樹脂ラミネートアルミニウム薄板コイル材切削繊維を用いた成形体の製造

今村 正人^{☆1,2}, 兼子 正生^{☆2}, 柳沢 章^{☆2}, 中川 威雄^{☆3}

☆1 新東工業(株)東京研究所, 〒338 浦和市西堀4-6-10. ☆2 日本工業大学機械工学科, 〒345 埼玉県南埼玉郡宮代町学園台4-1. ☆3 東京大学生産技術研究所, 〒106 港区六本木7-22-1.

Fabrication of Products with Resin Laminated Aluminum Sheet Shaving Metal Fibers

Masato Imamura^{☆1,2}, Masao Kaneko^{☆2}, Akira Yanagisawa^{☆2} and Takeo Nakagawa^{☆3}

☆1, Tokyo Res. Center, Sintokogio Ltd., Nishibori, Urawa 338. ☆2 Dep. Mech. Eng., Nippon Inst. Tec., Gakuen-dai Miyashiro Minamisaitama-gun, Saitama 345. ☆3 Inst. Ind. Sci., Tokyo Univ., Roppongi Minato-ku, Tokyo 106.

Received June 19, 1995

SYNOPSIS

It is extremely difficult to sinter aluminum due the stable alumina film which exists on its surface. It was found that aluminum fibers can be bonded easily by freezing of melted polyethylene at a low temperature in the heat-treatment of polyethylene-laminated aluminum fibers. It was also clarified that strength and porosity can be controlled arbitrarily by adjusting the amount of polyethylene which contributes to binding by adding pure aluminum.

KEY WORDS

Aluminum, Simple Sintering, Polyethylene, Laminate, Strength, Porosity

1 緒 言

アルミニウムの焼結はその表面に安定なアルミナ皮膜が存在するために非常に困難である。一般的には圧縮成形を実施して酸化皮膜を破壊し、基地のアルミニウムを直接接触させ、還元あるいは真空雰囲気中で焼結する必要がある。しかしながら、焼結材料として金属繊維を用いた場合には成形時の復元性が大きいので圧縮率を高くする必要があり、成形が難しい点が生じる。また金属繊維の場合には粉末焼結に比較しては製品中の空孔率が高い事が特徴的であり、著しく圧縮する事は必ずしも好ましくない。そのため、通常の焼結の代わりに、バインダとして母材よりも低融点の材料を添加し、この材料の熔融凝固による金属繊維の固定を著者らは提案し、ソルダーリングを用いた実験結果を報告している¹⁾。

一般に、低融点材料をバルク材に混合した場合には偏析を生じ易いために必ずしも均一な分散を得にくく、問題点も多い。粉末の形で混合する場合には分離偏析しやすいため、繊維化して混合する方法もあるが、この場合にも均一混合が問題になる。そのため、繊維に低融点材料を溶着させて均一混合する方法を採用した。

本研究ではポリエチレンラミネートアルミニウム薄板材を用い、これを繊維化することによりアルミニウムにポリエチレンの溶着した繊維を製造し、成形実験を行った。

2 実験方法

2.1 コイル材切削法による長繊維の製造^{2), 3)}

まず、著者らの開発したコイル材切削法によりアルミニウム材料の長繊維の製造をおこなった。Fig. 1に示すように、旋盤の主軸に巻き取った薄板コイル材の端面をバイトにより旋削することで、連続切屑を作り出し、長繊維を製造した。

この方法で作製した繊維を用いて、異種材混合成形物を作る場合には以下の方法が考えられる：

- ① 個々に繊維を製造し、繊維化後に混合する方法。
この場合では各々の材料の切削条件が異なる上に、混合ムラを生じやすいという欠点がある。
- ② 基地材料の薄板と低融点材料の薄板を同時に積層しながら巻き取ったコイル材を同時に切削して混合繊維を作成する方法。
- ③ 一定比率で低融点材料をラミネートした基地材料

Fig. 1 Schematic illustration of the coiled sheet shaving method.

薄板を切削して、低融点材料が融着した繊維を作成する方法。この場合にはあらゆる点で均一な状態が得られる。

今回の実験にあたっては、③の方法を採用した。

2.2 実験材料

実験に用いた材料の断面写真をPhoto. 1に示す。三菱アルミニウム社製の純アルミニウム（以下アルミ材と呼ぶ）薄板（1N30，板厚 $30\mu\text{m}$ ）をベースにポリエチレン樹脂（ $20\mu\text{m}$ 厚さで両面）がラミネートされた薄板（全板厚 $70\mu\text{m}$ ）で、今回は 180mm 幅のコイル材を用いた。樹脂をラミネートした材料（以下ラミネート材と呼ぶ）の他にバインダとして用いたポリエチレンの効果を確認するために、希釈材としてベース材と同一の純アルミニウム薄板（1N30，板厚 $70\mu\text{m}$ ）も用いた。

2.3 短繊維を用いた環状成形体の作成

成形テストは、長繊維を 5mm に切断して短繊維化し、一定重量、すなわち $3.4, 5\text{g}$ （つまり、単位面積あたりの繊維重量である、目付けは各々 $566, 754, 943\text{g/m}^2$ ）の繊維を押し型に篩を通して投入し、繊維同志の絡み合いを得るために、返りのある針を上下に繰り返し差込む、ニードル処理した後、内径 $15\text{mm}\phi$ ，外径 $30\text{mm}\phi$ ，

Photo. 1 Cross section of the aluminum sheet (top) and polyethylene laminated aluminum sheet (bottom).

