

高強度低比重アンダーボディコートの開発

Application of High Strength, Low specific Gravity Under Body Coat for Automobile

小 松 泰 典* 上 村 純 二* 鈴 木 英 治*
 Yasunori Komatsu Junji Kamimura Eiji Suzuki

植 木 光 彦*
 Mitsuhiko Ueki

要 旨

自動車の床裏、及びホイールハウスにはチッピングダメージとそれによる素地傷部からの錆広がりを抑えるために、塩化ビニルゾル系アンダーコート（PVC 塗膜）が適用されてきた。本開発では、その下地密着強度を充分確保したうえで、高塗膜強度と高い塗膜伸び率を得ることにより、厚膜にすることなく耐チッピング性能を向上させた。また成分中に樹脂バルーンを添加することにより乾燥塗膜比重を 1.0 以下とし、従来材料に比べて完成車重量で約 2 kg の軽量化を可能とした。

ABSTRACT

The existing poly-vinyl chloride (PVC) underbody coating was specifically designed for the automotive underfloor to prevent chipping damage as well as the initiation of rust propagation from a scratched point.

This paper presents the development of a new PVC coating which provides superior anti-chipping performance without increasing film thickness of the PVC by achieving higher tensile strength and elongation with adequate peeling strength. By incorporating plastic balloons in the PVC formulation, the dried film has a specific gravity of less than 1.0, thereby achieving a 2 kg weight reduction as compared with the conventional materials for underbody coating.

1. ま え が き

自動車の床裏等のアンダーボディは、砂利や凍結防止剤が散布された道路に於けるチッピングダメージと、それによる傷付き部からの錆広がり抑制するために各種の対応が施されてきた。(Table 1 参照) そして、ダメージの厳しい部位には塩化ビニル系のアンダーコートが多用されている。また、Fig. 1 に示すように、ボディ全体の塗装材料のうち、アンダーコートの占めるウェイト比は 20% 以上で、制振材と同様高い占有率となっている。自動車の燃費改善が求められている現在、重量低減は最も期待出来る手法の一つであり、塗装材料についても近年軽量化の試みがなされつつある。本報では軽量化と高性能化の両方を満足するアンダーコートの開発を紹介する。

Table 1 Typical Rust Prevention System of Underbody Coats for Automobile

Area of Usage Maker	Underfloor		Wheelhouse		Sidesill	
	Substrate Material	Protection Coating	Substrate Material	Protection Coating	Substrate Material	Protection Coating
Company A	GA	PVC+WAX	GA	PVC+WAX	GA	PB/6NY PVC
Company B	GA	PVC+WAX	GA	PVC+WAX	GA	PVC PU UP
Company C	CR	PVC+WAX	CR	PVC+WAX	CR	PVC PU PB/6NY
Company D	GI	WAX	GI	PVC+WAX	CR	PVC

[Substrate Material]

・GA; Galvanneal
 ・GI; Galvanized
 ・CR; Cold Roll Steel

[Protection Coating]

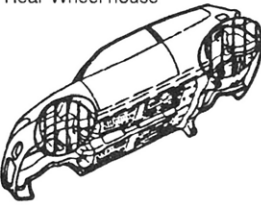
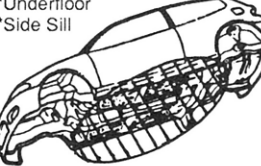
・PVC ; PVC Plastisol Type Undercoat
 ・PU ; Polyurethane Type Undercoat
 ・UP ; Polyester Type Undercoat
 ・PB / 6NY ; Plastic Board / Nylon-6

2. 要 求 特 性

自動車のアンダーコートには次の基本特性と材料特性が求められる。

* 栃木研究所

Table 2 Types of Chipping Damage Typically Found

Type	Area of Chipping Exposure	Types of Chipping Damage
No Significant Damage		 Coating Film Substrate Material Chipping Energy of Stone < Resistance of Film Coating
Chipping-peeling	*Front Wheel house *Rear Wheel house 	 Chipping Energy of Stone > Resistance of Film Coating
		 Chipping Energy of Stone >> Resistance of Film Coating
Wearing	*Underfloor *Side Sill 	 Total Energy of stone Bombardment $\times n$ > Resistance of Film Coating

