

アルミニウム合金押出形材の偏心座 屈強さ

竹 島 義 雄
中 村 授 治
竹 内 勝

住友軽金属工業株式会社

論 文

アルミニウム合金押出形材の偏心座屈強さ

竹島義雄* 中村授* 竹内勝治**

Buckling Strength of Eccentrically Loaded Aluminum Columns

by Yoshio Takeshima, Sazuku Nakamura and Katsuzi Takeuchi

Recently, some aluminum alloys have been more and more used as structural members for the purpose of lightening. When aluminum alloy is used as structural members, the deflection or the buckling strength is very serious factor because of its low modulus of elasticity, which is about a third of steel's one. There are, however, very few experimental researches on buckling strength of eccentrically loaded aluminum columns.

This paper deals with the buckling strength of eccentrically loaded columns of 7N01-T5 and 5083-F. The test results were compared with the values computed from Ježek's formulas, based on the stress-strain diagram of an ideal, elastic, perfectly plastic solid.

As a result, it was clarified that the buckling strength of eccentrically loaded columns of aluminum alloy was approximately computed from Ježek's formulas by considering the proof stress $\sigma_{0.2}$ as the yield stress σ_y unless local buckling or torsional buckling occurred.

1. 緒 言

近年、主として軽量化の目的から、鉄鋼に代わってアルミニウム合金が構造部材として使用されることが多くなってきてている。アルミニウム合金は縦弾性係数が鉄鋼の約1/3であるから、たわみおよび座屈強さの点からいえば一般的には不利であるが、偏心圧縮荷重を受けた場合のアルミニウム合金の座屈強さに関する実験的研究はあまりみうけられない。

そこで、アルミニウム合金のなかでも代表的な溶接構造材である A7N01S-T5 および A5083S-F をえらび、各種の断面形状をもつ押出形材について主に偏心座屈試験を行ない、Ježek の理論に基づく推定値との比較を試みた。その結果、アルミニウム合金の偏心座屈強さは 0.2% 耐力を降伏応力とみなすことにより、Ježek の理論式からかなりの精度で推定できることがわかった。

2. 座屈強さの推定

2.1 軸心座屈強さ

偏心のない場合の軸心座屈応力は弾性域において Euler の式である(1)式によって、塑性域において Engesser の

tangent modulus theory による(2)式によって、それかなりの精度で推定できることがすでに知られている¹⁾。

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(kl/r)^2} = \frac{\pi^2 E}{\lambda_k^2} \quad (1)$$

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E_t}{(kl/r)^2} = \frac{\pi^2 E_t}{\lambda_k^2} \quad (2)$$

ここに、 σ_{cr} : 座屈応力, kg/mm²

E : 縦弾性係数, kg/mm²

E_t : 接線係数 ($= d\sigma/d\varepsilon$), kg/mm²

l : 座屈長さ, mm

k : 端末係数, 両端固定のとき 0.5

両端回転のとき 1

r : 回転半径, mm

λ_k : 有効細長比

である。

圧縮試験で求めた応力 σ -ひずみ ε 線図から、各 σ に対する縦弾性係数 E と接線係数 E_t を算定し、(1)式および(2)式によって軸心座屈強さを推定できる。

2.2 偏心座屈強さ

偏心座屈応力については Kármán-Chwalla の方法のように、実際の $\sigma-\varepsilon$ 曲線に基づいて図式解法により求める方法もあるが、 $\sigma-\varepsilon$ 曲線を弾完全塑性体のそれと単純化し、長方形断面材を仮定して解析した、(3)式で表わされる Ježek の式²⁾は設計上非常に有益であると考えられている。

*研究部

**開発部兼研究部 工学博士

$$\left. \begin{aligned} \lambda_k^2 &= \frac{\pi^2 E}{\sigma_{cr}} \left\{ 1 - \frac{m}{3(\sigma_y/\sigma_{cr}-1)} \right\}^3 \left(\lambda_k^2 > \frac{\pi^2 Em^3}{9\sigma_y(3-m)} \right) \\ \lambda_k^2 &= \frac{\pi^2 E}{\sigma_y} \sqrt{\frac{\sigma_{cr}}{\sigma_y} \left(\frac{\sigma_y}{\sigma_{cr}} - \frac{\sigma_{cr}}{\sigma_y} - \frac{2}{3}m \right)^3} \left(\lambda_k^2 < \frac{\pi^2 Em^3}{9\sigma_y(3-m)} \right) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

ここに、 σ_y ：降伏応力、kg/mm²

m ：偏心率 (=e/S)

e ：偏心量、mm

S：核半径、mm

である。(3)式は座屈応力 σ_{cr} が細長比 λ_k の陰関数で与えられているので、あらかじめ σ_{cr} と偏心率 m の種々の値に対する λ_k を計算し、座屈曲線として図示しておけばよい。

また、(3)式は軟鋼のように明白な降伏領域を有する材料であれば弾完全塑性体とみなすことができ、実用的に十分な精度でもって適用しうると考えられ、現に送電用鉄塔の設計基準³⁾では(3)式から導びいた近似式 (σ_{cr} を λ_k の陽関

数で表示) から許容応力を定めている。筆者らの検討結果では、この鉄鋼に対する近似式をアルミニウム合金にそのまま適用するよりも、近似式の係数を修正してやるほうがよいことが明らかとなった。

本報では、軟鋼と異なって降伏領域をもたないアルミニウム合金押出形材の偏心座屈強さをこの Ježek の式から推定することを試みる。

3. 試験方法

3.1 供試材

供試材は A7N01S-T5 の等辺山形材 3 種と H 形材 1 種および A5083S-F の溝形材、H 形材、角棒それぞれ 1 種である。これらの断面形状を後述する偏心の方向とともに Fig. 1 に示す。また、断面常数を Table 1 に、圧縮および引張性質を Table 2 にそれぞれ示す。

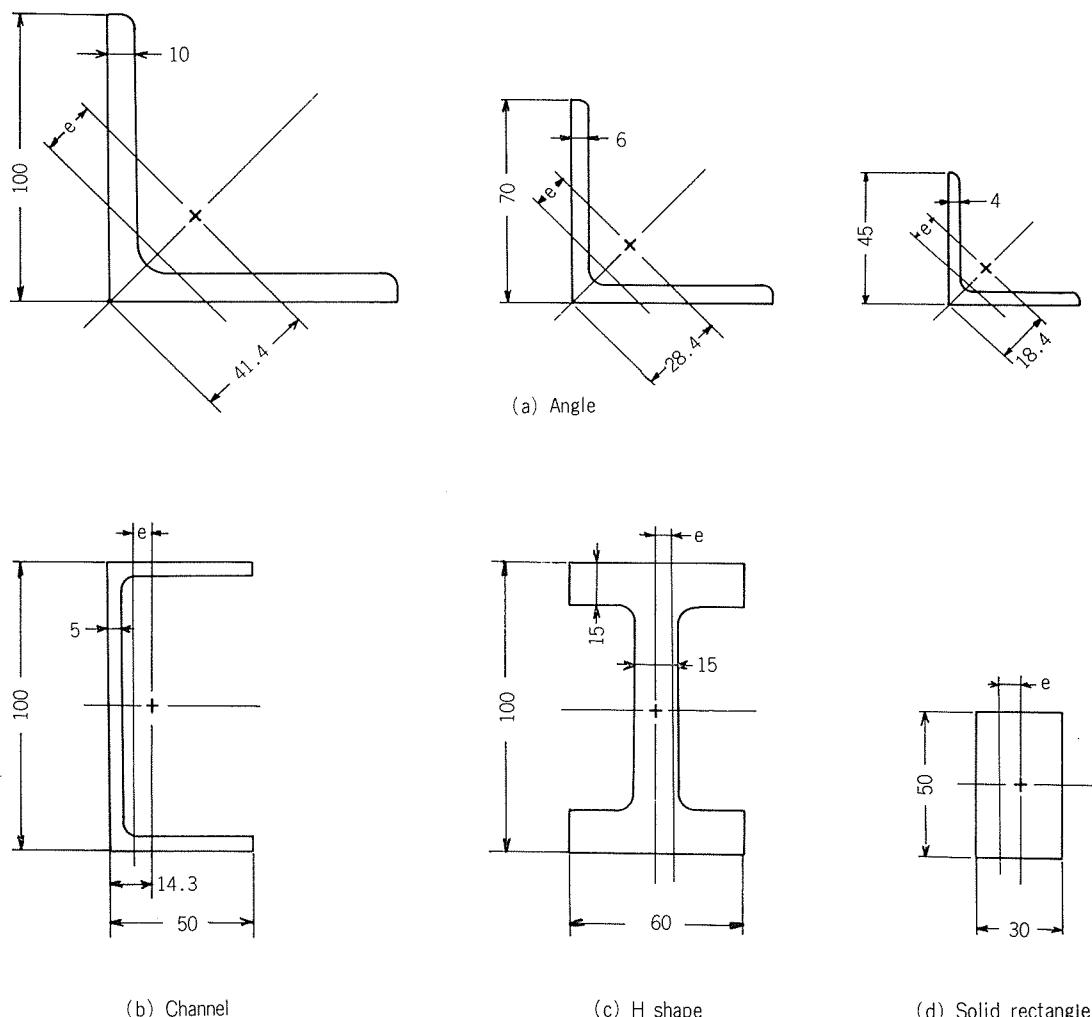


Fig. 1 Dimensions of cross sections.

Table 1 Properties of Cross Sections

Section	Area A(mm^2)	Moment of inertia I(mm^4)	Radius of gyration r(mm)	Radius of the core S(mm)
Angle	L 100×100×10	1,910	7.92×10^5	21.2
	L 70×70×6	815	1.63×10^5	14.1
	L 45×45×4	345	2.89×10^4	9.1
Channel	C 100×50×5	950	2.25×10^5	15.4
H shape	H 100×60×15	2,850	5.60×10^5	14.0
Solid rectangle	50×30	1,500	1.13×10^5	8.7

Table 2 Mechanical Properties of Test Materials

Material	Compressive properties			Tensile properties			
	Elastic limit σ_e (kg/mm ²)	Proof stress* $\sigma_{0.2}$ (kg/mm ²)	Modulus of elasticity E (kg/mm ²)	Elastic limit σ_e (kg/mm ²)	Proof stress* $\sigma_{0.2}$ (kg/mm ²)	Tensile strength σ_B (kg/mm ²)	Elongation δ (%)
7N01-T5 H Shape	23.0	29.3	7490	20.5	29.2	34.3	17
	22.0	30.4	7240	22.0	30.2	35.6	22
5083-F H shape Solid rectangle	11.5	16.1	7260	12.9	18.6	33.3	15
	9.9	17.5	7123	12.7	19.2	34.8	20
	10.3	18.0	7270	15.3	19.5	35.4	16

* 0.2% offset

3.2 座屈試験

座屈試験は 200t 長柱圧縮試験機を用いて行なった。偏心座屈試験においては Fig. 2 に示すような偏心量を任意に調節できる装置をもつ直径2"の鋼球を介した球面座を用い、鋼球と球面座との間には2硫化モリブデンを塗布して回転抵抗をできるだけ小さくした。

偏心座屈試験はすでに Fig. 1 に示したように偏心量 e をとり、偏心率 m として 0.2, 0.6 および 1.0 をえらんで、各荷重下における中央たわみと最大座屈荷重を測定した。その試験状況を Fig. 3 に示す。また、軸心座屈応力を調べるため両端固定に近い平押し圧縮を行なった。

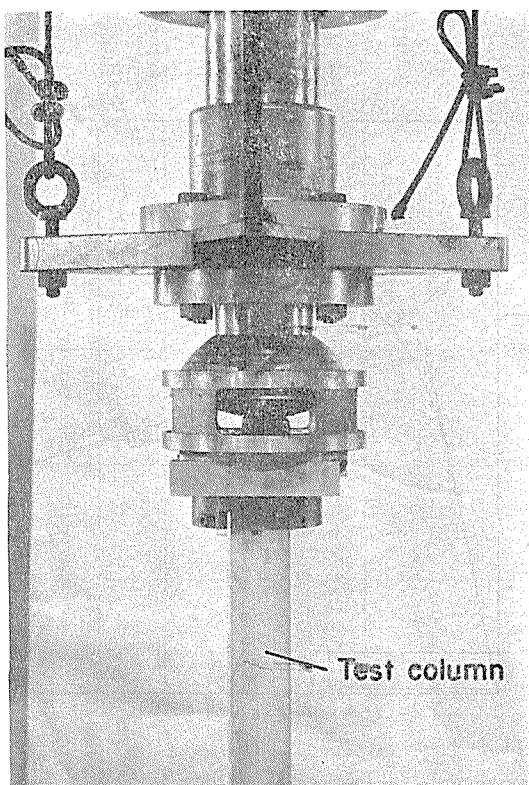


Fig. 2 Device for regulating the eccentricity.

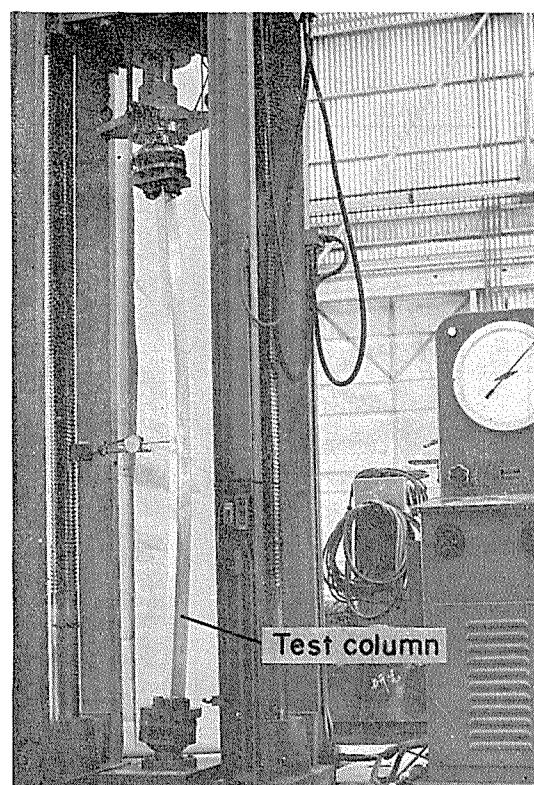


Fig. 3 Appearance of eccentrically loading test.

