電線用アルミニウムに関する研究

(第2報) 無焼鈍Al引拔線の電導度と抗張力に就いて

丸 川 吾 平* 及 川 孝**

STUDY ON THE ALUMINIUM FOR CONDUCTOR WIRE PART 2 IN REGARD TO ELECTRICAL CONDUCTIVITY AND TENSILE STRENGTH OF AL WIRE DRAWN WITHOUT ANNEALING

GOHEI MARUKAWA*

TAKASHI OIKAWA**

In the case of making Al wire for conductor materials, hot rolled bar is usually annealed for 1 hour at the temperature of 320°C. But this annealing procedure causes the partial softening, so that for carrying out the cold drawing to the high reduction degrees, we must derive a high tensile strength. And to acquire the uniformity of products' property, partial softening is undesirable, hence in the recent days this annealing process is abbreviated by some factories. If annealing is abbreviated, we must devote our attention to the purity of Al, and Si, Ti must be controlled to lower limit, as the improvement of conductivity by annealing is not expected.

This report turn the attention to above facts, then electrical conductivity and mechanical property of cold drawn wire without annealing have been measured relating to the impurity of Fe and Si. And samples were worked to 86% reduction degrees through hot rolling and cold drawing.

The electrical conductivity of high pure aluminium (Fe:0.001, Si:0.010, Cu:0.002, 99.987Al) is 64.6%, and it decrease to about 61.0% by 0.40% Fe content and about 59.0% by 0.40% Si. The range which has better conductivity than 61.0% is $Si \leq 0.12$, $Fe \geq 0.36$, and more undesirable influences of Si than Fe are observed on the account of solid solubility of Si in Al.

As regards the mechanical property, influences of Si and Fe on the tensile strength are additional, viz. increases of about 5kg/mm² as compared with high purity Al are observed due to 0.40% Si or Fe. Therefore it is more effective to the of increase tensile strength to rise Fe content with moderate amount of Si than to rise Fe alone. And tensile strength of some purity Al tend to show the maximum values when Fe/Si = 1. On the other hand, elongations are between 2.5% and 3.5%, and they form a contrast tendency to the tensile strength to show higher values than 3% when Fe or Si contents are scarce and lower than 3% with considerable Fe and Si.

Consequently, the favourable contents of Si and Fe of Al for conductor wire will be Si: 0.08~0.12, Fe: 0.25~0.35%, considering with mechanical and electrical properties

(Received, May 19 1954)

1. 緒 言

前報¹⁾では中間焼鈍を行つた Al 引拔線の電導度に就いて考察したが、此の場合は焼鈍に依つて一部軟化が起る²⁾為に高い抗張力を得るにはその後大きな加工度を必要とし、又製品性能の変動も大きくなり易い³⁾。従つて最近では中間焼鈍を省略した操業法も実施される様になつた。勿論此の場合は焼鈍に依る電導度の向上は全く望めないで純度の点に大きな考慮を払い、電導度に悪影響を及ぼす元素、Al に固溶する Si、及び包晶反応を為す Ti, V, 等は特に低く抑えなければならない。他方機械的性質も不純分の含有に依つて変化するからこの面からの検討も必要となつて来る。本報告は之等の点に着目して無焼鈍の儘加工した線につき不純分 Fe, Si, と關聯し

て電導度、機械的性質を調査した。

2 試験方法

2.1. 試 料

高純度アルミ (Fe 0.001%, Si 0.010%, Cu 0.002% 99.987% Al) に Fe Si を夫々母合金を用いて添加し、添加量は0.04%の間隔で最大0.40%迄であり、溶解、鋳造、熱間加工迄は総て前報と同様に行つた。φ12%の鋳造試料はφ7%迄熱間加工後、中間焼鈍を行わずに冷間抽伸したが此の場合には線が硬化して居る為に、前報で使用したダイスでは加工度が大きすぎて伸線不能であり、別個に口径の異なるダイスを用いてφ4.5%迄抽伸した。抽伸の段階は加工度と共に示すと才1表の様である。尚潤滑剤としては種子油を用い、引拔速度は3.2

* 昭和電工株式会社喜多方工場

Showa Electric Industrial Co., Ltd, Kitakata Works,

**同 所

ditto

Table1 Extruding conditions of ϕ Al wire

Dia of die, $\frac{m}{m}$	6.7	5.9	5.3	5.0	4.5
Reduction degree from $\phi 12\frac{m}{m}$	68.9	75.8	75.8	82.6	85.8
Diff. of red. degree	3.5	6.9	4.7	2.1	3.2

cm/sec とする緩速度である。

2. 2. 電導度及抗張力に就いて

電導度は冷間抽伸の各段階に於て測定したが、才1表に見る様に69%から86%の間の加工度の相違では電導度も大きな変化なく、最終三段、5.3, 5.0, 4.5% ϕ 階の測定値の平均を取った。抗張力は電導度測定後の4.5% ϕ 線につき2 ton アムスラー試験機を使用し測定した。JIS規格に依れば、9号試験片は標点間距離200%となつて居るが、250%が慣習となつて居るので本実験も共に做つた。

