Production of Conductive Plastics Using Laminated Coiled Sheet Shaving Method

KANEKO Masao* , JUN Minyoung and YANAGISAWA Akira

*Department of Mechanical Engineering, Nippon Institute of Technology,
4-1 Gakuendai Miyashiro-machi, Saitama 345-8501, Japan*

Received 28 January 2005; accepted for publication 25 July 2005

Abstract

Plastics are basically good insulators of electricity and thus cannot shield against electromagnetic waves. This property causes major problems for humans in our society as well as malfunctions of electronic devices from static electricity. To overcome these problems, production of conductivities plastics is necessary to give to eliminate static electricity, and perform electromagnetic shielding. Pellets mixed with metal fibers, which are currently used in an injection molding process, are produced: metal fibers made by a bundle drawn process are covered with resin by means of extrusion method and then, chopped. This production process has numerous problems such as a complicated process and requires high cost.

In this study, we therefore proposed a laminated coiled sheet shaving method and developed a method of producing pellets mixed with metal fibers at low cost. At the same time, we also conducted investigations on the method of producing conductive plastic sheets using a compression molding, and confirmed that the molded products and the plastic sheets with approximately $10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ of volume resistivity can be obtained.

Key Words : Conductive plastic, Electromagnetic waves, Static electricity, Injection molding, Volume resistivity

積層コイル材切削法による導電性プラスチックの製造

兼子 正生, 全 敏榮, 柳沢 章

1. 緒言

プラスチックはもともと電気的良好な絶縁体であることから静電気による電子機器の誤作動の原因となったり、電磁波を遮蔽出来ず人的な障害問題等社会的に大きな問題となっている。これらの問題に対し、プラスチックに導電性を持たせ、静電気を逃したり電磁波をシールドする必要がある。プラスチックに導電性を持たせる手法は、プラスチックポリマー自身に導電性を与える導電性ポリマーや、プラスチック成形体表面に導電性塗料をコーティングするもの、導電性フィラーをプラスチック中に分散混入する複合材料の手法等に分類される。導電性フィラーの混入は粒子混入、薄片混入、繊維混入に分類される[1]。中でも、繊維混入の場合には他のフィラーと比較して、少ない

混入量で高い導電性を得ることが出来る[2,3]。しかしながら、射出成形に用いられている金属繊維混入ペレットは集束伸線法による金属繊維を用い、これを押出機により樹脂被覆した後、切断して作る。このため、プラスチックと金属繊維が均一に混合したペレットが得られないという問題点を持っている。そこで、本研究では積層コイル材切削法を用い、低コストの金属繊維混入ペレット製造法の開発を行うと共に、この技術を応用した圧縮成形による導電性プラスチックシートの製造の研究を行い、得られた成形体の導電性に関する検討を行った。

2. 金属繊維混入ペレットの製造

ここでは、金属薄板をコイル状に巻き、その端面を切

* 連絡先 : 日本工業大学機械工学科 345-8501 南埼玉郡宮代町学園台 4-1, E-mail: mkaneko@nit.ac.jp

削して金属繊維を得るコイル材切削法[4]の金属繊維製造技術に応用し、金属繊維混入ペレットの製造を行った。実験手順を Fig. 1 に示す。まず、最初に金属薄板とプラスチックシートを積層させながら繊維製造装置の主軸に必要量巻きつけ、その端面を切削し、プラスチック混合金属繊維束を製造する。得られた混合繊維束を加熱引き加工し、アスペクト比が 44, 48, 53, 73 になるように切断して金属繊維混入ペレットの製造を行った。このペレットを用いて射出成形を行い、得られた成形体の体積固有抵抗値を測定した。ここでは金属繊維混入ペレットの製造法について述べる。

2.1 プラスチック混合金属繊維の製造

製造条件を Table 1 に示す。供試材として黄銅薄板材とポリプロピレンシートを用いて、プラスチック混合金属繊維の製造を行った。本研究で用いた積層材の場合、金属とプラスチックの体積混合比は 1 対 10 となる。この積層材を巻厚 $W=20\text{mm}$ で製造装置に巻きつけ、この端面を切削する時に金属とプラスチックが共に良好に切削できる工具すくい角の検討を行った。工具すくい角 γ は 20° から 2° ずつ変化させ、工具送り量 S は $15\sim 30\ \mu\text{m/rev}$ の範囲で変化させ混合繊維の製造を行った。