4. 試験結果

各形材の圧縮における σ - ϵ および σ - E_t の関係を Fig. 4 ~ 8 に示す。図中には参考のため引張における σ - ϵ の関係も付記した。これらから求めた λ_k に対する σ_{cr} の推定値

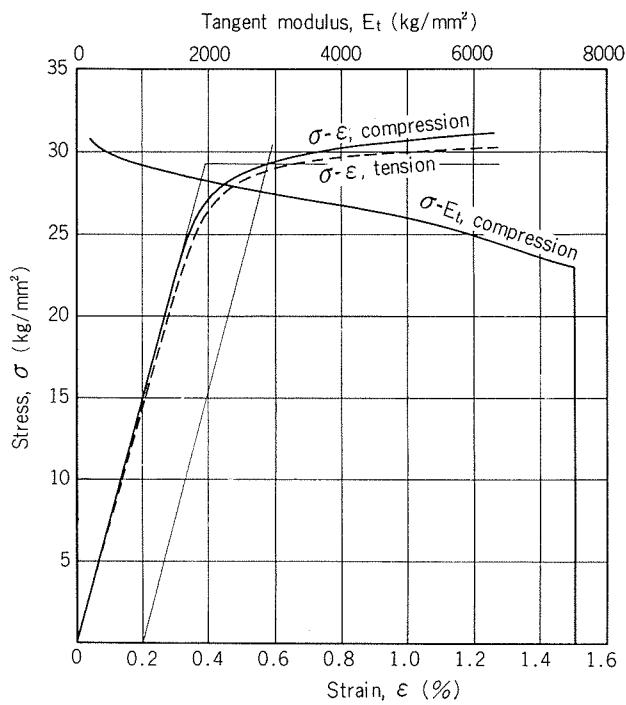


Fig. 4 Stress-strain and stress-tangent modulus diagrams of 7N01-T5 angle.

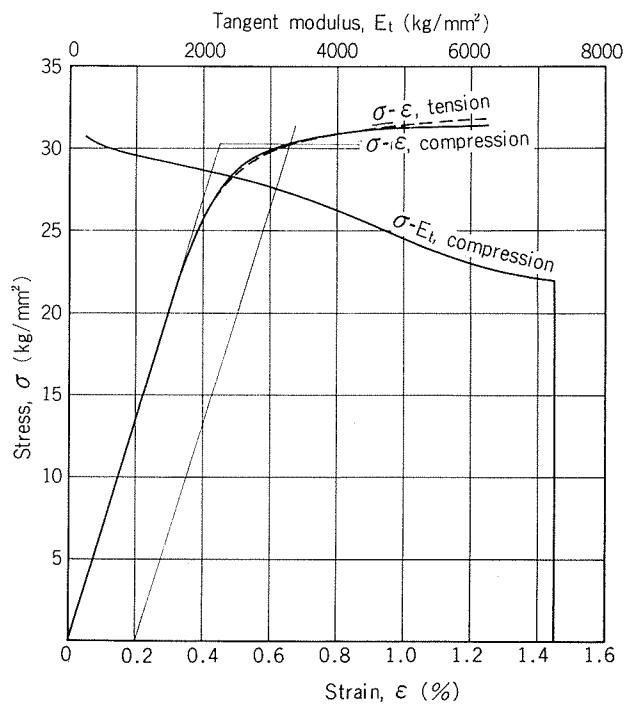


Fig. 5 Stress-strain and stress-tangent modulus diagrams of 7N01-T5 H shape.

を実験値とともに Fig. 9 ~ 15 に示す。ただし前者の場合、アルミニウム合金の偏心座屈強さを(3)式から推定しようとする際にもっとも問題となるのは、すでに述べたようにアルミニウム合金は軟鋼のような降伏領域をもたないのにもかかわらず(3)式が弾完全塑性体として導かれている点であ

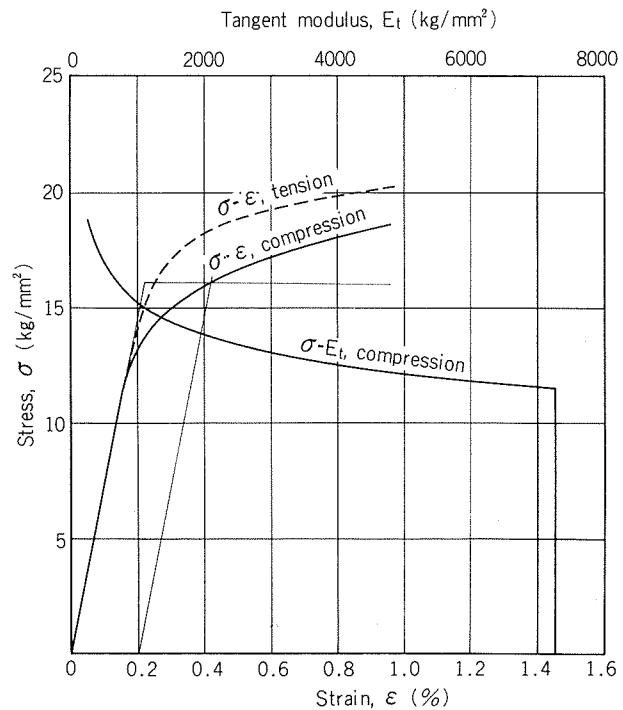


Fig. 6 Stress-strain and stress-tangent modulus diagrams of 5083-F channel.

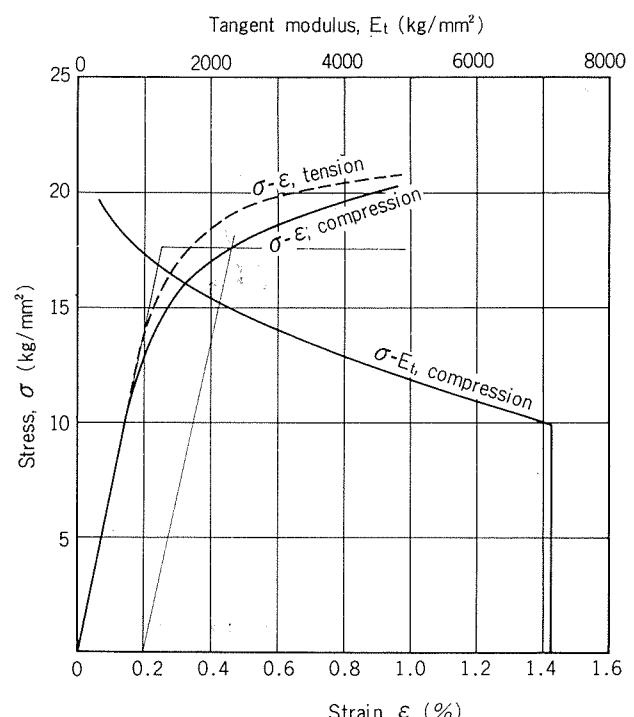


Fig. 7 Stress-strain and stress-tangent modulus diagrams of 5083-F H shape.

る。いいかえれば、(3)式における降伏応力 σ_y の値をいかに定めるかということであるが、Fig. 4～8のような圧縮における σ - ϵ の関係を 2 本の直線で弾完全塑性体として理想化した σ - ϵ 線図とするには、 σ_y として耐力 $\sigma_{0.2}$ を用いるのが妥当であると考えられる。Fig. 9～15の偏心座屈強さの推定値は σ_y として $\sigma_{0.2}$ をとった場合の(3)式を図示したものである。

また、偏心座屈試験における荷重と中央たわみの関係の例として A7N01S-T5 等辺山形材 L 100×100×10 の $\lambda_k = 40, 80, 120$ に対するものを Fig. 16 に示す。これから、

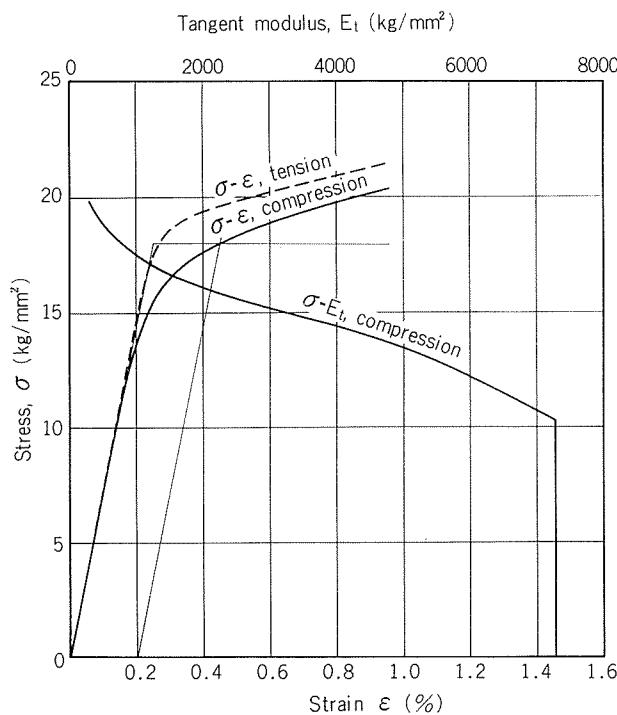


Fig. 8 Stress-strain and stress-tangent modulus diagrams of 5083-F solid rectangle.

同一断面材については λ_k が大きいほど、また m が大きいほど、同一荷重に対する中央たわみが大きくなることがわかる。

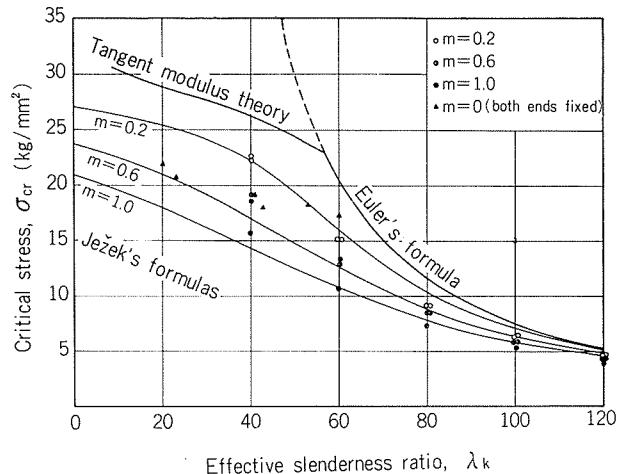


Fig. 10 Buckling strength of 7N01-T5 angle L 70×70×6.

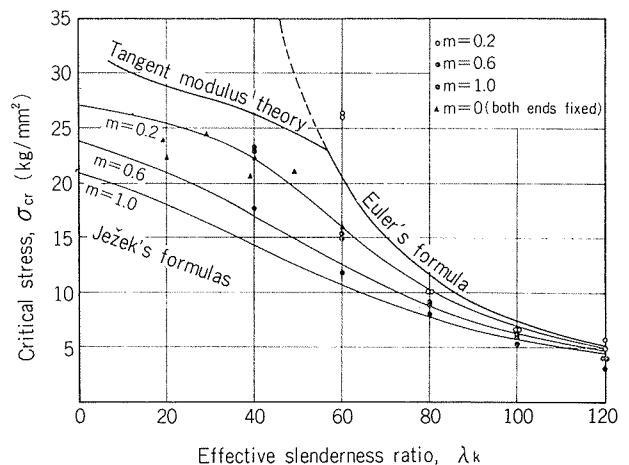


Fig. 11 Buckling strength of 7N01-T5 angle L 45×45×4.

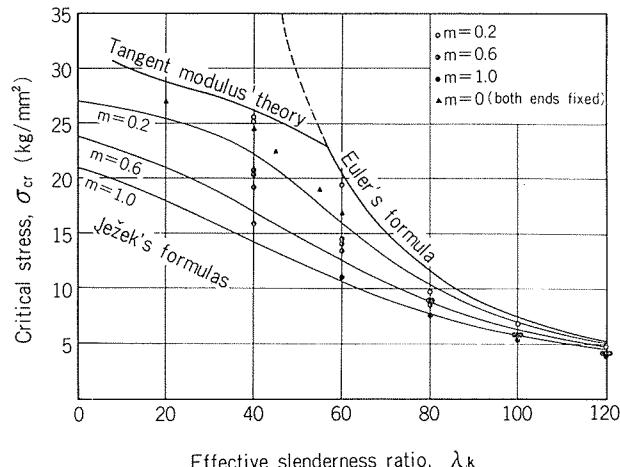


Fig. 9 Buckling strength of 7N01-T5 angle L 100×100×10.

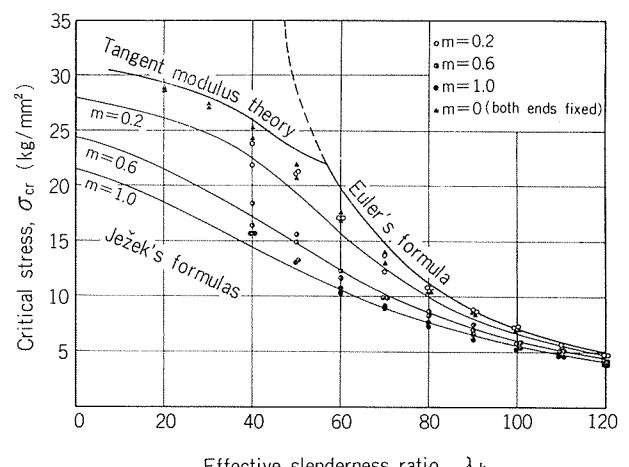


Fig. 12 Buckling strength of 7N01-T5 H shape.

