

導電用アルミニウム合金の熱処理効果

The Effect of Heat-Treatment on Aluminium Alloy for Electric Conductor Use

川 西 六 郎*
Rokuro Kawanishi

内 容 梗 概

近時、長径間の架空送電線の設置、配電線のアルミ化に伴い、高抗張力導電用アルミ合金として Aldrey 合金 (Al-Mg₂Si 系合金) の需要はしだいに増加しつつある。この合金は析出形時効硬化性合金であり、その機械的強度、導電率の性質は熱処理に大きく影響される。

鋳塊の予備加熱、溶体化処理温度を検討するとともに 520°C 1 時間の溶体化処理後 95~98% 程度の冷間加工を行い、130~200°C 範囲で最高 8 時間までの焼戻処理を行った場合の機械的強度、導電率の変化について測定した。

得られた実験結果を要約すると、

- (1) 常温時効硬化能は 500°C, 520°C および 540°C では処理温度が低いほど硬化能が顕著である。
- (2) 焼戻処理による Mg₂Si 析出速度は 150°C を境として異なり 150°C 以下では 150°C 以上に比べて析出速度がおそい状態にある。したがって機械的強度を特に望む場合には 150°C, 2~6 時間、導電率を特に望む場合は 170°C, 2~4 時間の処理が望ましい。

1. 緒 言

Aldrey 合金は電気用アルミニウムでは機械的強度が低いという欠点を改良するために、1920年ころより各国において研究がなされ、スイスの A. I. A. G. Neuhausen で完成された高抗張力導電用アルミニウム合金である。

Aldrey 合金は、アルミニウムにマグネシウム 0.4~0.5%、珪素 0.5~0.6% および鉄 0.2% 程度を含有しているもので、アルミニウムに対する Mg₂Si の溶解度変化を利用した析出形時効硬化性合金で、熱処理により機械的強度、導電率を増大させうるのが特長である。この合金は国内では1930年ころより製造され、1942年には日本電気工業委員会によって、イ号アルミニウム合金と呼ばれ JEC-74 として標準規格が制定されている。

第1表はイ号アルミニウム合金、銅およびアルミニウムの諸性能を示したものである。

第1図は1924年以降30年間の Aldrey 合金の製造量⁽¹⁾を示したもので、約 20,000 t 近く製造されており、近來、長径間の架空送電線の設置、配電線のアルミ化に伴い、Aldrey 合金の需要も次第に増加しつつある。この合金の主な用途は、長径間用および一般、架空送電線、架空電話線などでその使用面も今後多方面に及ぶものと思われる。

2. 高抗張力導電用アルミニウム合金の研究概要

導電用材料として銅および銅合金以外の金属材料として、従来よりアルミニウムが広く使用されているが、機械的強度が低いという欠点がある。この点を改良した高

* 日立電線株式会社電線工場

第1表 イ号アルミ合金、硬 Al および硬銅線の諸性能の比較

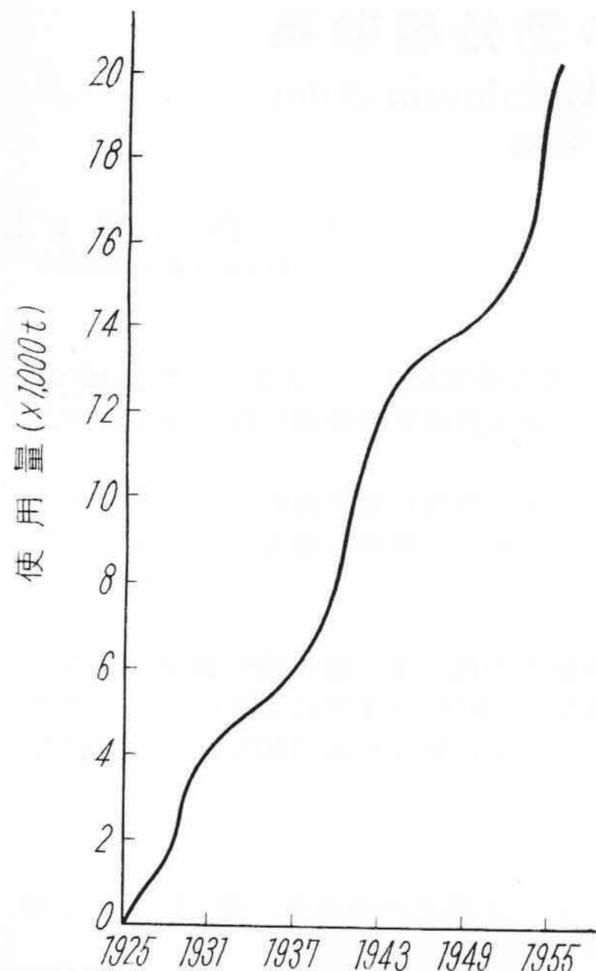
性 能	Al線 (硬引き)*	Cu線 (硬引き)**	イ号アルミ 合金線***
比 重	2.70	8.89	2.70
固 有 抵 抗 (20°CΩ/m-mm ²)	0.028265	0.017774	0.033156
導 電 率 (%)	61	97	52
定質量温度係数(20°C)	0.004	0.00381	0.0036
引張強さ (kg/mm ²)	16~18	35~47	31.5
伸 び (%)	1.3~2	1~2	3~4
弾性係数 (kg/mm ²)	約6,300	9,000~12,500	約6,500
弾 性 限 度 (永久伸び 0.2%, kg/mm ²)	8~10	17.5~28	約20
線 膨 脹 係 数 (0°C~100°C)	23×10 ⁻⁶	17×10 ⁻⁶	23×10 ⁻⁶
熱伝導度(Cal/cm.°C)	0.5	0.9	0.45
比 熱 (J/g°C, 0°C~100°C)	0.888	0.398	0.888
融 点 (°C)	658	1,083	650
溶 融 潜 熱 (Cal/g)	100	43.3	100