2.1.1 実験結果

Fig. 2 に積層コイル材切削法により得られたプラスチック混合金属繊維束を示す。プラスチック混合金属繊維の製造実験の結果、すべての送り量で金属とプラスチックが共に繊維化できるすくい角は $36^\circ\sim 38^\circ$ であることが確認された。また、すくい角が 34° 以下となると金属繊維のカールが激しくなると共に、プラスチックが粉末状となり、また、逆にすくい角が 40° 以上になるとびびり状態となり、良好な連続した繊維の製造が困難となることが確認された。

次に、送り量に対する金属繊維の換算直径を調べた結果を Fig. 3 に示す。コイル材切削法で得られる繊維断面は金属薄板の端面を切削していることから一辺がコイル材の板厚に一致し、他の一辺は工具の送り量により決まる長方形断面となる。そこで、この長方形断面と同一面積の円の直径を繊維換算直径とした。すくい角 36° 、工具送り量を $15\sim 30\ \mu\text{m/rev}$ と変化させた時、送り量 $15\ \mu\text{m/rev}$ で $40\ \mu\text{m}$ 、 $30\ \mu\text{m/rev}$ で $55\ \mu\text{m}$ の繊維換算直径が得られた。

これから述べるペレットの製造ならびにプラスチックシートの製造では、コイル材切削法で最も一般的に金属繊維の製造が行われている工具送り量 $20\ \mu\text{m/rev}$ で得られる繊維換算直径 $45\ \mu\text{m}$ の黄銅繊維を用いることにした。

次に、得られたプラスチック混合金属繊維束を用いて、加熱引き加工を行い、それを切断して金属繊維混入ペレットの製造を行った。ペレットの製造工程ではダイスの引

Fig.1 Experimental procedure of conductive plastics production

抜き径 2mm で引き速度を 1.5m/min 一定とし、加熱した成形ダイスの温度を $423\text{K}\sim 463\text{K}$ まで 5K ずつ変化させ、良好に引き加工が行えるダイス温度の検討を行った。

ダイス温度 $423\text{K}\sim 438\text{K}$ ではプラスチックが熔融せず繊維状態のままとなり、ダイス温度が $443\text{K}\sim 448\text{K}$ の間では均一なプラスチックの熔融が得られ、金属繊維とプラスチ

Table 1 Experimental conditions

Work materials	Brass (C2680) : $t=0.05\text{mm}$ PP sheet : $t=0.5\text{mm}$
Cutting conditions	Width of cut $W : 20\text{mm}$ Rake angle $\gamma : 20\sim 42^\circ$ Feed rate $S : 15\sim 30 \mu\text{m/rev}$ Cutting speed $V : 80\text{m/min}$ Shaving method : Dry cutting

Fig.2 Metal fiber bundle mixed with plastics

ックが均一に混合したペレットが製造可能である。しかし、ダイス温度が $453\text{K}\sim 463\text{K}$ と高くなるとプラスチックの流動性が高く黄銅繊維とプラスチックが分離するため均一なペレットの製造が困難となることが確認された。Fig. 4 にダイス温度 443K で製造したプラスチック混合金属繊維束と切断して得られた金属繊維混入ペレットの外観を示す。

3. 射出成形実験

3.1 ペレット寸法条件及び射出成形条件

得られた金属繊維混入ペレットを用いて射出成形を行い、成形性、導電性等の検討を行った。ペレットの寸法条件を Table 2 に示す。実際の射出成形では、アスペクト比（繊維の長さ/繊維の直径）が 60 を超えると繊維がボール状に固まってしまい（ファイバーボール）射出成形が困難になると言われている[5]。また、混入した金属繊維のアスペクト比が導電性に大きく影響する[2, 6]ことや混練時に繊維の折損が大きくなること[3]等を確認している。

本研究ではアスペクト比を 44, 48, 53, また、金属繊維とプラスチックとが均一に分散していることを考慮し、さらに高アスペクト比 75 のペレットを製造し、射出成形を行った。射出成形条件を Table 3 に示す。射出圧力を 140MPa 、射出率を $57.8\text{cm}^3/\text{s}$ 一定とし射出成形を行った。さらに Fig. 5 に成形体の形状を示す。

3.2 実験結果及び考察

Fig.3 Relation between feed rate and equivalent diameter of brass fiber

Fig.4 Pellets mixed with metal fibers

Table 2 Specifications of pellet

Material	Brass fiber (C2680)
Fiber length	2.0, 2.2, 2.4, 3.4 mm
Equivalent diameter	$45\mu\text{m}$
Aspect ratio	44, 48, 53, 75

