

接着剤の利用における開発, 評価と工程管理

(2)

原 賀 康 介

〔三菱電機(株)材料デバイス研究所〕

はじめに

接着剤で製造された製品の接着性能の良否の判定はきわめて困難である。そのため、接着を用いる場合には製造工程の各プロセスにおける管理が非常に重要となる。ところが接着プロセスの工程管理は人手に頼るところが多く、信頼性、コスト面で問題が多い。

また、工程管理で最適条件に管理できるプロセスは良いが、例えば、被着材料自体の“バラツキ”が大きいため接着特性がバラツクような場合には、接着工程の管理だけでは対応できず、被着材料の全数検査により不良品を除くことが必要となり歩留りの低下につながることになる。

また、日本は四季の変化が激しいため季節により接着性能が変化し、時として良品が全く得られなくなることもある。このような場合には既存工程の管理だけでは対応できず、製造プロセスや設備面の見直しをせまられることとなる。

そこで、容易な工程管理でしかも信頼性の高い製品を作るための基本を我々は次のように考えている。まず、開発段階で接着の特性や製品の特性に影響する要因を洗い出す。次に、各要因の影響度をできるだけ小さくするように材料(被着材料、表面状態、接着剤など)、部品の構造や精度、製造工程、設備などを最適化する。さらに、製造工程内の個々のプロセスについて、最適条件と許容限界条件を明確にし、つねに許容範囲に入るように設備的に対応する。

以下に、開発段階での検討および接着工程の管理について、エレベーターの意匠パネル製造を例に説明する。

1. エレベーターの意匠パネル

1.1 機能と構造

ここで説明するエレベーターの意匠パネルとは、図1に示すカゴ室の壁、扉、乗り場の扉をさす。これら

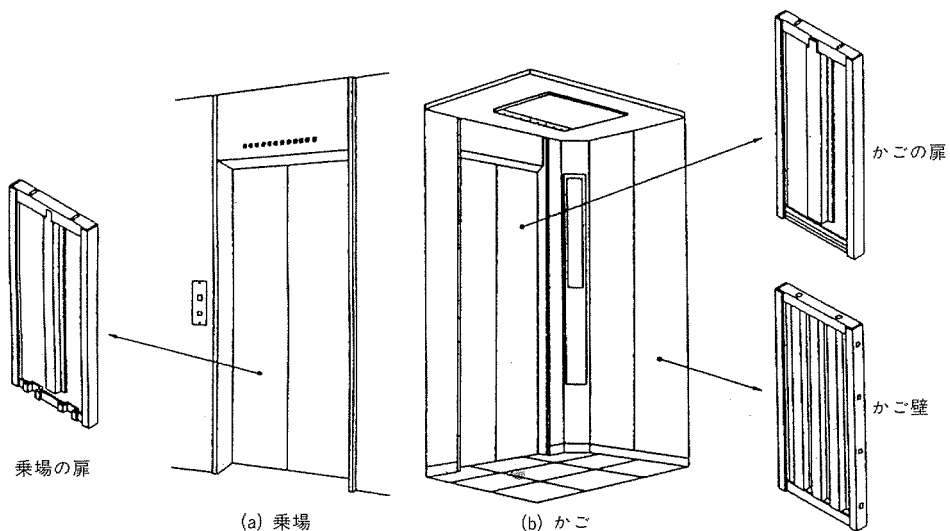


図1 エレベーターの意匠パネルの種類と構造

の意匠パネルは、歪みや接合痕などがない高度な平坦度と意匠性はもちろん、構造体として十分な強度と剛性、耐振性、防音性、軽量性も要求される。このため、「意匠パネル」は図1に示すように、「意匠板」の裏面に「補強材」が接着される構造となっている。

これらの意匠パネルは、近年の高級化指向の高まりにつれて意匠・寸法仕様の多様化が著しく、典型的な多品種少量生産品である。代表的な意匠板の種類としては塩ビ化粧鋼板、ステンレス鋼板、鋼板の塗装仕上げなどがある。

補強構造については、効率のよい多品種少量生産、軽量化、接着のしやすさなどの点から、軽量で剛性の高いコルゲート状補強材を全面的に採用している。材料は亜鉛めっき鋼板の薄板を使用している。接着剤は、多種類の意匠板に対応できるように、焼き付け塗装にも耐える耐熱性、塩ビ鋼板のような熱に弱い意匠板にも影響のない低温硬化性、各種材料に対する優れた接着強度と耐久性、薄板でも歪みの出ない低硬化収縮性、されに、優れた作業性などの特徴を有した2液形構造用ウレタン系接着剤と速乾性プライマーを新たに開発して使用している。

