

(論文)

# プレコートアルミニウム材の絞り加工性におよぼす皮膜特性の影響

## Effect of Coated-film Properties on Film Formability of Pre-coated Aluminum Sheets Under Drawing



服部伸郎\* (工博)  
Dr. Nobuo HATTORI



谷川正樹\*  
Masaki TANIGAWA

In this paper, drawing formability of coated-films was investigated. Polyester film with glass transition temperature of 0 °C had excellent formability. When the baking temperatures were above 250 °C or below 150 °C, coated-film had good formability. When the baking temperatures were between 170 °C and 230 °C, peeling-off of film was observed. Below 150 °C, cross-linking between resin molecules was not sufficient, the coating film had high elongation enough to transform largely. Above 250 °C, the strong adhesion of coating film enhanced formability.

まえばき = アルミニウムは、比重が小さい、熱伝導率が高いなど様々な特長がある。自然環境中では耐食性に優れるため、腐食防止のための表面処理を施さない場合が少なくないが、近年では機能付与を目的とした表面処理を行う場合が増えている。ノートパソコンや薄型テレビ、カーステレオなど軽量化が求められる製品において、アルミニウム板を素材に機能性皮膜をあらかじめ設けたプレコートアルミニウム材の採用が増えている<sup>1), 2)</sup>。プレコート材の利用は、プレス加工後に個別に表面処理するアフターコートより生産性やコストに優れる<sup>3)</sup>。

機能性プレコートアルミニウム材の断面構成例を図1に示す。ベースとなるアルミニウム板の片面もしくは両面に、塗装下地となる化成処理層を介して機能性皮膜層が形成される。化成処理層の厚さはおおむね20~80nm、機能性皮膜の厚さは目的によって異なるものの0.1~10 μm程度である。機能性皮膜は、フィラーを使用せずにマトリックス樹脂の持つ機能を引出すケースもあるが、図1のようにマトリックス樹脂に様々なフィラー

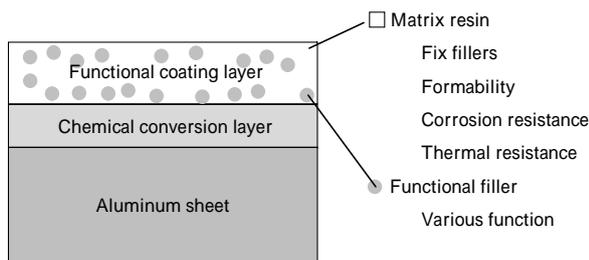


図1 機能性プレコートアルミニウム材の断面構成例  
Fig. 1 Example of cross section structure of the functional pre-coated aluminum sheet

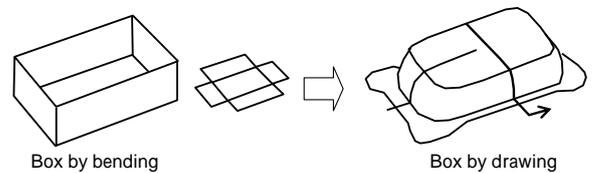


図2 曲げ加工にて成形される箱(左)と絞り加工によって成形される箱(右)の模式図  
Fig. 2 Schematic view of box by bending (left) and box by drawing (right)

を含有させる設計のものが多い。この場合マトリックス樹脂は、機能性フィラーを固定する役割のほか、加工性・耐熱性・耐食性などを担うこととなる。なかでもアフターコートの場合と異なり、皮膜自身が金型としゅう動し、形状を変化させるプレコート材では、皮膜の加工性や耐キズ付き性の確保が重要となる<sup>4)</sup>。本稿ではこのようなマトリックス樹脂の加工性を研究対象とした。

ノートパソコンのような屋内用途では雨水などの浸入を想定する必要がないため、きょう体は折曲げ加工を多用した形状が一般的である。一方、車載用電子機器の場合は、エンジンルームなど熱や水分を伴う過酷な環境での使用を想定しておく必要があり、内部の電子回路を保護するために、きょう体には高い密閉性が要求される。密閉性の高いきょう体の成形は曲げ加工では難しく、絞り加工の方が有利である(図2)。そこで本稿では、絞り加工性におよぼす皮膜特性の影響を取上げた。

まず、様々な樹脂タイプの皮膜の中から加工性に優れた樹脂タイプを選定した。次に、焼付温度を変化させることで皮膜物性の異なるプレコート材を製作し、絞り加工性への影響を調べた。また、得られたプレコート材の加工性を焼付温度の影響を受ける各種パラメータと対比

