(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7567095号
(P7567095)

(45)発行日　令和6年10月15日(2024.10.15)

(24)登録日　令和6年10月4日(2024.10.4)

(51)国際特許分類

Ｈ０５Ｋ　9/00　(2006.01)		Ｈ０５Ｋ	9/00	Ｗ
Ｂ３２Ｂ　15/08　(2006.01)		Ｂ３２Ｂ	15/08	Ｄ
Ｈ０１Ｑ　17/00　(2006.01)		Ｈ０１Ｑ	17/00	

ＦＩ

請求項の数　7　（全14頁）

(21)出願番号　特願2024-521080(P2024-521080)
(86)(22)出願日　令和5年9月15日(2023.9.15)
(86)国際出願番号　PCT/JP2023/033800
(87)国際公開番号　WO2024/090069
(87)国際公開日　令和6年5月2日(2024.5.2)
審査請求日　令和6年4月5日(2024.4.5)
(31)優先権主張番号　特願2022-171776(P2022-171776)
(32)優先日　令和4年10月26日(2022.10.26)
(33)優先権主張国・地域又は機関
日本国(JP)
早期審査対象出願

(73)特許権者　502362758
ＪＸ金属株式会社
東京都港区虎ノ門二丁目１０番４号
(74)代理人　110000523
アクシス国際弁理士法人
(72)発明者　山本 悠貴友
茨城県日立市白銀町１－１－２ＪＸ金属
株式会社技術開発センター内
審査官　山田 拓実

最終頁に続く

(54)【発明の名称】　金属樹脂複合電磁波シールド材料

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

Ｎ（ただし、Ｎは１以上の整数）枚の金属層と、Ｍ（ただし、Ｍは１以上の整数）枚の樹脂層とが積層された金属樹脂複合電磁波シールド材料であって、

明細書に記載の手順に従い、以下の式から算出されるＶＦＬ（Ｖａｌｕｅ　ｏｆ　Ｆｏｒｍｉｎｇ　Ｌｉｍｉｔ）が、ＶＦＬ＞０．２４を満たすことを特徴とする金属樹脂複合電磁波シールド材料。

【数１】

$$\mathrm{VFL}=\sqrt{\varepsilon_1^2+\varepsilon_2^2}$$

（式中、ε_1及びε_2は、前記金属樹脂複合電磁波シールド材料の１ｍｍピッチのマスについて、明細書に記載の方法により算出される最大ひずみ及び最小歪みに相当する真ひずみである。）

【請求項２】

前記金属層の導電率をσ（Ｓ／ｍ）とし、金属層の合計厚みをｄ（ｍ）としたときの見かけコンダクタンスＣが、Ｃ＝σ×ｄ＞１．０×１０$^{-11}$（Ｓ）を満たす、請求項１に記載の金属樹脂複合電磁波シールド材料。

【請求項３】

各金属層の厚みが４～１００μｍである、請求項１又は２に記載の金属樹脂複合電磁波シールド材料。
【請求項４】
各樹脂層の厚みが４～６００μｍである、請求項１又は２に記載の金属樹脂複合電磁波シールド材料。
【請求項５】
各金属層の合計厚みが１５～１５０μｍである、請求項１又は２に記載の金属樹脂複合電磁波シールド材料。
【請求項６】
請求項１又は２に記載の金属樹脂複合電磁波シールド材料を備えた電気・電子機器用の被覆材又は外装材。
【請求項７】
請求項６に記載の被覆材又は外装材を備えた電気・電子機器。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、金属樹脂複合電磁波シールド材料に関する。とりわけ、本発明は電気・電子機器の被覆材又は外装材として使用することができる、金属樹脂複合電磁波シールド材料に関する。
【背景技術】
【０００２】
近年、地球環境問題に対する関心が全世界的に高まっており、電気自動車やハイブリッド自動車といった二次電池を搭載した環境配慮型自動車の普及が進展している。これらの自動車においては、搭載した二次電池から発生する直流電流をインバータを介して交流電流に変換した後、必要な電力を交流モータに供給し、駆動力を得る方式を採用するものが多い。インバータのスイッチング動作等に起因して電磁波が発生する。電磁波は車載の音響機器や無線機器等の受信障害となることから、インバータ或いはインバータと共にバッテリーやモータ等を金属製ケース内に収容して、電磁波シールドするという対策が行われてきた。
【０００３】
しかし、金属の電磁波シールド材料では、成形加工性が低く、また、金属であることから重量の問題も存在する。そこで、樹脂と電磁波シールド性フィラーとを含むインサート成形用樹脂組成物（特許文献１：特開２０２１－５５１１３号公報）や、網状金属体で形成され折り曲げによりケース体の中央部とその周囲の折り曲げ辺部とを構成する平板のケース展開形状を有する網目状電磁波シールド体を金型内にてインサート成形する方法（特許文献２：特許第４８１１２４５号公報）、１本又は複数本の通常の可紡性繊維に金属線材をＺ撚り及び／又はＳ撚りして形成した混合糸を織成してなることを特徴とする電磁波シールド織物（特許文献３：特開２０１１－１７９１６２号公報）が考案されている。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００４】
【文献】特開２０２１－５５１１３号公報
【文献】特許第４８１１２４５号公報
【文献】特開２０１１－１７９１６２号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００５】
しかし、導電性のフィラーを混ぜた樹脂を用いる場合では、厚みあたりのシールド性が乏しく、磁界のシールドで高いシールド効果を得るためにはより大きな厚みが必要となる。また、網目状シールド体や電磁波シールド織物を利用したインサート成形の場合では、

成形体に隙間ができるため四隅ではシールド効果が低下する問題や、磁界のシールドでは効果が小さくなるという欠点がある。そのため、従来技術とは異なるアプローチによる、成形加工性を向上させる手法が必要とされている。

【０００６】

電磁波シールド材料に使用される銅箔などの金属箔（金属層）は、一般的に厚みが数μｍから数十μｍであるために、樹脂フィルムと積層し、成形加工する際に割れが発生しやすい。そのため、割れを抑えて成形加工性を向上させることは重要である。