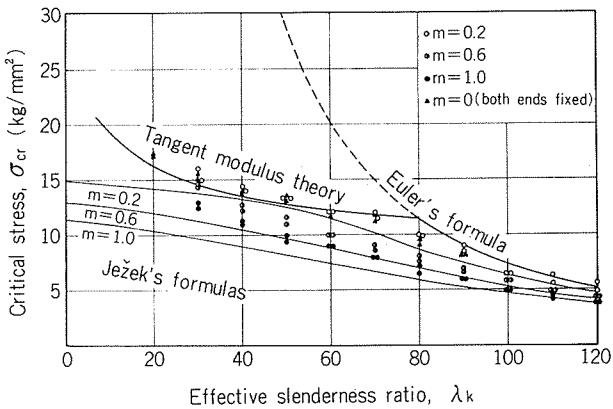


Fig. 13 Buckling strength of 5083-F channel.

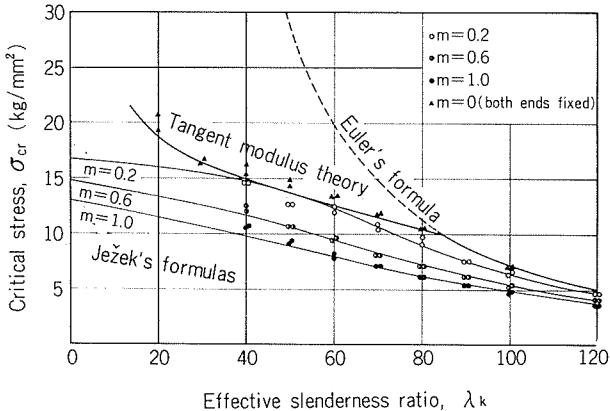


Fig. 14 Buckling strength of 5083-F H shape.

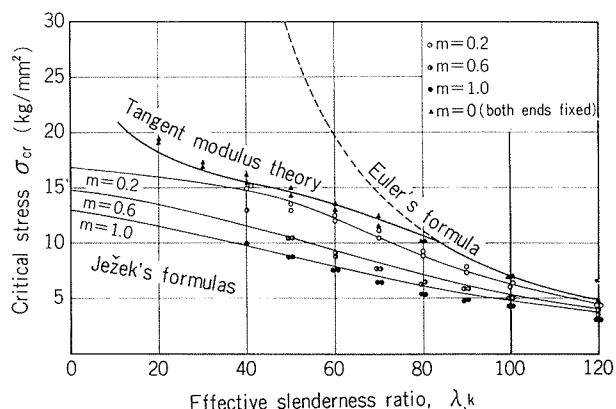


Fig. 15 Buckling strength of 5083-F solid rectangle.

5. 考察

Fig. 9～15において、 λ_k が80以上では σ_y として $\sigma_{0.2}$ を用いて(3)式から推定した偏心座屈強さは実験値とよく一致

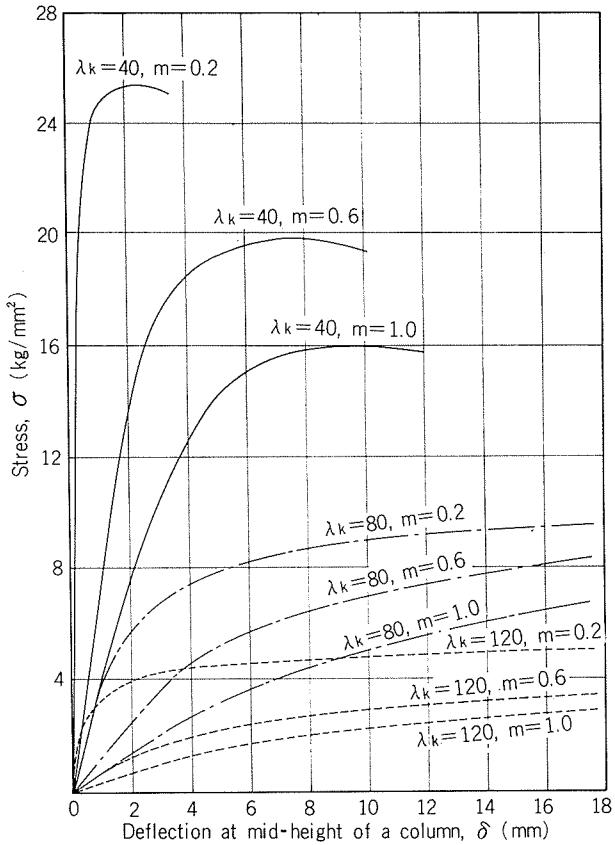


Fig. 16 Stress-deflection at mid-height of a column diagrams of 7N01-T5 angle L100×100×10.

している。 λ_k が40～80あたりでは実験値のほうがやや高い値を示しているが、この範囲での推定値が tangent modulus theory の(2)式による軸心座屈応力の推定値にほぼ平行になっていることからアルミニウム合金が加工硬化材料であることと、試験装置の回転抵抗の影響も出ていると考えられる。

Fig. 11に示すA7N01S-T5のL45×45×4でm=0.2の場合、 $\lambda_k=60$ の実験値が非常に高い値を示しているが、これは明らかに回転抵抗によるものと考えられる。回転半径の小さい部材で、偏心率の小さいものほど、この回転抵抗の影響を受けやすい。

A7N01S-T5等辺山形材については、両端固定(平押し)の場合の座屈応力が(2)式による推定値よりもかなり低い値を示しているが、この場合の破壊が局部座屈あるいは局部座屈とねじれ座屈の連成によって起こっているためである。ちなみに、(4)式で表わされる局部座屈の実験式⁴⁾からその応力を求めてみる。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{cr} &= B_p - D_p k_p \frac{b}{t} && \left(k_p \frac{b}{t} < C_p \right) \\ \sigma_{cr} &= \frac{\pi^2 E}{\left(k_p \frac{b}{t} \right)^2} && \left(k_p \frac{b}{t} \geq C_p \right) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$\text{ここで, } B_p = \sigma_y \left(1 + \frac{\sqrt[3]{\sigma_y}}{10.14} \right)$$

$$D_p = \frac{B_p}{10} \sqrt{\frac{B_p}{E}}$$

$$C_p = 0.409 \left(\frac{B_p}{D_p} \right)$$

b : フランジ幅, mm

t : 板厚, mm

である。

いま、A7N01S-T5 の場合、 $\sigma_y = 29 \text{ kg/mm}^2$, $E = 7500 \text{ kg/mm}^2$ とすれば、 $B_p = 37.8$, $D_p = 0.268$, $C_p = 57.6$ であるので(4)'式となる。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{cr} &= 37.8 - 0.268 k_p \frac{b}{t} & \left(k_p \frac{b}{t} < 57.6 \right) \\ \sigma_{cr} &= \frac{74022}{(k_p \frac{b}{t})^2} & \left(k_p \frac{b}{t} \geq 57.6 \right) \end{aligned} \right\} (4)'$$

これを図示すれば Fig.17 となる。図中には山形材の場合の周辺拘束係数 $k_p = 5.13$ を用いて求めた各形材の局部座屈応力を付記したが、これらの値はほぼ λ_k の小さな範囲での実験値に近い値を示している。

なお試算したところによると、(3)式による偏心座屈応力は λ_k の大きな範囲では σ_y の値が少々変化してもほとんどその影響を受けない。

6. 結 言

軟鋼のような明白な降伏領域をもたないアルミニウム合金の偏心座屈強さを、弾完全塑性体を仮定して導かれた Ježek の式によって推定することが妥当であるかどうか検討する目的で、A7N01S-T5 および A5083S-F の各種押出形材について偏心座屈試験を行なった。その結果、局部座屈あるいはねじれ座屈を起こさない純粋な曲げ座屈の場合、アルミニウム合金の偏心座屈強さは、耐力 $\sigma_{0.2}$ を降伏応力 σ_y とみなすことによって Ježek の式からほぼ推定できることが明らかになった。

本報では、実際に圧縮試験を行なって耐力 $\sigma_{0.2}$ を求め

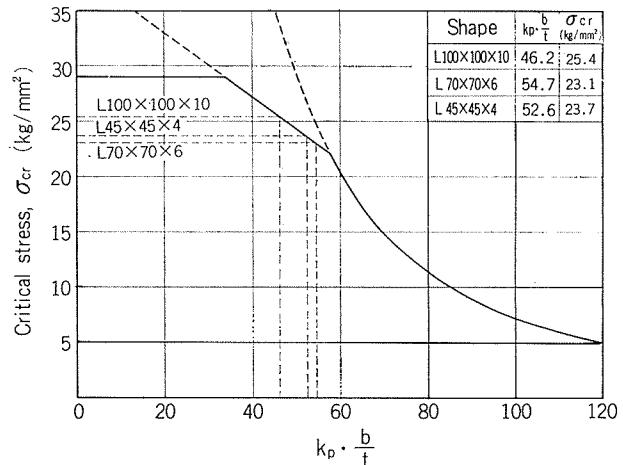


Fig.17 Local buckling strength of 7N01-T5 angles computed from experimental formulas.

ているが、JIS 規格の耐力値を用いてもよい。JIS 規格の耐力値は押出形材の場合下限値であるので、特に細長比の小さいところで安全側の推定となる。

また、Ježek の理論式は座屈応力 σ_{cr} が細長比 λ_k の陰関数で与えられているので、前述の送電用鉄塔設計基準のように σ_{cr} が λ_k の陽関数である近似式を各材質ごとに定めておけば、さらに設計上有効であると考える。

文 献

- 1) F. Bleich : *Buckling Strength of Metal Structures*, McGraw-Hill Book Co., New York, (1952), 14
または竹内勝治, 中村授 : 本誌, 7(1966), 63
- 2) K. Ježek : *Die Festigkeit von Druckstäben aus Stahl*, Julius Springer, Wien, (1937), 15
または仲威雄ほか : 建築学大系, 第12巻, 座屈論, 彰国社, (1966), 75
- 3) 電気学会電気規格調査会 : 送電用鉄塔設計標準, JEC-127, 電気書院, (1965)
- 4) R. Kent (edited) : *Aluminum*, vol.2, (1967), 181

アルミニウム合金の溶接部における
羽毛状晶の形成とその機械的性質に
およぼす影響

福 井 利 安
難 波 圭 三

住友軽金属工業株式会社

アルミニウム合金の溶接部における羽毛状晶の形成と その機械的性質におよぼす影響*

福井利安** 難波圭三**

Formation of Feather Structure in Aluminum Alloy Welds and Its Effect on Mechanical Properties.

by Toshiyasu Fukui, Keizo Namba

This paper discusses morphology of feather structures observed in aluminum alloy welds and effects of these structures on mechanical properties of welds.

The feather structures are observed locally at reinforcement in the center of welds and seem to be nucleated after columnar structures have been developed. The characteristic features of the feather structures have very little difference from those formed in cast common aluminum alloys. Formation of the feather structures is remarkably influenced by welding speed. As welding speed increases, the feather structures become less populated and co-exist with granular structures. From these observations it is considered that formation of the feather structures is also influenced by constitutional supercooling besides various factors mentioned previously. The feather structures are also closely related to grain size and width of granular structure regions. The number of the feather structures decreases remarkably by refining grains and increasing granular structure regions. Consequently, formation of the feather structure is possibly prevented by refinement of weld metal.

Formation of the feather structure results in deterioration of mechanical properties, sawtooth like marks in fracture.

1. 緒 言

アルミニウム合金鋳塊における羽毛状晶の発生については従来よりよく知られている。とくに近年、連続鋸造法の普及とともに、工業製品でも多数観察されるようになり、その形態^{1~4)}、鋳塊の諸性能におよぼす影響^{1,5)}および形成機構^{2,6)}などについて、多くの報告がなされている。

いっぽう、アルミニウム合金の溶接凝固組織においては、母材よりエピタキシャルに発生した結晶が熱流と反対方向に柱状晶となって成長し、その後、より粗大な柱状晶、あるいは一部粒状晶へと変化していくことが認められる。このとき、しばしば柱状晶あるいは粒状晶に代わって、羽毛状晶の発生が観察される。アルミニウム合金溶接部における、羽毛状晶の発生についてもいくらかの報告があり、その形態的特徴^{7~10)}、溶接部の性能との関連^{7,9)}などについて、調べられている。しかし、これらはいずれも断片的なものにすぎず、詳細な点についてはまだ不明なところも多く見受けられる。

本報では、アルミニウム合金溶接部に発生した羽毛状晶の特徴を明らかにし、溶接条件の影響、および溶接凝固組織の形態との関係などについて調べると共に、溶接部の機械的性質におよぼす影響にも検討を加えた。

*軽金属、22(1972)、651に発表

**研究部

2. 供試材および実験方法

2.1 供試材

本実験に用いた母材は、主として Al-4.5%Mg 合金 (A5083) の 12 および 25mm 板である。

いっぽう溶加材には Al-Mg 系の電極ワイヤ (A5183W-Y) の 1.6 および 2.4mm ϕ を用いた。

その他、一部溶接金属の結晶形態や粒度を変化させるため、Al-4.5%Mg 合金 (A5083 系) の母材および溶加材に、Ti, B および Zr などの微細化元素を種々の量添加した材料や、不純物である Fe, Si 量を変化させたものも用いた。

2.2 実験方法

実験は、溶接電流 250~400A、アーク電圧 19~28V および溶接速度 0.33~1.5 cps (20~90 cpm) の範囲で種々変化させて、MIG 1 層の bead-on-plate 溶接を行ない、それらの溶接部の横、縦断面および平面より試料を採取してマクロおよびミクロ組織を検出して、羽毛状晶を観察した。そして、この形態的特徴を明らかにするとともにその発生量 (溶接金属中の占有率) を測定して、溶接条件との関連性を調査した。このとき、一部すみ肉溶接も行なって同様の調査を行ない、bead-on-plate 溶接の場合と比較した。さらに、溶接金属の結晶形態や、粒度と羽毛状晶の関係、Fe, Si など不純物量の効果などについても調べた。

つぎに、溶接部の諸性能におよぼす羽毛状晶の影響とし

て、羽毛状晶の有無による機械的性質の差を調査した。

また、以上の結果から溶接部における羽毛状晶の形成機構についても少し考察を加えた。なお、試料の腐食液としては、マクロ組織用としてTucker氏液および王水、ミクロ組織用としてはKeller氏液を用いた。