3. 試験結果

3. 1. 電 導 度

測定結果は才2表に纏めて示してあり、此の他、多数の試料につき測定を行つたが殆んど同一の結果を得た。今才2表の数値を三元状態図の上に plot した場合、夫は熱間加工後直ちに冷間加工してある為、前報の熱間加工後の場合と余り変らないであろう事が予想される。才1図の等電導度線を見ると大体同様であるが61%以上を占める範囲が幾分狭くなつて居る。之は冷間加工に依る少量の電導度低下の爲と考へてよいであろう。又高純アルミの64.6%を出発点として Fe 0.40%の含有で約61% Si 0.40%の含有で約59%迄電導度の低下する事が知られる。何れにしても無焼鈍線の場合は、Siの悪影響の大きい事が明らかであり、450°Cの熱処理を出発点として製線する場合は、Siの固溶を避ける為に、Siは最大0.10%程度に抑える事が望ましい。450°Cに於ける三元固溶体の存在範囲は才1図中 abcで囲まれた部分であり⁴⁾ b. c.に近い組成の固溶体は当然電導度も悪く、従つて三元素の組成を定める際には Fe 含有量の如何に拘らず初晶として此の様な Si の多い固溶体が析出せぬ様、Si量を少量とすべきである。尙才2図にFe, Si, の増加に伴う電導度の変化を曲線の関係で示したが是によつて以上の関係が一層判然して来るであろう。

3. 2. 機械的性質

Al-Fe-Si 三元系の Al 隅に於ては、Fe の増加は抗張力増大の主因子であると考えられたが実験の結果は才2表、才3図に示す様に Fe, Si, が抗張力に及ぼす影響は加算的であり、且伸びに於ては又別個の傾向が見られた。抗張力では才3図からも知れる様に、Fe 0.40%、或いは Si 0.40%の含有で高純アルミに比較して約5kg/mm²の増大を示す。三元系の領域では両者の効果が加

Table2 Electrical Conductivity and Mechanical Property

Chemical Comp.		①	②	③	④	⑤
Si%	Fe%					
0.01	0.001	2.672	37.43	64.57	11.60	2.4
0.01	0.04	2.688	37.21	64.10	12.60	2.6
0.01	0.07	2.717	36.81	63.47	13.00	2.6
0.01	0.12	2.726	36.70	63.23	13.75	2.8
0.01	0.20	2.741	36.48	62.90	14.40	3.2
0.01	0.29	2.758	36.28	62.53	14.75	3.6
0.01	0.36	2.812	35.58	61.33	16.00	2.8
0.04	0.001	2.717	36.81	63.47	12.50	2.4
0.04	0.04	2.728	36.68	63.20	13.45	2.4
0.04	0.13	2.758	36.30	62.56	14.55	2.8
0.03	0.17	2.760	36.25	62.50	14.55	3.0
0.03	0.24	2.765	36.18	62.37	14.90	3.4
0.05	0.40	2.811	35.60	61.37	16.65	2.8
0.08	0.001	2.733	36.60	63.07	12.60	2.2
0.07	0.05	2.742	36.48	62.88	13.65	2.2
0.07	0.09	2.778	36.01	62.10	14.60	2.2
0.07	0.13	2.781	35.97	62.00	15.05	2.4
0.07	0.17	2.798	35.76	61.60	15.60	2.6
0.08	0.24	2.800	35.70	61.53	15.95	2.8
0.08	0.51	2.864	34.92	60.10	18.95	2.6
0.13	0.001	2.750	36.38	62.72	13.25	2.4
0.12	0.04	2.757	36.30	62.55	13.40	2.8
0.13	0.17	2.813	35.57	61.32	15.60	2.4
0.11	0.19	2.811	35.60	61.37	16.05	2.4
0.12	0.27	2.865	34.91	60.40	16.70	—
0.12	0.44	2.860	34.96	60.32	17.35	2.6
0.16	0.001	2.781	35.97	62.10	13.90	3.2
0.16	0.08	2.815	35.54	61.22	14.40	2.6
0.15	0.14	2.872	34.81	61.02	16.25	2.2
0.16	0.24	2.879	34.75	59.92	17.60	2.4
0.16	0.42	2.872	34.81	60.02	17.55	2.8
0.20	0.001	2.796	35.80	61.66	14.40	3.4
0.20	0.04	2.812	35.58	61.28	14.90	3.0
0.20	0.10	2.848	35.13	60.55	15.30	2.0
0.19	0.24	2.859	35.00	60.30	17.50	2.2
0.21	0.42	2.892	34.58	59.60	17.90	2.6
0.25	0.001	2.800	35.72	61.60	14.60	3.2
0.25	0.04	2.839	35.25	60.74	15.10	3.0
0.24	0.13	2.870	34.86	60.12	16.70	4.0
0.24	0.18	2.868	34.89	60.16	17.70	3.0
0.24	0.22	2.880	34.72	59.84	18.10	2.2
0.24	0.42	2.876	34.80	59.88	17.70	3.1
0.28	0.001	2.868	34.88	60.16	15.00	2.8
0.28	0.11	2.916	34.31	59.14	16.10	3.1
0.27	0.15	2.886	34.67	59.74	16.60	3.0
0.29	0.25	2.928	34.17	58.90	18.75	2.9
0.28	0.35	2.917	34.30	59.10	18.30	3.0
0.32	0.001	2.900	34.50	59.52	15.60	3.0
0.32	0.04	2.878	34.76	59.94	15.70	3.0
0.31	0.12	2.936	34.08	58.76	16.60	3.2
0.32	0.16	2.918	34.28	59.14	17.40	3.4
0.32	0.25	2.925	34.30	58.98	18.10	2.8
0.32	0.28	2.944	34.98	58.56	18.55	—