*: JIS C3108 **: JIS C3101 ***: JEC 74

抗張力導電用アルミニウム合金の研究は1920年ころより各国においてなされた。

W. Sander 氏⁽²⁾ はカルシウムを添加しアルミニウム中の珪素を CaSi₂ の形にすることにより導電率の回復を図った。Montegal と呼ばれている合金はこの性質を応用したもので、これについては J. D. Grogan 氏⁽³⁾ が、カルシウムと珪素の割合を変えたときに導電率に与える影響につき調査し、カルシウムと珪素が CaSi₂ を形成する割合より過剰に存在すると導電率が低下すると述べている。

Aldrey 合金は A. V. Zeerleder 氏の研究によるもので、



第1図 1925年以來の Aldrey 合金線の使用量

Al-Mg₂Si 系合金である。このほかにドイツでは Aldur, フランスの Almélec, イギリスの Silmalec など数多くの合金が発表されたが、いずれも大同小異のものでありスイスで発表された Aldrey 合金が現在広く使用されている。

A. V. Zeerleder 氏, E. Zurbrug 氏⁽⁴⁾は Mg₂Si 量により導電率がいかに変化するかを調査した。

H. Bohner 氏⁽⁵⁾はアルミニウム, Aldur および Aldrey 合金線を短時間焼鈍したときの機械的強度, 導電率の変化を測定し, 導電率は Aldur, Aldrey, アルミニウムの順に増加の割合は大であるが, 引張強さは, Aldrey, Aldur, アルミニウムの順に低下率が大きいと報告している。

I. Fuchs 氏⁽⁶⁾は Aldrey 合金の比重, 熱膨脹係数, 熱伝導度などの物理的特性, ミリウス値などの化学的性質および各種温度における機械的性質について報告している。

一方国内においては, 森永氏ら⁽⁷⁾は比較的純度の低い珪素 0.5%, 鉄 0.3%程度を含有するアルミニウム地金を使用すれば, Aldrey の合金成分である珪素は添加する必要のないことに着目し, このようなアルミニウム地金に特に添加元素としてアンチモンを加え, Aldrey 合金と同等の性質をもつ合金を試作した。

小西氏⁽⁸⁾はリチウム, 銀, 銅, 亜鉛, チタン, 錫, 蒼鉛, 鉄, ニッケル, マンガンなど 18種の元素を 0.2~1.0% Aldrey 合金に添加し, これら添加元素の Aldrey 合金に与える効果を検討し, 銅およびリチウムの添加が有効

第2表 供試材の化学組成

試料番号	試料採取部	化学組成 (%)						過剰 Si (%)	Mg ₂ Si 量 (%) (計算値)
		Si	Mg	Fe	Cu	Ti	Mn		
No.1	中心部	0.39	0.39	0.12	0.002	0.009	0.003	0.17	0.62
	周辺部	0.41	0.41	0.12	0.001	0.009	0.003	0.14	0.65
No.2	中心部	0.47	0.40	0.12	0.002	0.009	0.003	0.24	0.63
	周辺部	0.46	0.40	0.12	0.001	0.009	0.003	0.23	0.63

第3表 予備加熱が Aldrey 棹の硬さに及ぼす影響

処理温度 (°C)	処理後における硬度の減少値 (HV)
480	4.5
500	8.8
520	8.9
540	8.4

であると述べている。

江塚氏⁽⁹⁾はマグネシウムと珪素の配合量を変えたときの影響について検討し, また山田氏⁽¹⁰⁾はマグネシウムまたは珪素が Mg₂Si を形成する量比より過剰に存在した場合に機械的強度, 導電率に及ぼす影響について報告している。井上氏⁽¹¹⁾は押出加工による場合の材質的影響を調査し, 押出加工法によると熱間圧延法に比較して表面疵が少なく, 性能も良好なものが得られると発表している。

以上のように Aldrey 系合金に関しては非常に多くの研究結果が報告されている。

本論文は特に連続鋳造法により溶製した合金棹を試料にし溶体化処理温度の影響および冷間加工後の焼戻処理が機械的強度, 導電率に及ぼす影響を調査したものである。

以下これら実験結果について述べてみる。

3. 熱間加工, 溶体化処理の効果

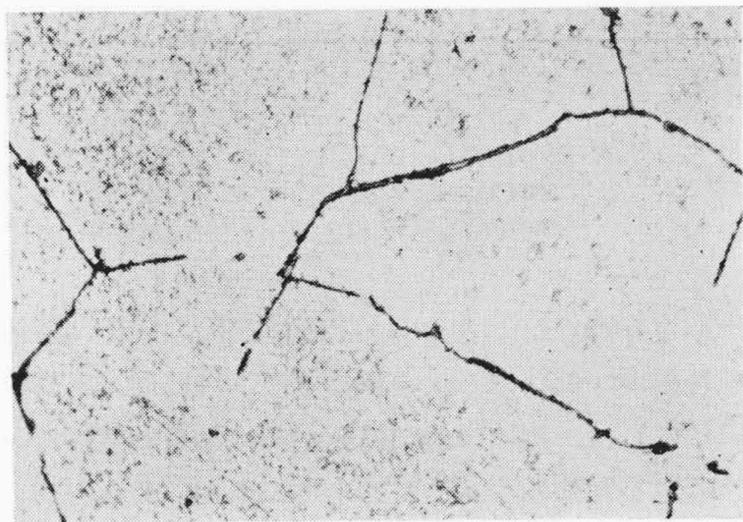
3.1 素材の予備加熱および熱間加工

Aldrey 合金棹は連続鋳造法により溶製したものである。

第2表は素材の化学組成を示す。試料の中心部と周辺部において, 珪素とマグネシウムにやや差があり若干偏析していることがわかる。なお表中に示した Mg₂Si 量は化学組成より算出したもので, いずれの試料のものも珪素がやや過剰に存在している。