\*アルミ・銅カンパニー 真岡製造所 アルミ板研究部

させることにより、優れた加工性が得られるメカニズムについて考察した<sup>5)</sup>。

## 1. 実験方法

### 1.1 供試材

素材には板厚 0.3mm の A1100-H24(工業用純アルミニウム)を使用した。まず市販のアルミニウム用弱アルカリ脱脂剤(炭酸ナトリウム系)に浸漬して油分を除去し、塗装下地としてりん酸クロメートを、クロム付着量が 0.02g/m<sup>2</sup> となるように処理した<sup>6)</sup>。アルミニウムの代表的な塗装下地処理であるりん酸クロメートは皮膜中に 6 価クロムを含まないため<sup>7)</sup>、自己修復機能はないが、耐食性と塗膜密着性を向上する効果を有している。次に塗装下地を施したアルミニウム板の片面に、表 1 に示す樹脂タイプの異なる塗料を乾燥皮膜厚さが 5 $\mu$ m となるように塗布した後、焼付温度が 250 となるように焼付けて皮膜を形成し、供試材とした。ここでガラス転移温度とは樹脂がガラス状からゴム状に状態を変える転移温度のことである<sup>8)</sup>。本稿では塗料の状態での主剤ポリエステル樹脂の値を用いた。使用した各塗料は焼付けにより分子間で架橋反応する熱硬化型の塗料である。そこで焼付温度の影響について確認するため、塗料 P0 については焼付温度を 125 から 285 まで変化させた供試材もあわせて作製した。

### 1.2 絞り加工試験

供試材の皮膜面が外側となるように絞り加工を行った。加工は、円板打ち抜き、絞り、再絞り、しごき、トリミングの各工程を順次行い、最終形状で直径 10mm、長さ 20mm の円筒容器状とした。円筒の側壁部には板厚減少率 20% のしごきを加えた。プレス油は脂肪酸エステルと界面活性剤を主成分とするエマルジョンワックスを使用した。加工時の温度は 20 であった。

### 1.3 評価法

#### 1.3.1 絞り加工後の皮膜外観

絞り加工試験後の皮膜外観を 1 ~ 4 点で評価点をつけた。すなわち、試験で得られた円筒容器の側壁部の皮膜がほぼ全面剥離している場合を 1 点、皮膜の剥離が円筒容器の開口部付近に限定される場合を 2 点、皮膜の剥離はないが変色している場合を 3 点、皮膜の剥離や変色がなく良好な場合を 4 点として数値化した。

#### 1.3.2 皮膜の機械的性質

供試材を浴温度 70 の 10% 水酸化ナトリウム水溶液に 20 分程度浸漬し、アルミニウム板を溶解した後、残った皮膜のみを用いて引張試験を行った。引張試験片は長さ 40mm、幅 10mm の皮膜を使用し、長手方向の両端 10mm ずつをチャッキング部としてセロハンテープで補強し、有効長さ 20mm とした。引張速度は 10mm / 分とした。なお本試験では皮膜厚さは 10 $\mu$ m とした。

#### 1.3.3 皮膜の潤滑性

皮膜表面に鋼球 (SUS304) を滑らせるパウデンレーベン法によって動摩擦係数を測定した。直径 4.76mm の鋼球を、荷重 200g、すべり速度 200mm / 分で皮膜上を滑らせた際の摩擦力をロードセルにて測定し、荷重と摩擦力

表 1 供試材に使用したプレコート皮膜の樹脂タイプ<sup>5)</sup>

Table 1 Resin types of coated film  
(T<sub>g</sub>: Glass transition temperature)<sup>5)</sup>

Resin No.	Resin type
P0	Polyester (T <sub>g</sub> = 0 )
P30	Polyester (T <sub>g</sub> = 30 )
P80	Polyester (T <sub>g</sub> = 80 )
E	Epoxy
U	Urethane
A	Acryl

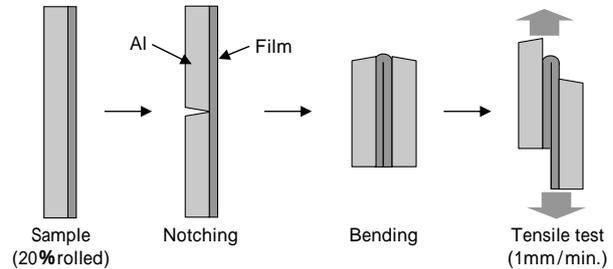


図 3 剥離強度測定試験の試験片加工法<sup>5)</sup>

Fig. 3 Test piece preparation of peel off strength measurement<sup>5)</sup>

から動摩擦係数を算出した。

### 1.3.4 皮膜の密着性

180 度剥離法によって皮膜の剥離強度を測定した。すなわち図 3 に示すように、剥離を容易にするための前加工として供試材に 20% の冷間圧延を行い、それから 25mm 幅の試験片を切出した後、アルミニウム側にノッチングを施して折曲げ、少しずつしながら皮膜の一部を剥離させることによって引張試験機にチャッキングした。この状態で 1mm / 分の速度で剥離強度を測定した。ここでは途中で膜が切れることのないように皮膜厚さを 15 $\mu$ m とした。

