

亜鉛メッキしたアルミニウム線材の加熱に伴う性質変化

On Some Properties of Zinc Plated Aluminium Wires after Diffusion Heating at Various Temperatures.

西川 精一・小林 繁美

Seichi NISHIKAWA and Shigeyoshi KOBAYASHI

1. ま え が き

Al-Zn 合金はアルミニウムを主要元素とする二成分系の中でも最も固溶度範囲の広いものであり、Al-Zn-Mg や Al-Zn-Mg-Cu 系など重要な実用合金の基礎をなすものである。われわれはこの二成分系の固相拡散の研究を行なう目的でアルミニウム細線に亜鉛メッキを施し、これを加熱した場合の亜鉛の濃度分布を X 線マイクロアナライザで測定し、拡散に関する基礎データを得ると同時に、表面層に不均一な合金元素濃度分布を持つ線材の諸性質の測定を行なっている。今回はその実験結果の中から電気抵抗および機械的性質に関するものを簡単に報告する。

2. 実験試料および実験方法

使用アルミニウム線材は二種類である。そのひとつは再溶解して使用すると純度が低下する恐れがあるので、99.999% 超高純アルミニウムインゴットをそのまま冷間加工して線材にしたものである。他は 99.85% の地金を使用した一般電気導線用の冷間加工材である。電気抵抗および機械的性質測定としては 1.5 mmφ、亜鉛濃度分布の測定用には 3 mmφ の線を使用した。

亜鉛メッキは三恵技研 K. K. に依頼して電着したものであり、電流密度 3 A/dm²、電解時間 20 分、膜厚は ~15 μ である。

試料はすべてアルゴンガスと共にガラス管の中に封入し、これを温度分布の均一な電気炉中で加熱した。

電気抵抗の測定は 30°C の恒温水槽の中に入れた油槽中で行ない、これを 20°C に換算して Δρ を求めた。また機械試験は 2 ton オートグラフを使用し、変形速度は 10 mm/min、標点間距離は 100 mm である。

3. 実験結果

拡散実験結果の解析にはまだ多少問題が残っているので、電気抵抗変化および機械的性質についてのデータをそのまま要約して次に述べる。

(1) 電気抵抗変化

加熱に伴う電気抵抗変化を Table 1 および Table 2 に一括表示した。この表からもわかるように 99.85% Al 線材では低温短時間加熱の段階で Δρ が負の値を示し加熱に伴って、回復一再結晶の進行していることがわかる。他方 99.999% Al 線材ではこれが現われず室温放置の状態でも再結晶がほぼ完了している。この再結晶は冷

Table 1 Specific electrical resistivity change Δρ(μΩ·cm) of zinc plated 99.999% aluminium wire after diffusion heating at various temperatures for various hours.

Temperature (°C) \ Time(hr.)	400	350	300	250	200
1	+0.110	+0.040	+0.010	+0.005	+0.000
5	+0.187	+0.075	+0.030	+0.015	+0.000
10	+0.215	+0.140	+0.035	+0.020	+0.005
50	+0.480	+0.275	+0.100	+0.040	+0.012
100	+0.550	—	+0.230	—	+0.032

Resistivity of cold worked 99.999% aluminium wire (1.5 mmφ) at 20°C: ρ₂₀ = 2.6742 μΩ·cm

Table 2 Specific electrical resistivity changes Δρ(μΩ·cm) of zinc plated 99.85% aluminium wire after diffusion heating at various temperatures for various hours.

Temperature (°C) \ Time(hr.)	400	350	300	250	200
1	+0.075 (+0.125)	+0.025 (+0.075)	-0.050 (+0.000)	-0.010	-0.007
5	+0.195 (+0.245)	+0.080 (+0.130)	-0.015 (+0.035)	-0.030	-0.025
10	+0.230 (+0.280)	+0.115 (+0.165)	-0.005 (+0.045)	-0.010	-0.020
50	+0.325 (+0.375)	+0.235 (+0.285)	+0.020 (+0.070)	+0.010 (+0.060)	+0.000
100	+0.500 (+0.550)	+0.345 (+0.395)	+0.200 (+0.250)	+0.075 (+0.125)	+0.015 (+0.065)

Resistivity of cold worked 99.85% aluminium wire (1.5 mmφ) at 20°C: ρ₂₀ = 2.7837 μΩ·cm

() is a corrected value of Δρ by the resistivity decrement (-0.05 μΩ·cm) induced in recovery and recrystallization period.