表1に構造用ウレタン系接着剤の各種の材料におけるせん断接着強度、はく離接着強度、破壊状態を示した。塩ビ鋼板、亜鉛めっき鋼板はプライマーを塗布しないで接着し、鋼板、ステンレス鋼板はプライマーを塗布して接着する。

比較のためにプライマーを塗布しない場合の結果も示した。この結果より、鋼板、ステンレス鋼板におけるプライマーの塗布効果は非常に大きく、いずれの材料においても優れた接着強度と破壊状態が得られていることがわかる。

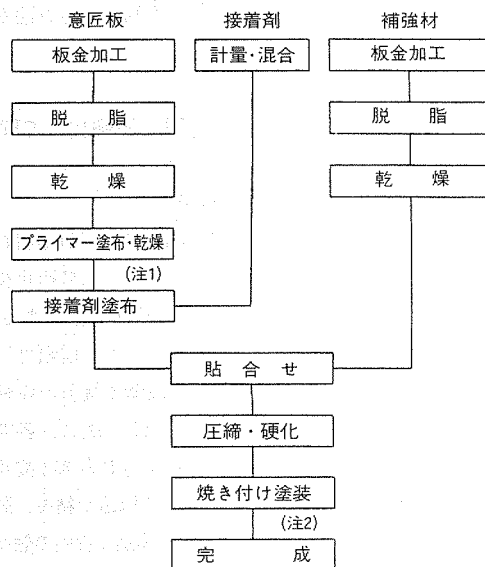
表1 各種の材料における接着強度と破壊状態

被着材料	プライマー	はく離接着強度 (kgf/25mm)	せん断接着強度 (kgf/cm ²)	破壊状態
鋼板	有り	20~26	241~306	凝集破壊
	無し	0	110	界面破壊
ステンレス	有り	15~19	260~315	凝集破壊
	無し	0	153	界面破壊
塩ビ鋼板	無し	20~26	210~259	凝集破壊
亜鉛メッキ鋼板	無し	15~21	198~257	凝集破壊

オープンタイム：5分、すべて焼き付け塗装なし

1.2 製造工程

図2に製造工程を示した。各種の材質、形状・寸法のパネルが同一ラインで製造される。ライン全体はコンピュータによる集中管理がなされており、ラインサイドに作業者の姿はほとんど見られない。



(注1) 鋼板、ステンレス鋼板のみ
(注2) 鋼板のみ

図2 構造用ウレタン系接着剤によるエレベーター意匠パネルの製造工程

プライマーは鋼板、ステンレス鋼板のみにスプレー塗布され、塩ビ鋼板、亜鉛めっき鋼板には塗布されない。

接着剤は、図3に示す専用の塗布ロボットにより塗布されるが、接着部の形状・寸法はパネルによって千差万別であり、接着剤の塗布パターン、吐出量はパネルごとに異なっている。接着剤硬化後の焼き付け塗装は鋼板製パネルのみである。

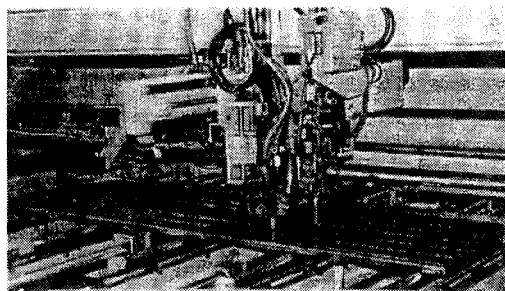


図3 接着剤塗布ロボット

このように、意匠板の材質や接着部の形状・寸法により、プライマーの塗布の要否、接着剤の塗布パターン、塗布量、貼合せる補強材の種類、塗装の要否が異なる。このような変化に対しては、意匠板の一部に設けたパンチ穴から部品コードを読み取りコンピューターでプライマー塗布装置、接着剤塗布装置、補強材供給装置、塗布ラインへの移載装置などを制御する方法がとられている。

2. 接着特性に影響する諸要因と最適化、工程管理

2.1 接着特性に影響する諸要因

表2に接着特性に影響する諸要因を使用される材料別に示した。表の上段は開発段階で抽出され最適化検討がなされた要因、下段はラインでの管理項目である。

先にも述べたが、容易な工程管理でしかも信頼性の高い製品を作るためにはまず、開発段階で接着の特性や製品の特性に影響する要因を洗い出し、次に、各要因の影響度をできるだけ小さくするように材料(被着材料、表面状態、接着剤など)、部品の構造や精度、製造工程、設備などを最適化、さらに、製造工程内の個々のプロセスについて、最適条件と許容限界条件を明確にし、つねに許容範囲に入るように設備的に対応することが基本である。