### 1.3.5 皮膜分子の架橋度(ゲル分率)

沸騰させた 2-ブタノン (MEK) 中に 60 分間浸漬し、浸漬前後の皮膜重量を基に、次式にてゲル分率を算出した。

$$\text{ゲル分率 (\%)} = \frac{\text{浸漬後皮膜重量}}{\text{浸漬前皮膜重量}} \times 100$$

### 1.3.6 素材の機械的性質

焼付温度による素材の加工性の変化についても確認するため、塗装焼付後の供試材を使用し、アルミニウム板の引張試験と表面の結晶粒観察を行った。結晶粒観察についてはマイクロエッチング後の組織を光学顕微鏡にて観察した。

また、絞り加工試験後の成形品形状におよぼす焼付温度の影響についても確認しておく必要があることから、成形品を樹脂に埋込んで断面形状を光学顕微鏡で観察した。

## 2. 実験結果および考察

### 2.1 絞り加工試験結果

#### 2.1.1 皮膜の樹脂系とガラス転移温度の影響

樹脂系およびガラス転移温度の異なる 6 種類の皮膜を

Resin No	P0	P30	P80
Appearance			
Estimation point	4	3	3
Resin No	E	U	A
Appearance			
Estimation point	1	3	1

図4 プレコート皮膜の絞り加工性（評価点）と皮膜の樹脂タイプとの関係<sup>5)</sup>

Fig. 4 Relationship between drawing formability (estimation point) and resin types of pre-coated aluminum sheets (Baked temperature: 250 constant, Estimation point: 1 = complete peel off, 2 = partial peel off, 3 = no peel off but colored, 4 = good)<sup>5)</sup>

塗装したプレコートアルミニウム材の絞り加工性を比較した結果を図4に示す。なお、皮膜の焼付温度は250で一定とした。

まず、樹脂系の違いに着目すると、ポリエステル系皮膜（P0、P30、P80）とウレタン系皮膜（U）を塗装した供試材は、絞り加工による皮膜の剥離は見られなかったが、エポキシ系皮膜（E）とアクリル系皮膜（A）を塗装した供試材では、円筒容器の側壁部全面で皮膜の破壊が見られた。したがって、今回の絞り加工試験のように素材のアルミニウム板が大きく塑性変形する加工を想定した場合、プレコートアルミニウム材の皮膜としてエポキシ系皮膜やアクリル系皮膜を適用するのは適当ではないと考えられる。

つぎに、皮膜の剥離が生じなかった3種類のポリエステル系皮膜（P0、P30、P80）を塗装した供試材の間で皮膜のガラス転移温度の違いに着目すると、ガラス転移温度が0のP0は、成形品の皮膜に変色が見られず優れた外観を示したが、ガラス転移温度が30のP30と80のP80は、円筒容器の底部から3分の1程度の部位に皮膜が白く変色している様子（以下、白化という）が観察された（図4中、矢印で挟んだ部分が白化部）。また、ウレタン系皮膜（U）にも白化が観察された。絞り加工によって生じた皮膜の白化部の観察から、マイクロクラックが発生していることがわかっており<sup>9)</sup>、耐食性低下の原因にもなることから望ましい状態ではない<sup>10)、11)</sup>。

以上の結果、今回実験に使用した6種類の塗料の中では、P0が絞り加工に最も適した結果となった。また、ガラス転移温度の異なるポリエステル系皮膜を使用した試験結果から、皮膜のガラス転移温度が低い方が絞り加工による変色を防ぐのに有利と考えられる。

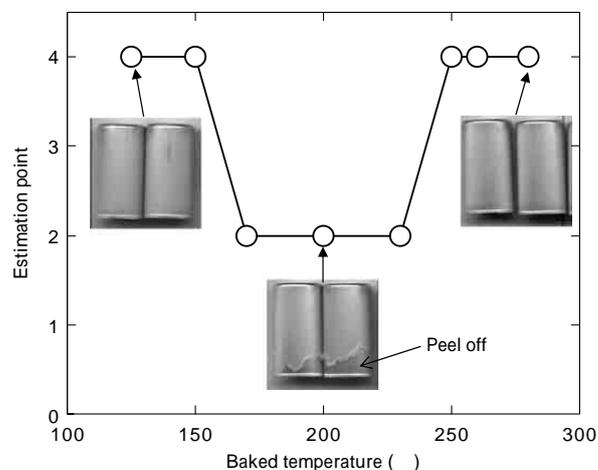


図5 プレコート皮膜P0の絞り加工性（評価点）と焼付温度との関係<sup>5)</sup>

Fig. 5 Relationship between drawing formability (estimation point) and baked temperature of pre-coated aluminum sheets (Resin No. P0)<sup>5)</sup>