蔵庫中でも阻止できなかった。

以上のことを考慮して Δρ の値を眺めると、99.85% Al 線材の方がかなりその値が大きく、99.999% Al 線材の方が小さい。このことは Al 中 Zn の拡散は格子内拡散よりも結晶粒界あるいは転位線にそっての拡散が大きい拡散恒数を持つことによって説明できる。以上の結果を示す一例として 400°C × 10 hr の場合の亜鉛濃度分布を Fig. 1 に例示した。

99.85% Al 線材の濃度曲線上亜鉛層より ~126 μ の所に小さな山がある。これは結晶粒界部に亜鉛が富化さ

れているためと考えている。

(2) 機械的性質変化

機械的性質としては 0.2% 耐力 ($\sigma_{0.2}$ kg/mm²), 引張り強さ (σ_{max} kg/mm²), 伸び率 (ϵ_{100} %) を Table 3 および Table 4 に示したものである。99.999% Al 線材では低温加熱でわずかに軟化の傾向が残っている。この傾向は電気抵抗変化の方では、明瞭に認められなかったものである。99.85% Al 線材ではこの回復一再結晶軟化の傾向がきわめて大きく現われている。前者では合金化と共に $\sigma_{0.2}$ および σ_{max} はほぼ一様に増加するが、 ϵ_{100} の値は低温加熱でやや増加したのがきわめて急激に減少する。後者では再結晶によって $\sigma_{0.2}$ および σ_{max} は大きく減少し、 ϵ_{100} は大きく増大する。また合金化による強さの回復と同時に伸びの低下も大きい。参考のため 100 時間加熱の場合の荷重-伸び曲線の原点付近の形を Fig. 2, 3 に示した。

一般に不均一な濃度分布を持つ材料では局部的な応力集中が発生し、その部分でき裂が発生して伸びの低下に結びつくものである。拡散相が存在しなくともただ線材の表面にアルミニウムより可塑性の劣る層が付着するだけでも伸び率の低下が考えられる。Table 3 の ϵ_{100} の

Table 3 Mechanical properties of zinc plated 99.999% aluminium wire after diffusion heating at various temperatures for various hours.

Temperature(°C)	400	350	300	250	200
Time(hr.)					
$\sigma_{0.2}$ (kg/mm ²) as drawn 2.8, as zinc plated 2.6					
1	3.3	2.0	1.8	1.8	1.6
5	4.7	2.8	2.0	2.0	1.8
10	5.0	3.6	2.2	2.0	2.0
50	8.7	5.7	2.9	2.0	2.0
100	10.5	5.6	3.1	2.2	2.0
σ_{max} (kg/mm ²) as drawn 4.6, as zinc plated 4.2					
1	5.0	3.9	3.9	3.9	4.0
5	5.7	4.8	3.9	3.7	4.0
10	6.7	5.6	3.9	3.7	4.0
50	10.0	7.5	4.6	3.8	4.0
100	12.2	7.5	4.8	3.9	4.0
ϵ_{100} (%) as drawn 16.7, as zinc plated 14.2					
1	9.3	15.5	16.5	16.6	13.9
5	3.3	10.4	15.5	19.2	19.7
10	4.3	6.1	15.5	16.2	19.1
50	2.5	5.2	6.6	13.6	18.7
100	3.4	5.1	5.5	13.1	15.9

$\sigma_{0.2}$: 0.2% proof stress
 σ_{max} : Tensile strength
 ϵ_{100} : Elongation at 100 mm gauge length