表2からも開発段階で抽出・最適化検討された項目が非常に多く、その結果ラインでの管理項目が少なく

なっていることがわかる。以下に、開発段階での最適化検討とラインでの管理について具体的に示す。

2.2 被着材料

被着材料については、開発段階で材質を十分に検討することにより、接着剤の持つ性能を最大に発揮させ、“バラツキ”が少なく優れた接着特性が容易に得られるようになるので、接着工程では簡単な脱脂だけでよく、特殊な表面処理や表面状態の管理は不要となる。

補強材には亜鉛めっき鋼板を用いるが、亜鉛めっき鋼板にはめっきやめっき後処理の種類により非常に多くのものがある。また、同種の亜鉛めっき鋼板といえどもメーカーが異なるとかなりの違いがある。表3に比較検討した各種の亜鉛めっき鋼板の室温と低温におけるはくり接着強度と破壊状態を示した。

塩ビ化粧鋼板は片面のみ塩ビフィルムが接着されており、補強材が接着される裏面は亜鉛めっき鋼板の上に有機コーティング材料がコーティングされている。塩ビ化粧鋼板については有機コーティング材料について検討した。

表4に2種類のコーティング材料について、室温から低温におけるはく離接着強度と破壊状態を示した。低温における特性に大きな差があることがわかる。

被着材料の選定においては材料のロットや保管条件などによる“バラツキ”の評価も重要である。1回だけの評価で決定すると思わぬ失敗をすることがある。表5に、普通クロメート処理電機亜鉛めっき鋼板の再

表2 接着特性に影響する諸要因

	部品材料・構造	脱脂剤	プライマー	接着剤
開発段階抽出での検討要因	最適材質 部品の構造 部品の判別装置	脱脂の程度 最適脱脂剤 脱脂条件 乾燥条件 接着までの時間	最適組成 保管条件 塗布量 塗布有無確認法 接着までの時間	最適組成 保管条件 配合比 混合の程度 吐出量 ポットライフ 塗布状態確認法 オープンタイム 接着層厚さ 硬化条件 接着作業環境
ライン管理で項目	出荷検査 受入検査	液管理	出荷検査 受入検査 保管管理 塗布機管理	出荷検査 受入検査 保管管理 計量混合塗布機管理 作業環境 オープンタイム

表3 各種の亜鉛めっき鋼板の接着特性の比較

めっきの種類	めっき後処理	メーカー	はく離接着強度(kgf/25mm)と破壊状態	
			+25°C	-20°C
溶融亜鉛	普通クロメート	A	20 界面	8 界面
		B	17 界面	0 界面
		F	11 界面	0 界面+P
電気亜鉛	特殊クロメート	F	20 界面+凝集	6 界面+P
		F	0 界面	0 界面
	普通クロメート	D	0 界面	0 界面
		D	5 界面	0 界面
		F	11 界面+凝集	12 凝集+界面
		F	20 凝集	21 凝集
リン酸塩処理	F	16 凝集+界面	15 界面+凝集	
	D	0 界面	0 界面	
Fe-Znアロイ化合金	特殊クロメート	E	22 界面+凝集	0 全面P
		F	0 全面P	0 全面P
合金	特殊処理	E	30 凝集	28 凝集

P: めっきと素材鋼板間での破壊

表4 塩ビ化粧鋼板のコーティング材料による接着特性の比較

コーティング材	測定温度(°C)	はく離接着強度(kgf/25mm)	破壊状態
A	-20°C	4	界面, クラック発生
	-10°C	7	界面, クラック発生
	0°C	12	凝集+界面, クラック発生
	+25°C	17	凝集
B	-20°C	18	凝集
	-10°C	16	凝集
	0°C	19	凝集
	+25°C	23	凝集

表5 普通クロメート処理電気亜鉛めっき鋼板の接着強度の再現性

試験回数	せん断接着強度(kgf/cm ²)		はく離接着強度(kgf/25mm)	
	25°C	60°C	25°C	-20°C
1	156	119	15	16
2	164	50	11	12
3	41	19		

現試験の結果を示す。試験ごとに特性が大きく変化している。図4には、塩ビ化粧鋼板(コーティング材料B)における接着強度の再現性を示した。非常に安定した特性を示している。

