着体との接着が強いほど良好であるのに対し、食品包装材料用は、ヨーグルトやプリン、ゼリーといった嗜好品の容器蓋材に使用されるケースが、圧倒的に多く、適度の接着力が要求される。被着体の種類や包装機械のヒートシール条件が多岐にわたるため、製品個別の仕様に合わせたヒートシールコート剤を設計するケースが多いのが実情である。

ヒートシールコート剤を設計する際の重要項目として、被着体 (容器等) との接着後、剥離 (開封) する際にどの界面で剥離させるかということがある。一般的には、被着体界面もしくはその近傍で剥離させる設計が多いが、この場合は、剥離 (開封) 強度が、ヒートシール温度の影響を受けやすいという傾向があり、より安定した剥離 (開封) 強度を得るために、アルミニウム箔表面とヒートシールコート剤界面での剥離 (開封) 形態にすることもできる。ただし、この場合もアルミニウム箔表面の残油および清浄度に注意しなければ、安定した剥離 (開封) 強度を実現できない。

(3) 熱のみによるラミネート

ここでいうラミネートは、アルミニウム箔に熱接着性のある合成樹脂を、あらかじめフィルム状に成型しておき、そのフィルムを熱ラミネート方式で貼合するものである。対象となる合成樹脂は、エチレン-アクリル酸共重合樹脂、アイオノマー樹脂や酸変性 EVA (エチレン-酢酸ビニル共重合) 樹脂等である。

接着方法としては、アルミニウム箔を予熱しながら、熱ラミネートロールで、あらかじめ成型された熱接着性のあるフィルムと積層する。アルミニウム箔を予熱するため、箔表面に残油があったとしても、その過程で揮散しやすいため、十分な接着強度を得ることができる。この貼合製品の主な用途は、吸収性の高いサリチル酸メチルやメントール等の薬効成分入り医薬品包装材や香料・有機溶剤を含む芳香剤等の包装材に使用される。その理由は、後述する各種貼合用接着剤が、それらの内容物に対し、耐性が乏しく、本方法のような熱ラミネート法の方が、アルミニウム箔との初期接着性が高く、安定しているためである。

一般的に、アルミニウム箔を用いた包装材料は、そのバリア性においては、非常に優れているが、その反面上述のような透過性・侵食性の高い内容物の場合は、アルミニウム箔界面に溜まり、著しい接着力低下を招くため、十分注意が必要である。

(4) Tダイ方式による樹脂の直接押出し

上述の(3)と類似するが、本方法は接着剤を用いずにアルミニウム箔に直接合成樹脂層を積層するものである。使用樹脂や用途も同様である。本方法の特徴は薄膜を形成できること、およびあらかじめフィルム単体で成型することの困難な樹脂も成型し、積層できることである。

4.2 接着剤を使用するもの

(1) ウェットラミネーション

アルミニウム箔と他基材、特に紙との貼合においては、古くから行われている方法であり、その呼称のとおり、接着剤がウェットな状態でラミネートし、貼合した後に乾燥して、接着剤を固化安定させるものである。接着剤の塗布方法は、ロールコート方式が最もスタンダードであるが、外国製の加工機械では、グラビアロール方式を採用しているケースもある。

使用する接着剤は、酢酸ビニル系やアクリル系水性エマルジョンがほとんどであり、したがってアルミニウム箔表面の水に対する濡れ性の管理が重要であり、残油により、接着不良をもたらすことがある。硬質箔を使用せざるを得ない場合は、表面張力を低く調整したエチレン-アクリル酸系の自己乳化型水系エマルジョンを使用することができる。いずれにしても、ラミネート後の熱乾燥により、水分除去を十分に行わないと、ラミネート強度不足を招く。ラミネート製品の用途は、マーガリン、バター等の食品包材やタバコ等の嗜好品包材がある。

(2) ワックス・ホットメルトラミネーション

本方法も古くから行われており、天然および合成ワックスを溶融しながら、アルミニウム箔または他貼合基材にロールコート方式で塗布し、ラミネートするものである。本接着剤は、100%固形物であり、乾燥装置は必要としない。貼合基材は紙、セロファンフィルム、ポリエチレン (PE) フィルムおよびポリプロピレン (PP) フィルム等であり、その用途はチューイングガム、チョコレート、和洋菓子、固形調味料包装等の包装材に利用される。上述のウェットラミネーションに比べ、使用する接着剤が柔軟であるため、折込みにくい形状の食品等を包装する際の折曲げ適性に優れている。

接着剤が100%固形品かつ親油性であるため、アルミニウム箔への濡れは、上述のウェットラミネーションに比べ、適

表4 二液反応型接着剤 (主剤)

(A) ポリエーテル系	安価だが、性能は高くない。アルミニウムとの接着には、ほとんど使用しない。フィルム同志のラミネートに多用される。
(B) ポリエステル系	ポリエーテル系より高価だが性能も高く、汎用性あり。
(C) ポリエステル・ポリウレタン系	あらかじめポリウレタン化しており、最も高性能であり、ポリエステル系よりさらに耐性の必要な用途に用いる。

