

Al-Mg-Si 系合金線材の特性向上

Improving the Properties of Al-Mg-Si Alloy Wires

仲津 照人 西本 一恵 小泉 勉
Teruhito NAKATSU Kazue NISHIMOTO Tsutomu KOIZUMI

芹澤 愛* 宮澤 一彦* 塩田 正彦** 山本 俊**
Ai SERIZAWA Kazuhiko MIYAZAWA Masahiko SHIODA Suguru YAMAMOTO

アルミニウム電線は架空送電線の他にも様々な産業用電線分野で使用されており、近年の軽量化の要求から巻線や自動車用電線などでも銅電線からの置き換えが進んでいる。今回、電線用アルミニウム線材の一つである Al-Mg-Si 系合金の特性向上として、溶体化処理後の予備時効の有無、伸線による減面加工率と時効処理温度の特性への影響を調査した。130℃と 180℃の温度条件で時効特性を調査した結果、減面率の大小に関わらず 130℃で時効処理を施したものの強度が優れる結果となった。

Aluminum wires are used in overhead power lines and various other industrial wire applications, and the demand for lighter weight in recent years has led to the replacement of copper wires in magnet wires and automotive wires as well. In this study, we investigated the effects of drawing rate and aging temperature to improve the properties of an Al-Mg-Si alloy, which is one of the aluminum wire rods for electric wires. As a result of investigating the aging characteristics at 130°C and 180°C, we found that regardless of the value of the drawing rate, aging at 130°C is more effective in improving strength and elongation.

1. はじめに

アルミニウムはその軽量性、耐食性、そして導電性に優れているため送電線用途に使用され、現在わが国においては架空送電線のほぼ 100% にアルミニウムが使用されている。アルミニウムは架空送電線の他にも配電線、電力ケーブル、通信ケーブルなどにも使用されている。また、近年 CO₂ 排出量の削減要求など環境問題に対する認識の高まりから、様々な分野で環境負荷の低減が求められている。その対応の一環として、産業用電線においても軽量化の要求が進み、自動車用電線などで銅電線からアルミニウム電線に置き換える動きが進んでいる。

導電材料には強度と導電性が必要となる。純アルミニウムは純銅と比較して、導電率が 6 割程度であり、比重は約 1/3 であるため、導体の電気抵抗を同等とした場合断面積は大きくなるが、銅線を用いた場合と比較して重量は 5 割程度となる。しかしながら、引張強さの点では銅線が 250 MPa に対してアルミニウム線では 90 MPa と劣っているため、高強度のアルミニウム合金線が実用化されている。その一つである Al-Mg-Si 系合金は強度、導電性が優れていることが知られており、時効処理を施すことで強度を増加させるが、延性が低下してしまうことが問題となる。

Al-Mg-Si 系合金の析出過程について強化相の形成に先立ち、2 種類のクラスタが形成され、効果的な時効硬化を得るために予備時効を施す二段時効の効果が確認されている¹⁾。

今後様々な分野において、軽量化、細径化の要求が進むと考えられることから、本稿では強度、延性、導電性に着目し、Al-Mg-Si 系合金線材の特性向上として、溶体化処理後の予備時効の有無ならびに減面加工率、時効処理温度が諸特性に及ぼす影響を調査した結果について報告する。

2. 電線用アルミニウム線材

アルミニウム電線は 1800 年代末に欧米で AAC (All Aluminum Conductor) が送電線として使用されたが、銅撚線に比べ、強度が低く、熱膨張係数が大きい等の欠点を持つため長径間に不適であった。それを改良した鋼心アルミニウム撚線 (ACSR: Aluminum Conductor Steel Reinforced) が 1908 年に実用化され今日に至っている。

アルミニウム電線の用途は多様化し、要求される特性も高度化、複雑化し、純アルミニウムあるいは複合導体では対応できず、種々のアルミニウム合金が開発され実用化されている。

電線用アルミニウム線材には純アルミニウム系、高力アルミニウム系、耐熱アルミニウム系、高力耐熱アルミニウム系の 4 種類の分類があり、高力アルミニウム系にはさら

* 芝浦工業大学

** 日本軽金属株式会社

に非熱処理型と熱処理型がある。熱処理型の中に本稿で使用するイ号アルミニウム合金と呼ばれる Al-Mg-Si 系合金があるが、この合金は純アルミニウムの約 2 倍の強度を有し、150～180℃で時効熱処理を施すことにより Mg₂Si を母相内に析出させ、強度を向上させるものである。

3. 調査内容

架空線用の電線材料であるイ号アルミニウム合金の組成範囲で Al-Mg-Si 系合金の荒引線を加工したφ 2.0 mm 伸線材を用いて試料を作製した。

試料はφ 2.0 mm 伸線材を溶体化処理した後に予備時効を施したものと、予備時効なしの試料それぞれに減面加工率（以下、減面率）30%、60%、90%まで伸線加工を行った後、最終時効処理を施した。

