

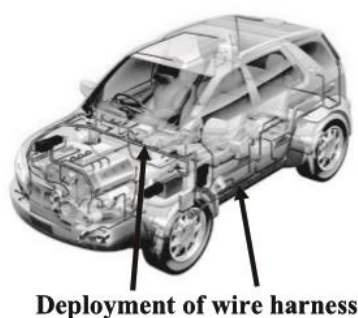
熱間押出法で作製した Al-Fe 合金粉末押出材の特性

日大生産工(学部) ○水口 賢人 日本軽金属(株) 塩田 正彦

日大生産工 久保田 正広

1. 緒言

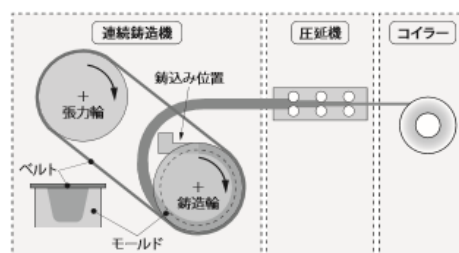
自動車には、自動車の基本性能(走る・曲がる・止まる)や安全性、そして利便性や快適性を可能にする様々な電子機器が搭載されており、これらはいずれもバッテリーからの電力と制御信号によって動作する。この電力と信号の伝送を担っているのがワイヤーハーネスである。Fig. 1 に自動車に用いられているワイヤーハーネスを示す¹⁾。ワイヤーハーネスの質量は自動車一台当たり 20~50kg に達している。

Fig. 1 Wire harness used for cars¹⁾.

現在、ワイヤーハーネスには導電率の高い銅合金が用いられているが、自動車の軽量化のために、このワイヤーハーネスを従来の銅(比重 8.9)からアルミニウム(比重 2.7)に置き換えることが強く求められている。

現在、ワイヤーハーネスはFig. 2 に示すプロペルチ法(線材連続铸造圧延法)によって量産されている²⁾。プロペルチ法はU字溝のホイールとベルトの間に溶湯を流し込んで铸造した後、連続して三方圧延機で多段に圧延し、丸棒を製造する方法(铸造圧延法)である³⁾。

しかし、この方法によって得られるワイヤーハーネスの引張強さは 150MPa 以下であり、200MPa を超える銅合金に比べて低いため、より高強度なアルミニウム線材の開発が必要である。

Fig. 2 Properzi method for the manufacture of the electric wires²⁾.

そこで我々は铸造圧延法よりもアルミニウム合金の高強度化が可能な粉末冶金法に着目した。粉末冶金法とは、金属を溶かしてから成型する溶解铸造法とは異なり、金属粉末を成型して焼結させ、金属製品を作製する方法である。そのため、金属の融点や比重の関係で均一な組織を作りにくい合金の製造などが可能なことや、金属溶湯を急冷凝固させることで固溶限以上に添加元素を固溶させることが可能な点などが特徴として挙げることができる⁴⁾。

本研究では、ワイヤーハーネスに必要な伸び(目標:10%以上)、導電率(目標 55%IACS 以上)を維持したうえで 200MPa を超える引張強さを示す材料の開発を目的とした。選択した合金系は Al-Fe 系とし、Fe の添加量は 2.0%とした。Al-2.0mass%Fe 合金を粉末冶金法によ

って作製し、評価することを目的とした。

2. 実験方法

2.1 供試材の作製

本研究では純度 99.7% のアルミニウムと Al-10mass % Fe 母合金を用いた。Al-2.0mass%Fe 合金になるように溶製し、その粉末を Fig. 3 に示すエアアトマイズ法にて作製した⁵⁾。次に、得られた粉末から 100 メッシュ以上の粗大粉を分級・除去した。分級後の粉末を冷間静水圧成形法により押出用のビレットを作製した。冷間静水圧成形法とは、Fig. 4 に示すように金属粉末をゴム型に充填し密閉後、高压容器内の圧力媒体中に直接浸漬させ、ゴム型の外面に等方圧を作用させ圧粉成型する方法である⁶⁾。内径 38mm、高さ 92mm のゴム型を使用し、等方圧は 98MPa とした。

作製したビレットを空気炉にて 573K、623K、673K の条件で 40 分加熱後、Fig. 5 に示す熱間押出機によって熱間押出することで $\phi 5$ の導電材を作製した。この時の押出比は 1:49、押出速度は 5.0mm/min とした。空気炉設定温度と押出機のコンテナ温度は 573K、623K、673K の条件で設定し、押出温度ごとの引張強さ、伸び、導電率の影響を調べた。