3. 実験結果

3.1 羽毛状晶の形成状況とその特徴

Fig. 1にAl-4.5% Mg合金溶接部において認められた、羽毛状晶のマクロ組織の一例を示す。これより明らかなごとく、小さなラメラー状の羽毛状晶が群をなして溶接金属中央部付近の余盛部に、粒状晶や柱状晶と混在して発生している。とくに、この縦断面の組織観察より、柱状晶が熱流と反対方向にある程度成長した後羽毛状晶が生成し、その後増殖を伴って扇形に近い形態で成長しているのが認められる。多くの場合、これらの成長方向は熱流とほぼ反対方向である。しかし、平面の組織観察より羽毛状晶の群が幾重にもなって発生しているのが認められ、必ずしも、増殖および成長方向は一定とは限らず、むしろ、任意の方向になっているものも観察される。しかも、これらの羽毛状晶

の大きさも一定ではないようである。

羽毛状晶の発生場所は、溶接金属中央部あるいは余盛部付近に限られ、母材との境界部や溶込み部にはほとんど認められていない。しかも、この羽毛状晶の発生域は多くの場合、結晶形態が柱状晶から粒状晶へ変化する領域に相当しており、その結果、羽毛状晶は主に粒状晶と混在していく。しかし、後で示すとく溶接条件によっては、粒状晶がほとんど認められない場合があり、羽毛状晶は両側より成長してきた柱状晶にはさまれて、溶接金属中央部付近で連続的に発生することもある。

Fig. 2に羽毛状晶のミクロ組織の観察結果を示す。これらは溶接部における羽毛状晶のミクロ的な特性を検討するため、同一試料に種々の研磨および腐食を施して観察した結果である。

Fig. 2の(a)に示したバフ研磨後腐食したものでは、羽毛状晶でのデンドライト組織が明瞭に現われており、そこでは、一次のデンドライト組織に対して鋭角で二次のデンドライト組織が生じている。これらの間の角度を、数個の試料にわたって測定したが、いずれも50~60°であった。

(b)は電解研磨を行なっただけの組織を示すが、二次デン

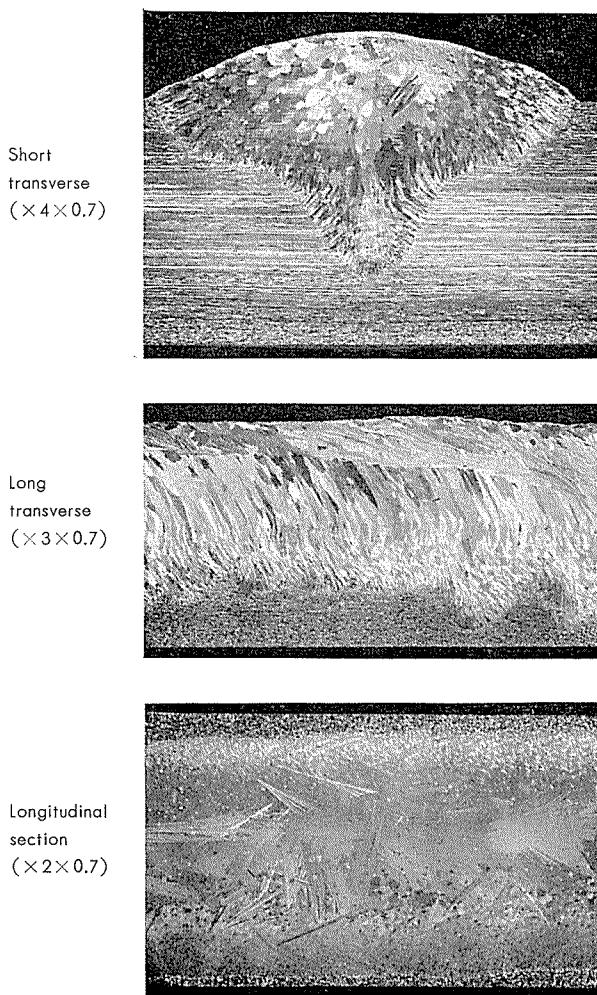


Fig. 1 Typical macro photographs of feather structures observed in Al-4.5%Mg alloy welds.

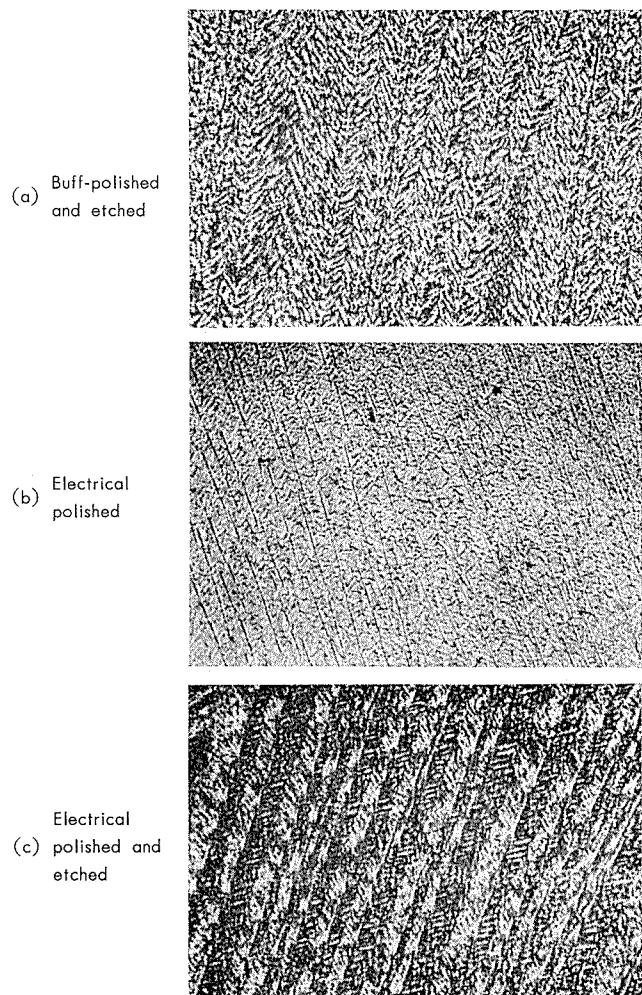


Fig. 2 Typical micro photographs of feather structures observed in Al-4.5%Mg alloy welds. ($\times 100 \times 0.7$)

ドライト状の組織をはさんで双晶面に相当していると思われる、ほぼ直線状の組織が明瞭に認められる。しかも、二次デンドライト組織がこの直線を境にして反対側に成長し、隣接する結晶でのデンドライト組織と互いに合致するところ、粒界になっているのがわかる。

(c)は(b)の電解研磨部をさらに腐食した結果を示す。これより明らかなどとく、各結晶において双晶面と思われる直線を境にして配向が異なっており、また、各粒界ごとに同一の配向が交互に生じているのがわかる。各々の結晶粒の大きさにも少し差があるようである。

以上の結果より、溶接凝固組織において認められる羽毛状晶はFig. 2 に示したミクロ形態を有したもののが、三次元的に集まって群をなし、マクロ的には、Fig. 1 に示した扇形に近い形状となって発生していることがわかる。形態的特徴は、その大きさを別にすれば、一般の鋳塊におけるものととくに異なるものではない。

3.2 羽毛状晶の形成におよぼす溶接条件の影響

羽毛状晶の形成におよぼす溶接条件の影響について、検討するため、まず、溶接入熱と羽毛状晶の形成量との関係を求めた。実験は12mm厚のAl-4.5%Mg合金を用いて840~4,740 cal/cmの入熱で、bead-on-plate溶接し、そのとき生じた羽毛状晶を検出して、その全体の面積を溶接金属の縦断面(long transverse)、および横断面(short transverse)上で測定し、溶接金属に対する占有率を算出した。

Fig. 3 にこの結果の一例を示す。いずれの入熱においても羽毛状晶が認められ、粒状晶と混在して発生している。しかも、発生場所も前述のFig. 1 と同様でやはり溶接金属中央部余盛付近に限られており、この発生領域に関する限り、入熱の変化の影響はないようである。しかし、発生量は著しく変化している。つまり比較的小入熱(1,880

cal/cm)においては羽毛状晶は非常にわずかしか生じていないのに対して、大入熱(4,740 cal/cm)になるとこの発生量は著しく増加している。

これらの羽毛状晶の溶接金属に対する占有率を測定して溶接入熱との関係で示すと、Fig. 4 のごとくになる。Fig.

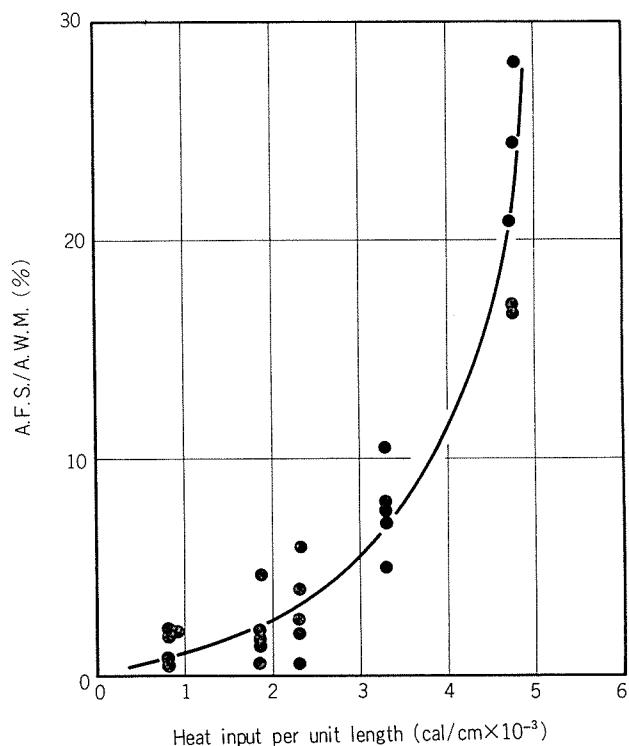


Fig. 4 Effect of weld heat inputs per unit length on the formation of feather structures and their amounts in bead-on-plate welds of Al-4.5Mg alloy, where A.F.S./A.W.M. is the ratio of area of feather structure to that of weld metal (plate thickness: 12mm)

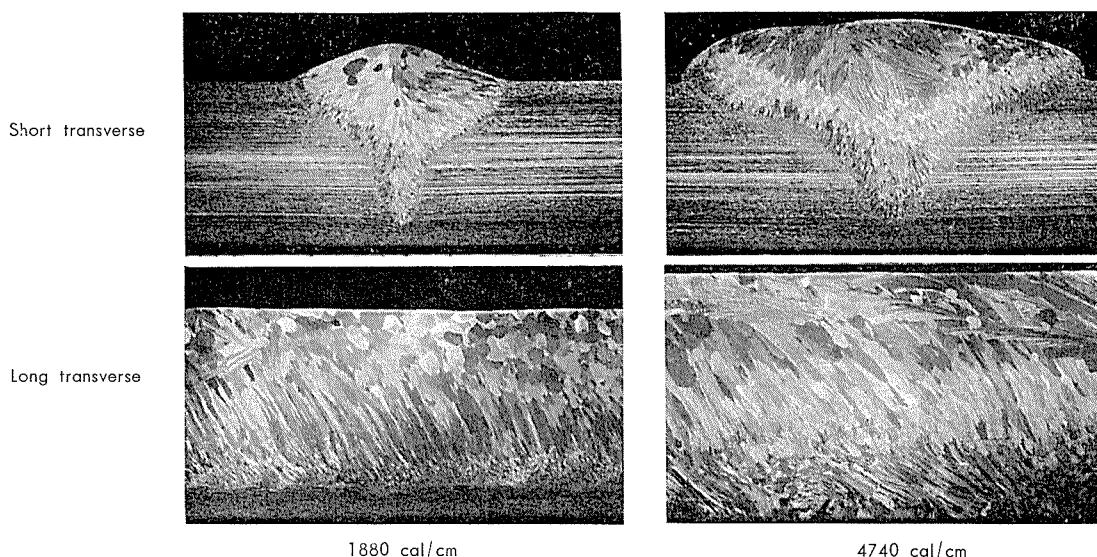


Fig. 3 Effect of weld heat inputs per unit length on the formation of feather structures in Al-4.5Mg alloy welds. ($\times 3 \times 0.6$)

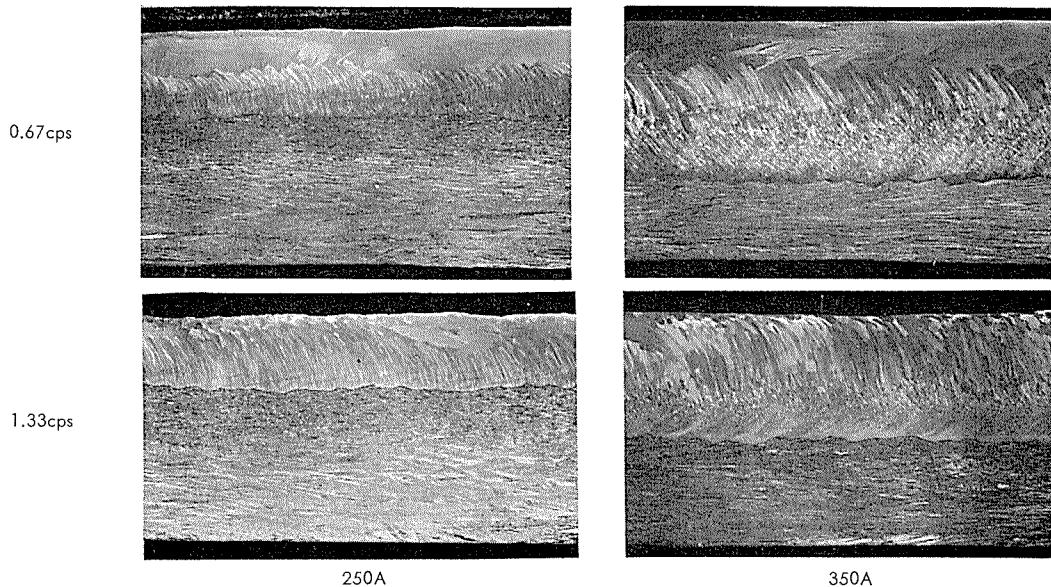


Fig. 5 Effects of welding speeds and currents on the formation of feather structures in Al-4.5%Mg alloy welds. ($\times 1.5 \times 0.7$)