減面率は加工後の断面積を加工前の断面積で除したものを 1 から引いて百分率で表している。

溶体化処理として、所定の温度と時間で加熱処理を行った後、速やかに水冷した。予備時効は大気中で 100℃にて 24 h、最終時効処理として大気中で従来の Al-Mg-Si 系合金の時効処理温度である 180℃とそれよりも低い 130℃での加熱処理を行った。試料の加工および熱処理履歴の概略を図 1 に示す。

表 1 (a)、(b) に示す条件で作製した線材試料の評価として、機械的特性である引張強さ、伸びは、ゲージ長 250 mm にてインストロン型引張試験機を用いて引張試験を行い、導電率は直流四端子法により電気抵抗測定を行い算出した。また、マイクロ組織は光学顕微鏡を用いて観察した。

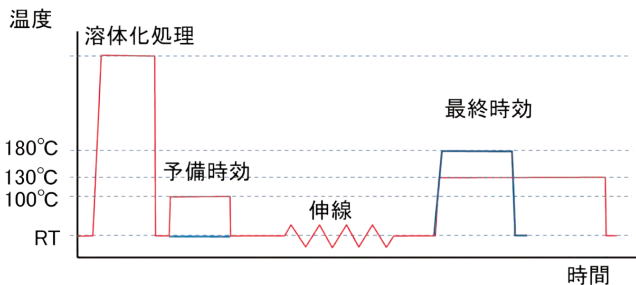


図 1 試料の加工および熱処理履歴の概略図

表 1 (a) 実験条件

伸線条件	減面率 30%、60%、90%
時効処理温度	130℃、180℃
時効処理時間	～ 168 h

表 1 (b) 評価用線材試料の加工履歴

条件	加工および熱処理履歴
①	溶体化処理 → (予備時効) → 伸線 (減面率 30%) → 時効処理 (130℃、180℃)
②	溶体化処理 → (予備時効) → 伸線 (減面率 60%) → 時効処理 (130℃、180℃)
③	溶体化処理 → (予備時効) → 伸線 (減面率 90%) → 時効処理 (130℃、180℃)

4. 調査結果

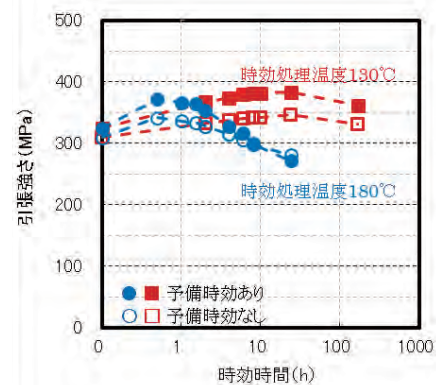
所定の条件にて作製した線材試料に 130℃および 180℃での時効処理を施し、各々特性評価を行った。

4.1 引張強さ

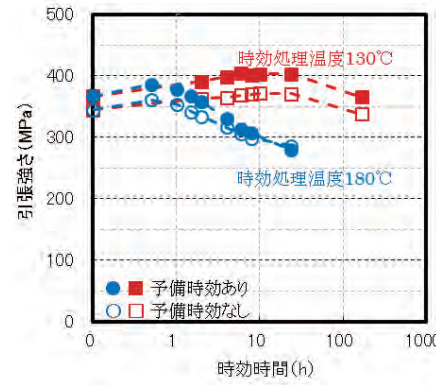
各減面率で加工の後に 130℃および 180℃での時効処理を施した試料の引張強さの変化を図 2 (a)～(c) に示す。

予備時効の有無による影響を比較すると、線材試料の引張強さは予備時効を施したものが高く、時効処理を施すことでより上昇度合いが増している。これは 2 段時効により時効硬化が進んだ影響と見られる。

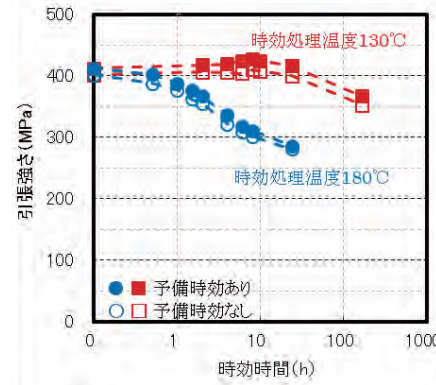
また、時効処理温度 130℃、180℃の比較では、引張強さ



(a) 減面率30%



(b) 減面率60%



(c) 減面率90%

図 2 各減面率で伸線加工した試料の時効処理による引張強さの変化

の最大値に達するのに 180℃で時効処理を施したものが 0～0.5 h で到達するのに対して、130℃では 8～24 h を要する。しかしながら、その最大値は予備時効の有無、伸線加工の減面率に関わらず 130℃で時効処理を施したものが 15～20 MPa 程度高くなるという結果となった。