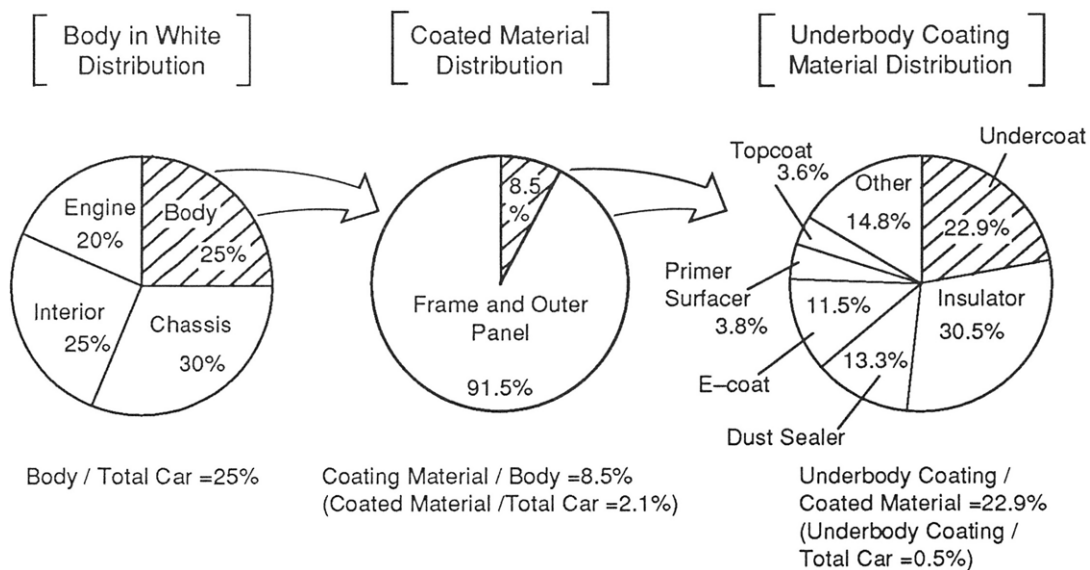


Fig. 1 Weight Percent of Underbody Coating Typically Used (Compact Car Size)

(1) 耐チップング性

○低温環境に於ける塗膜柔軟性の維持

(2) 下地塗膜への影響

○可塑剤等のマイグレーション (移行) 防止

○内部応力を抑制し下地塗膜との密着力の確保

(3) 防水性及び防食性

○板合わせ部のシーリング性の確保

(4) 音特性

○制振性の確保

3. 市場のチップングダメージ形態

Table 2 は市場に於けるチップングダメージ形態を示

したもので、大きく二つに区分される。ホイールハウスのように比較的大きな飛石衝撃エネルギーが塗膜破断エネルギーを超えて生じる塗膜剥離（ピーリング）と、フロアのように小さな衝撃エネルギーがフロア面に低角度で当たる摩耗に分けられる。これらをシミュレートし、評価するため Fig. 2 のグラベロメータ試験機を用いて Table 3 に示すテスト条件下で評価を行った。

4. アンダーコートの膜厚とチップングダメージ

塩化ビニル系ゾル膜厚に対する耐チップング性能とボディ塗布重量の関係を Fig. 3 に示す。現行材料で塗布膜厚 500 μm の場合、耐チップング性能は Table 3 に示す評点 3 で、ボディ端部でかなりのダメージを受ける。その際、膜厚を 1000 μm まで増加すればそのダメージは無くなるが塗布重量は 7~8Kg 増加する。従って、材料の改質により厚膜にすることなく性能を向上させ、更に低比重化を図り、高い塗膜物性の確保、つまり高物性化と軽量化の両立を新規開発材の目標とした。