4 中の縦軸は羽毛状晶の占有率 : A. F. S. / A. W. M. $\times 100$ (%)を示している。ここで、A.F.S. : 羽毛状晶の占める面積 (mm^2), A.W.M. : 溶接金属の面積 (mm^2) である。なお、各々のプロット点は3つの測定値の平均値である。これより明らかなどとく、羽毛状晶の占有率は溶接入熱の増大とともに著しく増加し、溶接入熱が4,710 cal/cmのもとでは20%以上にも達しており、羽毛状晶が非常に多量に発生している。

ところで、羽毛状晶の生成は熱流の影響を強くうけると思われるから、溶接条件との関連性を調べる際、熱流および凝固速度の観点からも検討を行なった。実験材料としては比較的厚板(25 mm厚)のAl-4.5%Mg合金を用い、溶接電流250~400A溶接速度0.33~1.33 cps(20~80 cpm)の範囲でそれぞれ変化させて bead-on-plate 溶接し、そのとき発生した羽毛状晶を観察して、上記と同様に調査した。

そのときえられた羽毛状晶の発生状況および溶接条件との関係について、Fig. 5に示す。溶接電流250Aの場合、溶接速度が低い(0.67 cps)と粒状晶はほとんど認められず、柱状晶がある程度発達した後、これにかわって羽毛状晶が発生している。しかも、増殖数や群が非常に多量で折り重なっており、溶接方向には連続的に発生しているよう見える。しかし、高速度(1.33 cps)になると、余盛部で柱状晶から粒状晶へと変化しているのが認められており、羽毛状晶はこれらの粒状晶と混在して発生していくようになる。しかも、その増殖数や群数は著しく減少している。この傾向は溶接電流を350Aに増加させても同様であり、ただ羽毛状晶の量がやや減じているだけである。

つぎに、羽毛状晶の発生量(占有率)と溶接条件の関係をプロットすると Fig. 6 のごとくである。占有率は羽毛状晶の面積を縦断面および平面にて測定し、溶接金属の

面積との比で示した。Fig. 6 の上側の図中●印は、Fig. 5 中の低溶接速度側に認められたもので、羽毛状晶が折り重なって連続的に発生している形態を示したものであり、○印は高速度側に認められた不連続的に生じた羽毛状晶を示す。ここでは参考までに粒状晶域の占有率についても同様に測定し、下に併記している。なお、A.G.S. は溶接金属中に粒状晶が占める面積を示し、A.F.S. および A.W.M. は前述の Fig. 4 と同じである。また図中のプロット点はいずれも3つの測定値の平均値を示す。

これらより明らかなどとく、羽毛状晶の占有率は溶接速度の増加とともに著しく減少し、その発生も不連続的になってくる。電流を変化させてもこの傾向は変わっていない。ただし、電流の増加と共に占有率がやや減じ、しかも、羽毛状晶の発生形態が連続的なものから不連続的になる変化点が低速度側によっている。さらに、これらの傾向は下に併記した粒状晶の占有率との関係と、非常によい対応を示している。つまり、粒状晶の発生量の増加と共に羽毛状晶の発生が不連続的になり、占有率も著しく減少している。

同様にしてすみ肉溶接部についても調べ、羽毛状晶の発生量を平面で測定したが、その結果を Fig. 7 に示す。ここでも羽毛状晶の占有率は溶接速度とともに著しく減じるが、溶接電流の影響は少ない。しかも、電流の増加とともに全体として羽毛状晶の占有率は減じているようで、これらの点では Fig. 6 に示した bead-on-plate 溶接部の場合と、同様な結果がえられている。ただ、占有率の絶対値は Fig. 6 の場合よりも少し多量になっているようである。

3.3 羽毛状晶の形成におよぼす結晶形態およびその粒度の影響

前項で述べたことも関係するが、ここでは Al-4.5%Mg 合金に微量の Ti, Zr および Ti-Bなどを添加して溶接金属中の結晶形態やその粒度をかえて、羽毛状晶の発生との

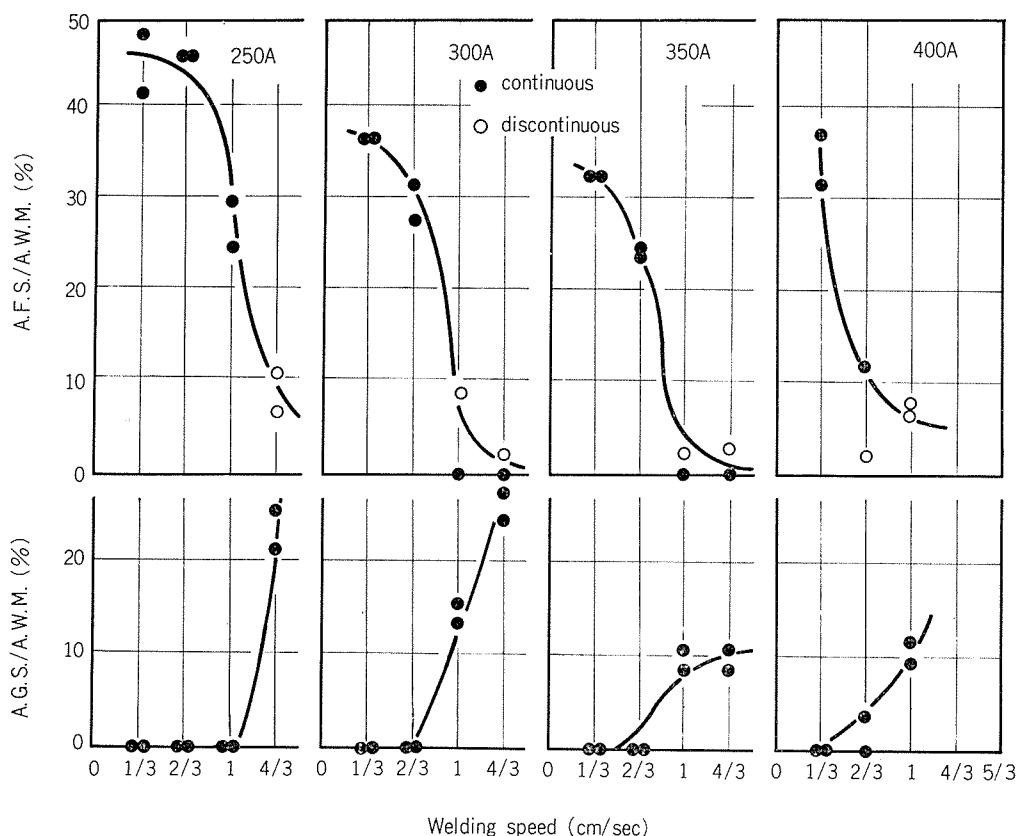


Fig. 6 Effects of welding speeds and currents on the formation of feather and granular structures and their amounts in bead-on-plate welds of Al-4.5%Mg alloy, where A.F.S./A.W.M. is the ratio of area of feather structure to that of weld metal and A.G.S./A.W.M. is the ratio of area of granular structure to that of weld metal.

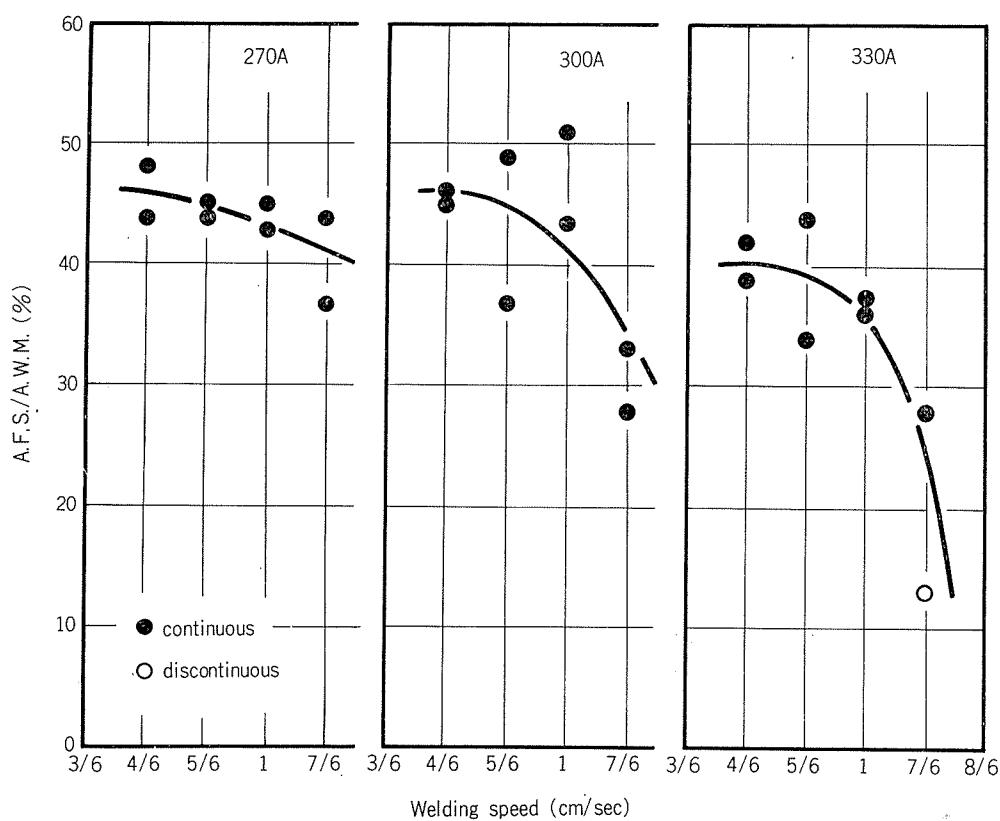


Fig. 7 Effects of welding speeds and currents on the formation of feather structures and their amounts in fillet welds of Al-4.5%Mg alloy.

関連性を検討した。溶接は MIG bead-on-plate で、条件は溶接電流350A, アーク電圧25V, 溶接速度0.75 cps (45 cpm) と一定した。板厚は12mmであった。

Fig. 8 に、結晶粒度が異なる溶接部での羽毛状晶の発生状況を示す。右側の数字はそれぞれの粒状晶域での結晶粒の平均直径を示す。なお、それらの粒度は line-intercept 法にて測定した。これより明らかなるごとく、粒状晶が微細になるほど粒状晶域が増加し、粒径が0.09mmのものでは、ほとんど全部の溶接金属が粒状晶を呈している。羽毛状晶は、粗大結晶粒 (0.78mm) で増殖数および成長の程度も大きい。反対に微細結晶粒 (0.09mm) では、ほとんど羽毛状晶の発生は認められていない。

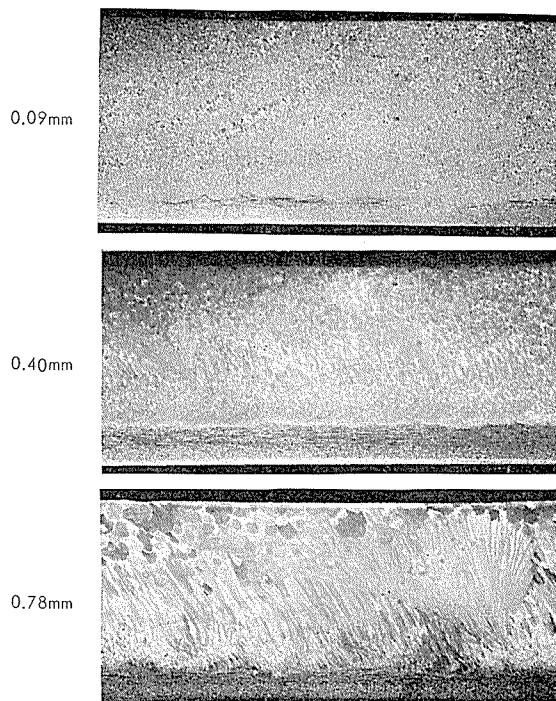


Fig. 8 Effect of grain sizes on the formation of feather structures in Al-4.5%Mg alloy welds with or without small amounts of refining elements. ($\times 3 \times 0.6$)

羽毛状晶の占有率と結晶粒度との関係を示すと、Fig. 9 のごとくになる。ここでも各プロット点は3つの測定値の平均値である。羽毛状晶の占有率は結晶粒度の減少とともに2次関数的に著しく減じ、結晶粒度が0.1mm付近ではほとんど生じていない。

なお、羽毛状晶の形成におよぼす Fe および Si の不純物量の影響を99.99%Al, 99.85%Al および 99.5%Al 地金を用いて溶製した Al-4.5%Mg 合金の溶接部について検討したが、これら不純物の影響はほとんど認められなかった。

3.4 溶接部の機械的性質におよぼす羽毛状晶の影響

溶接部の機械的性質におよぼす羽毛状晶の影響を調べるために、溶接入熱 1,740~4,740 cal/cm のもとで Al-4.5% Mg 合金 (12mm厚) を bead-on-plate 溶接し、その溶接部から試料を採取した。試料の採取および作成にあたっ

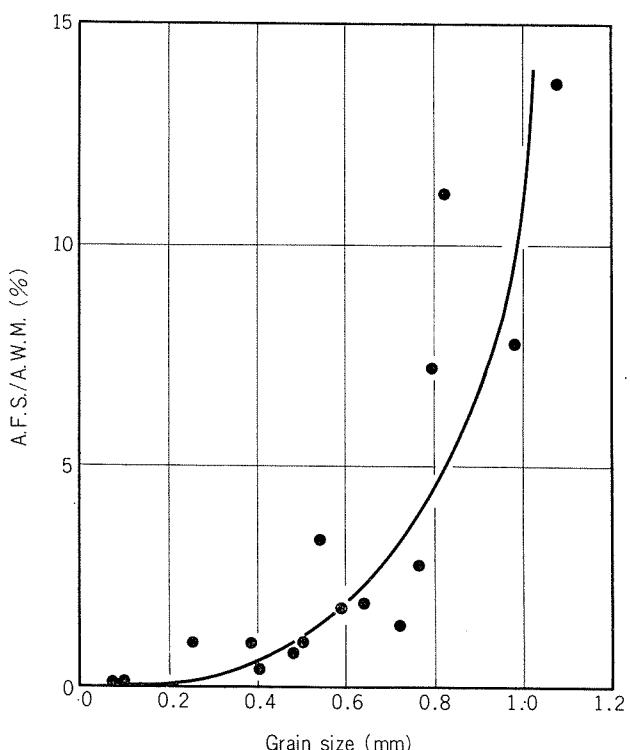


Fig. 9 Relationship between A.F.S./A.W.M. (ratio of area of feather structures to that of weld metal) and grain size in Al-4.5% Mg alloy welds.