4.2 伸び

各減面率で加工の後に 130℃および 180℃での時効処理を施した試料の伸びの変化を図 3 (a)～(c) に示す。

時効時間に対する伸びの変化は、時効処理前の伸線材の段階では予備時効を施していない試料で伸び 3～4%，予備時効ありの試料では 1～2%であり、引張強さが最大値

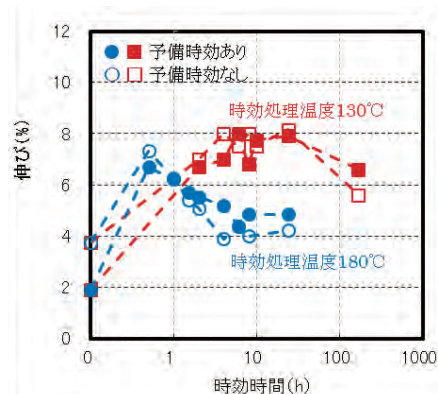
となった時効処理時間において、時効処理温度 180℃では伸び 6%前後、130℃では伸び 7～8%であった。

また、減面率の影響については、予備時効の有無、時効処理温度に関わらず、処理時間に伴う挙動に変化はないが、伸びの値については、減面率 90%の試料の伸びの値が 1～1.5%他の試料と比較して小さくなる傾向が見られた。

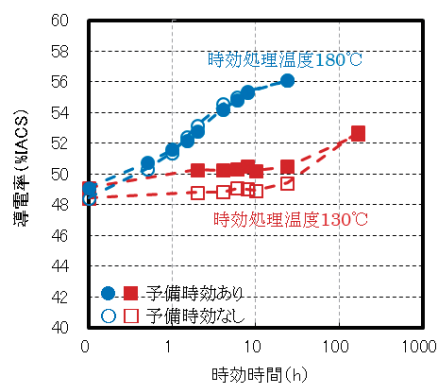
4.3 導電率

図 4 (a)～(c) には時効に対する導電率の変化を示す。

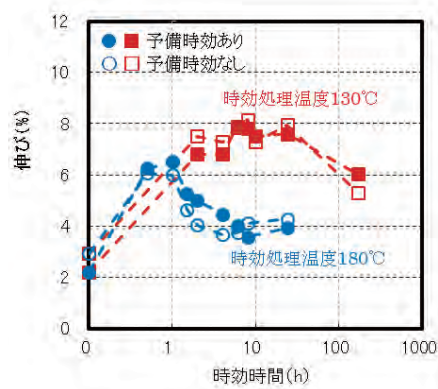
全般的に本調査で行った条件下では時効処理の時間とともに予備時効の有無、減面率に関わらず導電率は上昇しており、180℃で時効処理を施した試料の方が高い傾向にある。



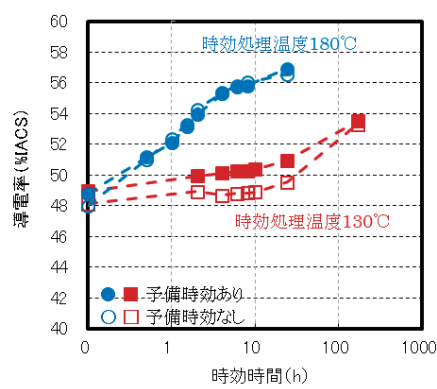
(a) 減面率30%



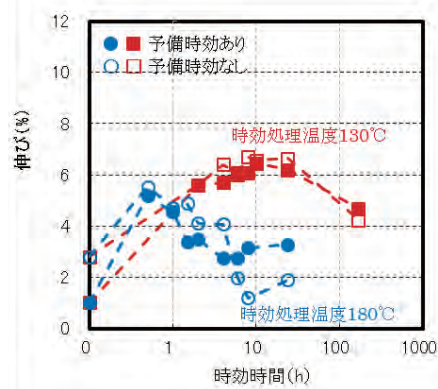
(a) 減面率30%



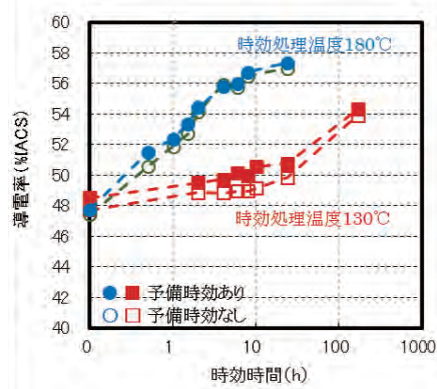
(b) 減面率60%



(b) 減面率60%



(c) 減面率90%



(c) 減面率90%

図 3 各減面率で伸線加工した試料の時効処理温度による伸びの変化

図 4 各減面率で伸線加工した試料の時効処理温度による導電率の変化

個々の条件で比較してみると、予備時効を施した試料では時効時間が短時間で導電率の上昇が認められる。

これらの結果から、溶体化処理後に伸線加工を行った線材に130℃および180℃の時効処理を施した場合、減面率の大きさに関わらず130℃での時効処理材は引張強さおよび伸びが改善している。一方で導電率は180℃で時効処理材の方が高くなることが確認された。また、予備時効を施すことで引張強さ、導電率が上昇することが確認された。