【０００７】

高い成形加工性を有する金属樹脂複合材料は複雑な形状に成形することができるが、成形量が大きな場合、成形の際に内部の金属層が割れることがある。大きな金属層の割れはシールド性の低下につながる恐れがあるため、これを防ぐ必要がある。

【０００８】

本発明は上記事情に鑑みてなされたものであり、一実施形態において、高い成形加工性を有する、すなわち５ｍｍ以上の凹凸に追従することが可能な金属樹脂複合電磁波シールド材料を提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【０００９】

本発明者が鋭意検討した結果、特定のパラメータから算出されるＶＦＬ（Ｖａｌｕｅ ｏｆ Ｆｏｒｍｉｎｇ Ｌｉｍｉｔ）が一定の条件を満たす金属樹脂複合電磁波シールド材料は、成形加工性が高いため、連続体として成形が可能であり、特に５ｍｍ以上の凹凸に追従することが可能であることを見出した。本発明は上記知見に基づき完成したものであり、以下に例示される。

【００１０】

［１］

Ｎ（ただし、Ｎは１以上の整数）枚の金属層と、Ｍ（ただし、Ｍは１以上の整数）枚の樹脂層とが積層された金属樹脂複合電磁波シールド材料であって、

以下の式から算出されるＶＦＬ（Ｖａｌｕｅ ｏｆ Ｆｏｒｍｉｎｇ Ｌｉｍｉｔ）が、ＶＦＬ＞０．２４を満たすことを特徴とする金属樹脂複合電磁波シールド材料。

【数１】

$$\mathrm{VFL} = \sqrt{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2}$$

［２］

前記金属層の導電率をσ（Ｓ／ｍ）とし、金属層の合計厚みをｄ（ｍ）としたときの見かけコンダクタンスＣが、Ｃ＝σ×ｄ＞１．０×１０$^{-11}$（Ｓ）を満たす、［１］に記載の金属樹脂複合電磁波シールド材料。

［３］

各金属層の厚みが４～１００μｍである、［１］又は［２］に記載の金属樹脂複合電磁波シールド材料。

［４］

各樹脂層の厚みが４～６００μｍである、［１］～［３］のいずれか１項に記載の金属樹脂複合電磁波シールド材料。

［５］

各金属層の合計厚みが１５～１５０μｍである、［１］～［４］のいずれか１項に記載の金属樹脂複合電磁波シールド材料。

［６］

［１］～［５］のいずれか１項に記載の金属樹脂複合電磁波シールド材料を備えた電気・電子機器用の被覆材又は外装材。

［７］

［６］に記載の被覆材又は外装材を備えた電気・電子機器。
【発明の効果】
【００１１】
本発明の一実施形態によれば、高い成形加工性を有する金属樹脂複合電磁波シールド材料を提供することができる。
【図面の簡単な説明】
【００１２】
【図１】ＩＳＯ－１２００４－２－２００８に準じて成形限界を評価する方法を説明する図である。
【図２】変形後の変形角及びマーキング間距離を示す図である。
【図３】ＶＦＬを算出するために必要な最大ひずみε_1及び最小ひずみε_2の計算方法を示す図である。
【図４】金属層を貫通する割れの様子を例示的に示す図である。
【発明を実施するための形態】
【００１３】
次に、本発明の実施形態を詳細に説明する。本発明は以下の実施形態に限定されるものではなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で、当業者の通常の知識に基づいて、適宜設計の変更、改良等が加えられることが理解されるべきである。
【００１４】
（１．金属層）
本発明の一実施形態に係る金属樹脂複合電磁波シールド材料を構成する金属層の材料としては特に制限はないが、金属樹脂複合電磁波シールド材料の金属層の導電率をσ（Ｓ／ｍ）とし、金属層の合計厚みをｄ（ｍ）としたときの見かけコンダクタンスＣが、$C=\sigma\times d>1.0\times10^{-11}$（Ｓ）を満たすことが好ましい。金属層を複数設ける場合、各層の導電率をσ_N（Ｓ／ｍ）とし、各層の厚みをd_N（ｍ）としたときの金属層の合計の見かけコンダクタンスＣが、$C=\Sigma\sigma_N\times d_N>1.0\times10^{-11}$（Ｓ）を満たすことが好ましい。これを満たすことにより、金属樹脂複合電磁波シールド材料として高いシールド効果が担保される。
【００１５】
本明細書において、導電率は、ＪＩＳ　Ｋ７１９４に定義される４探針法に基づき測定されるものである。
【００１６】
金属層表面には接着促進、耐環境性、耐熱及び防錆などを目的とした各種の表面処理層が形成されていてもよい。例えば、金属面が最外層となる場合に必要とされる耐環境性、耐熱性を高めることを目的として、Ａｕめっき、Ａｇめっき、Ｓｎめっき、Ｎｉめっき、Ｚｎめっき、Ｓｎ合金めっき（Ｓｎ－Ａｇ、Ｓｎ－Ｎｉ、Ｓｎ－Ｃｕなど）、クロメート処理などを施すことができる。これらの処理を組み合わせてもよい。コストの観点からＳｎめっきあるいはＳｎ合金めっきが好ましい。また、金属層と樹脂層、又は金属層同士の密着性を高めることを目的として、クロメート処理、粗化処理、Ｎｉめっきなどを施すことができる。これらの処理を組み合わせてもよい。粗化処理が密着性を得られやすく好ましい。また、直流磁界に対するシールド効果を高めることを目的として、比透磁率の高い金属めっきを設けることができる。比透磁率の高い金属めっきとしてはＦｅ－Ｎｉ合金めっき、Ｎｉめっきなどが挙げられる。
【００１７】
銅箔を使用する場合、シールド性能が向上することから、純度が高いものが好ましく、純度は好ましくは９９．５質量％以上、より好ましくは９９．８質量％以上である。銅箔としては、圧延銅箔、電解銅箔、メタライズによる銅箔等を用いることができるが、屈曲性及び成形加工性（成形加工性には絞り加工性を含む。以下同じ。）に優れた圧延銅箔が好ましい。銅箔中に合金元素を添加して銅合金箔とする場合、これらの元素と不可避的不純物との合計含有量が０．５質量％未満とすることが好ましい。また、銅箔中に、Ｓｎ、