ては、まず羽毛状晶の発生の有無を調査し、同一の実験試料で羽毛状晶を含むものと含まないものの両方を作成して、機械的性質を比較することとした。しかし、以下の結果の●印（羽毛状晶を含む試料）の内、硬度および切欠引張強度では、ほとんど羽毛状晶自体の性能を示しているのに対し、シャルピー衝撃値は試料形状の関係で一部羽毛状晶以外の結晶が含まれたものもある。

Fig. 10 にビッカースかたさにおよぼす羽毛状晶の影響を示す。羽毛状晶の有無に関係なく硬度は溶接入熱とともに低下しているのが認められる。しかし、いずれの入熱条件においても、羽毛状晶を含む試料の方が羽毛状晶を含まない試料より、やや硬度の値が低くなっている。

Fig. 11 は切欠引張強さの結果である。切欠を入れた理由は羽毛状晶部で破壊させていたためである。Fig. 11 より明らかなるごとく、羽毛状晶の有無に関係なくいずれの強度も入熱の増加と共に著しく低下しているのが認められる。しかし、ここでは Fig. 10 のように、羽毛状晶の有無による強度差は明らかではない。ただ、羽毛状晶を含む試料の切欠強度はバラツキが大きくなっているのが特徴的である。

Fig. 12 はシャルピー衝撃性質におよぼす影響である。溶接入熱との関連性は前述の結果と同様であるが、羽毛状晶の存在している試料ではやや衝撃性質が低下している。とくに低入熱側でその差が著しく、高入熱になるに従って差が少なくなっているようである。

Fig. 13 に上記の切欠引張およびシャルピー衝撃試験で

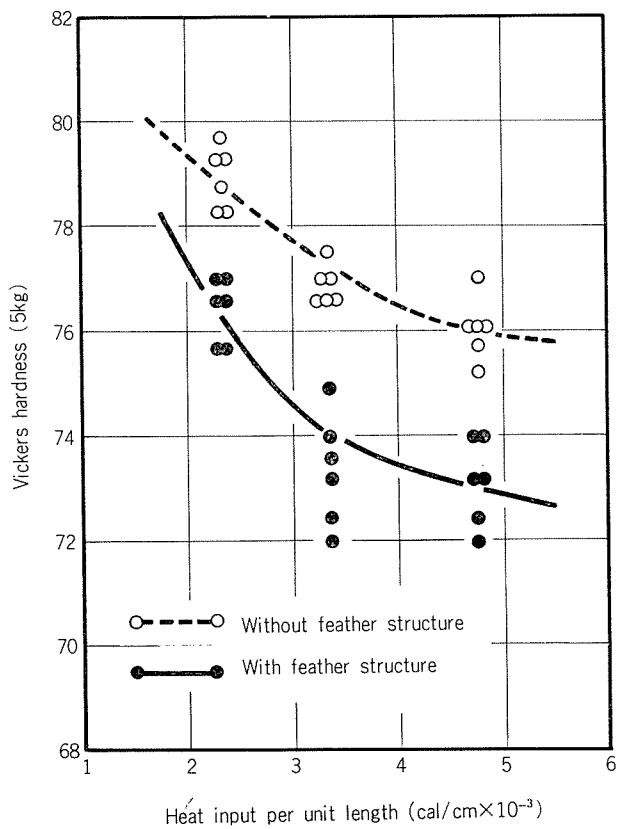


Fig. 10 Effect of feather structures on Vickers hardness of Al-4.5%Mg alloy welds.

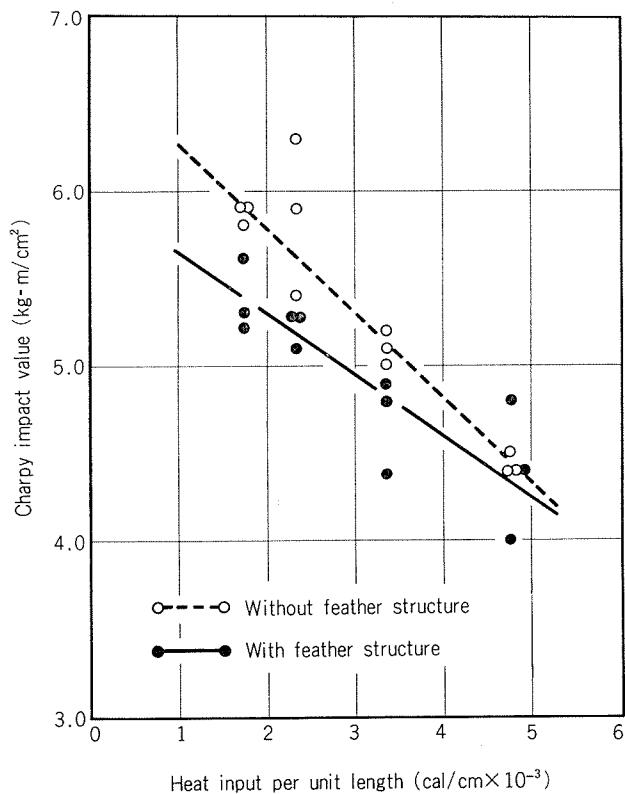


Fig. 12 Effect of feather structures on Charpy impact value of Al-4.5%Mg alloy welds.

えられた羽毛状晶部での破断部断面のミクロ組織の一例を示す。いずれも、羽毛状晶部で鋸歯状の破断部が認められており、間接的ではあるが羽毛状晶の存在によって機械的性質が影響をうけていることがわかる。

以上の機械的諸性質の外、溶接部の性質におよぼす影響としては、高温割れの伝播形態において認められ、羽毛状晶の発生によってこの進行状態が変化しているようである。すなわち、筆者ら¹¹が別途行なった厚板のすみ肉溶接割れ

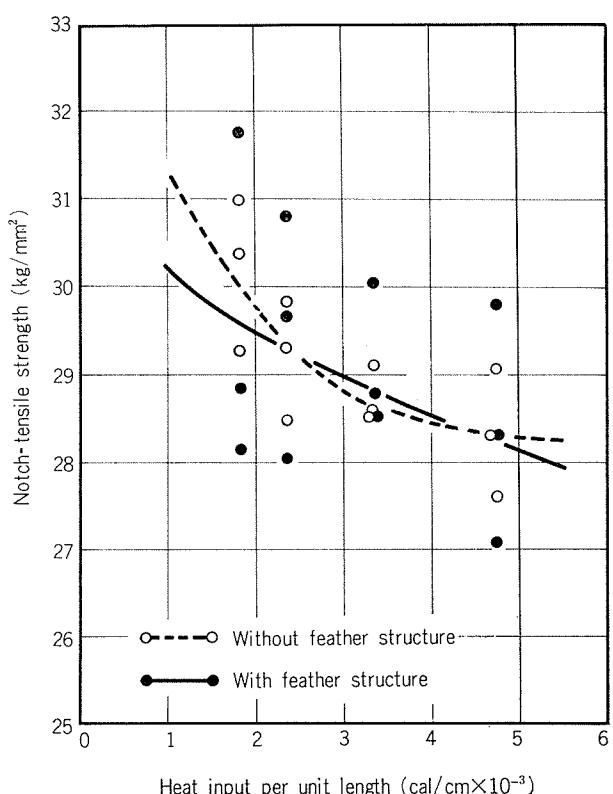


Fig. 11 Effect of feather structures on notched tensile strength of Al-4.5%Mg alloy welds.

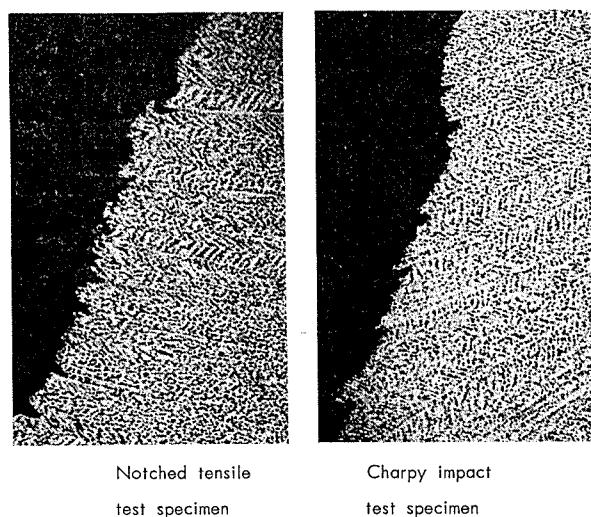


Fig. 13 Effects of feather structures on the fracture mode of welds, showing saw-tooth type of fractures. ($\times 100 \times 0.7$)

試験の結果、羽毛状晶を含む Al-Zn-Mg (A7N01) 合金では羽毛状晶と羽毛状晶の間の境界を割れが進行していたが、Al-Mg (A5083) 合金では、割れは羽毛状晶をさけるように羽毛状晶と柱状晶の間に沿って進行するものが多くなっていた。いずれの溶接割れの進行も粒界に沿ったものであるが、羽毛状晶の発生に関連して、割れの伝播が異なってくることがわかる。

4. 考 察

アルミニウム合金溶接部における羽毛状晶の発生については、従来よりよく知られており、いくつか報告されている^{7~10)}。この羽毛状晶の形態はミクロ的にはその中に双晶面を有したラメラー状の凝固双晶が群となって放射状に成長し扇形を形成しているものであり、本実験の Fig. 1 および 2 でも確認される。したがって、溶接部の羽毛状晶は一般の鋳塊^{2~4)}の場合ととくに異なった組織を有しているわけではない。

羽毛状晶の発生場所は溶接金属中央部余盛付近に限られ、柱状晶がある程度成長した後、羽毛状晶が発生している。その成長方向は必ずしも熱流には関係しないようであり、しかも、溶接条件によっては Fig. 3 および 5 に示したごとく、その発生数がごくわずかになったりあるいは幾重にも重なって連続的に発生したりして、鋳塊とは少し異なった発生形態を示すこともある。

羽毛状晶の発生におよぼす溶接条件の影響については、溶接入熱の増加とともに羽毛状晶の発生が多くなり、その結果、羽毛状晶の占有率が著しく増している。しかし、後述するごとく、これは入熱の増加によって羽毛状晶が増しているのではなく、溶接速度の低下（結果的には入熱の増加）によって羽毛状晶の形成量が増大している。羽毛状晶の発生は凝固速度や熱流の影響をかなりうけると考えられるが、Fig. 5 および 6 にも示したごとく、羽毛状晶の発生量は溶接速度に依存し、電流（熱量）には余り影響されないことがわかる。羽毛状晶の発生が溶接速度の影響をうけることは Robinson ら⁷⁾によって報告されているが、たゞそこでは溶接速度が 0.42 cps (25 cpm) で最大となることを示しており、本実験とは少し異なった結果を示している。

さて、羽毛状晶の形成におよぼす要因であるが、鋳塊においては、必要条件として一方向凝固^{1~4)}、溶湯の攪拌が少ないと^{1), 2)}が知られており、その他、有効 Ti 量¹⁾、臨界凝固速度¹⁾ および凝固速度と温度温勾配の関係¹²⁾などが報告されている。とくに、松石ら⁶⁾は羽毛状晶の双晶面である (112) 面と熱流との配向がある角度以内になると、核生成ならびに増殖が容易になることを報告している。溶接部における羽毛状晶の発生場所は、主として溶接部中央余盛部であり、ここでは比較的熱流が一方向になりやすいことから、上記の一方向凝固の必要性が暗示される。

ところで、羽毛状晶の発生が溶接電流には余り影響され

ず溶接速度の影響を強くうけること、および、この発生量が粒状晶の発生量とよい対応が認められたことより、組成的過冷度についても考慮する必要があると思われる。すなわち、溶接速度の増加と共に溶接部中央付近では凝固速度（成長速度）が比例的に増すため組成的過冷度が増大し、その結果、柱状晶だけでなく粒状晶も発生するようになる。いっぽう、羽毛状晶は組成的過冷度の増加と共にその発生形態を変え、また、その発生量が著しく減ずるようになる。これらのこととは、溶接ビードの中央部が比較的組成的過冷度が小さい¹³⁾ことからも裏づけられる。また、Fig. 3 に示した 12mm 板での発生量が Fig. 5 に示した 25mm 板での発生量より少ないので、板厚が薄い場合、裏側の板端面からの熱反射（鏡像効果）のため温度勾配がゆるやかとなり、その結果組成的過冷度が増加したためであろうと思われ、逆に、Fig. 7 に示したすみ肉溶接の場合では溶接熱の拡散が大きいため温度勾配が急となって組成的過冷度が減じ、Fig. 6 に示した bead-on-plate 溶接の場合より羽毛状晶の発生が増したのであろうと思われる。

組成的過冷度の影響については、Morris ら²⁾によって Al-Ti 系の鋳造実験で定性的に説明されている。そこでは羽毛状晶の成長のための組成的過冷度は柱状晶のそれよりも少なくてすみ、したがって、これらの選択的成長では羽毛状晶がよりたやすく優先成長することが報告されている。本実験における結果からは、直接的に組成的過冷の影響を裏付ける証拠はえられていない。しかし、ある程度、このような考え方²⁾もできるのではないかと思われる。なお、平衡分配係数の小さい Fe および Si の影響がほとんど認められないのは主要合金元素である Mg や Mn 量にくらべて Fe や Si 量が非常に少ないためであろうと推察される。