## 2.1.2 焼付温度の影響

2.1.1項で実施した絞り加工試験において皮膜剥離および白化・変色が生じなかったP0を使用し、塗料の焼付温度を変化させた場合の皮膜の絞り加工性を調べた。その結果を図5に示す。

焼付温度が150以下となる低温側の領域では皮膜が剥離することなく絞り加工できているが、焼付温度が170から230の中間領域では、絞り加工によって得られる円筒容器の開口部付近に皮膜の剥離が生じた。さらに、焼付温度が250以上の高温側の領域では再び皮膜の剥離が生じることなく絞り加工が可能であった。この結果から、プレコートアルミニウム材の皮膜の絞り加工性には焼付温度依存性があることがわかった。なお、試

験に使用した P0 の皮膜は、今回実施したすべての焼付温度領域で皮膜の変色(白化を含む)は観察されなかった。

## 2.2 絞り加工性に影響をおよぼす因子の考察

### 2.2.1 皮膜のゲル分率の影響

供試材の皮膜は、焼付けにより分子間で架橋反応する熱硬化性樹脂であるため、焼付温度を変化させると皮膜分子の架橋度を示すゲル分率が変化すると考えられる。皮膜のゲル分率を焼付温度に対してプロットした結果を図6に示す。

焼付温度が 230 以下の低温側の領域では、焼付温度が高くなるに従ってゲル分率が高くなった。その後 230 でゲル分率は極大値を示し、230 以上の焼付温度高温側の領域では焼付温度が高くなるに従ってゲル分率が低下した。今回の焼付温度範囲で、焼付温度中間領域に極大や極小が現れる挙動は、焼付温度を変化させた場合の皮膜の絞り加工性(図5)にも見られており、皮膜の架橋度が変化することによる皮膜物性の変化が皮膜の絞り加工性に影響していることが示唆される。

### 2.2.2 皮膜の機械的性質の影響

皮膜のゲル分率の変化は皮膜を構成する樹脂の架橋度の変化を意味する<sup>12)</sup>。このような架橋度の変化は、皮膜の強度や伸びにも変化をもたらすと予測される。そこで、皮膜の機械的性質を引張試験によって測定した。供試材から素材となるアルミニウム板のみを溶解して得た

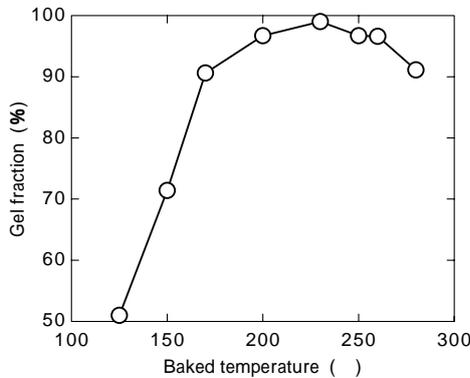


図6 プレコート皮膜 P0 のゲル分率と焼付温度との関係<sup>5)</sup>  
Fig. 6 Relationship between gel fraction of coated film and baked temperature of pre-coated aluminum sheets (Resin No.P0)<sup>5)</sup>

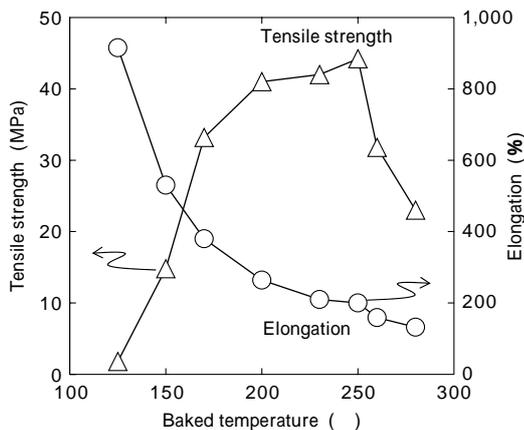


図7 プレコート皮膜 P0 の機械的性質と焼付温度との関係<sup>5)</sup>  
Fig. 7 Relationship between mechanical properties of coated film and baked temperature of pre-coated aluminum sheets (Resin No. P0)<sup>5)</sup>

皮膜を用いて、焼付温度を変化させた場合の皮膜の破断強度と破断伸びを測定した(図7)。

温度とともにゲル分率が増加した焼付温度 230 以下の低温側では、焼付温度が高くなるに従って皮膜の破断強度は増加し、破断伸びは小さくなった。この温度領域での挙動は、焼付温度が高くなるほど皮膜の分子間架橋反応が進み、その結果焼付温度が高いほど分子同士の拘束力が強くなると考えることができる。皮膜の伸びが大きく分子間の拘束力が小さい皮膜の方が、絞り加工試験によるアルミニウム板の変形に合せて皮膜の変形が追従しやすいと考えられるため、焼付温度が低くなるほど加工性が良好になる現象を説明できる。