厚さが 10mm になるようにストロークを調整して、圧環試験片を作製した。

2.3.1 熱処理の影響

実験にあたって、まずポリエチレン材を用いた熱処理条件の影響を確認するために、ラミネート材のみの 5g 試料（目付け： 943g/m^2 ）で熱処理温度を3水準（ $393, 403, 413\text{K}$ ）で、保持時間を3水準（ $0.9, 1.8, 2.7\text{ks}$ ）として保持実験を行った後、寸法（内径，外形，厚さ）変化ならびに圧環強度を測定した。

2.3.2 ラミネート材混合の影響

次に、純アルミ材を用いて金属繊維を製造し、これをラミネート材に混合することで成形体中のポリエチレン量の変化させ、成形性に及ぼす効果を検討した。この際、純アルミ材に対するラミネート材の混合割合を $0, 25, 50, 75, 100\%$ （重量比）とした。熱処理時には試験片厚さを 10mm 一定とするためスペーサを介して上下を鉄板で拘束して熱処理を行った。その後、試験片の寸法（内径，外形，厚さ），重量の測定後、圧環強度を測定し、バインダの効果を測定した。

2.4 長繊維シート状成形体の製造¹⁾

金属繊維成形体の接合状態を確認するために、目付け $400, 600, 800\text{g/m}^2$ で $150\times 150\text{mm}$ のシート状成形体を作製した。この際、純アルミ材に対するラミネート材の混合割合を $0, 25, 50, 75, 100\%$ （重量比）とした。この上下を鉄板（重量 1558g ）で挟んだまま熱処理し、シート状成形体を作製した。これらのシートからJSPM標準2-65号の引張試験片を作製した。

3 実験結果および考察

3.1 繊維化の挙動

まず、ラミネート材の重量と寸法から密度を計算すると、 $\rho = 1.62\text{g/cm}^3$ となり、アルミの密度： 2.7g/cm^3 から、ポリエチレンの密度は 0.81g/cm^3 となり、低密度ポリエチレンであることが推定された。純アルミ材とラミネート材を混合した成形材料の密度はこの値を用いて計算から求めた。

長繊維化にあたっては、コイル材切削法でのバインダの送りを $15\mu\text{m/rev}$ 一定とした。これ以上では繊維は溶着し、それ以下では連続しにくく、長繊維化が難しいためである。Photo. 2 に得られた繊維の断面写真を示す。この場合、ラミネート材の幅、つまりコイル材の板厚は $70\mu\text{m}$ から $90\mu\text{m}$ に、また、一定送りによって切削された繊維の厚さは $66\mu\text{m}$ となり、素材からの寸法の増加比は、各々 $1.3, 4.4$ となる。ラミネート材は両サイドをポリエチレンで覆われているため、この部分（幅方向）の増加割合が小さいが、拘束されない厚さ方向の増加比は大きくなることが特徴的である。一方、ラミネート材の無い純アルミの場合、繊維の幅、つまりコイル材の板厚は $70\mu\text{m}$ から $114\mu\text{m}$ に増加している。また、製造された繊維の厚さは $43\mu\text{m}$ となり、

Photo. 2 Cross section of the aluminum (top) and polyethylene laminated aluminum fiber (bottom).

素材からの寸法の増加割合は、各々1.6, 2.9となる。

3.2 熱処理の影響

充填量5g(目付け943g/cm²)の短繊維成形体を拘束無し状態で熱処理した結果、いずれの条件でも半径方向の著しい寸法変化は認められないが、413Kでの保持において厚さの減少が認められた。これは、ポリエチレンの溶融移動によりアルミ繊維同志の密着が増加したためと推定され、密度は上昇し、空孔率も減少し、Fig. 2に示されるように圧環強度の上昇が認められた。またFig. 3に示されるように高温保持により繊維間へのポリエチレンの流動凝集が発生し、気孔率の減少に伴う強度の上昇が観察されたことから、以後の熱処理条件を温度413Kで2.7ks保持と設定した。

Fig. 2 Relation between radial crashing strength and heat treatment.

Fig. 3 Relation between radial crashing strength and porosity.