Al-Mg₂Si 系合金の熱間加工前の素材の予備加熱⁽¹²⁾は 480~510°C, 熱間加工温度は 380~480°C とされている。

本実験では加熱温度を 480°C, 500°C, 520°C および 540°C とし, 各温度に No.1 の素材より切り取った 10×10×15cm³ の大きさの試料を 1 時間保持し水冷後, 硬度, 組織の変化を調べた。



(×100)

第2図 Aldrey 棹の顕微鏡組織

第3表は処理前後の硬度値を比較し、その減少値を示したものである。硬度変化は処理温度が500°C以上になるとほとんど差は認められない。

第2図は素材の顕微鏡組織、第3図(a), (b), (c) および(d)は480°C, 500°C, 520°C および540°Cにそれぞれ1時間加熱後水焼入れした顕微鏡組織(腐蝕液: 20% H₂SO₄ 溶液)を示す。組織的にはいずれの試料も素材の組織と比較して差は認められない。したがって素材の予備加熱は500°C以上にする必要はないことがわかったので No. 1, No. 2 の素材を500°C 1時間加熱後 13.5, 16.0 mmφ まで熱間加工を行った。

3.2 溶体化処理

Aldrey 合金は Al-Mg₂Si 擬二元系析出形合金でありその状態図についてはすでに発表⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾されている。

第4図は E. H. Dix氏ら⁽¹⁵⁾の研究による Al-Mg₂Si 擬二元系状態図である。

第4表はアルミニウムに対する Mg₂Si の溶解度を示したものである。その溶解度は研究者により差はあるが、いずれにしる溶体化処理後の焼戻処理により機械的強度、導電率の増大が得られるのは Mg₂Si の溶解度が温度とともに減少していることに基因している。

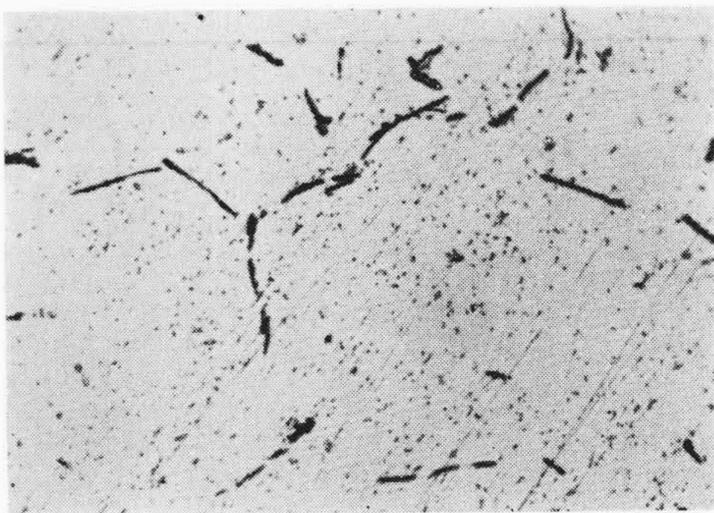
したがって溶体化処理はそれに続いて行う焼戻処理と密接な関係があり、機械的強度、導電率に大きな影響を与えることになる。

素材の化学組成より算出した Mg₂Si 量は第2表に示したように 0.62~0.65%であり、これは第4図の平衡状態図より求めると約450°Cの溶解度に相当する。

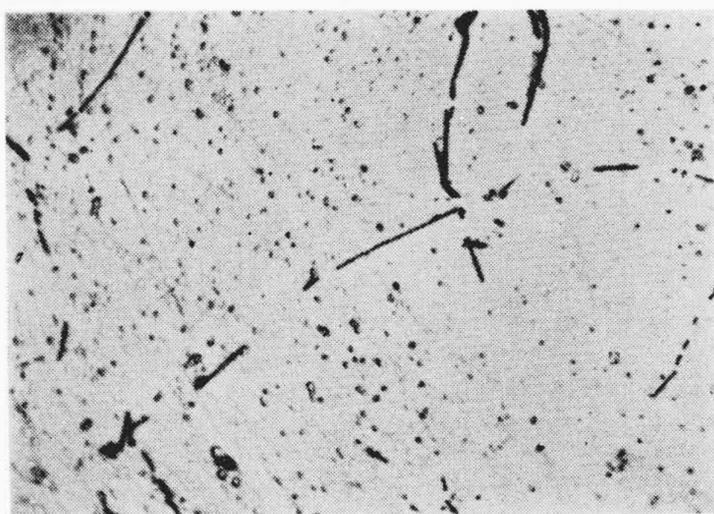
しかし、素材はすでに熱間加工を受けておりまた処理時間は短かい方が望ましいという点より、溶体化処理温度として500°C, 520°C および540°Cの3種類の温度を選び、それぞれの温度に1時間保持水焼入れしたのちの常温時効性、機械的強度、導電率および格子常数の変化を測定した。