5. 高物性化と軽量化

5.1. 塩化ビニル系樹脂

アンダーコートの主成分は、塩化ビニル酢酸ビニルを共重合させており、その配合量は低温下での耐チップング性能を確保するために 25% 以上、塗装作業時の適度な粘性を維持するため 45% 以下の範囲とした。Fig. 4 に示す様にこの共重合体の重合度が大きくなればある程度の塗膜強度は得られるが、現状のライン焼付け温度（140~150℃ × 20~30 分）では加熱硬化に限界がある。従って酢酸ビニル樹脂の添加量を適正化（7~9wt%）することにより加熱硬化を容易にし、目標の耐チップング性能の得られる重合度（1700~1900）を見い出した。更に、加熱硬化特性と貯蔵安定性を両立させるために可塑剤の分子量の調整を行った。

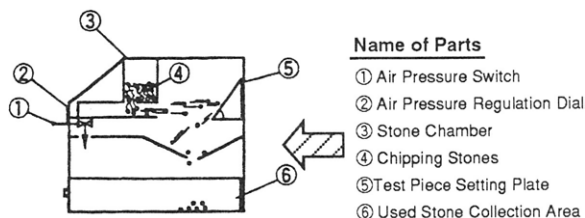


Fig. 2 Operation Method of Gravelometer Apparatus

Table 3 Test Methods for Simulation of Chipping Damage

(1). Chipping Resistance Test

Item	Condition
Test Apparatus	Gravelometer (SAE J 40)
Air Pressure	0.49 MPa
Stone Size	JIS#6 5 ~13mm
Shot Angle	45°
Test Temperature	-30°C
Judgment Standards	<Level> 5 — No Significant Damage 4 — Damage Around Test Piece 3 — Large Damage Around Test Piece Edges Only 2 — Severe Edge Damage + Damage to overall PVC Surface 1 — Severe Edge Damage + Severe Damage to Overall PVC Surface

(2). Wearing Resistance Test

Item	Condition
Test Apparatus	Gravelometer (SAE J 40)
Air Pressure	0.29 MPa
Stone Size	JIS#7 2.5 ~ 5mm
Shot Angle	45°
Test Temperature	20°C
Judgment Standards	The weight of stones required to wear the PVC coating to the initial condition of E-coat exposure at an exact moment will be regarded as the level of wearing resistance.