一方、焼付温度の上昇とともにゲル分率が低下する挙動を示した焼付温度 230 以上の高温領域では、伸びは焼付温度の上昇とともに低下する挙動を示しており、また破断強度についても焼付温度 250 でピークを迎えた後低下する挙動を示した。これら機械的性質の低下からは、焼付温度高温領域では分子間架橋反応よりも皮膜の熱分解反応が支配的になりつつあることが示唆される。絞り加工性試験の結果(図5)では、焼付温度高温領域では焼付温度が高いほど成形性が良い結果であったが、この温度領域での皮膜の加工性を皮膜の柔軟さや強さによって説明するのは難しく、他のメカニズムに支配されていると考えられる。

### 2.2.3 皮膜の内部応力の影響

絞り加工試験のように最終の加工形状が決まっている場合、加工によって皮膜が受けるひずみ量は供試材の種類にかかわらず同一量である。しかし、ある一定量のひずみを受けた場合に、ひずみを受ける前の形状を維持しようとして皮膜中に発生する内部応力は、皮膜の機械的特性が変化した場合には必ずしも同一量にはならない。例として、焼付温度 150, 200, 250 の3条件の供試材について、皮膜の引張試験で得られた応力-ひずみ曲線を図8に示す。同一ひずみ量での応力を比較した場合、焼付温度が 250 の皮膜に発生する応力が最も大きく、150 の皮膜の応力が最も小さいことが読み取れる。このことは、絞り加工試験で皮膜内部に生じた応力も焼付温度によって変化していることを示している。そこ

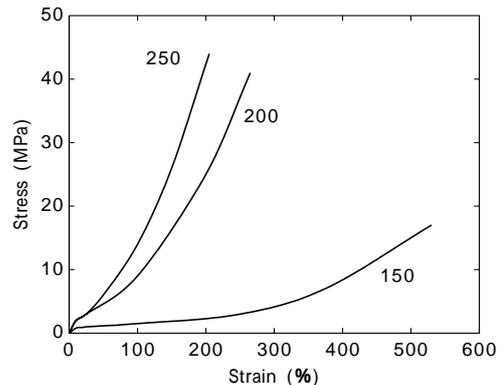


図8 焼付温度を変化させたプレコート皮膜 P0 の応力-ひずみ曲線<sup>5)</sup>  
Fig. 8 Relationship between stress and strain of P0 coated film (Baked temperature: 150, 200 and 250 )<sup>5)</sup>

で、本章での絞り加工試験に相当するひずみ量を、応力-ひずみ曲線から見積った。

実際の絞り加工でのひずみは、円筒高さ方向の伸びひずみと円周方向の圧縮ひずみを同時に受けるが、ここでは単純化して考える。皮膜剥離が認められる円筒側壁部の板厚減少率は20%であるため、皮膜も20%の厚さ減に相当するひずみを受けたと仮定する。

引張試験で20%厚さ減に相当する伸び25%での応力を今回の絞り加工試験での皮膜内部応力に相当すると仮定し、焼付温度に対してプロットした結果を図9に示す。焼付温度が200以下の低温領域では、焼付温度が低いほど絞り加工によって皮膜に生じる内部応力が小さくなる傾向を示した。これは、ひずみを受けた際に元の形状を維持しようとする力が小さいこと、すなわち皮膜が新しいひずみ形状になじむのを妨げにくいことを意味しており、今回の絞り加工試験で焼付温度低温側での成形性が良好となった結果を説明できる。

一方、焼付温度200以上の高温領域では、皮膜の内部応力はほとんど変化を示さなかった。焼付温度低温側の加工性は、加工によって生じる内部応力が小さいことで説明できるが、焼付温度高温側での加工性については内部応力で説明するのは難しい。

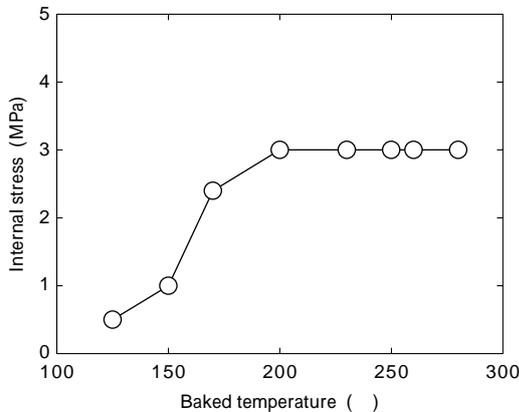


図9 プレコート皮膜 P0 の加工後内部応力と焼付温度との関係<sup>5)</sup>  
Fig. 9 Relationship between internal stress of coated film and baked temperature of pre-coated aluminum sheets (Resin No.P0, Internal stress: stress of the coated film at 25% elongation)<sup>5)</sup>