3.2.1 溶体化処理温度と格子常数

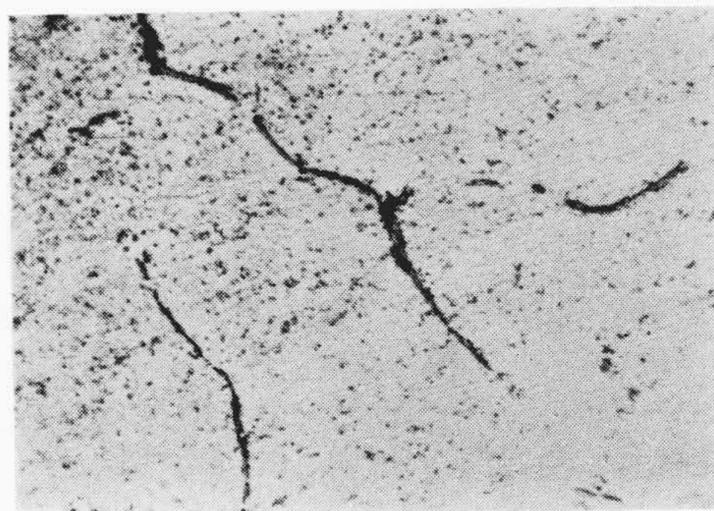
溶体化処理温度によりアルミニウムに対する Mg₂Si



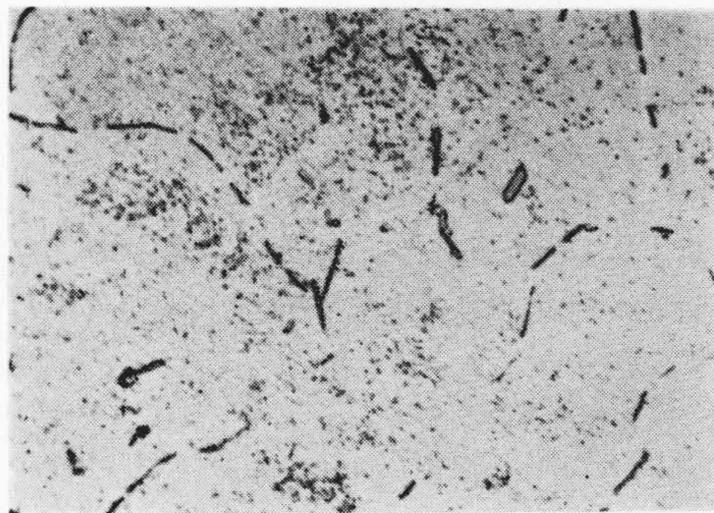
(a) 処理: 480°C×1時間 (×100)



(b) 処理: 500°C×1時間 (×100)



(c) 処理: 520°C×1時間 (×100)

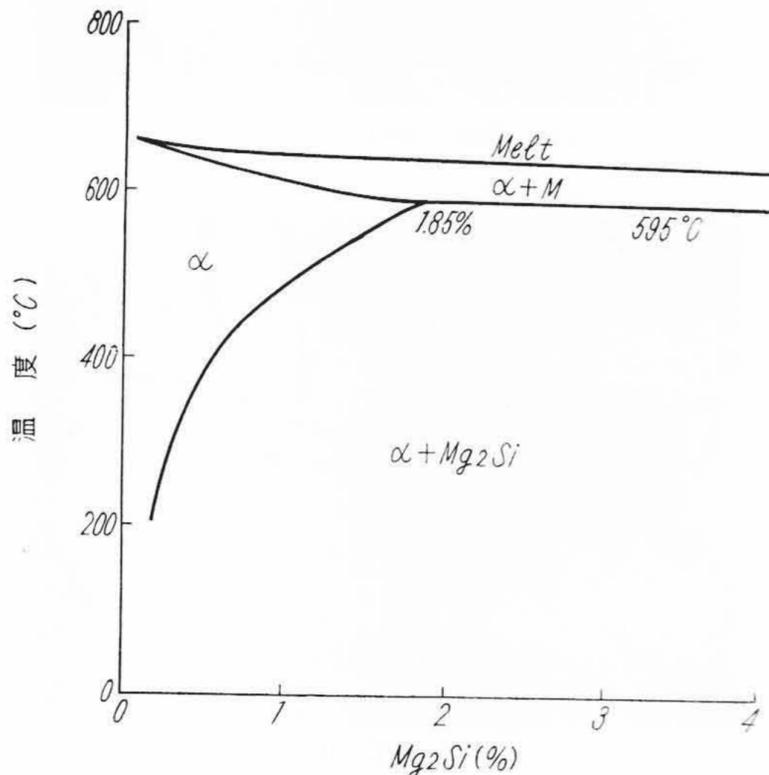


(d) 処理: 540°C×1時間 (×100)

第3図 予備加熱後の Aldrey 棹の顕微鏡組織

第4表 アルミニウムに対する Mg_2Si の溶解度

発表者	温度 (°C)					
	595	500	400	300	200	常温
D. Hanson ら (1921)	1.60	1.15	0.95	0.80	0.70	—
E. H. Dix ら (1931)	1.85	1.05	0.53	0.30	0.27	—
岸野 (1934)	—	—	—	—	—	0.5
H. W. L. Phillips (1941)	—	—	—	—	—	0.2



第4図 Al- Mg_2Si 擬二元系平衡状態図

の固溶度がどの程度ちがうかを求めるために、13.5mm $\phi \times 10$ mm の試料を 500°C, 520°C, および 540°C にそれぞれ1時間保持水焼入れした試料の格子常数を測定した。格子常数の測定はX線ラウエ写真(対陰極:銅, フィルタ, ニッケル)より算出した。

第5表は処理温度と格子常数の関係である。処理温度が高いほど格子常数の値は大きくなっているが、520°Cと540°Cではその値に差は認められない。すなわち固溶度の程度にあまり差がないと思われる。

3.2.2 常温時効性

No. 2 の加工材より切り取った 16.0 mm $\phi \times 10$ mm の試料を 500°C, 520°C および 540°C で溶体化処理後、室温に約 300 時間放置し、その間の硬度変化を測定した。硬度測定は微小硬さ計(荷重: 200 g)を使用した。

第5図は常温時効硬化曲線を示す。実験結果によると溶体化処理温度が低いほど硬化能が大きくなっている。いま、時効の硬化能に及ぼす因子として

- (1) 固溶度の程度
 - (2) 冷却速度(溶解度曲線を切る早さ)
- を考えるならば、(1)の因子は溶体化処

第5表 溶体化処理による格子常数の変化

記号	処理条件	格子常数 (Å)
A	加工のまま	4.046 _g
B	500°C×1h→W.Q.	4.047 _g
C	520°C×1h→W.Q.	4.048 _g
D	540°C×1h→W.Q.	4.048 _g

