

誘導加熱によるプラスチック表面の改質

電子技術課 高林外広、横山義之 機械システム課 佐伯和光、寺澤孝志 中央研究所 柿内茂樹

1. 緒言

プラスチックは、安価で軽量、また容易に成形が可能であるという利点から、自動車や電気・電子部品、建築・住宅等の工業用途や、日用雑貨品等の一般用途まで生活の様々な場面で使用されている。しかし、ガラスや金属に比べ耐擦傷性や耐候性、耐薬品性等の点で劣るため、これらの欠点を補うことができれば、その用途は大きく広がるものと期待される。

本研究では、プラスチック表面に耐薬品性、耐摩耗性等を付与することを目的とし、プラスチック基板上に導電材料を成膜し、マイクロ波照射により誘導加熱することで、プラスチック表面のみを高温に加熱できるか検討を行った。

2. 加熱原理

マイクロ波による加熱については下記の式(1)に示されるように伝導による損失、誘電損失、磁性損失の和で表される。水のような溶媒の加熱については誘電損失によるものが主であるが、金属の発熱については電子の伝導による損失の寄与が大きい。

$$P = 1/2 \sigma |E|^2 + \pi f \epsilon_0 \epsilon'' |E|^2 + \pi f \mu_0 \mu'' |H|^2 \quad (1)$$

P : 単位体積あたりのエネルギー損失[W/m³]

E : 電場[V/m]、 H : 磁場[A/m]、 σ : 電気伝導度[S/m]

f : 周波数[s⁻¹]、 ϵ_0 : 真空の誘電率[F/m]、 ϵ'' : 誘電損失

μ_0 : 真空の透磁率[H/m]、 μ'' : 磁気損失

プラスチック基板に導電材料を成膜した試料にマイクロ波を照射すると、マイクロ波は導電薄膜を透過し、これに誘導されて渦電流が発生し、ジュール熱が生じ金属が発熱され、これに接するプラスチック表面が高温に加熱されるものと考えられる。

3. 実験方法

本研究では、プラスチック基板として、これまで塗装が困難であった PE、PP を用いた。まず基板(50mm×50mm×1mm)をアルコール洗浄した後、膜厚制御のしやすいスパッタリング法により金属薄膜を作製した。成膜する金属には、Ni-Cr、Ta、Al を選び抵抗率の違いによる比較を行うとともに、金属以外の導電材料の比較として ITO(Indium Tin Oxide)を選び実験を行った。マイクロ波加熱は一般家庭でも使用されている出力可変型の電子レンジ(松下電器産業製、NE-T150)を使用し、

100W、150W、300W、500W で出力を変化させて検討した。また、電磁波のエネルギーを減衰させるため、100ccの水を入れたカップ上に試験片を置いて加熱を行った。表面温度は、導電膜上にサーモラベル(日油技研工業製、50~250℃)を貼り付け、ラベルの変色により計測した。

4. 実験結果および考察

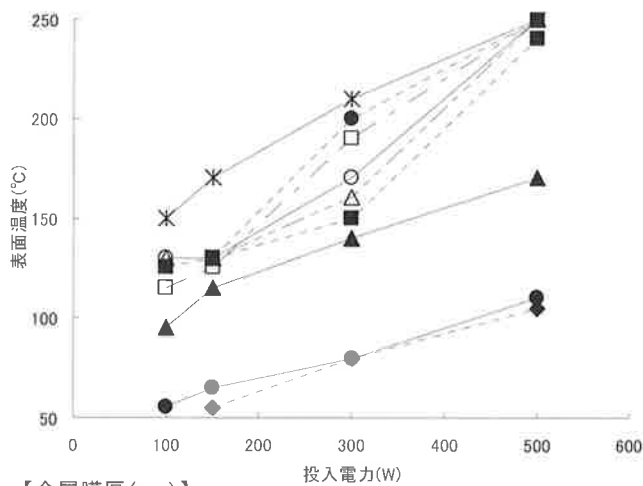
Table1 に Ni-Cr 膜厚とマイクロ波照射による加熱結果を示す。なお、膜厚はスパッタ時間より推定した。これより、Ni-Cr 膜厚 3.3nm までは試験片表面が十分昇温しなかった。一方、Ni-Cr 膜厚が 66.7nm 以上になると試料表面から放電し、発火した。これは Ni-Cr 膜に比べプラスチック基板の熱膨張係数が大きく、マイクロ波加熱により温度が上昇すると、Ni-Cr 膜に引張応力が生じる。Ni-Cr 膜厚が 66.7nm 以上では膜中に亀裂が発生しその部分から、電子が放出され火花を発すると考えられる。また Ni-Cr 膜厚が 3.3nm 以下では十分な発熱が得られない。以上のことから、Ni-Cr 膜を用いた場合は適正な膜厚は 6.7nm 以上 60nm 以下であることが分かった。

Table 1 Relationship between hardening effect and thickness of coating material.