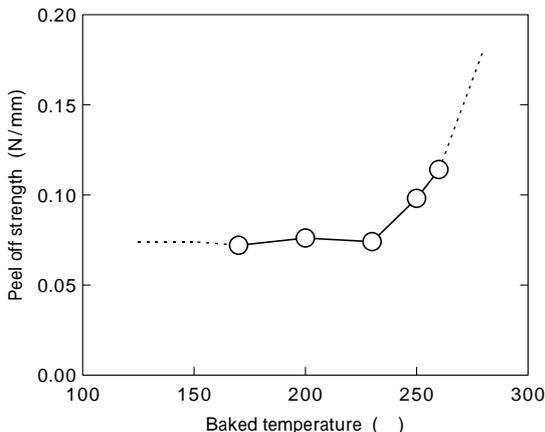


図10 プレコート皮膜 P0 の剥離強度と焼付温度との関係<sup>5)</sup>  
Fig.10 Relationship between peel off strength of coated film and baked temperature of pre-coated aluminum sheets (Resin No.P0)<sup>5)</sup>

## 2.2.4 皮膜の密着性の影響

プレコートアルミニウム材の皮膜の剥離強度と焼付温度との関係を図10に示す。各供試材は絞り加工試験の板厚減少率(=しごき率)20%に相当する20%冷間圧延を事前に施した。焼付温度230以下の低温領域では皮膜の剥離強度はほとんど変化を示さなかったが、250以上の高温領域では焼付温度が高くなるほど剥離強度が強くなる傾向が見られた。剥離強度が強い供試材は絞り加工を受けた際の皮膜剥離も生じにくいと考えられるため、焼付温度高温領域で絞り加工試験結果が向上した理由は、皮膜の密着性が向上したことによって説明することができる。

なお、180度剥離強度試験法では、皮膜の密着力よりも膜強度が弱いと皮膜が破断して数値が測定できないため、125、150、285では測定値を得ることができなかった。

## 2.2.5 皮膜の潤滑性の影響

皮膜の摩擦係数と焼付温度との関係を調べた結果を図11に示す。焼付温度によらず $0.17 \pm 0.01$ で大きな変化は見られなかった。一般に金属板の絞り加工性は潤滑の影響を受けることが知られるが<sup>13)</sup>、本研究が対象とするプレコート皮膜の絞り加工性を潤滑性で説明するのは難しいと考えられる。

## 2.2.6 素材の機械的性質の影響

焼付温度を変化させた場合、皮膜性能だけでなく素材のアルミニウム板の特性も影響を受ける。したがって、絞り加工性におよぼす素材特性変化の影響についても確認しておく必要がある。焼付温度125、200、285における素材のアルミニウムの結晶粒組織を図12に示す。また、焼付け後のアルミニウム板の引張強さ、耐力、伸びと焼付温度との関係を図13に示す。結晶粒径は今回の焼付温度範囲で明確な変化は認められないが、機械的性質は250以上で強度の低下と伸びの増加がわずかに認められた。

同一金型を使用して加工した同一形状と思われる成形品であっても、素材の伸びや強度に変化が生じれば、局所的な材料のひずみ量(変形量)が変化している可能性がある。本研究では絞り加工試験で得られた円筒成形品

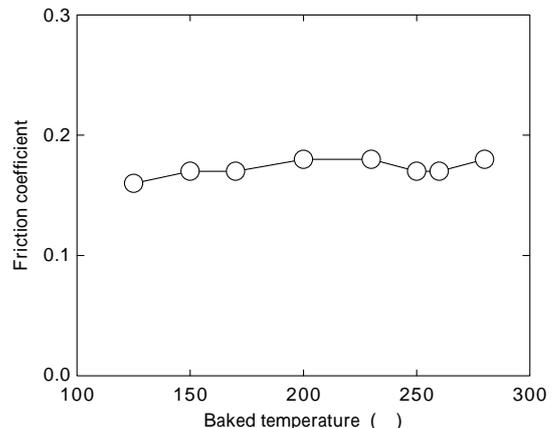


図11 プレコート皮膜 P0 の摩擦係数と焼付温度との関係  
Fig.11 Relationship between friction coefficient of coated film and baked temperature of pre-coated aluminum sheets (Resin No.P0)

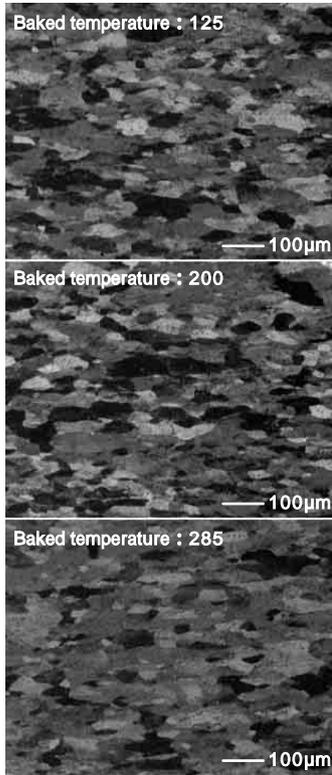


図12 各焼付温度での素材アルミニウムの結晶粒観察<sup>5)</sup>  
 Fig.12 Crystal grain surface photographs of base aluminum sheets after baked at various temperatures (Baked temperature: 125 , 200 and 285 )<sup>5)</sup>