理温度が高いほど大きいが、逆に(2)の因子は溶体化処理温度が低いほど大きくなる、これは同一組成のものであれば、溶体化処理温度が高くなると熱容量が大きくなるために冷却速度は小さいことになる。

固溶度の大きさは格子常数の変化から考えてほとんど変りはない、したがって冷却速度が硬化能に大きく影響するために溶体化処理温度が低い方が、時効における硬度上昇が高いのではないかと思われる。

Al- Mg_2Si 系合金についての常温時効は E. H. Dix 氏⁽¹⁵⁾ 小西氏⁽⁸⁾の実験結果にも明らかにされており、ハンガリー⁽¹⁶⁾では溶体化処理後4~5日間常温時効させてから冷間加工を行っている。

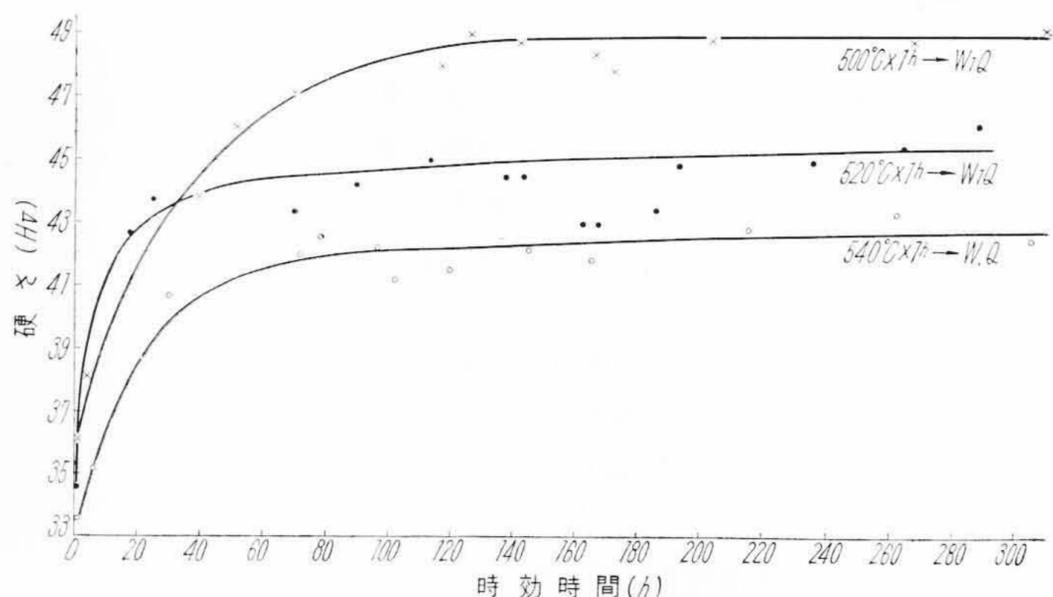
3.2.3 溶体化処理と機械的強度の関係

No. 1 の 13.5mm ϕ 加工材を 500°C, 520°C および 540°C のそれぞれの温度で溶体化処理し4日間常温時効を行い機械的強度, 導電率を測定した。

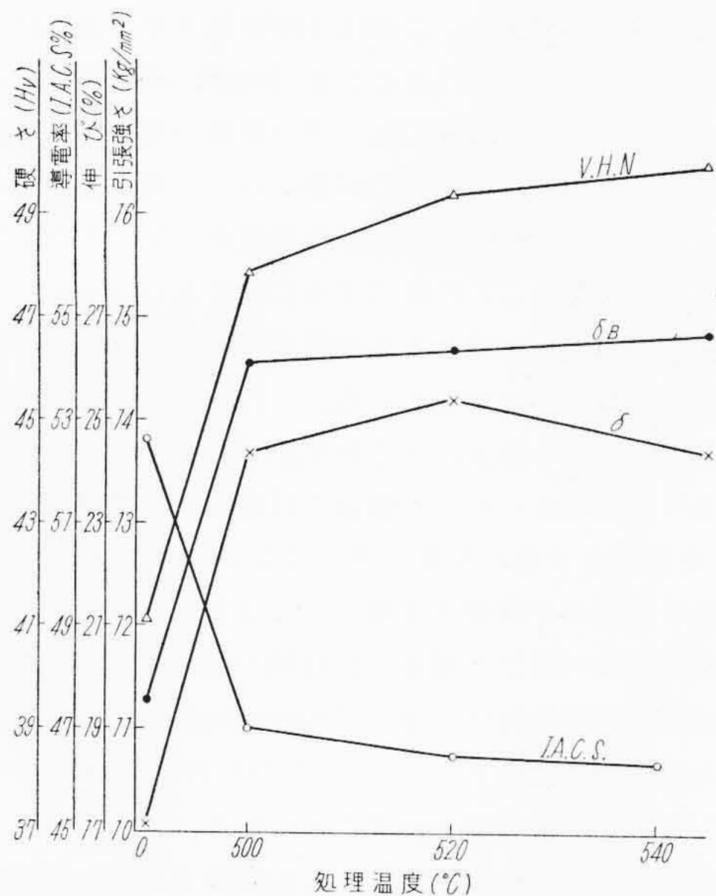
第6図は実験結果を示す。溶体化処理により導電率は急激に低下し、その傾向は処理温度が高いほど大きいが、逆に機械的強度は処理温度が高くなるにつれて増加している。ただし伸びは520°C処理で最大の値となっている。すなわち溶体化処理の効果は高温ほど大きくなっているが、520°Cと540°Cでは格子常数の値にみられるように大きな差はないようである。