Ｍｎ、Ｃｒ、Ｚｎ、Ｚｒ、Ｍｇ、Ｎｉ、Ｓｉ、及びＡｇの群から選ばれる少なくとも１種以上を合計で５０～２０００質量ｐｐｍ、及び／又はＰを１０～５０質量ｐｐｍ含有すると、同じ厚みの純銅箔より伸びが向上するので好ましい。

【００１８】

本発明の一実施形態に係る金属樹脂複合電磁波シールド材料を構成する金属層の厚みは、一枚当たり４μｍ以上であることが好ましい。４μｍ以上であれば取り扱いが難しくなることを回避でき、金属層の延性が著しく低下したり、積層体の成形加工性が不十分となったりすることを防止できる。また、一枚当たりの層の厚みが４μｍ未満だと優れた電磁波シールド効果を得るために多数の金属層を積層する必要が出てくるため、製造コストが上昇するという問題も生じる。このような観点から、金属層の厚みは一枚当たり１０μｍ以上であることがより好ましく、１２μｍ以上であることが更により好ましく、１５μｍ以上であることが更により好ましい。一方で、一枚当たりの層の厚みが１００μｍを超えると成形加工性を悪化させることもあるので、層の厚みは一枚当たり１００μｍ以下であることが好ましく、５０μｍ以下であることがより好ましく、４５μｍ以下であることが更により好ましく、４０μｍ以下であることが更により好ましい。金属層の厚みの測定方法としては、例えば、定圧厚さ試験機（ＴＨＩＣＫＮＥＳＳ ＭＥＴＥＲ Ｂ－１、東洋精機製作所製）を用いてＪＩＳ Ｋ ６２５０：２０１９内のＡ法に準拠し、シートサンプル面内４点の測定値を平均することで求めることができる。なお、圧子の直径５ｍｍ、当該圧子への圧力１．２２Ｎとして測定できる。仮に、積層体中の金属層の厚みを測定する場合には、厚み断面をＳＥＭなどで観察して測定することができる。

【００１９】

金属樹脂複合電磁波シールド材料を構成する金属層は一枚でもよいが、成形加工性及びシールド性能を高める観点から、金属樹脂複合電磁波シールド材料を構成する金属層は、樹脂層を介して複数枚積層することが好ましく、金属樹脂複合電磁波シールド材料の合計厚みを薄くしながらも優れた電磁波シールド特性を確保する観点から、金属層は、樹脂層を介して２枚以上積層することがより好ましい。樹脂層を介して、金属層を２枚以上積層することで、金属層の合計厚みが同じだとしても、金属層が単層の場合や、金属層を樹脂層を介さず２枚積層する場合に比べて、シールド効果が顕著に向上する。金属層同士を直接重ねても、金属層の合計厚みが増えることでシールド効果が向上するものの、顕著な向上効果を得るためには、樹脂層を介して、金属層を積層することが好ましい。すなわち、積層体を構成する金属層を樹脂層を介して複数枚積層することで、同一の電磁波シールド効果を得るのに必要な金属層の合計厚みを薄くすることができるので、積層体の軽量化と電磁波シールド効果の両立を図ることが可能となる。なお、この場合、金属層同士を直接重ねなければよく、一部又は全部の樹脂層を重ねて配置する構成も可能である。もちろん、金属層と樹脂層が交互に１枚ずつ積層された構成も可能である。

【００２０】

これは、金属層間に樹脂層が存在することで電磁波の反射回数が増えて、電磁波が減衰されることによると考えられる。但し、金属層の積層枚数は多い方が電磁波シールド特性は向上するものの、積層枚数を多くすると積層工程が増えるので製造コストの増大を招き、また、シールド向上効果も飽和する傾向にあるため、金属樹脂複合電磁波シールド材料を構成する金属層は５枚以下であるのが好ましく、４枚以下であるのがより好ましく、３枚以下であることがより好ましい。

【００２１】

本発明の一実施形態において、金属層を複数層形成する場合、すべての金属層が同一の材料で構成されてもよいし、層毎に異なる材料を使用してもよい。また、すべての金属層が同一の厚みでもよいし、層毎に厚みが異なってもよい。

【００２２】

従って、本発明の一実施形態に係る金属樹脂複合電磁波シールド材料においては、すべての金属層の合計厚みを１５～１５０μｍとすることができ、１００μｍ以下とすることもでき、８０μｍ以下とすることもでき、６０μｍ以下とすることもできる。