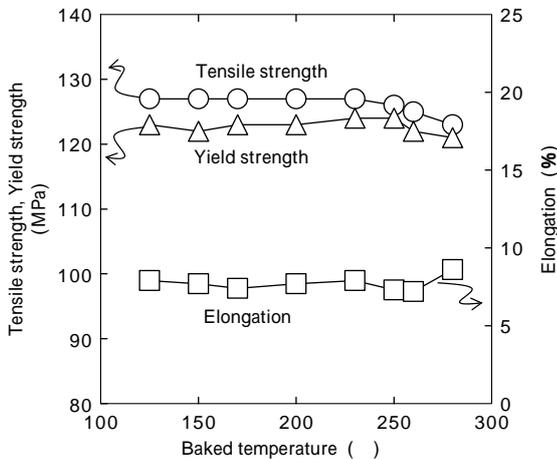


図13 素材アルミニウムの機械的性質と焼付温度との関係<sup>5)</sup>  
 Fig.13 Relationship between mechanical properties of aluminum sheets and baked temperature of pre-coated aluminum sheets<sup>5)</sup>

の開口部付近の皮膜剥離状態に焼付温度の影響が見られたが、この原因は皮膜の焼付状態の変化だけなのか、素材の伸びや強度の変化によって局所的な形状変化が生じたのかを確認しておく必要がある。このため、皮膜剥離が認められた円筒開口部付近の断面形状を測定した。開口部付近の側壁板厚と天面板厚を測定し、その比率と焼付温度との関係を整理した結果を図14に示す。この結果からは円筒開口部付近の素材の局所変形を示唆するような断面形状の変化は明確には観察されず、素材の変形量は同一量であったとみなして良い。したがって、本稿で扱った皮膜の絞り加工性におよぼす素材要因の影響は無視して良く、皮膜の物性変化のみによって考察してよいと考えられる。

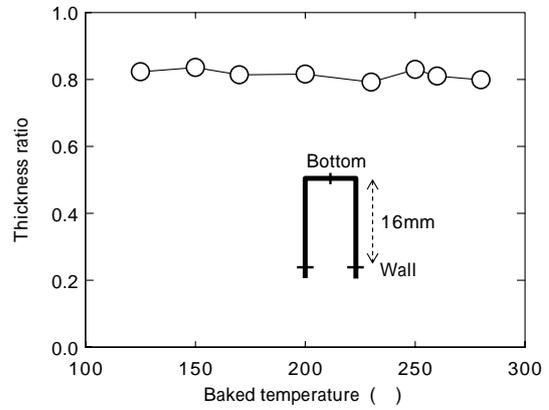


図14 絞り加工成形品の加工形状（側面底面板厚比率）と焼付温度との関係<sup>5)</sup>

Fig.14 Relationship between formed thickness ratio and baked temperature of pre-coated aluminum sheets (Thickness ratio: Wall thickness / Bottom thickness)<sup>5)</sup>

### 2.3 絞り加工性におよぼすパラメータの検討

焼付温度 150 以下の低温領域における優れた皮膜加工性は、皮膜の伸びが大きく柔軟なため絞り加工によって皮膜内部に生じる応力、すなわちアルミニウム素材の塑性変形に対して皮膜が元の形状を維持しようとする応力が小さいことが支配的であることを前節において明らかにした。同様に、焼付温度 250 以上の高温領域における優れた皮膜加工性は、アルミニウム素材に対する皮膜の密着性が高いことが支配的であることも明らかにした。すなわち、絞り加工を行った際に皮膜が変形に追従できるか否かは、皮膜が元の形状を維持しようとする応力に対してそれに打勝つだけの皮膜の密着性が確保されているかどうかによって説明できると考えられる。