第7図は試料 No. 1, No. 2 の加工材を 520°C, 1時間の溶体化処理を行い、4日間の常温時効をしたのちの諸性質を比較したものである。

第6表は常温時効後の諸性質の値を、溶体化処理前の諸性質の値をもとにして変化率によって示したもの



第5図 溶体化処理後における常温時効硬化曲線



第6図 機械的強度，導電率に及ぼす溶体化処理温度の影響

第6表 熱間加工材の溶体化処理による諸性質の変化率

試料番号	熱間加工度 (%)	試料径 (mm)	硬さ	導電率	引張強さ	伸び
No.1	85.4	13.5	+21.4	-11.5	+38.9	+47.6
No.2	79.5	16.0	+23.8	-9.0	+42.4	+57.9

である。

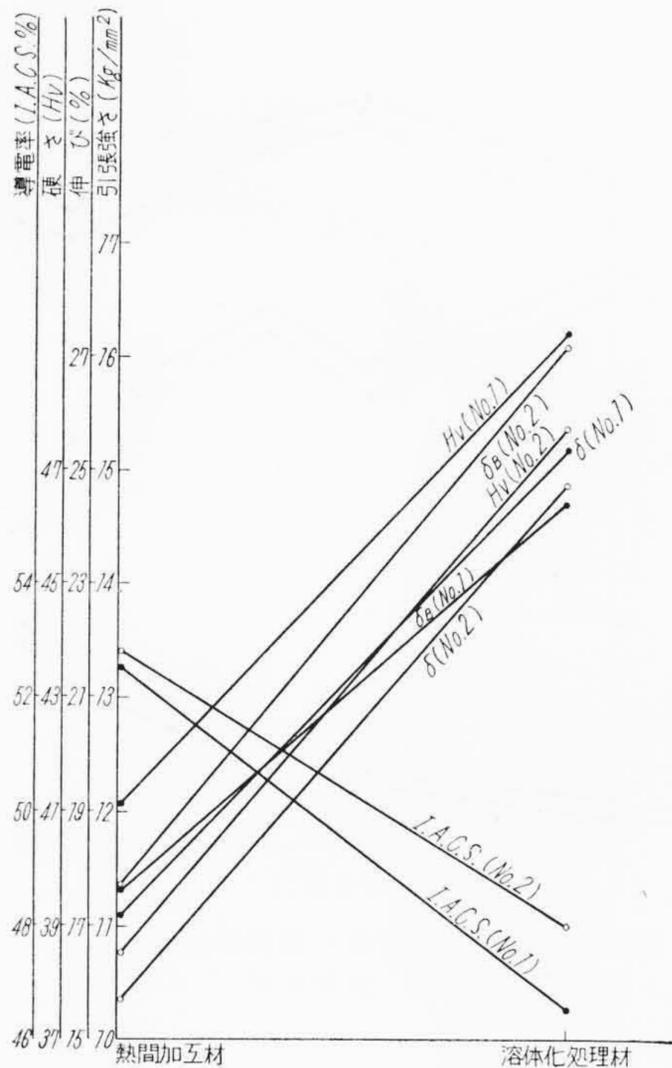
第6表を見ると加工度の低い No. 2 の方が No. 1 に比較して良好な性能を示していることがわかる。これはマグネシウム，珪素の拡散速度に影響する内部ひずみが No. 1 に比較して No. 2 の試料の加工度が低いため小さいので，No. 2 の方が溶体化処理効果が大きいのではないかとと思われる

4. 冷間加工度と機械的強度，導電率の関係

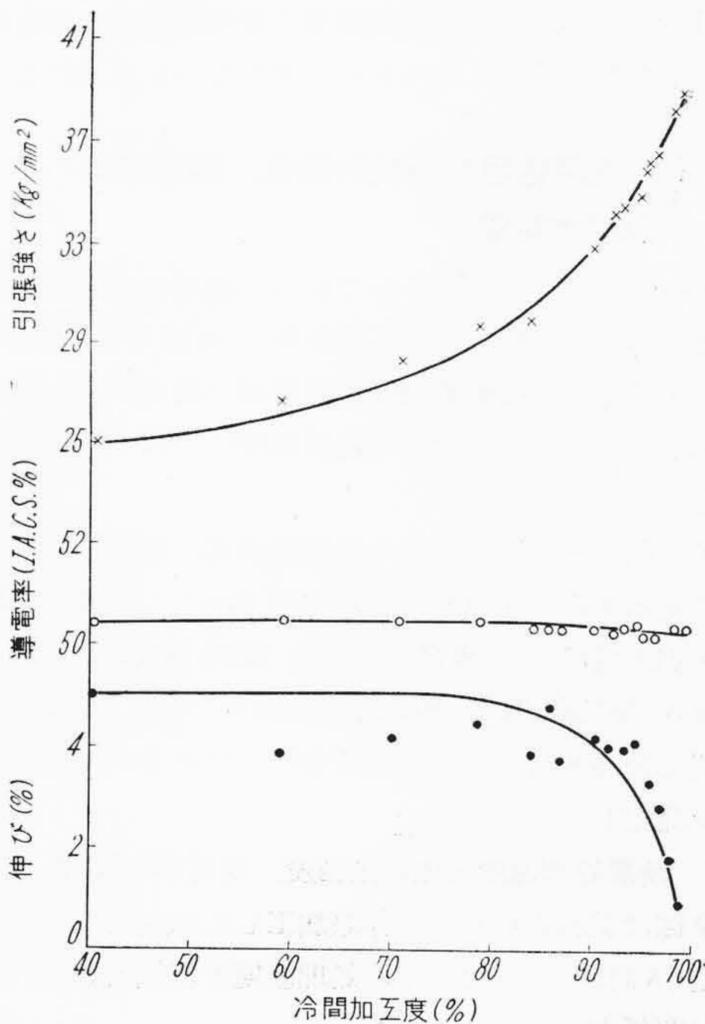
溶体化処理(520°C 1時間)を行った No. 1, No. 2 の試料をそれぞれ加工度 38~98% 範囲に伸線し，加工度により機械的強度，導電率がどのように変化するかを調べた。