2.3 プライマー

鋼板とステンレス鋼板ではプライマーが必要である。

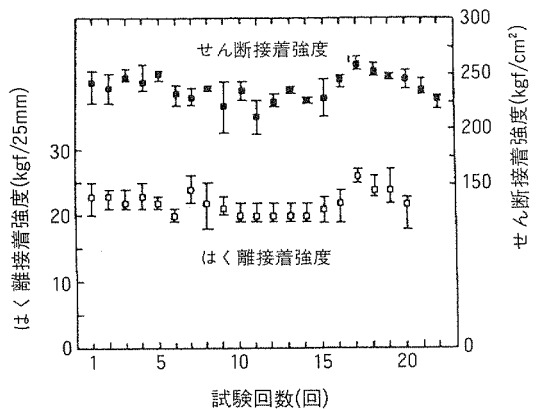


図4 塩ビ化粧鋼板(コーティング材料B)の接着強度の再現性

プライマーの塗布量は接着特性に大きく影響する。

図5にプライマーの塗布量とはく離接着強度および破壊状態の関係の模式図を示した。横軸は最大強度を示す点を1とした比率で示してある。この図より、塗布量は0.5から1.0の範囲に管理すべきことがわかるが、塗布量1.0でもサブミクロンの厚みであり、このような微量を広い面積に均一に塗布するためには高度な塗布装置と装置の厳密な管理が必要となる。

そこで、本ラインではプライマーの濃度を薄くして簡単なスプレー塗布装置で多量に塗布することにより、適正塗布量が容易に得られ、装置の管理も非常に容易になっている。例えば、濃度を1/2にすると適正塗布量は1.0から2.0となり、1/4にすると2.0から4.0

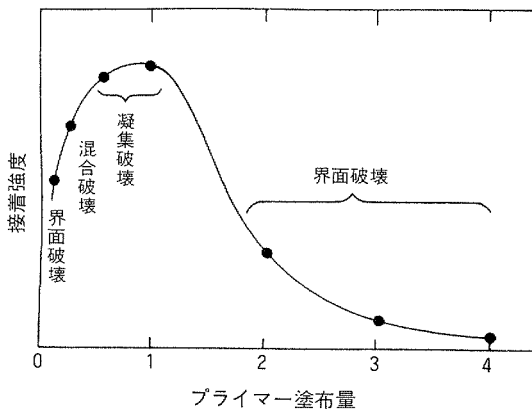


図5 プライマーの塗布量と接着特性の関係(模式図)

となる。

プライマーの乾燥は短時間の風乾だけである。プライマー塗布から接着剤塗布までの時間は一般に接着特性に影響を及ぼすが、本ラインでは塗布、乾燥後2週間程度放置しても接着特性が低下しないプライマーを使用しているため、時間管理は不要である。

2.4 接着剤

2液形接着剤の計量・混合・塗布装置は、一般に温度変化による粘度変化や配管の“つまり”などによる配合比や吐出量の変動やミキシングヘッド内での接着剤のゲル化などが問題であり管理が重要である。

また、部品ごとに吐出量を変化させることも容易ではない。これらの問題に対しては、流量計による主剤、硬化剤のインライン流量計測によりギアポンプの回転数を自動調整する方法をとっており、配合比と吐出量は常に最適値に保たれている。もし許容範囲からはずれると警報が鳴り自動停止する。ゲル化に対してはタイマーによる警報と自動洗浄がなされる。これらの対応により装置の管理は非常に容易である。

主剤・硬化剤の配合比と接着強度の関係は、図6に示すように、最大強度が得られる値を中心として、主剤、硬化剤側に対称ではない場合が多い。そこで、最適配合比は、図6に示すように、高い接着剤強度が得られてしかも許容範囲が広くとれる値に設定している。

最大強度点で設定すると、許容範囲の設定は狭い方で規制されるため管理が困難となる。また、せん断接着強度やはく離接着強度など強度測定の方法によっても配合比と接着強度の関係は異なるため、この点も考慮して最適配合比と許容範囲を決定している。

接着剤の塗布から補強材の貼合せまでの環境(温度、

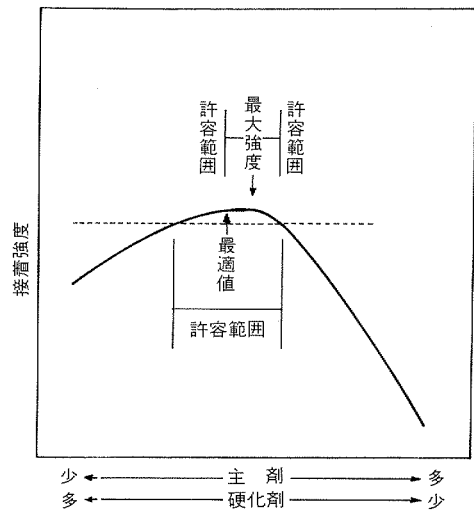


図6 最適配合比と許容範囲(模式図)