2.2 材料評価

導電材の評価は JIS3002-1992「電気用銅線及びアルミニウム線試験方法」に準じて行った。引張試験に用いる導電材は、低速切断機を用いて全長 400mm に切断し、中央部に 250mm の標線を記した。その後、導電材の中心と中心から 50mm ずつ離れた点の計 9 点の直径を測定し、その平均値を直径とした。引張試験機の最大試験力は 2000kgf、引張速度は 50mm/min とし、室温で引張試験を行い、押出温度が引張強さや伸びにどのような影響があるかを調べた。

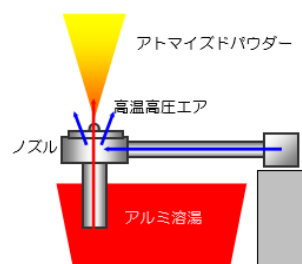


Fig. 3 Air atomization method⁵⁾.

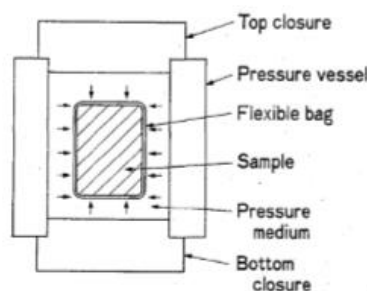


Fig. 4 Cold isostatic pressing method⁶⁾.



Fig. 5 Hot extrusion machine.

導電材の導電率測定は、四端子法を用いた。導電率の単位は国際的に採択された焼鈍標準軟銅の体積抵抗率 $1.7241 \mu \Omega \text{ cm}$ を 100%IACS とする%IACS で評価した。

3. 実験結果および考察

3.1 粉末の組織

Fig. 6 に Fig. 3 の工程から得られた Al-2.0mass%Fe 合金粉末の組織写真を示す。セル状組織を呈し、セル粒界には共晶化合物が確認された。また、溶解鑄造法では Al 中の Fe

の最大固溶限は 0.052%と知られており⁷⁾、本研究では 0.102%を示したことから、急冷により固溶限が拡大したと考えられる。

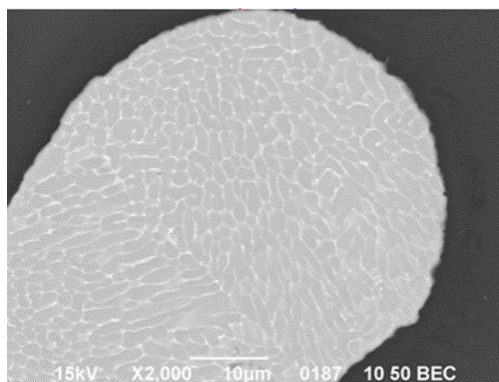


Fig. 6 Microstructure of Al-2.0mass%Fe powder observed with scanning electron microscope.

3.2 導電材の押出圧力

Fig. 7 に熱間押出中にビレットに作用した押出圧力と押出温度の関係について示す。押出温度が上昇するにつれて、最大押出圧力と安定時の押出圧力が共に低下する傾向が認められた。これは押出温度が上昇するにつれて、ビレットが塑性流動しやすくなったことが原因であると考えられる。

3.3 導電材の導電率

Table 1 に導電材の導電率、比抵抗と押出温度の関係を示す。押出温度が上がると導電材の比抵抗は低下した。この原因として、まず押出時に蓄積されるひずみ量の違いが考えられる。ただし、鋳造圧延法による導電材において減面率 90%以上の冷間引抜加工による比抵抗に上昇が最大 $0.05 \mu \Omega \text{ cm}$ であることと比較すると、673K 導電材と 573K 導電材の比抵抗差は約 $0.09 \mu \Omega \text{ cm}$ は大きい。これについては、強制固溶した Fe 量が多い分、押出によって蓄積されるひずみ量が多くなることが考えられる。また、2つ目の要因として、押出温度が高くなると強制固溶した Fe が Al-Fe 系の金属間化合物として析出し、その量が増加することにより比抵抗が減少することが考え

られる。Fe が Al に固溶した場合、平均比抵抗は $2.56 \mu \Omega \text{ cm}$ 増加し、析出した場合は $0.058 \mu \Omega \text{ cm}$ 増加すると報告されている⁷⁾。これを基に 673K 導電材と 573K 導電材の固溶量の差を計算すると最大約 0.03%となる。

