鍛造によるマグネシウム合金と銅の複合材インシュレーターの作製

古澤央至^{*1}, 福留一樹, 西田進一^{*2}, 本村貢^{*2}

Forging of Mg alloy – Cu Composite Insulator

Hisashi FURUSAWA^{*1}, Kazuki FUKUDOME, Shinichi NISHIDA^{*2}, Mitsugu MOTOMURA^{*2}^{*1} Waseda University, Faculty of Science and engineering,

Department of Applied Mechanical and Aerospace Engineering, Motomura Lab., Okubo 3-4-1, Shinjuku-ku, Tokyo.

Key Words : Forging, Mg alloy – Cu composite, Insulator

1. 緒 言

オーディオ分野において、インシュレーターはアンプやスピーカーなど各機器から生じる振動を、機器間で干渉させないために用いられ、振動の吸収を目的としたものや、振動を速やかに減衰させるのを目的としたものがある。また、現在より特性の優れたインシュレーターとして接点部のみを銅に置き換えた複合インシュレーターの開発が進んでいる。

また、マグネシウムは比重が約 1.8 と実用合金中最も軽量であり、振動吸収性が優れている。しかし、マグネシウムは常温で塑性加工が困難であり、そのため現在マグネシウムインシュレーターは全て機械加工により作製されており、製品価格が高価であることが問題となっており鍛造¹⁾による作製が期待されている。

そこで本研究ではまずマグネシウム単体を用いて熱間鍛造による作製を試みた。これにより、単一工程での作製に成功したので、より優れた特性をもつインシュレーターとして、上記の要求があるマグネシウムインシュレーターの接点部分のみを銅に置き換えた複合インシュレーターを鍛造により 1 工程での作製に試みた。本報告ではマグネシウムと銅の複合インシュレーターの鍛造実験、FEM 解析、微細組織観察、接合界面分析について報告する。

2. 実験方法・実験条件

素材形状を図 1 に示す。寸法は目標とする製品の体積から計算し、Mg 合金 (M1 合金) は $\phi 48\text{mm}$, 高さ 8.6mm, 銅 (純銅) は $\phi 27\text{mm}$, 高さは凸形状では 6.21mm, 凹形状では 4.40mm とした。図 2 に作製したインシュレーターのモデル図を示す。鍛造実験ではアムスラー型万能試験機を用いて行なった。なお、その際温度調整が可能な炉を設置し、熱間の状態にして鍛造を行なった。図 3 に実験の概略図を示す。図のように 3 つの金型を作製し、ダイの中に素材を入れ(銅が下部でマグネシウムが上部)、上からパンチで荷重を加える。なお、高さはモデル図の体積から逆算した。インシュレーターの形状を成形するためにピンに凹凸の加工を施した。金型の材質は全て S45C である。潤滑剤としてグラファイトを付与し(ただし接合面には付与しない)、最大荷重は 80t とした。炉の温度は 400℃に設定し、素材を金型内で約 60 分間保持し素材温度が 350℃に達した後、鍛造実験を行なった。負荷を開始してから最大荷重に達するまでの時間は 5~10min である。鍛造後、試験片を金型から取り出し空冷した。

3. 実験結果・考察

3・1 形状(体積)について

図 4 と図 5 に解析値と荷重ストローク線図の比較を示す。このグラフから、測定値は解析値に類似しているこ

^{*1} 学生員, 早稲田大学基幹理工学部機械科学・航空学科 本村研究室 (〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 本村研究室)

^{*2} 正員, 早稲田大学基幹理工学部機械科学・航空学科
E-mail: f.elle-acid.736@ruri.waseda.jp

とが分かる。まず凸形状については、先端まで完全に充填させることが出来なかったが、より負荷をかけ、先端部に穴を設けることで十分な充填が可能であると考えられる。

得られたインシュレーターの写真と、解析上 75t の荷重がかかったときのインシュレーターの様子との比較を図 6 に示す。この荷重では解析上でも先端は充填しておらず、その外形は酷似している。次に凹形状については、図 4 より解析値と測定値が類似している。得られたインシュレーターを見ても完全に充填しており、凹形状については目的形状通りのインシュレーターを作製することができたと結論づける。

3・2 接合界面について

図 7 に凸形状インシュレーターと凹形状インシュレーターの断面図の写真を示す(図中の ABC は表 1 に対応)。これより銅とマグネシウムの界面がインシュレーターの形状の影響を受けた変形をしていることが分かる。これは、ピンの形状がそのまま界面にも反映されたと考えられる。

次に、表 1 に微細組織観察の結果を示す。観察箇所は界面の角部・中心部・パンチ底部である。これより、銅とマグネシウムの界面は角部・中心部ともに空隙が観察された。また、マグネシウムの粒径に関しては界面では約 $25\text{--}50\text{ }\mu\text{m}$ の微細な結晶を有していた。

また、走査型電子顕微鏡(SEM)の X 線解析(EPMA)を用いて界面の元素分析を行なった。調査した元素は、O,Mg,Al,Mn,Cu である。界面中心部の元素分析と線分析の結果、界面にやはり空隙があり、マグネシウムと銅で完全に分離していた。別の箇所でも数ヶ所測定したが同様の結果が得られた。しかし、界面の角部だけ違った結果が得られた。その結果を図 8 に示す。これより、界面角部には空隙は見られず、酸化皮膜が生成されていることが分かる。また、界面中心部などでは銅とマグネシウムの拡散が見られなかったが、界面角部では銅の方へマグネシウムが拡散している(図 8, 線分析結果)。つまり、化合物が生成しており、界面角部では拡散接合をしていると言える。このように部分的に拡散接合した理由として、図 9 (図 9 は図 7 凸形状の半分に右回りに 180° 回転したもの)の相当ひずみ分布から界面角部ではひずみが大きく、銅とマグネシウムの間に新生面ができ、熱間にて Mg と Cu の合金が形成したためであると考えられる。

4. 結 言

以下の知見を得た。

- (1) 熱間鍛造によりマグネシウムと銅の複合材インシュレーターの作製は可能であった。
- (2) マグネシウムと銅の接合界面は部分的だが拡散接合をしていた。

5. 文 献

- (1) 松本良：塑性加工春季講演会講演論文集，Vol.2010，159-160

6. 謝 辞

材料を提供して下さった、東京マグネシウム株式会社様に厚く御礼申し上げます。

Fig.3 Model of die

Fig.4 Load-stroke diagram (concave)

Fig.5 Load-stroke diagram (convex)

Fig.6 Comparison of produced insulator with model of insulator at 75 ton

Fig.7 Cross-section surface of Insulator

Fig.8 Result of elemental analyze

Fig.9 Equivalent strain distribution

Table1 Microstructure

	×100	×1000
A		
B		
C		