湿度)とオープンタイムは接着特性に大きく影響する。特に本ラインの接着剤はウレタン系であるため水分により発泡し接着特性が低下する。図7に発泡の程度とせん断接着強度の関係を示す。

発泡は湿度が高いほど、オープンタイムが長いほど多くなる。接着剤の組成面で水分の影響を受けにくくしてあるが、水分による発泡は接着剤だけでは解決できないため、接着剤の塗布から補強材の貼合せ・圧縮

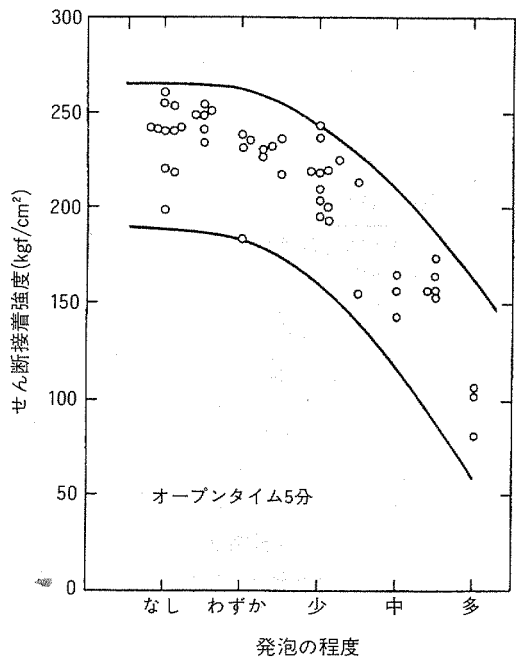


図7 発泡の程度とせん断接着強度

までの工程は温度、湿度が管理された接着室内で行っている。

許容オープンタイムは温度よりも湿度による制約が大きいため、湿度は絶対湿度で管理され、絶対湿度が許容限界を越えると警報が鳴る。一方、オープンタイムは塗布装置のアンゲルタイマーと連動して時間管理を行っている。補強材の貼合せ工程ではプライマーの塗布状態、接着剤の混合状態や塗布状態の目視検査も同時に行うため人手による作業となっている。

接着剤やプライマーは、先入先出が行いやすい温度管理された専用の保管庫に貯蔵されており、容器のラベルには有効期限が明示されている。接着剤塗布装置のタンクに接着剤を供給する際に主剤と硬化剤を間違わないようにするために、タンクに主剤と硬化剤の名称を大きく明確に表示すると共に、投入用の器具を専用化してすぐに識別できるように工夫されている。

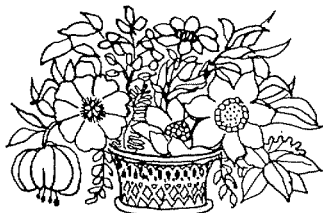
おわりに

エレベーターの意匠パネル製造を例に、開発段階での抽出要因に対する最適化検討および接着工程の管理について説明した。開発段階での十分な検討がラインでの工程管理を容易にし、信頼性の高い製品を生み出す基本であることを忘れてはならない。

なお本稿は末尾記載文献のほか、日本粘着テープ工業会技術部会・主催の、“粘着技術研究会(第13回)”(1992年10月)で、筆者が講演を行った内容を補ったものである。当時の関係各位に改めて感謝の意を表したい。

参考文献

- 1) 原賀康介, 西川哲也, 山本和美, 服部勝利, 勢力峰生, 三菱電機技報, 64(3), 81(1990).



好評発売中

わかりやすい 接着の基礎理論

井本 稔 著

四六判・228頁・定価 2,060円

『なぜ接着するのか』をながい間追い求めてきた著者が、表面張力と界面張力の本質の解明に力点をおき、難解と言われる接着理論をその根本から、具体的に、わかりやすく解説する。

目 次

第一章 序 論

第二章 水のこと

第三章 水はガラスを濡らす

第四章 この固体を接着させるもの

第五章 接着の姿

発行所 高分子刊行会

〒602 京都市上京区智恵光院丸太町下ル
TEL (075)841-4455 振替 京都 2-3453