膜厚 (nm)	MW 照射 (100W×30 秒)
0、1.7、3.3	× (加熱されない)
6.7、13.3、20、26.7、33.3、40、50、60	○ (加熱される)
67.7、105、133、200	× (火花を発する)

※試験片条件/基板: PE、金属: Ni-Cr(膜厚: 0~200nm)、マイクロ波加熱時間: 30 秒、塗料: 抗菌用塗料

Fig.1 にサーモラベルを使用して Ni-Cr 膜の表面温度を測定した結果を示す。比較のため、塗装膜上の温度測定も行った。Ni-Cr 膜のない試料でも温度上昇を示しているが、PE ではマイクロ波による加熱・上昇が生じないことから、サーモラベル自身の温度変化である。Ni-Cr 膜厚 3.3nm 以下の試料では、マイクロ波の吸収が少ないため、加熱されない。Ni-Cr 膜厚が 6.7nm の場合は 500W のマイクロ波照射で 170℃まで加熱された。Ni-Cr 膜が 13.3nm 以上の場合には 500W のマイクロ波照射で 250℃以上加熱された。なおデータのバラツキはみられるものの Ni-Cr 膜厚が大きいほど温度上昇が大きいことが分かった。これらのことから、6.7nm 以上の Ni-Cr 膜ではマイクロ波照射により加熱されることが確認された。また、これは Table1 の結果とも一致する。



【金属膜厚 (nm)】

- ◆ 0
- 3.3
- ▲ 6.7
- 13.3
- ✱ 20
- (塗装上)
- 26.7
- △ 33.3
- 50

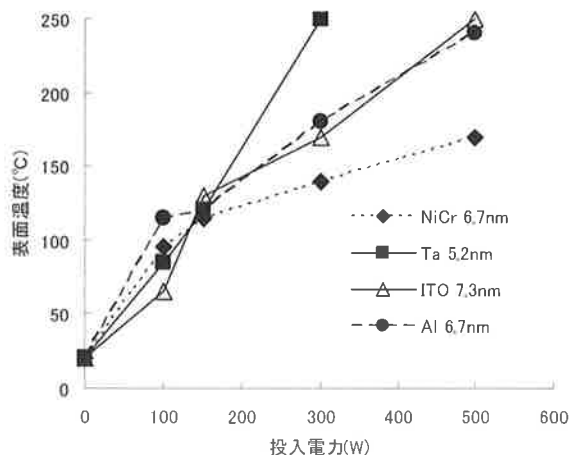
※ 試験片条件/基板:PE、金属:Ni-Cr(0~66.7nm)、
マイクロ波加熱時間:30秒

Fig.1 Surface temperature of Ni-Cr on substrate under microwave heating.

Table 2 Relationship between volume resistance and thickness of conducting film.

基板	導電材料	膜厚 (nm)	体積抵抗 (Ωcm)
PE	Ni-Cr	6.7	2.24×10^{-1}
	Ta	5.2	2.71×10^{-3}
	Al	6.7	8.35×10^{-5}
	ITO	7.3	8.43×10^{-3}

次に、導電材料の種類と表面温度の関係について検討した。導電材料には Ni-Cr、Ta、Al、ITO を用いた。Table2 に各材料の膜厚と体積抵抗値を、Fig. 2 に各試験料における投入電力と表面温度の関係を示す。これより、Ta では 300W の投入電力で表面温度は 250°C に達し、Al、ITO では 500W で 250°C に達した。理論的には、マ



※試験片条件/基板:PE、マイクロ波加熱時間:30秒

Fig.2 Relationship between electric power and surface temperature of every conductive material.

イクロ波加熱は、より抵抗の低い材料の方が発熱するが、今回の実験では体積抵抗値による温度上昇の差は見られなかった。

4. 結言

本実験ではプラスチック表面に、耐薬品性、耐摩耗性等を付与することを目的とし、プラスチック基板上に成膜した金属薄膜のみをマイクロ波加熱することが可能か検討を行った。その結果得られた知見を以下に示す。

- ① Ni-Cr 膜の場合では 6.7nm 以上 60nm 以下で金属表面の加熱が可能である。
- ② 投入電力量が大きいほど金属表面温度が上昇し、また金属膜厚が大きい方が加熱されやすい。
- ③ 導電材料の種類に関わらず、試料表面を高温まで加熱することができる。

「参考文献」

- (1) 吉川昇: あたりあ, 48 (2009), 3-10
- (2) 滝沢博胤他: あたりあ, 45 (2006), 577-580

キーワード: プラスチック、マイクロ波加熱、導電薄膜、局部過熱

The Reforming of the Plastic Surface by the Induction Heating.

Sotohiro TAKABAYASHI, Yoshiyuki YOKOYAMA, Kazumitsu, SAEKI,
Takashi TERASAWA and Shigeki KAKIUCHI

Plastic is utilized in various fields. But there are some weakness (e.g. abrasion resistance, weather-resistance, gas barrier property, chemical resistance etc.). Various surface processing and surface modification are carried out for redeeming plastic defect and providing some function on plastic surface. There are sputtering methods, hard coating technologies, plating and so on.

In this study, microwave heating is carried out in a metal film deposited by sputtering on the plastic substrate. It is known that metal film is heated, and plastic is not heated by the microwave irradiation. By heating only metal film selectively, it is expected that the adhesion between plastic substrate and metal film is improved, and the high-temperature curing coating material is used for plastic substrate without deformation.