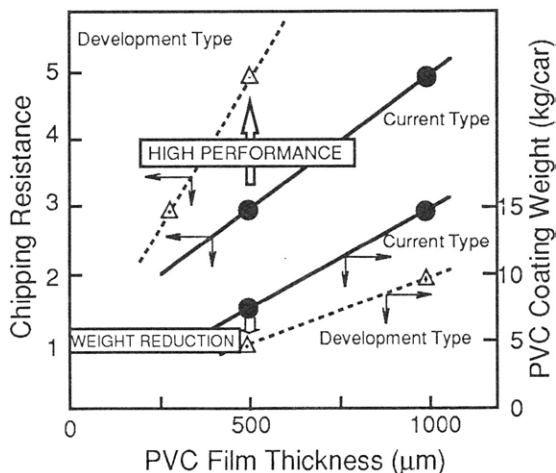


Fig. 3 Chipping Resistance and Film Coating Weight vs. Film Thickness

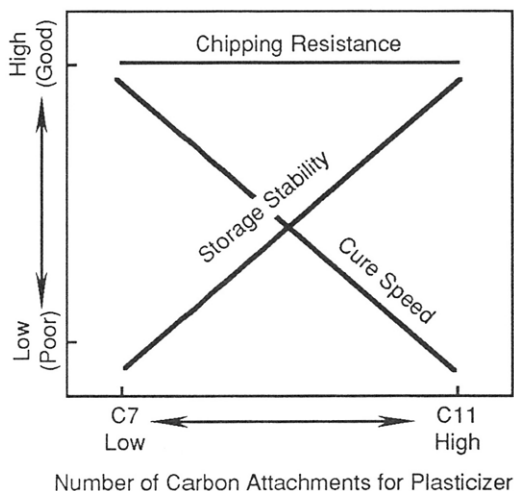
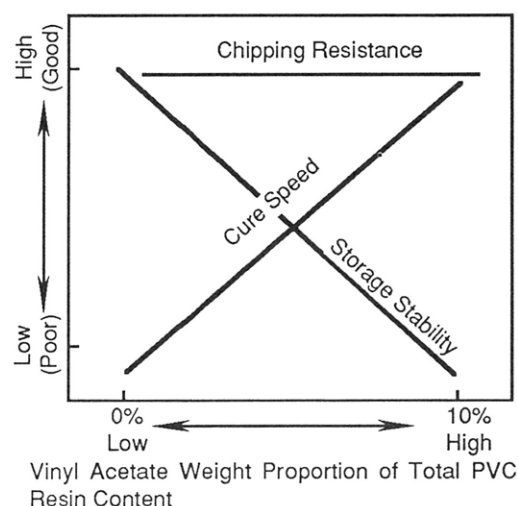
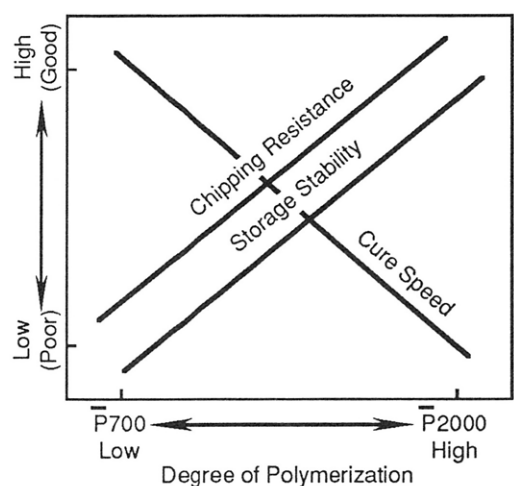
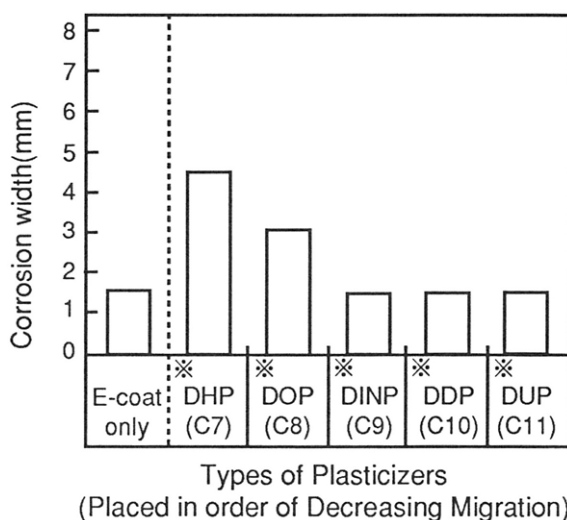


Fig. 4 Properties of PVC Components and Their Relation to Film Performance Level

5.2. 可塑剤

可塑剤は低温下の塗膜柔軟性を得るため、一次可塑剤の他に脂肪族二塩基酸エステルを二次可塑剤として使用した。可塑剤の分子量は高過ぎると加熱硬化特性が悪く充分な塗膜性能が得られず、低過ぎると下地塗膜への移行（マイグレーション）による密着阻害、焼付け乾燥炉でのヤニ発生を引き起こす。Fig. 5 はアンダーコート中の可塑剤の種類に対するカチオン電着塗膜（ED 塗膜）の密着阻害を評価するために、55℃で5wt%の塩水溶液中へ連続浸漬した後のED塗膜の錆広がり度合いを示したものであり、分子量の高い材料の方が移行がおこりにくく密着阻害を引きおこしにくいことが分かる。その結果を基に一次可塑剤として下地塗膜への移行を生じにくいフタル酸ジイソノニル（DINP）を、二次可塑剤として低温塗膜柔軟性を確保するアジピン酸ジイソノニル（DINA）を選んだ。