【００２３】
（２．樹脂層）
本発明の一実施形態に係る金属樹脂複合電磁波シールド材料において、金属層と金属層の間に樹脂層を挟み込むことで、複数枚の金属層を積層することによる電磁波シールド効果の顕著な改善が得られる。金属層同士を直接重ねても、金属層の合計厚みが増えることでシールド効果が向上するものの、顕著な向上効果を得るためには、樹脂層を介して、金属層を積層することが好ましい。これは、金属層間に樹脂層が存在することで電磁波の反射回数が増えて、電磁波が減衰されることによると考えられる。
【００２４】
樹脂層としては、金属層とのインピーダンスの差が大きいものの方が、優れた電磁波シールド効果を得る上では好ましい。大きなインピーダンスの差を生じさせるには、樹脂層の比誘電率が小さいことが必要であり、具体的には１０．０（２０℃の値。以下同じ。）以下であることが好ましく、５．０以下であることがより好ましく、３．５以下であることが更により好ましい。比誘電率は原理的には１．０より小さくなることはない。一般的に手に入る材料では低くても２．０程度であり、これ以上低くして１．０に近づけてもシールド効果の上昇は限られている一方、材料自体が特殊なものになり高価となる。コストと作用との兼ね合いを考えると、比誘電率は２．０以上であることが好ましく、２．２以上であることがより好ましい。
【００２５】
具体的には、成形加工性の観点から、樹脂層を構成する材料として、特に合成樹脂が好ましい。樹脂層には炭素繊維、ガラス繊維及びアラミド繊維などの繊維強化材を混入させることも可能である。またシールド性を向上させる観点から、本発明に影響のない範囲で樹脂層には磁性材料を混入させてもよい。合成樹脂としては、入手のしやすさや成形加工性の観点から、ＰＥＴ（ポリエチレンテレフタレート）、ＰＥＮ（ポリエチレンナフタレート）及びＰＢＴ（ポリブチレンテレフタレート）等のポリエステル、ポリエチレン及びポリプロピレン等のオレフィン系樹脂、ポリアミド、ポリイミド、液晶ポリマー、ポリアセタール、フッ素樹脂、ポリウレタン、アクリル樹脂、エポキシ樹脂、シリコーン樹脂、フェノール樹脂、メラミン樹脂、ＡＢＳ樹脂、ポリビニルアルコール、尿素樹脂、ポリ塩化ビニル、ポリカーボネート、ポリスチレン、スチレンブタジエンゴム等が挙げられ、これらの中でも成形加工性、コストの理由によりＰＥＴ、ＰＥＮ、ポリアミド、ポリイミドが好ましい。合成樹脂はウレタンゴム、クロロプレンゴム、シリコーンゴム、フッ素ゴム、スチレン系、オレフィン系、塩ビ系、ウレタン系、アミド系などのエラストマーとすることもできる。本発明の一実施形態に係る金属樹脂複合電磁波シールド材料に使用する樹脂層はすべて同一の樹脂材料で構成されもよいし、層毎に異なる樹脂材料を使用してもよい。成形性の観点から、好ましくは、樹脂層の一部又は全部が絶縁層である。
【００２６】
樹脂材料はフィルム状や繊維状の形態で積層することができる。また、金属層に未硬化の樹脂組成物を塗布後に硬化させることで樹脂層を形成してもよいが、金属層に貼付可能な樹脂フィルムとするのが製造しやすさの理由により好ましい。特にＰＥＴフィルムを好適に用いることができる。特に、ＰＥＴフィルムとして２軸延伸フィルムを用いることにより、シールド材の強度を高めることができる。
【００２７】
樹脂層の厚みは特に制限されないが、一枚当たりの厚みが４μｍより薄いとシールド材の（伸び）破断歪が低下する傾向にあることから、樹脂層の一枚当たりの厚みは４μｍ以上であることが好ましく、７μｍ以上であることがより好ましく、９μｍ以上であることが更により好ましく、１０μｍ以上であることが更により好ましく、２０μｍ以上であることが更により好ましく、４０μｍ以上であることが更により好ましく、８０μｍ以上であることが更により好ましく、１００μｍ以上であることが更により好ましい。一方、一枚当たりの厚みが６００μｍを超えてもシールド材の（伸び）破断歪が低下する傾向にある。そこで、樹脂層の一枚当たりの厚みは６００μｍ以下であることが好ましく、５００

μｍ以下であることがより好ましく、４００μｍ以下であることが更により好ましく、２５０μｍ以下であることが更により好ましく、２００μｍ以下であることが更により好ましい。本発明の一実施形態において、すべての樹脂層が同一の厚みでもよいし、層毎に厚みが異なってもよい。ここで、樹脂層一枚とは、金属層が介在されずに樹脂が連続している部分を意味する。例えば、電磁波シールド材の製造過程で複数の樹脂フィルムを連続的に積層する場合でも、これらのフィルム間には金属層が介在しておらず、見かけ上は１つの連続体であるため、一枚の樹脂層として見なされる。樹脂層の厚みは、上述した金属層の厚みの測定方法と同様の方法で測定できる。

【００２８】

一般的に、樹脂層は金属層と比較して延性が高い。このため、各金属層の両面を樹脂層によりサポートすることにより、シールド用金属層の延性が顕著に向上し、積層体の成形加工性が有意に向上する。成形加工性向上の観点から、金属層同士を直接重ねるより、樹脂層を介して金属層を重ねることが好ましい。

【００２９】

樹脂層表面には金属層との密着性促進などを目的とした各種の表面処理が行われてもよい。例えば、樹脂層のシールド用金属層との貼合面にプライマーコートやコロナ処理を行うことでシールド用金属層との密着性を高めることができる。

【００３０】

（３．電磁波シールド材料）

本発明の一実施形態において、Ｎ（ただし、Ｎは１以上の整数）枚の金属層と、Ｍ（ただし、Ｍは１以上の整数）枚の樹脂層とが積層された金属樹脂複合電磁波シールド材料であって、以下の式から算出されるＶＦＬ（Ｖａｌｕｅ　ｏｆ　Ｆｏｒｍｉｎｇ　Ｌｉｍｉｔ）が、ＶＦＬ＞０．２４を満たすことを特徴とする金属樹脂複合電磁波シールド材料が提供される。

【数２】

$$\mathrm{VFL}=\sqrt{\varepsilon_1^2+\varepsilon_2^2}$$

【００３１】

Ｎは、１以上の整数であれば特に制限されず、Ｎを大きくすることでより高い電磁波シールド効果を得ることができる。ただし、前述のように、典型的には、Ｎは１、２、３、４、又は５である。

【００３２】

Ｍは、１以上の整数であれば特に制限されないが、金属層同士の間に樹脂層を挟み込み、電磁波シールド効果を向上させるために、典型的には、Ｍ＝Ｎ＋１又はＭ＝Ｎ－１又はＭ＝Ｎである。アース接続等の観点からは最外層の少なくとも一方は金属層であることが好ましい。