用範囲が広い。

(3) ドライラミネーション

アルミニウム箔と他基材との種々の積層方法の中で、最も多く利用されている方式であり、選択できる接着剤および積層基材の種類が多く、その用途も非常に多岐にわたる。

積層基材としては、紙、セロファンフィルムを始め、PE (ポリエチレン)、PP (ポリプロピレン)、PET (ポリエチレンテレフタレート)、NY (ナイロン)、EVA (エチレン-酢ビ共重合体)、EVOH (エチレン-ビニルアルコール共重合樹脂)、PVA (ポリビニルアルコール)、PAN (ポリアクリロニトリル)、Pst (ポリスチレン) 等の合成樹脂フィルムを使用する。

ドライラミネート用接着剤は、化学反応により硬化し、性能を出現させるものであり、湿気硬化による一液反応タイプと主剤と硬化剤からなる二液反応タイプがあるが、アルミニウム箔との接着では、その性能上、圧倒的に二液タイプが多く使用される。二液反応タイプの接着剤は、表4のように分類され、各主剤の末端OH基とイソシアネート系硬化剤との反応によりポリウレタン結合を形成するため、ポリウレタン接着剤と言われている。

ドライラミネート接着剤は、酢酸エチル、メチルエチルケトンやトルエン等の溶剤で希釈されているものがほとんどであるが、それに対して溶剤希釈していない無溶剤タイプの接着剤もある。しかし無溶剤タイプは、性能面で溶剤系に比べ劣るため、現在も限られた用途にしか使用されていない。

貼合方法としては、アルミニウム箔に接着剤を塗布するかもしくは、合成樹脂フィルムに塗布し、熱ラミネートロールで圧着する。その後、接着剤の反応を促進させるために、40~60℃雰囲気下で2~5日間養生する。

接着剤の塗布方法は、グラビアロールコート、ダイレクトロールコートまたはリバースロールコート方式であり、必要な塗布量により、塗布方法を選択する。

合成樹脂フィルムの内、極性基を持たないポリオレフィン系フィルムを貼合する際は、十分な表面濡れ性を確保する必要がある。一般的には、濡れ性が380 $\mu\text{N}/\text{cm}$ 以下になると接着剤の濡れが悪くなり、適切なラミネート強度を得ることができなくなる。その場合はラミネート工程の中で、コロナ放電処理等を合成樹脂フィルムに施した後、ラミネートする。

アルミニウム箔とドライラミネート接着剤の濡れは、接着

表5 AC 剤の種類と特徴

(イ) ポリエステル系	最も高性能であり、汎用性が高い。反応型接着剤であるため養生時間が必要。
(ロ) ポリエチレンイミン	水溶液タイプであり、硬化養生が不要。しかし耐水性に乏しく、用途は限定される。接着強度も(イ)に比べ低い。
(ハ) ポリブタジエン系	水溶液タイプであり、硬化養生が不要。しかし接着強度は(イ)より低く、耐性も低い。
(ニ) 有機チタン系	加水分解により接着が進行する。最も古いタイプのAC 剤であり、液管理が面倒なため、最近あまり使用されない。

剤の高い初期粘着性により、一般的に良好であるため、他のラミネート方式に比べ、問題になることが少ない。

ドライラミネート製品は、最もその用途が広く、医薬品・食品・工業製品包装の大部分および電子部品のパーツ等に利用され、低温～高温域での保存条件に対する耐性が高く、またボイル殺菌、レトルト殺菌食品包材等には好んで使用される。

(4) T ダイ方式による樹脂押出し

前述のドライラミネート方式は、あらかじめ成型した合成樹脂フィルム等を貼合するものであったが、本方式は接着剤(本ラミネート方式では、AC コート剤と呼ぶ)を介して、アルミニウム箔表面に直接、高温で溶融させた樹脂を押出し、積層したり、アルミニウム箔と他基材を、溶融樹脂でサ

ンドイッチするものである。

用いる接着剤を性能面でまとめると、表5 のようになるが、アルミニウム箔と接着させる場合は、ドライラミネート方式とはほぼ同じポリエステル系を用いることが多い。

アルミニウム箔と他基材をラミネートする樹脂としては、PE 樹脂が最も多く使用される。両基材にAC コート剤を塗布することは、押出加工機械の仕様上不可能であるため、その際はアルミニウム箔へ接着剤を塗布せずに、貼合せる。したがって、箔表面の残油および清浄度が、そのラミネート強度に影響を及ぼしやすいため、その管理が必要となる。PE 以外の積層樹脂としては、EVA, EMAA (エチレン-メタアクリル酸) 等があるが、それらはPE 層の上に押出すのが、通例である。

この積層方法による複合基材も、ドライラミネート法と同じように非常に多くの用途に利用される。しかし、高い層間ラミネート強度や耐熱性を必要とする用途には、使用できない場合がある。

5. おわりに

アルミニウム箔に関する接着の歴史は決して浅いものではなく、その用途が広がるにつれて、新しい接着技術や接着剤が開発されて、我々はその恩恵を受けてきた。しかしながら、昨今の環境問題とりわけゴミ処理問題については、容器包装リサイクル法等の制定に伴い、アルミニウム箔についてもより一層、環境への配慮が必要となってきた。今後は接着させるだけでなく、使用済になれば、他基材との分離が可能な新しい接着技術や接着剤の開発も必要になってくると思われる。

参 考 文 献

- 1) アルミニウム箔懇話会資料 (1998.6).
- 2) 加工技術研究会編：最新ラミネート加工便覧, (1989).