第8図は No. 1 の試料の加工度と諸性質の関係を示したもので，この結果は No. 2 もまったく同様である。

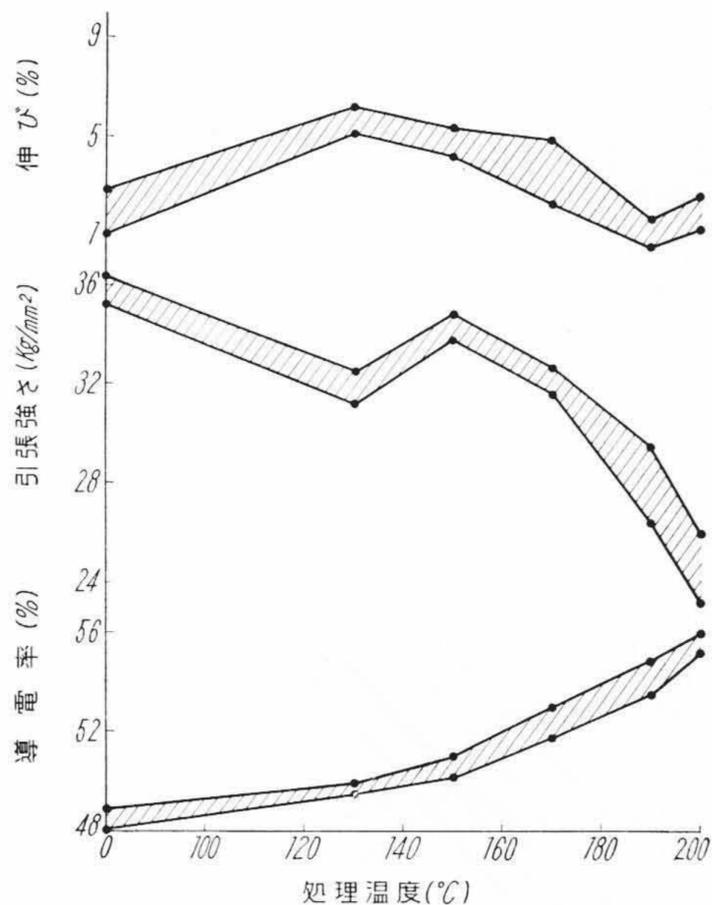
引張強さは加工度が増すにつれて抛物線的に増大している，伸びは逆に徐々に低下し加工度95%程度より急激に減少している。導電率は40%より最高98%までの強加工をしてもほとんど変化は認められない。アルミニウムにおいては加工度につれて導電率⁽¹⁷⁾ はしだいに低下している。最近，転位論の立場より原子空孔の存在が導電率に大きな影響を与えると説明されており，Molenaar,



第7図 溶体化処理による熱間加工材の機械的強度，導電率の変化



第8図 冷間加工度と機械的強度，導電率との関係



第9図 焼戻処理温度が機械的強度，導電率に及ぼす影響（処理時間：4時間）

Aarts⁽¹⁸⁾ はアルミニウムを試料にし、加工度の増加につれて導電率の低下する現象を実証した。Aldrey 合金にこのような現象が認められないのは、原子空孔(vacancy)および積層欠陥(Stacking Fault)に及ぼす溶質原子の相互作用のために、98%程度の強加工度の導電率と40%程度の加工度の導電率にはほとんど差がないと思われる。

5. 焼戻処理が機械的強度，導電率に及ぼす影響

Aldrey 合金は析出形合金であり、焼戻処理を行うことにより溶体化処理によって過飽和に固溶した Mg_2Si が析出するため、機械的強度，導電率の増大が得られるのである。一般にこの合金の焼戻処理は 140~160°C の温度範囲で行われている。

焼戻処理温度，時間により機械的強度，導電率がどのように変化するかを見るため，試料 No.1 は 2.0~2.9 mmφ 加工度にして 95.3~97.8%，試料 No.2 は 2.6~3.8 mmφ 加工度 94.3~97.3% の線材につき 130~200°C の範囲で最高8時間の焼戻処理を行ったときの諸性質の変化を測定した。

5.1 焼戻処理温度と機械的強度，導電率の関係

第9図は試料 No.1 より伸線加工した試料を処理時間を一定(4時間)にしたときの処理温度と機械的強度，導電率の関係を示したものである。

導電率は焼戻処理による回復の傾向が 150°C を境として異なっている。処理温度が 150°C 以上になると導電率

の回復の程度が大きい。これは 150°C 以下では加工による内部ひずみが除去されることと Mg_2Si 析出が徐々に進行するのにたいし、150°C以上では前述の現象が比較的急速に起るために、導電率の回復の度合が異なると思われる、すなわち 150°C を境として導電率に及ぼす Mg_2Si 析出速度が異なることに基因するためである。

引張強さの変化を見ると処理温度 130°C, 150°C でそれぞれ最小，最大値を示している。これは 130°C までの処理では内部ひずみ除去による軟化が Mg_2Si 析出による硬化より優先するために引張強さは低下し，処理温度が 130°C を越すと上述の現象が逆になる。すなわち析出硬化が優先するため引張強さは増大し，さらに 150°C 以上になると Mg_2Si の析出が割合に短時間で進行するため析出硬化は顕著に現われず，逆に Overaging になってしまうため引張強さは低下していく，このために 130°C および 150°C で最小，最大値を示すことになる。

処理温度が 150°C 以上になると引張強さが急に低下するのは，導電率の回復の傾向が 150°C を境として異なること，すなわち Mg_2Si 析出速度がこの温度を境として異なるために見られる現象と一致している。

伸びは処理温度が低温のときには前述のように内部ひずみ除去の方が優先するために増加の傾向が大きく，ちょうど引張強さが最小の処理温度 130°C で最大の値を示している。しかし処理温度が 130°C 以上になると析出硬化が優先し，また Overaging の現象を生じるためにしだいに伸びは低下の傾向となる。