記号* の説明
 ED 塗膜：カチオン電着塗膜
 DHP：フタル酸ジヘプチル
 DOP：フタル酸ジオクチル
 DINP：フタル酸ジイソノニル
 DDP：フタル酸ジデシル
 DUP：フタル酸ジウンデシル
 DINA：アジピン酸ジイソノニル

Fig. 5 Corrosion Performance of Different Plasticizers using Hot Salt Water Resistance Test

Table 4 Adhesion Performance of Various Adhesion Promoter Formulations

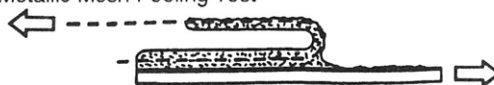
Sample	Test Method Type of Promoter	① Standard	Adhesion Tests			
			② Heat Resistance 80°C x 240hr	③ Humidity Resistance 50°C RH95% x 240hr	④ Water Resistance 40°C x 240hr	⑤ Hot Salt Water Resistance 5%NaCl 55°C x 240hr
A	No Promoter Used	△	×	×	×	×
B	Polyamide only	○	○	△	×	×
C	Polyamide + Blocked Isocyanate	○	○	○	○	○

[PVC Plastisol Contents]

- PVC Type Resin ——— 35%
- Plasticizer (DINP) ——— 35%
- Filler (Inorganic Filler) ——— 30%

[Adhesion Resistance Test Method]

•Metallic Mesh Peeling Test



Judgment Standards

- Cohesive Failure in PVC Only
- △----Partial Adhesive and Cohesive Failure
- ×----Adhesive Failure Between PVC and E-coat

5.3. 接着付与剤

塩化ビニル系ゾル塗膜は下地塗膜への密着力を確保するため接着付与剤を添加するが、Table 4 に示す様に通常のポリアミド樹脂のみでは耐水性に弱く密着力の低下を起こす。従って、接着付与剤としてはポリアミド樹脂の他に強い結合反応が得られるブロックダイソシアネート樹脂を併用した。

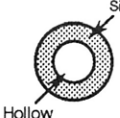
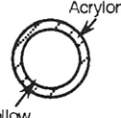
5.4. 軽量化添加剤

塗膜の軽量化（低比重化）を達成するため、低比重でかつ耐圧性、耐熱性、耐溶剤安定性に優れたプラスチックバルーンを適用した。従来、無機シリケートガラスバルーンを適用してきたが、Table 5 に示す様にプラスチックバルーンは真比重が極めて低いためその添加による軽量化効果が大きく、また、Fig. 6 に示す様に塗膜強度及び伸びの塗膜物性もバルーン添加量に対してガラスバルーンより落ちにくいことが分かる。

5.5. その他の添加剤

無機質充填剤は表面処理をした炭酸カルシウムを作業性（スプレー性、タレ性等）と比重のバランスを考えて適量を添加した。その他、水分による発泡防止用の吸湿剤、作業時の垂れ止め用チクソトロピー付与剤、粘度を適性にする溶剤を若干加えた。

Table 5 Comparison of Balloon Materials

Item	Glass Balloon	Plastic Balloon
Material	Silicate	Acrylonitril
Average Balloon Diameter	70μm(MAx150μm)	70μm(MAx130μm)
Specific Gravity	0.37	0.02
External Pressure Limit	28MPa	29MPa
Melting Temperature	715°C Exceeds Specifications	180°C Exceeds Specifications
Balloon Structure		

6. 高物性塩化ビニル系ゾル塗膜

6.1. 耐チッピング性に影響する塗膜物性

前述したチッピングダメージの一つであるチッピング剝離（ピーリング）現象に対する塗膜物性の影響は、Fig. 7 に示すように抗張力を高くすれば耐チッピング性は良くなる傾向にある。これは塗膜破断が起きにくくなり耐チッピング性能が向上すると考えられる。一方、