4.4 結晶粒組織挙動

図5に予備時効を施した減面率30%の伸線加工材に130℃および180℃の時効処理を施し最大の引張強さに達した試料の組織の写真を示す。

伸線後の時効処理により引張強さと伸びが上昇したにも

関わらず、時効処理前後での結晶粒の形状や大きさに変化は見られなかった。このことから時効処理による引張強さと伸び向上は結晶粒の大きさよりも析出組織の影響が大きいことが示唆される。180℃より低温の130℃ではより微細に析出するため、強度に寄与する強化相の数密度が高くなっていると考えられる²⁾。

5. ま と め

電線用 Al-Mg-Si 系合金線材の特性向上として、予備時効、溶体化処理後の伸線加工における減面率と時効処理温度の影響を調査し、時効処理条件をコントロールすることで特性の向上を見込める結果を得た。その結果から確認できたことを以下に示す。

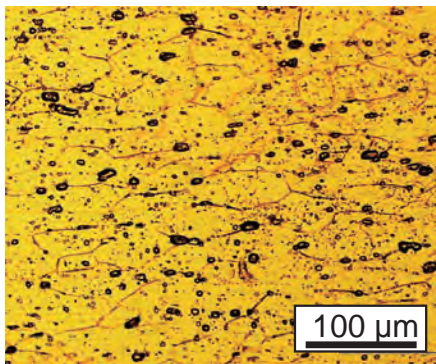
- ・減面率に関わらず、130℃での時効処理が引張強さの向上に有効であった。
- ・伸線加工前の予備時効は時効処理後の強度、導電性向上に効果が見られた。

謝 辞

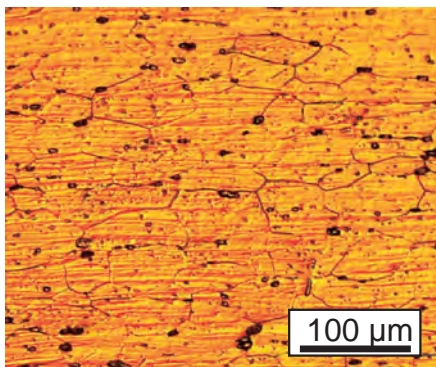
本研究にあたり、試料用材料の作製にご協力頂いたアルミニウム線材株式会社殿に対し、ここに感謝の意を表します。

参 考 文 献

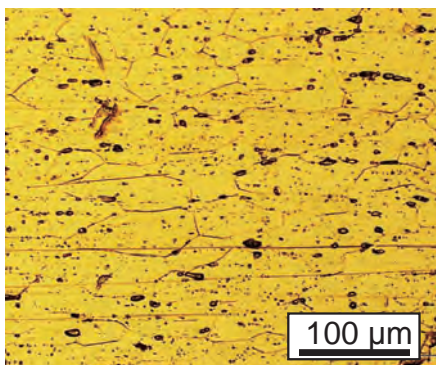
- 1) 山田, 里, 神尾: 軽金属 第51巻第4号(2001), 215-221
- 2) 宮澤一彦, 芹澤愛, 塩田正彦, 山本俊, 西本一恵, 仲津照人: 軽金属学会第139回秋期大会概要集, (2020), 295-29



(a) 伸線加工材



(b) 130℃×24 h時効処理材



(c) 180℃×0.5 h時効処理材

図5 伸線加工材および各温度での時効処理材の結晶粒組織 (減面率30%)

昭和電線ケーブルシステム(株)
仲津 照人 (なかつ てるひと)
基盤技術開発部 先行技術開発課
金属材料の研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)
西本 一恵 (にしもと かずえ)
博士 (工学)
基盤技術開発部 先行技術開発課
金属材料の研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)
小泉 勉 (こいずみ つとむ)
基盤技術開発部 先行技術開発課
金属材料の研究・開発に従事

芝浦工業大学
芹澤 愛 (せりざわ あい)
博士 (工学)
工学部 材料工学科 准教授

芝浦工業大学
宮澤 一彦 (みやざわ かずひこ)
大学院理工学研究科

日本軽金属株式会社
塩田 正彦 (しおだ まさひこ)
技術顧問

日本軽金属株式会社
山本 俊 (やまもと すぐる)
メタル営業部 技術開発チーム