今後、組織観察や固溶量の測定によってこの仮説を検証していく予定である。

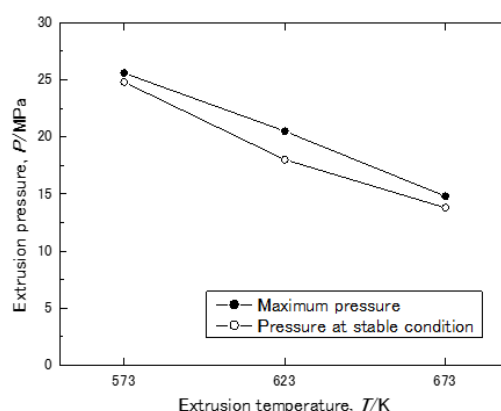


Fig. 7 Relationship between the extruded pressure and the extruded temperature for the billets.

Table1 Relationship between the conductivity and specific resistance as a function of extrusion temperature.

Extrusion temperature (K)	Conductivity (% IACS)	Specific resistance ($\mu \Omega \text{ cm}$)
573	53.22	3.240
623	53.66	3.213
673	54.71	3.151

3.4 導電材の引張試験

Fig. 8 に導電材の押出温度に対する引張強さと破断伸びの関係について示す。押出温度が上昇するにつれて、導電材の引張強さが低下する一方で、破断伸びは上昇した。この結果についても押出温度の上昇とともに導電材に蓄積されるひずみ量が少なくなること、そして Al-Fe 系の金属間化合物の析出量が増え

ることが影響していると考えられる。いずれの導電材も目標とする引張強さ 200MPa は達成できているが、伸び、導電率は目標値以下であるため、その解決が今後の課題である。しかし、本プロセスから作製した導電材は十分な強度を達成できる可能性があることを確認した。

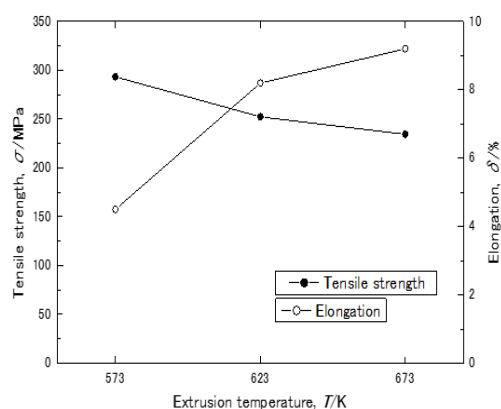


Fig. 8 Relationship between the tensile strength and elongation as a function of extruded temperature.

4. 結言

- (1) Al-2.0mass%Fe 導電材の押出圧力は押出温度が上昇するにつれて低下する傾向を示した。
- (2) Al-2.0mass%Fe 導電材の引張強さは押出温度が上昇するにつれて低下する傾向にあり、いずれの押出温度でも引張強さ 200MPa 以上を達成することを示した。
- (3) Al-2.0mass%Fe 導電材の破断伸びは押出温度が上昇するにつれて増加する傾向を示した。
- (4) Al-2.0mass%Fe 導電材の導電率は押出温度が上昇するにつれて増加する傾向を示した。
- (5) 本プロセスから得られた Al-2.0mass%Fe 導電材の引張強さは市場の要求に対して十

分な値を示したが、伸び、導電率が要求値以下であった。それらを向上させることが今後の課題である。

参考文献

- 1) 柴田宣, 車載系光 LAN の最近の動向, Laser Review 第 38 巻 第 8 号, (2013), p. 571.
- 2) 岩山功, 桑原鉄也, 中井由弘, 高木義幸, 北村真一, 斉藤英敏, 自動車ボルト向け 6056 アルミニウム合金線, SEI テクニカルレビュー第 183 号, (2013), p. 78-79.
- 3) 土井祥生, 「アルミニウム技術便覧」, カロス出版, (1996), p. 575-577.
- 4) 一般社団法人 日本機械学会, 「JSME テキストシリーズ 機械材料学」, (2015), p. 103-104.
- 5) 村上勇夫, アルミニウムパウダーの製造技術, 東洋アルミニウム株式会社, (2012), p. 2.
- 6) 神田剛, 産業用高圧装置の現状 と食品加工への応用, 「材料」(J. Soc. Mat. Sci., Japan) Vol. 41 No. 462, (1992), p. 301.
- 7) 松田好夫, 最近のアルミニウム導電材料, 軽金属 Vol. 22 No. 7, (1972), p. 476-479.