6. 結 言

Mg_2Si 約0.62~0.65% (計算値) を含有する連続鋳造法により溶製した Aldrey 合金棒を熱間加工により 13.5, 16.0 mmφ とし，520°C 1時間の溶体化処理後約 98% までの冷間加工を加えた線材の機械的強度，導電率に及ぼす焼戻処理(130~200°C)の効果を検討した。

実験結果を総括すると次のとおりである。

- (1) 合金棒の予備加熱は加熱時間を1時間としたときには 500°C, 520°C および 540°C では差異はない。
- (2) 溶体化処理は処理時間を1時間としたときには 520°C, 540°C では処理効果はあまり差異はない。
- (3) 常温時効硬化能は 500°C, 520°C および 540°C では，処理温度が低いほど硬化能が顕著である。
- (4) 焼戻処理による Mg_2Si 析出速度は 150°C を境として異なり，150°C 以上では 150°C 以下に比べて析出速度が早い状態である。

したがって機械的強度を特に望む場合には 150°C, 2~6時間，導電率を特に望む場合は 170°C, 2~4時間の処理が望ましい。

終りに終始御指導，御鞭撻いただいた日立電線株式会

社電線工場久本, 山本両博士および山路主任, また実験に協力下さった万代主任, 藤田, 大島両氏に御礼申し上げます。

参考文献

- (1) 大西: 工業材料 4, (12)65(昭 31-12)
- (2) W. Sander: Z. Metallk. 19, (1) 21 (1927)
- (3) J. D. Grogan: J. Inst. Metals. 37, 77 (1927)
- (4) A. V. Zeerleder, E. Zurbrug: Aluminium, 20, B 65 (1938)
- (5) H. Bohner: Z. Metallk. 20 (4) 132 (1928)
- (6) I. Fuchs: Z. Metallk. 19, (9) 361 (1927)
- (7) 森永, 池野: 日本鋁業会誌 (679) 665 (昭 16)
- (8) 小西: 古河電工, 15号, 1 (昭 19-4)
- (9) 江塚: 住友彙報 4号 15 (昭 9-12)
- (10) 山田: 軽金属 7, (4) 45 (1957)
- (11) 井上: 大日電線時報 8号 7 (昭 33-4)
- (12) A. S. M. 編: Metals Handbook (1948)
- (13) H. W. L. Phillip: J. Inst. Metals. 67, 257 (1941)
- (14) D. Hansen, M. L. V. Gayler: J. Inst. Metals. 26, 321 (1921)
- (15) E. H. Dix, F. Keller, R. W. Graham: A. I. M. E. 95 404 (1931)
- (16) Light Metals, 12, 641 (1949)
- (17) 小久保: アルミニウムの性質および用途 (昭13-3)
- (18) 橋口: 金属 24, (7) 582 (昭 29- 7)



日立製作所所員社外講演一覧表

(昭和 33 年 12 月受付分)

講演月日	主催者名	題名	所属	講演者
12. 3	火力発電技術協会九州支部	最近の日立タービン制御方式	日立工場	柴田 祐作
2. 15	原子力産業会議 日本学術会議	クセノンの有害作用による中性子束分布の振動	日立工場	横見 迪郎
"	原子力産業会議 日本学術会議	直接サイクル沸騰水型と間接サイクル沸騰水型原子炉制御特性の比較	日立工場	大木 新彦 青木 直司 中村 日出雄 鈴木 守夫
11. 26~27	東北電力本社電気部	水車调速機の構造と試験について	日立工場	紛 沢 秀夫
12. 11~12	四国電力株式会社 発電課	水車発電機の振動, 組立および据付作業について	日立工場	高橋 春夫
12. 11	コンサルタントサービスクラブ	潜在災害をいかにして撲滅するか実例	国分工場	和田 一郎
34. 4 月上旬	日本機械学会	うず巻ポンプキャビテーション相似則についての一実験	亀有工場	小堀 威吉 横山 重正
"	日本機械学会	外圧を受ける薄肉円筒の破損圧力と真円度との関係	亀有工場	江川 元治 種田 博之
"	日本機械学会	鑄放し鑄鋼材の疲れ強さ	亀有工場	吉武 博之
34. 4. 2~ 5	日本金属学会	酸化期における溶鋼のガス分析試料採取方法	亀有工場	重松 八郎
34. 4. 1~ 7	日本機械学会	ころがり軸受のクリープについて (第2報)	亀有工場	今井 正也
12. 9	粉末冶金技術協会	タングステン粉末の粒度及び粒度分布の測定	茂原工場	伊地山 昇
34. 2. 28	電子顕微鏡学会	空気中で不安定な酸化バリウム陰極のレプリカ作業法	茂原工場	北川 賢司
12. 4	日本機械学会 関西支部	日立アナログ計算機について	大阪営業所	水野 昌美
12. 8	日本学術振興会	鋼種簡易鑑別法の研究 (第24報)	中央研究所	栗田 常雄
"	日本学術振興会	鋼種簡易鑑別法の研究 (第25報)	中央研究所	栗田 常雄
12. 3	日本機械学会 関西支部	デジタル, コンピュータについて	中央研究所	島田 正三
34. 4. 2~ 6	日本化学会	質量分析計による亜鉛同位体存在比の測定について	中央研究所	岡本 潤一
"	日本化学会	膠質黒鉛の潤滑特性について	中央研究所	牟田 明德
34. 1. 8	電子機械工業会	米国における放射線計測器および応用機器工業	中央研究所	浜田 秀則
11. 7, 12. 23	日本規格協会	直交配列を用いた実験計画	中央研究所	島田 正三
34. 3. 31	日本金属学会, 機械学会, 鉄鋼協会 その他	金属材料の構造とクリープ	中央研究所	大原 秀晴