【００３３】

以下、ＶＦＬの算出方法を詳しく説明する。前述の式から算出されるＶＦＬが大きければ大きいほど、成形加工性が高いことを本発明者は見出している。

【００３４】

ＦＬＤ（成形限界線図）用の金型を用いて成形限界を評価する（図１）。金型はＩＳＯ－１２００４－２－２００８で記載されている大きさを２５％に縮小して設計する。パンチの寸法はＤ＝２２．５ｍｍ、Ｒ部R_f＝２ｍｍ、４ｍｍ又は６ｍｍとする。ダイのＲ部R_d＝２ｍｍとする。パンチとダイのクリアランスは２．２５ｍｍとする。しわ押えにはＷ型ノッチを付け、金型の押さえ圧力を初期圧として４０００Ｎとすることで、試験片が成形時に引き込まれないようにする。試験片の設置の際には、材質や摩擦による影響を小さくするために駆動板を試験片とストリッパープレートの間に挟む。駆動板としては日東電工株式会社製ニトフロンＮｏ．９００ＵＬ（厚み０．０５ｍｍ）を用いることができる。ま

た駆動板は外形φ６０ｍｍで中央にφ２ｍｍの穴をあけた形状とする。φ６０ｍｍの円形の試験片を切り出し、中央付近に１ｍｍピッチのグリッド状のマーキングを施し、パンチ押し出し深さを０．５ｍｍずつ増加させて試験片を成形加工する。１つの深さに対してｎ＝３の試験片を用意し、各試験片の中央付近のグリッドのうち任意の４つのマスについてマイクロスコープで観測し、金属層を貫通する割れが５０％以上（すなわち、合計１２個の観測箇所のうち６つ以上）観測された時のパンチ押し出し深さを記録する。そして、当該パンチ押し出し深さにおける各マスの大きさ（L_1、L_2、L_3、L_4）、変形角度（θ_1、θ_2）をマイクロスコープにて測定する（図２）。

【００３５】

次に、各試験片の上記４つのマスについて、以下の式に従い、変形後のマスの平均長さ、及び、平均変形角：

$\bar{\theta}$

を算出する。

【数３】

$$\text{平均長さ}\overline{A'B'} = \frac{L_1 + L_2}{2}$$

【数４】

$$\text{平均長さ}\overline{A'C'} = \frac{L_3 + L_4}{2}$$

【数５】

$$\text{平均変形角}\bar{\theta} = \frac{\theta_1 + \theta_2}{2}$$

【００３６】

次に、図３を参照して、上記平均長さ、及び平均変形角に基づいて、当該マス内の最大ひずみ及び最小歪みに相当する真ひずみε_1及びε_2を計算する。

【００３７】

ε_1及びε_2の計算手順は以下のとおりである。

まず、

【数６】

$$n = \frac{\overline{A'B'}}{2} \qquad h = \overline{A'C'}\sin\bar{\theta} \qquad m = \tan\bar{\theta}$$

としたときに変形後の平行四辺形に内接する楕円は以下のように表される。

【数７】

$$\alpha x^2 + 2\beta xy + \gamma y^2 = 1 \quad (※) \quad \left(\alpha = \frac{1}{n^2}, \beta = -\frac{1}{n^2 m^2}, \gamma = -\frac{h^2 + 4mn}{n^2 m^2 h^2}\right)$$

上記「※」を直交座標（ｘ，ｙ）から極座標変換（ｒ，φ）に変換すると、

【数８】

$$f(\varphi) = \alpha cos^2\varphi + \beta sin2\varphi + \gamma\varphi \quad \left(f(\varphi) = \frac{1}{r^2}\right)$$

となる。

ｆ（φ）が最大、最小となるφは（ｄｆ（φ））／ｄφ＝０と満たすため、（ｄｆ（φ））／ｄφ＝０を解くと、以下のようなφが求められる。

【数９】

$$\varphi_{1,2} = -\frac{\eta}{2}, \frac{\pi - \eta}{2} \quad \left(sin\,\eta = \frac{2\beta}{\sqrt{(\gamma-\alpha)^2 + 4\beta^2}}\right)$$

φ$_{1,2}$からｌ$_1$′及びｌ$_2$′を求めると、以下のようになる。

【数１０】

$$l_1' = 2\sqrt{\frac{1}{f(\varphi_1)}} \qquad l_2' = 2\sqrt{\frac{1}{f(\varphi_2)}}$$

ｌ$_1$′及びｌ$_2$′は、楕円の最大径及び最小径を示す。

格子間隔ｌ$_0$と、ｌ$_1$′及びｌ$_2$′を用いて真ひずみは以下のように表される。

【数１１】

$$\varepsilon_1 = ln\{(l_1' - l_0) + 1\}, \varepsilon_2 = ln\{(l_2' - l_0) + 1\}$$

計算された値が大きい方を最大ひずみ、小さい方を最小ひずみとする。

【００３８】

最後に、金属層を貫通する割れが５０％未満となった最大の深さｄを成形限界として、以下の式から各マスにおけるＶＦＬ（Ｖａｌｕｅ ｏｆ Ｆｏｒｍｉｎｇ Ｌｉｍｉｔ）を算出する。計測ばらつきを少なくするため算出した各マスにおけるＶＦＬを平均し、試験片のＶＦＬとした。

【数１２】

$$\mathrm{VFL} = \sqrt{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2}$$

【００３９】

なお、金属層を貫通する割れとは、金属層が最外層である場合、当該最外層の金属層を貫通する割れを意味し（図４（Ａ））、金属層の最外層ではなく、樹脂層に覆われている場合、当該樹脂層を剥がして、その樹脂層に最も近傍の内部の金属層を貫通する割れが確認されることを意味する（図４（Ｂ））。樹脂層と金属層がともに割れた場合は観察する４つのマスにおいて金属層の割れが発生していない場合でも、すべてのマスにおいて金属層を貫通する割れがあったとする（図４（Ｃ））。