そこで、本研究において見積った皮膜の内部応力（図9）を、180度皮膜剥離試験によって測定した剥離強度（図10）を  $P$  として、次式によって加工性パラメータ  $F_p$  を定義した。

$$F_p = P /$$

この加工性パラメータを焼付温度に対してプロットした結果を図15に示す。図15には、図5に示した皮膜の

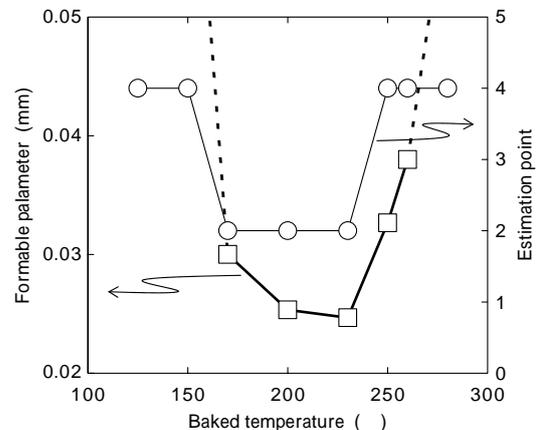


図15 プレコート皮膜 P0 の絞り加工性（評価点）および加工性パラメータと焼付温度との関係<sup>5)</sup>

Fig.15 Relationship between drawing formability (estimation point), formable parameter and baked temperature of pre-coated aluminum sheets (Formable parameter = Peel off strength / Internal stress)<sup>5)</sup>

絞り加工性も合わせて示した。加工性パラメータの挙動は、絞り加工試験の結果と良好な対応が認められた。

絞り加工などの変形の大きい用途へプレコート材を適用していくためには、アルミニウム素材への密着強度が大きくなり、同時に加工を受けた場合に内部応力が小さくなるような性質を有する樹脂をマトリックスとした皮膜の選定が望ましい。

むすび=プレコートアルミニウム材の絞り加工性におよぼす皮膜物性の影響を調べ、以下の結果が得られた。

- 1) 樹脂タイプの異なる皮膜を焼付温度 250 で塗装した6種類のプレコートアルミニウム材を対象に、絞り加工試験により皮膜の加工性を比較した結果、ガラス転移温度が0のポリエステル系皮膜が、加工性、外観ともに良好な結果であった。このことから、プレコートアルミニウム材の皮膜の加工性には皮膜の樹脂系およびガラス転移温度が影響すると考えられる。
- 2) ガラス転移温度が0のポリエステル系の皮膜について皮膜の焼付温度を変化させた供試材を作製し、絞り加工試験により皮膜の加工性を比較した。その結果、焼付温度が150以下の低温領域と焼付温度250以上の高温領域では皮膜の加工性が良好であったが、焼付温度が170から230の中間領域では皮膜の加工性が低下する挙動が観察された。この結果から、プレコートアルミニウム材の皮膜の加工性には皮膜の焼付温度が影響する。
- 3) 焼付温度低温領域で皮膜の加工性が優れた理由は、皮膜の伸びが大きく、加工によって素材のアルミニウム板が変形した際に、皮膜が元の形状を維持しようとして生じる内部応力が小さいことが考えられる。すなわち、この状態ではプレス加工に伴うアルミニウムの変形に対して皮膜の変形が容易に追従できる状態と考えられる。

4) 焼付温度高温領域で皮膜の加工性が優れた理由は、素材であるアルミニウム板と皮膜との密着性が高いためと考えられる。この状態ではプレス加工によって皮膜に発生する内部応力が高く、皮膜は大きな変形を受けている状態と考えられるが、皮膜とアルミニウムの密着が強固であるため、剥離することなく形状が維持されていると考えられる。

5) 以上のようにプレコートアルミニウム材の皮膜の絞り加工性は、加工によって生じる皮膜の内部応力と、皮膜の密着性の関係によって決まると考えられる。本研究では、皮膜の引張試験から見積った内部応力と密着性試験から測定した剥離強度から加工性パラメータを定義した。このパラメータは実際の絞り加工試験結果と相関が見られた。

なお、本稿は社団法人軽金属学会学会誌「軽金属」第56巻第8号に掲載されたオリジナルの論文を加筆修正したものである。

#### 参考文献

- 1) 畑中孝一：軽金属，Vol.50, No.11 (2000) p.625.
- 2) 服部伸郎ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.52, No.2(2002), p.94.
- 3) プレコート材・表面処理材のプレス加工技術研究部会編：プレコート・表面処理アルミニウム・板材の成形性データブック，(2000) p.8，軽金属学会。
- 4) 藤原直也ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.54, No.1(2004) p.29.
- 5) 服部伸郎ほか：軽金属，Vol.56, No.8 (2006) p.448.
- 6) 金子秀昭：アルミニウム，第4巻，第21号 (1997) p.531.
- 7) J. A. Treverton et al. : Metals Technology, October (1977) p.480.
- 8) 日本化学会編：第6版化学便覧応用化学編Ⅰ，(2002) p.800，丸善。
- 9) 服部伸郎ほか：軽金属，Vol.57, No.6 (2007) p.228.
- 10) 服部伸郎ほか：軽金属，Vol.58, No.4 (2008) p.157.
- 11) N. Hattori et al. : Materials Transaction, Vol.49, No.5 (2008) p.1180.
- 12) 色材協会編：塗料用語辞典，(1993) p.131，技報堂出版。
- 13) 日本塑性加工学会：塑性加工におけるトライボロジー (1988) p.207，コロナ社。