① Specific Resistance Ω cm $\times 10^{-6}$

② Electrical conductivity S m/mm²

③ Relative Electrical conductivity to Cu, %

④ Tensile Strength kg/mm²

⑤ Elongation between 250%_m

Fig. 1. Relation between Fe, Si contents and electrical conductivity of Al wire without annealing, 86% reduction.

いは0.12%程度になると Fe が 0.30% 或いは夫以上に増加した場合抗張力も相当に大となつて来る。従つて抗張力の面からすれば Si も此の程度存在する事が必要である。

4. 考察及総括

以上電導度と機械的性質に関して実験したが、實際操業の場合は加工度は95%を越えるのであり、本実験の加工度は86%であるが、電導度は86%から96%にかけて加工度が変化してもその低下は僅少であり、一方抗張力は加工度の増大と共に一次的に増加し、95%加工度附近で多少不連続的に変化上昇する様であるが本実験の結果から此の三元系の領域内での相対的な性能比較は可能であろう。そして良好な電導度と共に或程度以上の抗張力を必要とする際には上述した関係を考慮して組成を決定しなければならない。所謂電線用として生産される Al に就いては、未だその不純物量とか電導度、抗張力に関して明瞭な基準がない。以前は硬引線の電導度は最低60% 平均61%以上、抗張力は $\phi 3$ mm以下で16kg/mm²以上と言われて居たが、最近の製品は之等の規格を更に上廻つて居り、電導度は61~62.5%、抗張力は18~20kg/mm²、伸びは2.5~3.5%程度となつて居る。勿論不純物量に関する規定はなく、Fe, Si 量の相違によつて之等の範囲に分布する。此の様な性能の向上には他面、素材製造の際に従来の鑄鉄鑄型鑄造に代つて水冷式連続鑄造技術が導入された事も大いに貢献して居るであろう。各国の例を見ると一例として米国では電導度=60~62%、Si% $\leq$, 0.10Fe:0.30~0.45%, その他例えばMg<0.01%, 抗張性に関する規定なし、とされて居るが Fe が0.30%以下のものも屢々見受けられるし又幾分低い電導度も許容して居る様に見受けられる。独逸に於てもこう言つた点は未だ充分ではない様である⁹⁾。斯様にこの分野に於ては統一に欠ける点があるが、本実験の結果からすれば Si は0.10%程度を必要とし、Fe は0.25~0.35%位とするのが最もよい様である。

更に微量に包含される Cu, Ti, V, B, 等を考えると前報にも一部示した様に詳細は省略するが各国共、多少相違がある。併し乍らTi, V, 等は0.01%の含有で電導度は約1%近くも低下するのであるから充分留意する必要がある、之等の点に関する詳細も今後報告したい。最後に終始熱心に実験に助力された高森忠孝君に深謝する。

文 献

- 1) 丸川、及川 軽金属10 (1954)
- 2) A. S. Russell Wire & Wire Prod. 27(1952) 255~256
- 3) U. S. Patent 2,545,856

- 4) W. Janicke Al-Archiv 5 (1936) 9.
- 5) A. Loeschmann Aluminium 30 (1954) 95