【００４０】

上記手順で計算されたＶＦＬが０．２４を超える場合、金属樹脂複合電磁波シールド材料の成形限界が５．０ｍｍ以上となることが判明し、成形加工性が高いことが分かった。そのため、ＶＦＬが０．２４を超える場合、連続体として成形が可能であり、例えば、５ｍｍ以上の凹凸に追従することが可能である。この観点から、ＶＦＬは０．２６以上であることが好ましく、０．２８以上であることがより好ましく、０．３０以上であることが更により好ましく、０．３２以上であることが更により好ましく、０．３４以上であるこ

とが更により好ましく、０．３６以上であることが更により好ましく、０．３８以上であることが更により好ましく、０．４０以上であることが更により好ましい。ＶＦＬの上限は特に限定されないが、例えば生産性やコストの観点から、０．５０以下とすることができる。

【００４１】

ＶＦＬを向上させる方法は特に限定されないが、例えば、各層の金属層の厚みを調整することや、樹脂層の伸びを調整する方法がある。

【００４２】

本発明の各実施形態に係る金属樹脂複合電磁波シールド材料は、特に電気・電子機器（例えば、インバータ、通信機、共振器、電子管・放電ランプ、電気加熱機器、電動機、発電機、電子部品、印刷回路、医療機器等）の被覆材又は外装材、電気・電子機器に接続されたハーネスや通信ケーブルの被覆材、電磁波シールドシート、電磁波シールドパネル、電磁波シールド袋、電磁波シールド箱、電磁波シールド室など各種の電磁波シールド用途に利用することが可能である。また、本発明の各実施形態に係る金属樹脂複合電磁波シールド材料をインサート部品としてインサート成形することも可能である。さらに、電磁波シールド効果を向上させるために本発明に係る金属樹脂複合電磁波シールド材料の内側及び／又は外側に本発明に影響のない範囲で磁性シートなどの電磁波シールドシートを貼り付けることもできる。

【実施例】

【００４３】

以下に本発明の実施例を比較例と共に示すが、これらは本発明及びその利点をよりよく理解するために提供するものであり、発明が限定されることを意図するものではない。

【００４４】

金属層として、３種類の圧延銅箔（表面からＥＢＳＤ（結晶方位解析）を用いて測定した場合、タイプＡ：結晶粒径が３００μｍ以上；タイプＢ：結晶粒径が１０μｍ以上；タイプＣ：結晶粒径が１０μｍ未満。）と２種類のアルミニウム箔（タイプＡ：Ａ８０２１材；タイプＢ：Ａ８０２１材を３００℃で１時間焼き鈍したもの。）を用意し、樹脂層として、３種類の樹脂（ＰＥＴ：ポリエチレンテレフタレートフィルム、ＰＥ：ポリエチレンフィルム、ＰＣ：ポリカーボネートフィルム）を用意した。各種の銅箔の厚みと導電率、及び各種樹脂の厚みは表１に示される通りである。なお、表１において、「フィラー」の欄が「×」と表示されているものはフィラーが添加されておらず、「〇」と表示されているものはフィラーを添加した樹脂である。

【００４５】

各例について、表１に示される積層構造に従って積層した。積層するための接着剤としてウレタン系接着剤を使用した。積層構造に表示される各層の順番は積層の順番である。なお、「Ｒｅｓｉｎ」は樹脂層を意味し、「Ｍｅｔａｌ」は金属層を意味する。各樹脂層と各金属層との間に接着剤層があるが、表１では表記が省略される。

【００４６】

（成形加工性の評価）

各実施例及び比較例について、前述したＦＬＤ（成形限界線図）用の金型を用いて、成形限界の深さを評価するとともに、そのときの歪み量からＶＦＬを計算した。表１のように、実施例では成形限界の深さが５．０mm以上であり、成形加工性に優れていた。このとき、ＶＦＬの数値がいずれも０．２４より高かった。なお、表１において、「成形性」が「◎」と表記されるものは成形限界の深さが８．５mm以上であることを意味し、「〇」と表記されるものは成形限界の深さが５．０mm以上８．５mm未満であることを意味し、「△」と表記されるものは成形限界の深さが４．０mm以上５．０mm未満であることを意味し、「×」と表記されるものは成形限界の深さが４．０mm未満であることを意味する。

【００４７】

（シールド性の評価）

そして、各実施例及び比較例について、金属層の導電率σ（Ｓ／ｍ）と、合計厚みｄ（ｍ）から、見かけコンダクタンスＣ＝σ×ｄ（Ｓ）を計算した。金属層の導電率は上述の４探針法により求め、金属層の厚みは樹脂と積層する前の各金属層について定圧厚さ試験機（ＴＨＩＣＫＮＥＳＳ　ＭＥＴＥＲ　Ｂ－１、東洋精機製作所製）を用いて上述した方法により測定した。また、各実施例及び比較例についてＫＥＣ法シールド効果測定装置（テクノサイエンス社製、ＪＳＥ－ＫＥＣ）の磁界測定治具とネットワークアナライザ（Ｋｅｙｓｉｇｈｔ　Ｔｅｃｈｎｏｌｏｇｉｅｓ製、Ｅ５０８０）を用いて、室温（２５℃）の条件下で、５００ｋＨｚの周波数における磁界シールド効果を評価した。見かけコンダクタンスＣの計算結果及びシールド効果の測定結果を表１に示す。本発明の実施例は、成形加工性を向上させつつ、シールド効果を維持できたことが分かる。なお、表１において、「シールド効果」が「〇」と表記されるものは５００ｋＨｚの周波数帯においてＫＥＣ法で１０ｄＢ以上のシールド効果を有することを意味し、「×」と表記されるものは５００ｋＨｚの周波数帯においてＫＥＣ法で１０ｄＢ未満のシールド効果を有することを意味する。