Table 3 Injection molding conditions

Nozzle temperature	468K
Injection pressure	140MPa
Injection rate	$57.8\text{cm}^3/\text{s}$
Mold temperature	$15\sim 40^\circ\text{C}$

Fig.5 Specimen of injection molding body

まず、初めに通常の導電性プラスチックの製造に用いられているアスペクト比と同程度のアスペクト比 53 のペレ

Fig. 6 Relation between content of metal fiber and volume resistivity

ットを用い、繊維混入率を 3vol%~9vol%まで変化させ射出成形した成形体の体積固有抵抗値の測定を行った。その結果を Fig. 6 に示す。繊維混入率が 3vol%の場合には $10^{-1} \Omega \cdot \text{cm}$ 程度と高い体積固有抵抗値となったが、繊維混入率が 5vol%~9vol%と大きくなると $10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ 程度の低い体積固有抵抗値を示すことが確認された。

次に、アスペクト比を変化させた時の体積固有抵抗値の測定を行った。その結果を Fig. 7 に示す。繊維混入率が 3vol%と 5vol%と少ない場合には、アスペクト比が大きくなると体積固有抵抗値の低下がやや大きくなっているが、繊維混入率が 7vol%と 9vol%と混入量が大きくなるに従い、体積固有抵抗値はアスペクト比に依存せず、ほぼ一定な値となることが確認された。これは、繊維混入率が少ない場合はアスペクト比が大きい方が、すなわち繊維長さが長いほど繊維の接触点が多くなるためと考えられる。また、繊維混入率が 9vol%と多い場合には、アスペクト比が 44 と小さくても繊維同士が十分に接触できる混入量であるために、アスペクト比の違いによる体積固有抵抗値の変化が少なくなったものと考えられる。

次に、射出成形における射出率を変化させた時の体積固有抵抗値の測定結果を Fig. 8 に示す。いずれの場合も射出率による体積固有抵抗値の変化は認められず、射出率に左右されないことが確認された。これは、本実験の範囲内の射出率では樹脂の流動速度に影響されず、安定した射出成形が行える事を意味していると考えられる。

4. 導電性プラスチックシート製造実験

本実験は、積層コイル材切削法で得られたプラスチック混合金属繊維から不織布の製造法[7]を利用して、導電性

Fig. 7 Relation between aspect ratio and volume resistivity

Fig. 8 Relation between flow ratio and volume resistivity

プラスチックシートを製造する。この方法は、金属繊維を長繊維のまま使用できることから、射出成形体より大きな導電性が得られる可能性があり、また、このシートを用い種々の成形を行う事によって導電性成形品の製造に応用可能であることが期待される。

4.1 実験方法

まず、初めに得られたプラスチック混合金属繊維を用い、不織布製造装置により不織布の製造を行った。この方法は、コイル材切削金属繊維用に開発されたもので、速度比の異なる中間ロールで繊維を部分的に切断し、高速回転する切

断ロールで完全に切断し、エアブローによりコンベアー上に無配向に積層し、不織布とする方法である。また、この方法で得られる繊維切断長さは、中間ロールと切断ロールのロール中心間距離にほぼ比例し、この中心間距離を変えることにより任意の繊維切断長さを得ることができる。本実験では、繊維切断長さを 5, 20, 50, 100mm とし不織布の製造を行った。また、繊維切断長さ 5, 20mm は装置の関係上、手動による裁断とした。次に、得られた不織布を Fig. 9 に示すホットプレス加工で成形し、金属繊維混入導電性プラスチックシートとして導電性の評価を行った。また、シート成形条件を Table 4 に示す。大きさを 120×120mm、目付量を 150, 300, 600g/m² の不織布を製造し、この不織布を成形圧力 5, 10MPa とし、成形温度を 553K、成形時間を 60s でシートの成形を行った。

4.2 実験結果及び考察

金属繊維混入量 9vol% で得られた不織布をホットプレス加工した金属繊維混入プラスチックシートを Fig. 10 に示す。また、ホットプレス加工して得られたシートの目付量と体積固有抵抗値の関係を Fig. 11 に示す。ホットプレス加工されたシートの体積固有抵抗値は繊維長さが長く、目付量が多くなるほど低くなり繊維長さ 100mm、目付量 600g/m² で $1.5 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ の導電性のシートが得られることが確認された。また、繊維長さ 100mm では目付け量による大きな変化が認められなかった。繊維長さが 100mm と長くなると少ない目付け量でも繊維の接触点が増えるためであると考えられる。また、繊維長さが小さいものでも目付量が多くなると金属繊維の本数が増え、繊維の接触点が増加するため体積固有抵抗値が低くなったものと考えられる。