いっぽう、この羽毛状晶の形成の軽減もしくは防止法とも関連するが、羽毛状晶の形成におよぼす溶接金属の結晶形態および粒度の影響としては Fig. 8 および 9 のごとく、鋳造材に関する中尾¹⁾の報告と比較的一致している。しかし、本実験の結果だけでは、粒状晶が発生する凝固条件が本質的に羽毛状晶の発生を阻止するのかどうかは不明である。

つぎに、溶接部の諸性能におよぼす羽毛状晶の影響としてはすでに引張性質^{7), 14)}および破断状況⁹⁾などによって、断片的ではあるが報告されている。本実験においては、溶接部の機械的性質でその影響が認められた。とくに、硬度やシャルピー衝撃値は羽毛状晶で少し低下している。切欠引張強度ではほとんど差が認められなかったが羽毛状晶においてバラツキが著しい。これは羽毛状晶の成長方向と引張方向が、各試料において必ずしも一定ではないためであろうと思われる。同様の検討は鋳造材についてであるが、渡辺ら⁴⁾や小松ら⁵⁾でもなされており、機械的性質におよぼす羽毛状晶の方向性の影響が明らかにされている。なお、羽毛状晶の影響は Fig. 13 に示した破断部断面に認められた羽毛状晶での鋸歯状破断からも確認された。

5. 結 言

本研究でえられた結果を概括すると、つきのごとくである。

- 1) 溶接凝固金属における羽毛状晶は溶接ビード中央余盛部付近に局在し、柱状晶がある程度成長した後発生する。
- 2) マクロおよびミクロ組織的には双晶面をはさんで2次デンドライトが成長し、同一の配向を有するものが交互に現われている。これらは群となって放射状に成長し扇形を形成しており、組織的には、一般の鋳塊における場合と全く異なるものではない。
- 3) 羽毛状晶の発生量は見かけ上溶接入熱の増加と共に著しく増加した。しかし、これは溶接速度に主として依存し、溶接電流にはほとんど依存していない。溶接速度が増加すると羽毛状晶の量は著しく減じ、また、粒状晶と混在して発生してくるようになる。
- 4) したがって、羽毛状晶の発生におよぼす要因として、組成的過冷度も無視できないと思われる。この要因によって羽毛状晶の発生部の局在化、および溶接条件との関連性などがうまく説明できるようである。
- 5) 羽毛状晶の発生は溶接凝固組織での結晶粒度や粒状晶域の変化によって強く影響をうけ、微細結晶になり粒状晶域が増すと、羽毛状晶は著しく減少する。したがって、羽毛状晶の発生は溶接部組織を微細化することによってかなり防止できると思われる。

6) 溶接部の諸性能におよぼす影響としては羽毛状晶領域において機械的性質の低下が認められ、試験片の破断状況にもこの影響の跡が認められた。

文 献

- 1) 中尾善信：軽金属，7 (1957), 5.
- 2) L. R. Morris, J. R. Carruthers, A. Plumtree and W. C. Winegard: Trans. Met. Soc. AIME, 236 (1966), 1286.
- 3) 中谷義三、清水恭治、福田健児、橋本隆：軽金属，18 (1968) 165.
- 4) 渡辺修一郎、本間梅夫、雄谷重夫：軽金属，19 (1969), 279.
- 5) 小松登、中村元志、池田準哉：軽金属学会第40回春季大会講演概要, (1971.5)
- 6) 松石藤夫、本間梅夫、雄谷重夫：軽金属，19 (1969), 287.
- 7) I. B. Robinson and F. R. Baysinger: Weld. J., 45(1966), 433s.
- 8) A. T. D'Annessa: Weld. J., 46 (1967), 491s.
- 9) A. T. D'Annessa: Weld. J., 47 (1968), 462s.
- 10) M. F. Jordan and M. C. Coleman: British Weld. J., 15 (1968), 553.
- 11) 福井利安、杉山禎彦：軽金属溶接，10 (1972), 627.
- 12) 宮沢信太郎、本間梅夫、雄谷重夫：軽金属，22 (1972), 143.
- 13) 日本金属学会：結晶成長と凝固, (1969), 124.
- 14) 仙田富男、松田福久、中川博二、飯島史郎、加藤光昭：溶接学会誌, 41 (1972) 1217.

家庭用ルーム・クーラーのアルミ化
に関する最近の情報と実機試験結果
その1 最近の情報

竹内勝治
杉山禎彦
伴又寿
姫野健

住友軽金属工業株式会社

技術資料

家庭用ルーム・クーラーのアルミ化に関する最近の情報と実機試験結果

その1 最近の情報

竹内勝治* 杉山禎彦** 伴又寿*** 姫野健****

1.はじめに

熱交換器市場がアルミニウムの大きな需要分野であることはよく知られているが、昨年来とくに注目をあびているのが米国における家庭用ルーム・クーラーのアルミ化である。すなわち、エバポレータやコンデンサの冷媒管として銅管($9.52\text{mm}\phi \times 0.41\text{mmt}$)のかわりに1200(純アルミニウム)管および7072合金を被覆したアルクラッド3003管の使用、キャピラリ管等配管類のアルミ化、さらに、従来から用いられている1100や1050などの純アルミニウム・フィン材のかわりに7072合金を使用するとともにその薄肉化を図ることなどである。以上の動向は、米国における銅の供給不安定と価格変動に起因しており、アルミニウムの使用にともなう価格安定と原価低減が目的である。いっぽう、アルミ化を促進するための技術、すなわち、UL(Underwriters' Laboratories, Inc.)社によるウェット・コンデンサ冷媒管へのアルクラッド3003合金管の適用承認およびその裏付けとなったAlcoa社の2回にわたる実機試験結果、従来からラックスの使用で問題視されていたリターン・バンド管のろう付け接合に対してBranson Sonic Power社およびBlackstone Ultrasonics社における超音波はんだ付け技術の開発、「Alcoa 450プロセス」によるフィン・カラーの成形方法などがその裏付けとなっていることも事実である。

わが国においては、ルーム・クーラーの冷媒管にアルミニウムを使用することは銅管の場合とくらべて耐食性、とくに孔食の点で信頼性に欠けるという懸念から、過去に種々の論議が行なわれてきた。しかし、前述したような米国における動向もあり、GE社が昨年アルミ化した安価なウインド型100\$クーラー「キャリクール」を発売して大好評を博して以来、本年にはCarrier社、Rudy社などもアルミ化したウインド型クーラーを発売し始めたことなどを考慮すると、わが国と米国における気候、とくに湿度の相違もさることながら、あらためてルーム・クーラーのア

ルミ化に関する方向を検討せねばなるまい。

当社は昭和45年6月にエバポレータおよびコンデンサをアルミ化したセパレート型ルーム・クーラーの実機試験を開始し、2年間にわたる試験を昨年に終了した。その詳細と結果は本報のその2およびその3のようであるが、この機会に、クーラー・アルミ化に関する調査した材料関係、Alcoa社のニュー・ケンシントンその他における実機試験や米国陸軍のパナマ運河地域における曝露試験の要旨、および超音波はんだ付け技術等をまとめて関係各位の御参考に供したい。

2.材料関係

2.1 経緯と材料の組合せ

前述したように、ルーム・クーラーのエバポレータおよびコンデンサにはかなり以前から1100や1050の純アルミニウム・フィン材が採用されているが、冷媒管にアルミニウムを使用することは長年にわたる懸案であった。わが国においては使用期間が比較的短いカーラー関係の冷媒管は10年前からアルミ化されており、また、一部のルーム・クーラー・セパレート型のエバポレータ冷媒管に純アルミニウムが採用されている一例も見受けられる。いっぽう、米国では、セパレート型の各冷媒管のアルミ化は当然のことであって、クラッド管を使用せず、そのコンデンサは雨がかかるても問題がおきないとされており、また、そのコンデンサはドライ型であるから銅管でもアルミニウム管でもよい。したがって、使用条件のきびしいウインド型ウェット・コンデンサの冷媒管にのみアルミニウムが未採用であった。

いっぽう、アルミ化された場合における冷媒管の重量関係は表1に示すようである。アルミ化による原価低減は銅

表1 ヘヤピン管のクーラー1台当りの重量の一例

項目	銅管	アルクラッド3003-O管、 1200-Oおよび同-H111管
寸法(mm)	$9.52\phi \times 0.41$	$9.52\phi \times 0.89$
単重(kg/m)	0.104	0.065
1台当り ヘヤピン管 使用量 ⁽¹⁾ (kg/台)	セパレート型 〔約2000kcal/hr〕 約38m/台	3.95
	ウインド型 〔約1800kcal/hr〕 約30m/台	2.47
		2.74
		0.072
		2.17

注(1) エバポレータ、コンデンサの合計

*開発部兼研究部 工学博士

**研究部

***開発部

****住軒アルミニウム工業株式会社 (当時開発部)

の値と関係するが、米国では銅管の場合の40~50%と称され、2000kcal/hr 程度のクーラーについて試算すると冷媒管のみで1台当たり少くとも1000円前後の原価低減が可能であると考えられている。

昨年5月22日 UL 社が Subject 207 で米国クーラー業界に対してウェット・コンデンサ冷媒管にアルミニウムを使用した、いわゆる、オール・アルミ・クーラーに UL マークの使用を認めることを通告し、クーラー・アルミ化が大きく進展した。この通告は、後述する Alcoa 社のウィンド型クーラーについての2年間にわたる実機試験と UL 社内における亜硫酸ガスその他のによる各種腐食試験結果等に基づくもので、次に示す内容が条件である。

- (1) エバポレータ・コイルはアルミニウム管を用いる。
- (2) コンデンサ・コイルは最小限0.0019" (0.048mm) の厚さに7072合金をクラッドした3003合金管を用いる。
- (3) エバポレータ、コンデンサ両コイルに用いるフィン材と端板は7072合金とする。
- (4) 冷却系中における銅配管には、かならず湿気を透過しない塗膜で保護された銅/アルミニウム・トランジション・ショットを用いる。
- (5) すべての銅配管は凝結水がアルミニウム配管またはコイル・アセンブリに直接流下または滴下しないよう配置する。
- (6) 最終製品の設計は、凝結水の散布がフィンのない裸の部分のアルクラッド管コンデンサのリターン・ペンドまたはヘヤピン・ペンド部に直接かかるような構造であること。

(7) 最終製品のベース・パンに鉄板が用いられているときは、メッキあるいは適当な耐水性有機塗料で防食する。また、アルミニウム・コンデンサ・コイルは鉄板と直接に接触して電食対を形成することができないように配慮する。

なお、上記の(2)項に関しては、クラッド率という概念ではなく、管外径とは無関係にクラッド量が0.0019" 以上あればよいわけで、その場合の管肉厚が 0.032" (0.813mm) 以上というのが条件である。この最小肉厚は機械的性質と関係して3000psi の水圧試験に合格するためのものであり、肉厚がこの値未満であればクラッド量を含めて各種の試験が必要である。

表2はクーラー・アルミ化に関する Alcoa 社が推奨する材料の組合せ¹⁾を示す。

2.2 管 材

クーラー・アルミ化で冷媒管に採用されている材質は 1200-O および同-H111 とアルクラッド 3003-O 管である。

表2 クーラー・アルミ化における材料の組合せ

項目	条件 A	条件 B
ヘヤピン管およびリターン・ペンド管	アルクラッド 3003 管	1200 または 3003 管
フィン	7072	7072
端板	アルクラッド 3003	アルクラッド 3003
防食塗装	不要	リターン・ペンド管にのみ塗装

前2者は純アルミニウム 1100 の場合もあり、後者は曲げ加工性と拡管性を考慮して Mn を 0.05~0.4% 含有した 3102 合金がコア材となったクラッド管に現在変りつつある。また、ここでいう O 質別は通常のマンドレル管である。H 111 質別はポート・ホール管で、米国では Hot sized tube あるいは Extruded and sized tube と称され、肉厚 0.039~0.040" で押出してから 0.035" に skin pass draw したものである。O 質別と H111 質別の使いわけはとくになされておらず、素材供給者側の設備事情や価格から決定されている。表3は引張性質の一例を示す。

管はいずれも Level Wound Coil の形態で供給され、寸法は次に示すように米国・カナダとも統一されているようである。

ヘヤピン管素材：外径3/8"φ×0.035"

(9.525mmφ×0.889mm)

リターン・ペンド管素材：外径3/8"φ×0.042"

(9.525mmφ×1.06mm)

表3 米国における冷媒管の引張性質の一例

材 質	引 張 性 質		
	引張強さ (kg/mm ²)	耐 力 (kg/mm ²)	伸 ひ %
1200-O	7.7~10.5	2.4~5.3	25以上
1200-H111	7.7~9.8	6.3~8.1	25以上
アルクラッド 3102-O	7.0~12.0	2.4~0.3	25以上

次に、アルクラッド 3003 管（あるいはアルクラッド 3102 管）の 7072 合金クラッド層の厚さとその均一性をどの程度にすべきかという点については関心がもたれるが、前述したように最小クラッド厚さ 0.0019" あるいは肉厚 0.035" に對してその 6% 以上あればよいということである。上限についての規定はないがクラッド率で 20% 前後が考えられているらしい。米国製の約 500m 長さの Level Wound Coil を調査した結果では一端がおよそ 6%，他端が 20% 近くのクラッド率となっており、端的にいえばクラッド層は管の長手方向に對してテーパ状になっていた。また、表4は米国某社製クーラーについて調査した一例で、クラッド率が 5~15% に散らばっていた事実や、その他のサンプル調査結果もあわせて類推すると、前述のテーパ状になっていたことは肯定できる。

なお、リターン・ペンド管の肉厚がヘヤピン管のそれより厚い理由は不明であるが、あえて類推すると曲げによる

表4 米国某社製オール・アルミ・クーラーの部材

部 材	合 金	寸 法 (mm)		クラッド率 (%)	ピッカース かたさ (50g)
		外 � 径	内 厚		
冷媒管	エバボレータ	1050	9.48	0.88~0.92	—
	コンデンサ	アルクラッド 3003	9.39~9.41	1.93~0.95	4.3~5.2
フィン	エバボレータ	7072	—	0.18	—
	コンデンサ	7072	—	0.18	—
吐出管	アルクラッド 3003	9.49	1.25	10.1~15.3	33.0~34.1
吸入管	アルクラッド 3003	9.56	1.25	13.2~14.2	35.5~37.1
キャビラリ管	1050	6.27	2.60	—	30.4~32.8