【００４８】

【表１】

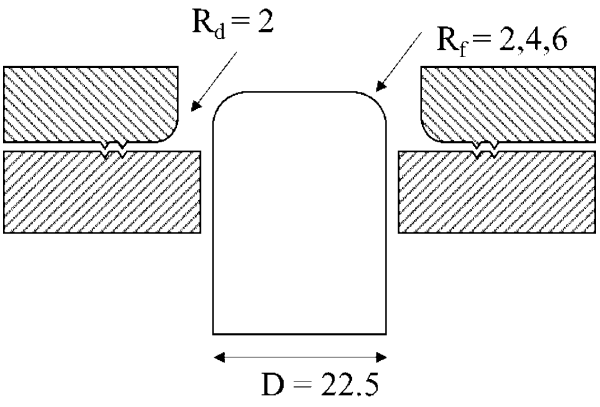
	積層構造	金属層					樹脂層					パンチ（mm）	成形限界深さ（mm）	VFL	割れ状態	成形性	シールド効果
		種類	厚み（μm）	合計厚み（μm）	導電率（S/m）	見かけコンダクタンスC（S）	種類	厚み（μm）	伸び	フィラー							
実施例1	Resin/Metal/Resin/Metal/Resin/Metal	Cu(タイプA)	18	54	5.7.E-07	3.1.E-11	PET	100	130%	×		R=8	7	0.3763	内部箔割れ	○	○
実施例2	Resin/Metal/Resin/Metal/Resin/Metal	Cu(タイプB)	18	54	5.7.E-07	3.1.E-11	PET	100	130%	×		R=8	6	0.2633	内部箔割れ	○	○
実施例3	Resin/Metal/Resin/Metal	Cu(タイプB)	35	70	5.7.E-07	4.0.E-11	PET	100	130%	×		R=8	8.5	0.3113	樹脂割れ	○	○
実施例4	Resin/Metal/Resin/Metal/Resin/Metal	Cu(タイプC)	18	36	5.7.E-07	2.1.E-11	PET	100	130%	×		R=8	8	0.2403	内部箔割れ	○	○
実施例5	Resin/Metal/Resin/Metal/Resin/Metal	Al(タイプA)	35	105	4.0.E-07	4.2.E-11	PET	100	130%	×		R=8	8.5	0.4628	外部箔割れ	◎	○
実施例6	Resin/Metal/Resin/Metal	Cu(タイプB)	18	36	5.7.E-07	2.1.E-11	PET	100	130%	×		R=8	6.5	0.3038	内部箔割れ	○	○
実施例7	Resin/Metal/Resin/Metal/Resin/Metal	Cu(タイプA)	18	54	5.7.E-07	3.1.E-11	PET	25	75%	○		R=8	8	0.2758	樹脂割れ	○	○
実施例8	Resin/Metal/Resin/Metal/Resin/Metal	Cu(タイプA)	18	54	5.7.E-07	3.1.E-11	PET	50	125%	○		R=8	8	0.2975	樹脂割れ	○	○
実施例9	Resin/Metal/Resin/Metal/Resin/Metal	Al(タイプA)	35	105	4.0.E-07	4.2.E-11	PET	100	130%	×		R=8	10	0.5791	樹脂割れ	◎	○
実施例10	Resin/Metal/Resin/Metal/Resin/Metal	Cu(タイプA)	18	54	5.7.E-07	3.1.E-11	PET	50	134%	×		R=8	5.5	0.2460	内部箔割れ	○	○
実施例11	Resin/Metal/Resin/Metal/Resin/Metal	Cu(タイプC)	18	64	5.7.E-07	3.1.E-11	PET	50	134%	×		R=8	8	0.2768	内部箔割れ	○	○
実施例12	Resin/Metal/Resin/Metal/Resin/Metal	Cu(タイプA)	18	54	5.7.E-07	3.1.E-11	PA	25	87%	×		R=8	8	0.2730	内部箔割れ	○	○
実施例13	Resin/Metal/Resin/Metal/Resin/Metal	Al(タイプA)	35	105	4.0.E-07	4.2.E-11	PET	50	125%	○		R=8	8.5	0.4790	外部箔割れ	◎	○
実施例14	Resin/Metal/Resin/Metal/Resin/Metal	Al(タイプA)	35	105	4.0.E-07	4.2.E-11	PET	25	75%	○		R=8	8.5	0.4909	外部箔割れ	◎	○
実施例15	Resin/Metal/Resin/Metal/Resin/Metal	Al(タイプA)	35	105	4.0.E-07	4.2.E-11	PET	50	134%	×		R=8	8.5	0.4742	外部箔割れ	◎	○
実施例16	Resin/Metal/Resin/Metal/Resin/Metal	Al(タイプA)	35	105	4.0.E-07	4.2.E-11	PET	25	121%	×		R=8	9	0.4881	外部箔割れ	◎	○
実施例17	Resin/Metal/Resin/Metal/Resin/Metal	Cu(タイプA)	18	54	5.7.E-07	3.1.E-11	PET	25	121%	×		R=8	8.5	0.3216	樹脂割れ	○	○
実施例18	Resin/Metal/Resin/Metal/Resin/Metal	Cu(タイプA)	18	54	5.7.E-07	3.1.E-11	PET	50	134%	×		R=8	8	0.2822	樹脂割れ	○	○
実施例19	Resin/Metal/Resin/Metal/Resin/Metal	Al(タイプA)	35	105	4.0.E-07	4.2.E-11	PC	100	150%	×		R=8	8	0.4804	外部箔割れ	○	○
実施例20	Resin/Metal/Resin	Cu(タイプA)	18	18	5.7.E-07	1.0.E-11	PC	100	150%	×		R=2	7	0.4147	内部箔割れ	△	○
実施例21	Resin/Metal/Resin	Cu(タイプB)	35	35	5.7.E-07	2.0.E-11	PC	100	150%	×		R=4	5.5	0.3443	内部箔割れ	○	○
実施例22	Resin/Metal/Resin	Cu(タイプB)	35	35	5.7.E-07	2.0.E-11	PC	100	142%	×		R=6	6	0.2840	内部箔割れ	○	○
実施例23	Resin/Metal/Resin	Cu(タイプB)	35	35	5.7.E-07	2.0.E-11	PC	100	31%	×		R=8	6	0.2882	内部箔割れ	○	○
実施例24	Resin1/Resin2/Metal/Resin1/Resin2/Metal/Resin1/Resin2/Metal/	Cu(タイプA)	18	64	5.7.E-07	3.1.E-11	Resin 1: PC Resin 2: PET	Resin 1:100 Resin 2:25	100%	×		R=8	8.5	0.3427	外部箔割れ	○	○
比較例1	Metal	Cu(タイプA)	12	12	5.7.E-07	6.8.E-12	樹脂層なし					R=8	2.5	0.1490	金属箔割れ	×	○
比較例2	Metal	Cu(タイプB)	12	12	5.7.E-07	6.8.E-12						R=6	1	0.0721	金属箔割れ	×	○
比較例3	Metal	Cu(タイプC)	12	12	5.7.E-07	6.8.E-12						R=8	0.5	0.0471	金属箔割れ	×	○
比較例4	Metal	Cu(タイプA)	18	18	5.7.E-07	1.0.E-11						R=8	3.3	0.2003	金属箔割れ	×	○
比較例5	Metal	Cu(タイプB)	18	18	5.7.E-07	1.0.E-11						R=6	1.5	0.0878	金属箔割れ	×	○
比較例6	Metal	Cu(タイプC)	18	18	5.7.E-07	1.0.E-11						R=8	1	0.0564	金属箔割れ	×	○
比較例7	Metal	Cu(タイプB)	35	35	5.7.E-07	2.0.E-11						R=8	3	0.1474	金属箔割れ	×	○
比較例8	Metal	Cu(タイプC)	35	35	5.7.E-07	2.0.E-11						R=6	1.5	0.0583	金属箔割れ	×	○
比較例9	Metal	Al(タイプA)	35	35	4.0.E-07	1.4.E-11						R=8	1	0.0390	金属箔割れ	×	○
比較例10	Metal	Al(タイプB)	35	35	4.0.E-07	1.4.E-11						R=8	1	0.0338	金属箔割れ	×	○
比較例11	Resin/Metal/Resin	Cu(タイプC)	18	18	5.7.E-07	1.0.E-11	PC	100	150%	×		R=2	4.5	0.2227	内部箔割れ	△	○
比較例12	Resin/Metal/Resin	Cu(タイプB)	35	35	5.7.E-07	2.0.E-11	PC	100	115%	×		R=6	4.5	0.1914	内部箔割れ	△	○
比較例13	Resin/Metal	Cu(タイプC)	12	12	5.7.E-07	6.8.E-12	PET	100	130%	×		R=6	3.5	0.0571	内部箔割れ	×	○
比較例14	Resin/Metal/Resin	Cu(タイプC)	18	18	5.7.E-07	1.0.E-11	PC	100	150%	×		R=2	4.5	0.2227	内部箔割れ	△	○
比較例15	Resin/Metal/Resin	Cu(タイプB)	35	35	5.7.E-07	2.0.E-11	PC	100	115%	×		R=6	4.5	0.1914	内部箔割れ	△	○