さらに、ホットプレス加工したシートの体積固有抵抗値は本研究で行った射出成形体よりも 1 桁小さな体積固有抵抗値となることが明らかとなった。

次に、このホットプレス加工して得られたシートを用いて種々の形状に成形される場合、シートは種々の角度に折り曲げ加工されることが予想されることから、シートの折り曲げ加工による体積固有抵抗値の変化を調べた。その結果を Fig. 12 に示す。繊維長さ 5mm と短い場合、折り曲げ角度 120° で僅かに体積固有抵抗値が高くなる傾向を示したが、繊維長さ 20mm 以上の場合には折り曲げ角度 120° でも体積固有抵抗値の変化は認められなかった。繊維長さが短くなると、折り曲げを行った際に内部で金属繊維のズレが生じ、繊維同士の接触点が少なくなるためであると考えられる。

4.3 導電性プラスチックシートを用いた圧縮成形体

得られた導電性プラスチックシートを用いて、加熱圧縮

Fig. 9 Production method of the conductive plastic sheet

Table 4 Compression molding conditions

Web size	120×120mm
Weight	150, 300, 600g/m ²
Compression pressure	5, 10MPa
Compression temperature	553K
Holding time	60s
Content of metal fiber	9vol%

Fig. 10 Compression molding sheet

Fig. 11 Relation between weight and volume resistivity of conductive plastic sheet

成形した例を Fig. 13 (a), (b) に示す. (a) は繊維切断長さ 50mm の不織布を数十枚重ね合わせ, 円柱状に加熱圧縮成形した後, その一部を切削加工したものである. また, (b) は繊維長さ 50mm の不織布を加熱圧縮成形して得られたシートを用いて深皿状に再度加熱圧縮成形したものであり, その切断面においてはどの部分でも導電性を示したが, 成形体表面では表皮効果により導電性が得られなかった. しかし, その表面を僅かに研磨することにより全ての面で導電性が得られることが確認された. このように導電性を保持したまま形状加工できることから, 種々のプラスチック製品への応用が期待される.

5. 結言

積層コイル材切削法で得られたプラスチック混合金属繊維を用い, 金属繊維混入プラスチックの導電性を調べた結果, 次のことが明らかになった.

- ① 本研究で提案した積層コイル材切削法を用いた金属繊維混入ペレットの製造工程では, 従来の製造工程に比べ, 金属繊維とプラスチックが均一に混合した繊維束が得られ, 繊維製造と同時にダイスによる溶融固化と切断が可能であり, より低コストで金属繊維混入ペレットが製造できる.
- ② 得られた金属繊維混入ペレットを用いて, 射出成形を行った結果, 繊維混入率が 9vol% の射出成形が可能で $10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ 程度の体積固有抵抗値を持つ導電性プラスチック成形体の製造が可能である.
- ③ 加熱圧縮成形した金属繊維混入導電性プラスチックシートは $10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 程度の体積固有抵抗値を示し, このプラスチックシートは $30 \sim 120^\circ$ まで折り曲げても体積固有抵抗値の大きな変化は認められず, 各種形状の成形用シートとしても使用可能である.

References

- [1] Nakagawa, T., Yanagisawa, A.; Sen-i Gakkaishi, **42**, p44 (1986)
- [2] Yoshino, K., Sakamoto, R.; Japan plastics, **50**, p59 (1999)
- [3] Yanagisawa, A., Nakagawa, T.; Material Technology, **3**, p134 (1985)
- [4] Kaneko, M., Yanagisawa, A., Nakagawa, T.; ISSN, **62**, 110 (1996)
- [5] Yanagisawa, A., Koyama, H., Suzuki, K., Nakagawa, T.; Composite Materials Symposium, p69 (1984)

Fig. 12 Relation between bending angle and volume resistivity of conductive plastic sheet

Fig. 13 Compression molding products

- [6] Kaneko, M., Yanagisawa, A.; EMC, **55**, p78 (1992)
- [7] Kaneko, M., Yanagisawa, A., Nakagawa, T.; J.Text. Mach.Soc.Japan, **44**, T260 (1996)