3.3 短繊維環状成形体でのラミネート材の影響

今回の場合には厚さ方向の拘束があるため、寸法変化は認められないが、Fig. 4に示すように、空孔率はラミネート材の量が多くなるとともに減少し、目付けが多いほどその水準は大きい値となっている。一方、圧環強度もFig. 5に示すようにラミネート材の影響を受け、目付けが多いほどその水準は大きい値となっている。

これらの関係から圧環強度と空孔率との関係を Fig. 6のようにラミネート材の配合割合ごとに直線回帰し、空孔率が0の場合の強度を求め、Fig. 7に示した。ラミネート材の配合量が29%まではほぼ一定で、これを越えると強度は直線的に増加する。したがって、ラミ

Fig. 4 Relation between porosity and laminated fiber ratio.

Fig. 5 Relation between radial crashing strength and laminated fiber ratio.

Fig. 7 Relation between radial crashing strength and laminated fiber ratio without pore.

ネット材の配合量が少ない場合にはニードル処理による繊維同志の絡み合いの強度を示し、それ以上でラミネート材のポリエチレンの効果が現れるものと考えられる。

この際のアルミ材およびラミネート材の結合状況をSEM観察した結果をPhoto. 3およびPhoto. 4に示す。アルミ材だけでは物理的に絡み合っているだけで、接合は生じていない。しかし、100%ラミネート材ではアルミ繊維の周囲がきれいに樹脂コーティングされている。部分的にはポリエチレンによるアルミ繊維の接点間への回り込み充填が観察され、アルミにラミネートしたポリエチレンの溶融接合とともに接合に寄与している事が伺える。

Photo. 3 SEM photograph of pure aluminum fiber.

Fig. 6 Relation between radial crashing strength and porosity.

Photo. 4 SEM photograph of polyethylene laminated aluminum fiber bonding.

Fig. 8 Relation between specimen thickness and laminated fiber ratio.

Fig. 10 Relation between porosity and laminated fiber ratio.

Fig. 9 Relation between tensile strength and laminated fiber ratio.

Fig. 11 Relation between tensile strength and porosity.

ラミネート材中のポリエチレンの割合から強度を推定すると、約33MPaとなり、ポリエチレン自体の曲げ強度（38～60MPa）及び圧縮強度（19～26MPa）の間を示すことになる。このことより、Fig. 4と組み合わせることで、ラミネート材の配合量と目付けから空孔率を、さらには強度を決定出来るので、必要な特性を持った金属繊維多孔体が配合設計出来る事になる。

3.4 シート状成形体でのラミネート材の影響¹⁾

長繊維シート成形体の厚さ変化はFig. 8に示すようにラミネート材の配合により若干減少する傾向を示すものの、値そのものは目付け依存性が大きい。これは圧環試験片作製時のようなニードル処理による繊維の立体的な絡み合いがないために、単に繊維の積み重な

りに依存したものと考えられる。

引張強度もFig. 9に示すように基本的には目付けに依存し、その水準が大きくなる傾向を示す。目付けが小さい場合にはラミネート材配合の著しい効果は認めれないが、目付けが多くなるとラミネート材の配合効果が現れ、増加する傾向を示している。

しかしながら、厚さの変化が大きい事からこれらの試験片の空孔率を計算すると、Fig. 10のようにラミネート材と目付けに対応して減少することが観察された。

これらの関係から引張強度と空孔率との関係をFig. 11のようにラミネート材の配合割合ごとに直線回帰し、空孔率が0の場合の強度を求め、Fig. 12に示した。ラミネート材の配合量が75%まではほぼ直線的に増加す

Fig. 12 Relation between tensile strength and laminated fiber ratio without pore.

るものの、これを越えると強度は減少するという結果になってしまった。これはFig. 11において、同一強度を示す場合に、ラミネート材100%において空孔率が低く出ていることが大きく影響していることが考えられる。この成形体の場合にはニードル処理を施していないために繊維間の絡み合いがないことが大きく影響

しているものと考えられ、ラミネート材の配合量が75%まではアルミ材添加による希釈効果と接合効果が現れるものの、100%ラミネート材では接触点の結合には過剰にポリエチレンが存在することになり、強度には寄与しないものの空孔充填に働くために空孔率が相対的に小さくなるものと考察される。この場合も圧環試験片の場合と同様にラミネート材の配合量と目付けによって特性を決定できることになる。

4 結 言

コイル材切削法で作製したポリエチレンラミネートアルミ金属繊維を熱処理することにより、低温で成形体を容易に成形できることを見いだした。この際、ラミネートなしの純アルミの添加により結合に寄与するポリエチレンの量を制御することで強度と空孔率を任意に制御出来ることが認められた。

文 献

- 1) 兼子正生, 柳沢章, 今村正人, 中川威雄: 粉体および粉末冶金, 41(1994)1089.
- 2) 柳沢章, 兼子正生: 金属(1989)60.
- 3) 兼子正生, 柳沢章, 中川威雄: 精密工学会誌, 61(1995)692.