【００４９】

表１から分かるように、本発明の実施例の金属樹脂複合電磁波シールド材料は、ＶＦＬが０．２４を超えることにより、成形加工性が優れていた。また、シールド効果も高く維持できた。また、実施例２４のように樹脂層として複数の樹脂フィルムを連続して積層したが、金属層が介在されない部分をまとめて一枚の樹脂層とした。

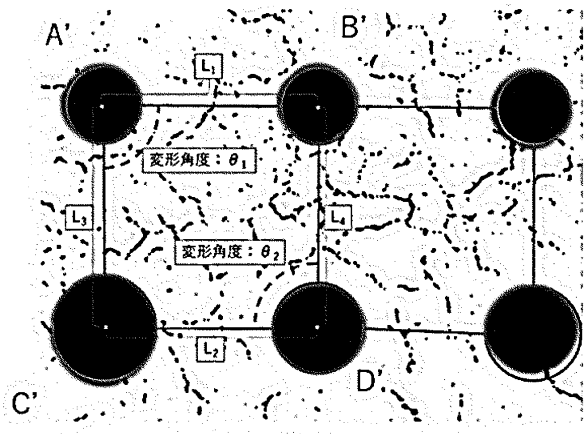
【図面】

【図１】

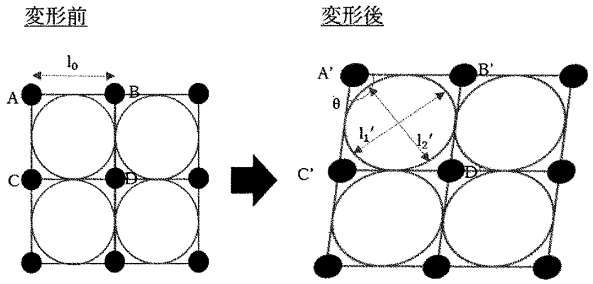


寸法：ｍｍ

【図２】



【図３】



変形モデル

【図４】

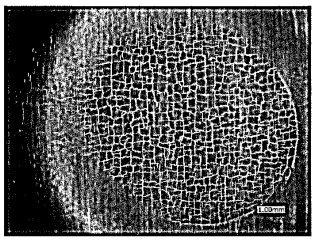


図4(A)

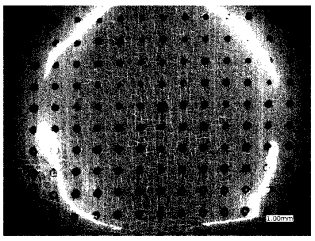


図4(B)

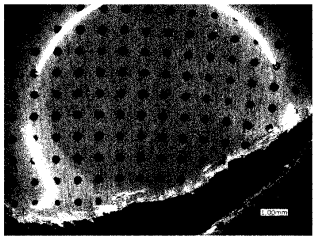


図4(C)

フロントページの続き

(56)参考文献　　特開２０２２－０９１５７９（ＪＰ，Ａ）
(58)調査した分野　(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｈ０５Ｋ　９／００
Ｂ３２Ｂ　１５／０８
Ｈ０１Ｑ　１７／００