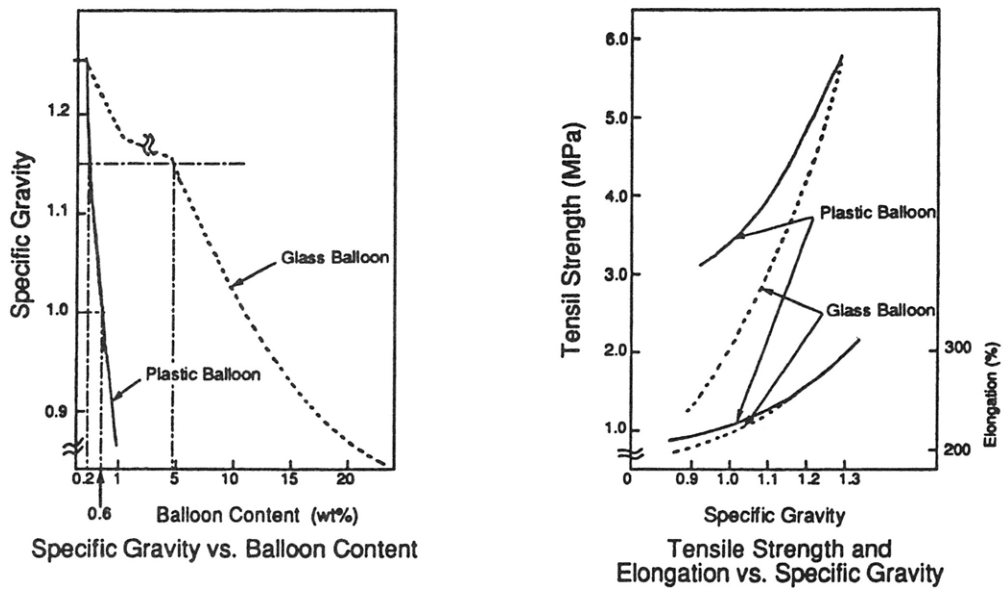


Fig. 6 Plastic Balloon vs. Glass Balloon

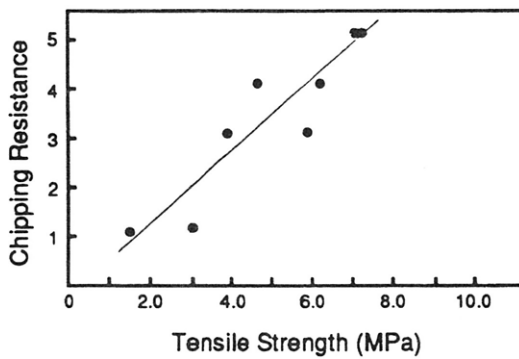


Fig. 7 Chipping Resistance vs. Tensile Strength

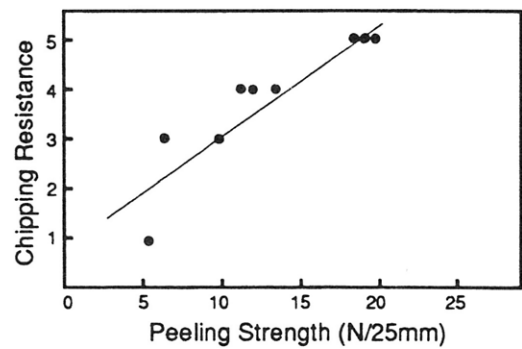


Fig. 8 Chipping Resistance vs. Peeling Strength

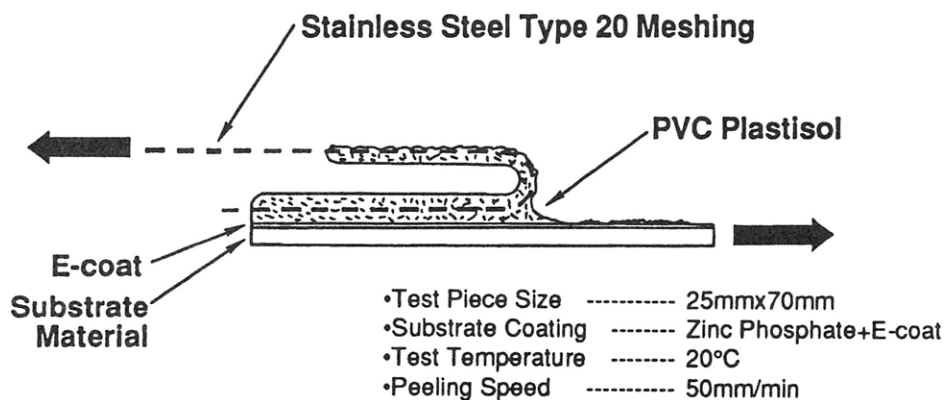


Fig. 9 Peeling Performance Test Method

Table 6 Film Coating Properties of Various Coating Materials

Coating Material Item	PVC-SOL	Polyurethane Type	Polyethylene powder Type	Polyester Type	E-coat
Internal Stress	2 MPa	20 MPa	50 MPa	69 MPa	98 MPa
Coating Film Thickness	500 μm	300 μm	300 μm	300 μm	30 μm

Fig. 8 はピーリング強度に対するチップング剥離を表している。ここでピーリング強度とは下地塗膜の電着と塩化ビニル系ゾル塗膜の密着強度を (Fig. 9 のテスト方法) 測定したものである。耐チップング性は、明らかにピーリング強度が上がれば良好となる。また Fig. 10 に示す様に塗膜の伸び率だけが上がってもチップング剥離は良くならない。

次にもう一つのチップングダメージとしての摩耗現象に対する塗膜物性の影響を確かめた。Fig. 11~13 に示すように高い塗膜の伸び率と、高いピーリング強度を持った塗膜が良好な耐摩耗性を確保できることが判った。

6.2. 内部応力

チップングダメージによって塗膜が破断した時、その塗膜の持っている内部応力により錆の促進度合は変わる。つまり内部応力が高くかつ膜厚が厚い場合はその破断面から塗膜の界面剥離が進展し易く、しかもその部分が泥等を溜め易い構造となり腐食環境を作る。従って下地との密着力を十分確保し、内部応力を下げた塗膜設計をする必要がある。