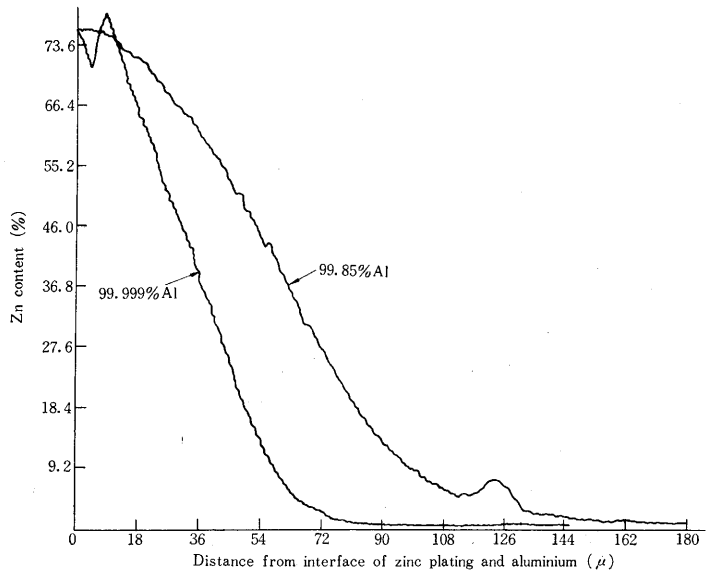


Fig. 1 Zn distribution in Al matrix after diffusion heating at 400°C for 10 hr.

値を見ると、伸線ままでは $\epsilon_{100}=16.7\%$ であるのに対し亜鉛メッキをすると $\epsilon_{100}=14.2\%$ に低下している。Table 4 でも伸線ままの冷間加工状態で $\epsilon_{100}=3.4\%$ であるが、亜鉛メッキすると $\epsilon_{100}=3.0\%$ に低下している。特にこの不均一部分が表面に近いほど影響の大きいこと

Table 4 Mechanical properties of zinc plated 99.85% aluminium wire after diffusion heating at various temperatures for various hours.

Temperature(°C)	400	350	300	250	200
Time(hr.)					
$\sigma_{0.2}$ (kg/mm ²) as drawn 18.3, as zinc plated 18.4					
1	6.7	6.1	6.0	10.0	10.0
5	7.2	5.4	5.0	5.8	7.9
10	8.3	5.9	4.8	5.4	9.8
50	8.1	9.2	4.6	4.1	11.5
100	8.5	10.7	7.7	6.1	9.2
σ_{max} (kg/mm ²) as drawn 23.0, as zinc plated 23.4					
1	11.4	9.6	9.4	11.0	13.3
5	12.9	10.4	9.2	9.7	13.3
10	14.1	10.7	9.3	9.5	12.0
50	15.5	12.8	9.4	9.2	12.9
100	17.4	16.0	13.4	11.9	12.7
ϵ_{100} (%) as drawn 3.4, as zinc plated 3.0					
1	8.0	17.2	26.4	5.5	3.1
5	6.1	11.0	24.6	28.0	3.8
10	5.3	7.4	22.6	25.8	3.1
50	6.4	5.0	20.6	22.4	2.7
100	10.1	5.4	7.2	16.7	11.0

$\sigma_{0.2}$: 0.2% proof stress
 σ_{max} : Tensile strength
 ϵ_{100} : Enolgation at 100 mm gauge length

研究速報

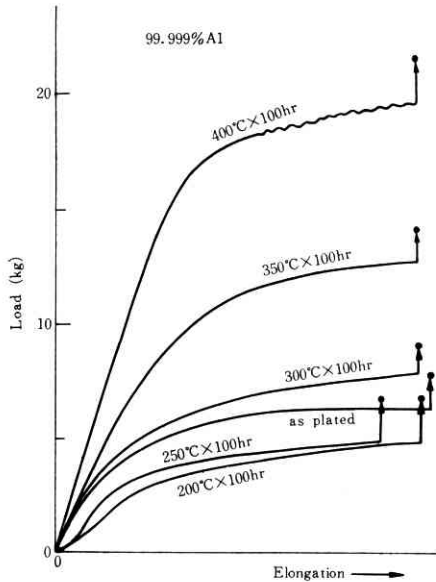


Fig. 2 Load-Elongation curves of zinc plated 99.999% aluminium wire after diffusion heating.