Table 6 は各種塗装系に於ける内部応力を求めたものである。他の塗装系に比べ塩化ビニル系ゾル塗膜は、その塗装膜厚を考慮しても内部応力が低いことが分かる。

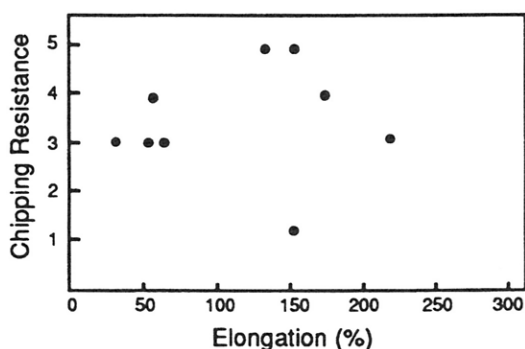


Fig. 10 Chipping Resistance vs. Elongation

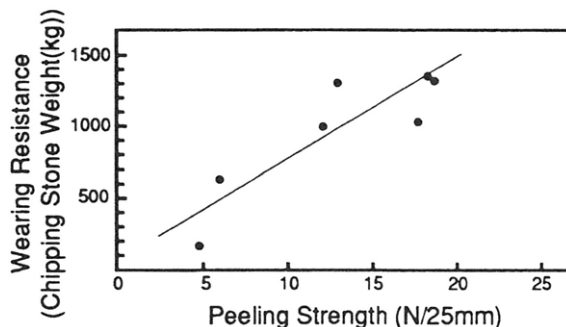


Fig. 12 Wearing Resistance vs. Peeling Strength

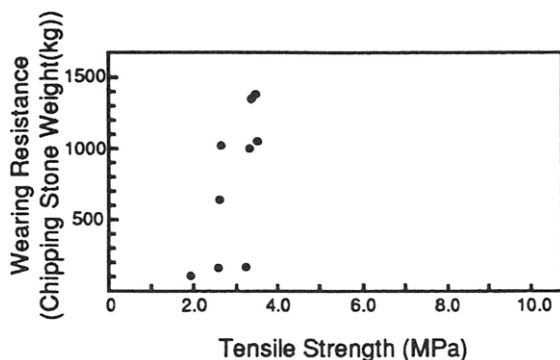


Fig. 11 Wearing Resistance vs. Tensile Strength

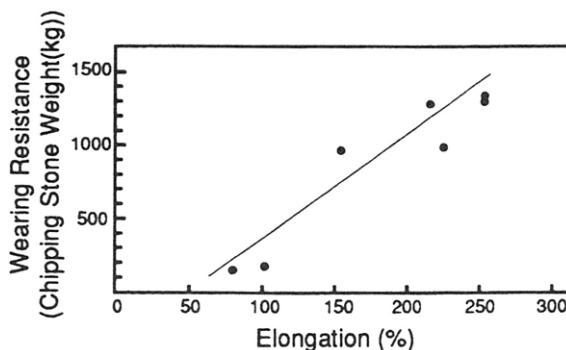


Fig. 13 Wearing Resistance vs. Elongation

Table 7 Physical Properties of PVC Film

Testing Temperature	-20°C		RT		Peeling Performance (N/25mm)	Specific Gravity
Material Type \ Item	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)		
Current Type	3.43	60	1.96	100	49.0	1.60
Development Type	6.86	150	3.43	250	196.1	1.00

Table 8 Test Results

Test Item	Material Type	Current Type						Development Type					
	Test Item	Initial State	Water Resistance	Humidity Resistance	Hot Salt Water Resistance	Heat Resistance	Thermo-cycle Resistance	Initial State	Water Resistance	Humidity Resistance	Hot Salt Water Resistance	Heat Resistance	Thermo-cycle Resistance
①Chipping Resistance		4	1	2	1	4	3	5	5	5	5	5	5
②Adhesion Property		○	×	△	×	○	△	○	○	○	○	○	○
③Peeling Resistance		49	AF	AF & CF	AF	51	AF & CF	196	195	195	196	203	201
④Wearing Resistance		100kg~300kg						1000kg					
⑤Salt Spray Test		960 Hrs. OK						960 Hrs. OK					
⑥Cyclic Corrosion Test		50 Cycle OK						50 Cycle OK					
⑦Hot Salt Water Resistance		240 Hrs. OK						240 Hrs. OK					

AF: Adhesive Failure CF: Cohesive Failure

6.3. 開発塩化ビニル系ゾルの塗膜性能

Table 7, 8 に示す様に今回開発した塩化ビニル系ゾルのアンダーコートは、全ての塗膜物性いずれも従来材より優れ、要求される塗膜品質も全て満足した。耐摩耗性については塗膜比重 1.0 を確保しながら従来の 3 倍以上に向上した。また軽量化についても完成車で約 2kg の重量低減を達成した。

7. 結 論

1. チッピングダメージ抑制と軽量化を両立させるためには塩化ビニル系ゾル塗膜の高物性化が必要となる。
2. 市場のチッピングダメージ形態は塗膜剥離と摩耗に区分される。前者に影響する塗膜物性はピーリング強度と抗張力であり、後者は塗膜の伸び率とピーリング

強度である。

3. 高物性塗膜性能として従来の 3 倍以上の耐摩耗性が得られた。
4. 高物性塗膜成分として塩化ビニル樹脂は酢酸ビニルとのコーポリマを使用し、可塑剤は低温時の柔軟性を付与させ、接着付与剤はポリアミドとブロックドイソシアネートを併用した。
5. 軽量化塗膜とするため樹脂バルーンを添加し塗膜比重を 1.0 以下とし完成車重量で約 2.0kg の軽量化を達成した。

これらの技術を基本にして上塗り塗膜上への高物性塩化ビニル系ゾルコートの適用、ターンメッキ上への軽量化塩化ビニル系ゾルコート、さらにはこの材料の部品工程内での再生利用技術も確立した。

今後、これらの耐チップング技術を活かし脱塩化ビニル系ゾルなどの環境問題対応への展開を図りたい。

■著 者■



小 松 泰 典



上 村 純 二



鈴 木 英 治



植 木 光 彦