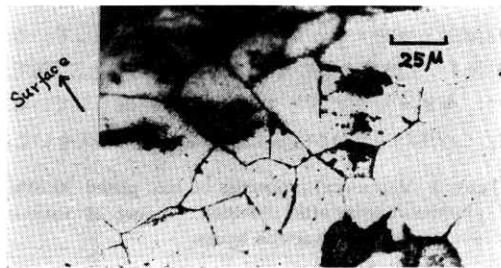


Photo. 1 Photomicrograph of grain boundary diffusion of zinc in aluminium.
Sample: 99.85% aluminium wire cold drawn, zinc plated and diffusion heated at 400°C for 50 hr.

は、その切欠き感受性より考え当然の結果であろう。ま

(47ページよりつづく)

さらに Fig. 3 を見ると共晶が 1.0 wt. % Cd から現われている事は Fig. 1 のいずれにも見当たらない。この事からこれら急冷試料はかなり平衡状態からずれている事が考えられ、より正しい状態図を得るにはさらに各試料に熱処理を施さねばならない事がわかる。

(1968年7月29日受理)

文 献

- 1) A. W. Kapp, Ann. Physik, **6** (1901) 762.
- 2) 松山, 金属の研究, **9**, 1 (1932) 1.
- 3) D. Hanson and W. T. Pell-Walpole, J. Inst. Metals, **59** (1936) 28.
- 4) 前園, 市橋, 新金属 5月号別刷 (196?).
長崎, 久松, 生産研究, **2**, 3 (1950) 97.

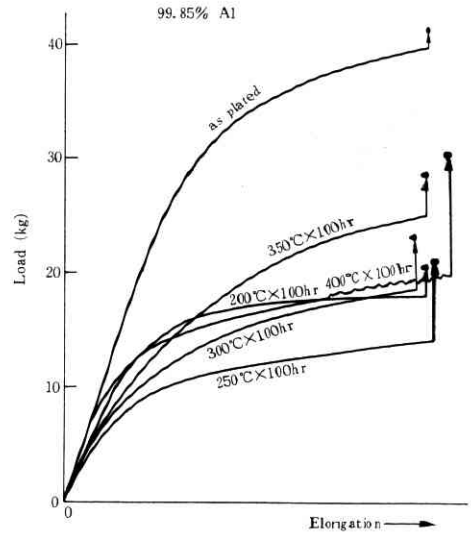


Fig. 3 Load-Elongation curves of zinc plated 99.85% aluminium wire after diffusion heating.

た合金状態図より、Al-Zn 系の共晶温度は 382°C であるから、400°C の加熱では亜鉛の高濃度部分に溶融帯が存在する。特に粒界部分では Photo. 1 に示したようにそれが深く侵入している所がある。400°C に加熱した試料の ϵ_{100} の大きい低下は主として表面付近での粒界き裂の発生より説明することができる。

あ と が き

本研究を進めるにあたりアルミニウム線に亜鉛メッキを施していただいた三恵技研 K.K., アルミニウムの伸線を行なっていただいた昭和電線電纜 K.K., および X 線マイクロアナライザの本研究所担当者米岡氏に厚くお礼を申上げる。

(1968年7月26日受理)

正 誤 表 (9月号)

ページ	段	行	種別	正	誤
31	左	下4	本 文	強さは低い.	強さは低い
"	右	下1	Fig. 7	macrostructures.	macrostructure.
37	右	下4	(7)式	$(\bar{Y}_1 - \bar{Y}) + \left(\frac{C_1}{M} + \frac{C_2}{M}\right)$	$(\bar{Y} - Y) + \left(\frac{C_1}{M} + \frac{C_2}{M}\right)$
39	左	下3	本 文	Professors	professors