引張側面の肉厚減少と、接合方式として超音波はんだ付け（95%Zn-5%Alはんだを使用）を採用するためにおきる管表面層の溶融に起因する肉厚減を考慮したのかも知れない。また、リターン・バンド管は超音波はんだ付けあるいはホットガス・ブレーザ（はんだ組成は同じ。Alcoa 66A フラックス使用）採用のいかんにかかわらず、後掲の図7に示すような市販のディンプル付きのものを使用している例が多い。

2.3 フィン材

すべて7072合金フィンが使用され、板厚は0.0045"（0.114mm）および0.0055"（0.140mm）であって、わが国の主流が0.15mmであるのにくらべて薄肉化が進んでいる。質別はH12が多いが、薄肉化に伴う強度低下を補うためH14ないしH16程度のものを用いてカラー部の成形にしごき加工を施したものもある。この成形方式は「Alcoa 450プロセス」もしくはそれに類似なものと思われるが、この方式を採用した例は現在まだ少ないようである。

3. クーラー・アルミ化に関する実機試験の紹介

3.1 Alcoa社における実機試験

Alcoa社ではルーム・クーラーにアルミニウム冷媒管を採用する場合の材料組合せを想定し、1954年から2回にわたって実機試験によるアルミニウム冷媒管の腐食状況の調査を行なっている。

(1) 第1回目の実機試験¹⁾ 表5に示す材料および防食処理の組合せでエバボレータとコンデンサを組立て、同社ニュー・ケンシントンの研究所、テキサス工場およびフロリダ海岸の3地区で1954年から2年間（2年間の連続運転は一般的使用状況下で8年間の運転に相当するといわれる）の実機試験を行ない、次の結果を得ている。

i) エバボレータについてはフロリダ海岸で実施された1100管と1100フィン材の組合せのものが管外面にわずかの腐食が認められたのみで、その他のものでは異常がなかった。したがって、エバボレータにはいずれの組合せでもよいことになるが、万全を期するには7072フィン材の採用が望ましい。

ii) コンデンサの場合、フィンと接触している管部はアルクラッド3003管が銅管と同程度の耐孔食性を示し、7072フィン材と接する非クラッド管も同程度の性能であった。しかし、1100のフィンと管の組合せでは管外面からの孔食がはげしく、コンデンサには適さないことが判明した。また、この組合せで化成皮膜処理や塗装を施したものも不適であった。

iii) コンデンサのリターン・バンド部について観察した結果では、アルクラッド3003管および化成皮膜処理と塗装を併用した非クラッド管は耐孔食性が良好で、無処理のものおよび化成皮膜処理単独の非クラッド管では不十分であった。

以上の結果から、前掲の表2に示した材料の組合せが望ましい。

表5 Alcoa社第1回実機試験におけるコンデンサの材料組合せと防食処理（Vandenburgから）

コンデンサ	コンデンサの構成材料の組合せ		防食処理
	冷媒管	フィン	
1	1100	1100	なし
2	ク	ク	化成皮膜処理
3	ク	ク	同上後塗装
4	アルクラッド3003	7072	なし
5	1100および5050	ク	ク
6	ク	ク	化成皮膜処理
7	銅	1100	なし

注 (1) 各条件毎に3セット作成（実験場所が3か所）

(2) エバボレータとコンデンサは同一材料組合せ

(3) 防食処理は組立て後実施したが、フィン間隔は均一に処理ができなかつた。

(4) コンデンサはサーベンタイン管-ドッグ・ボーン・フィン構造（かちこみ方式）。ただし、No.7は通常の構造方式である。

表6 Alcoa社第2回実機試験におけるコンデンサの材料の組合せと防食処理（King）

コンデンサ	コンデンサの構成材料の組合せ		配管類の防食処理	運転開始	設置場所
	冷媒管	フィン			
371484	アルクラッド3003-O	7072-H111	湿気不透過性エポキシ樹脂塗装	左記と同じ	1969年6月10日
371489	ク	ク	ク	ク	1970年4月10日
371483	ク	ク	ク	ク	1969年6月10日
371480	ク	ク	ク	なし	1970年4月10日
371482	ク	ク	ク	ク	ク
371487	ク	ク	ク	ク	ク
371491	3003-O	ク	ク	ク	1969年6月10日
371492	ク	ク	ク	ク	ク
371493	ク	ク	ク	ク	ク
371498	銅	1100-H111	ク	ク	ク
371477	アルクラッド3003-O	7072-H111	湿気不透過性エポキシ樹脂塗装	なし	1971年5月17日
371479	ク	ク	ク	ク	ク
371488	ク	ク	ク	左記と同じ	1970年10月22日
371494	3003-O	ク	ク	なし	1971年5月17日
371495	ク	ク	ク	ク	ク
371495	ク	ク	ク	ク	1970年10月22日
371499	銅	1100-H111	—	—	ク

注 (1) オール・アルミ・クーラーのエバボレータは3003管と7072フィンの組合せ。銅管使用のコンデンサの場合のエバボレータは銅管と1100-H111フィンの組合せである。

(2) コンデンサは高さ14.25"×巾12.25"×厚さ3.75"、フィン数は174枚、フィン寸法は0.008"×2.75"×14.25"、ヘヤビン管は21本でおよそ14.5"長さ。

(3) エバボレータは高さ8.0"×巾10.25"×厚さ1.75"、フィン数は154枚、フィン寸法は0.010"×1.75"×8.0"、ヘヤビン管は8本でおよそ11,875"長さ。

(4) 端板はアルクラッド3003-H14。

(5) クーラー容量は6,600Btu.（約1,700kcal/hr.）, 115V

ましいとの見解を得たが、実機試験に用いたのはかちこみ方式なので一般的ではなかった。そこで、アルクラッド3003管の効果とその必要性を実証することを目的として次

表7 コンデンサ底部で、7072フィンに被われていたアルクラッド3003ヘヤピン管9本の侵食深さ (King)

管マーク	測定位置	侵食深さ(μ)		残存クラッド厚さ(μ)	実験前のクラッド厚さ(推定値, μ)
		最大	平均		
1	左端部	28.0	20.2	15.2	28.0
	中央部	53.5	22.9	0	53.5
	右端部	33.0	17.8	10.1	28.0
2	左端部	40.7	30.5	17.8	35.6
	中央部	35.6	22.9	15.2	58.6
	右端部	33.0	28.0	33.5	58.6
3	左端部	38.2	17.8	7.6	28.0
	中央部	22.9	17.8	5.1	22.9
	右端部	25.4	17.8	10.1	17.8
4	左端部	66.0	7.6	0	43.3
	中央部	38.2	20.2	7.6	45.8
	右端部	12.7	7.6	33.0	40.7
5	左端部	10.1	7.6	48.4	58.6
	中央部	—	—	58.6	58.6
	右端部	10.1	7.6	45.8	56.0
6	左端部	22.9	17.8	10.1	22.9
	中央部	40.7	17.8	0	35.6
	右端部	20.2	15.2	25.4	40.7
7	左端部	15.2	10.1	28.0	40.7
	中央部	—	—	—	40.7
	右端部	10.1	5.1	25.4	35.6
8	左端部	15.2	7.1	28.0	43.3
	中央部	—	—	—	40.7
	右端部	15.2	10.1	25.4	40.7
9	左端部	10.1	7.1	45.8	56.0
	中央部	—	—	—	50.8
	右端部	10.1	7.1	40.7	50.8

注 (1) コンデンサ No.371486

表8 コンデンサ底部で、7072フィンに被われていた3003ヘヤピン管9本の侵食深さ (King)

管マーク	侵食深さ(μ)					
	左端部		中央部		右端部	
	最大	平均	最大	平均	最大	平均
1	58.7	35.6	58.7	25.4	63.7	22.9
2	28.0	10.1	12.7	7.1	17.8	12.7
3	73.8	22.9	40.7	35.6	142.2	78.9
4	12.7	7.1	17.8	2.6	10.1	5.1
5	10.1	5.4	17.8	7.1	12.7	10.1
6	12.7	10.1	12.7	10.1	33.0	12.7
7	15.2	10.1	20.2	15.1	10.1	7.1
8	10.1	7.1	15.2	10.1	30.5	10.1
9	10.1	7.1	15.2	7.1	17.8	10.1

注 (1) コンデンサ No.371493

表9 コンデンサ底部で、7072フィンに被われていない管および部材の侵食深さ (King)

測定位置	コンデンサNo.371486 (アルクラッド3003管使用)		コンデンサNo.371493 (3003管使用)		測定	
					侵食深さ(μ)	最大
	最大	平均	最大	平均	最大	平均
最底部のヘヤピン管、端板から離れたペンド部 底から2番目のヘヤピン管、コイル表面側ペンド部 同上、コイル裏側ペンド部	73.8	58.7	63.8	28.7	343	229
底部端板、最底部ヘヤピン管ペンド部近傍表面 同上、ヘヤピン管ペンド部から離れた外面	29.2	20.2	38.2	7.1	270	148
最底部リターン・ペンド管のベル型拡管部(1) 同上、のはんだ付け部近傍(1) ののはんだ付け部より離れた位置(1)	10.1	7.1	17.8	333	333	127
					114	91.5
					63.8	45.7
					58.7	17.8
					0	20.2
					173	12.7
					139	114
					114	91.5
					173	114
					53.2	17.8
					45.7	12.7

注 (1) 接合時にZnはんだの飛散があった。

の実験がなされた。

(2) 第2回目の実機試験²⁾ 供試クーラーは1660 kcal/hr のウィンド型で、そのコンデンサは水かけ式のウェット・タイプである。これらのエバポレータとコンデンサの構造はヘヤピン管とフィンを拡管によって固定した一般的なもので、リターン・ペンド管の接合はフラックスを用いたはんだ付けであり、材料の組合せと防食処理を表6に示す。

実機試験は1969年よりニュー・ケンシントンの工業地帯とマイアミ海岸地帯の2地区で実施され、30ヵ月経過後、表6に示す内の記号 No.371486と371493のクーラー2台が調査に供され、残りのものは引続いて運転中である。

調査されたコンデンサは、フィンが7072-H111でアルクラッド3003管または裸の3003管の組合せである。目視検査によると、凝縮ドレンにさらされていた底部を除けば両者とも良好な状態を保っていた。この底部では、外側のフィンが腐食してなくなり、内部の管が露出するまでに至っていたが、これを除く上部はフィンと接触していない管部でもあまり腐食していなかった。

以上のことから、調査は腐食のはげしいコンデンサ底部に限定し、フィンのある管部、フィンのない管部および端板について行ない、結果をそれぞれ表7～9に示す。また、表10は運転開始後、2、12および30ヵ月毎にクーラー上に堆積した凝縮物の分析値である。

調査結果を要約すると次のようである。

i) フィンのない管部はいずれも管外面に腐食を生じていたが、アルクラッド3003管では侵食がクラッド層の範囲内にとどまり、コア材まで及んでいるものはなかった。

ii) 7072フィンのある部分の裸の3003管では期待通りフィンによる保護効果が現われて、管の腐食は生じなかった。

iii) Znベースはんだで接合されたリターン・ペンド管の外面は、はんだ付け時に飛散したZnはんだが付着して

表10 採取した凝縮物の分析結果 (King)

項目	測定		
	2ヵ月目	12ヵ月目	3ヵ月目
pH	4.3	4.3	4.2
溶解酸(ppm)	6.36	1.5	4.3
溶解塩化物(ppm)	64	94	257
溶解硫酸(ppm)	1144	961	2492

注 (1) コンデンサ No.371493……アルクラッド3003管-7072 フィン

おり、このためリターン・ペンド管外面に対して陰極防食効果を生じて腐食がきわめて少なかった。

iv) クーラー上の凝縮物には銅汚染が見られたが、銅配管関係は塗装してあるから、これ以外に何か別の原因による銅汚染があったようである。

以上の結果にもとづいて Alcoa 社は「ルーム・クーラーのウェット・コンデンサにおけるアルクラッド3003管のすぐれた性能を確認できた。すなわち、裸の3003合金管からなるコンデンサでも現在まだ事故を起こしていないが、図1に示すようにフィンのない部分の腐食深さを比較すると、アルクラッド3003管の必要性はきわめて明白である」と結論している。

3.2 米国陸軍における熱交換器腐食試験⁸⁾

ホーク・ミサイル・システムの空調設備にブレージングによるアルミニウム製熱交換器が用いられているが、腐食による事故があり、とくに熱帯地方の海洋性雰囲気中でおきやすい。そのため、米国陸軍の諸機関が協力して1964年3月から1968年7月にかけてパナマのカリブ海沿岸から300ヤード離れた場所で、試験装置の中に熱交換器(Brazed tube-plate and fin type と Continuous tube and corrugated fin type) ユニットを設置して実験を行なった。

供試ユニットの材料と表面処理の組合せは表11に示し、ユニットは実際と同量の空気に曝露されるようにファンを用いて800'/min の表面速度で外気が吸引された。また、ユニットの管部に内圧をかけ、圧力ゲージを用いてリークによる内圧低下がわかるようにした。さらに、花粉などの外部の物質の付着による影響も調べるために、ユニットの半分は16メッシュのスクリーンで被われた。

なお、前述の試験場所は塩分落下量が年間208 lb/エーカで、マイアミの15 lb/エーカ、内陸地帯の0.5~1 lb/エーカとくらべてきわめて多い。また、湿度は夜間、早朝で90~100%，日中で70~80%であった。

結果は前掲の表11にあわせて示した。この結果からブレージング・シート製熱交換器には適切な樹脂塗装を施す必要があり、これを熱帯の海洋性雰囲気中で良好な状態で運転できるのは1.5年であると述べている。このような雰囲気中では、ブレージング材の表面から粒界腐食を生じるが、外面に高Zn のアルクラッドをもつNo.100ブレージング

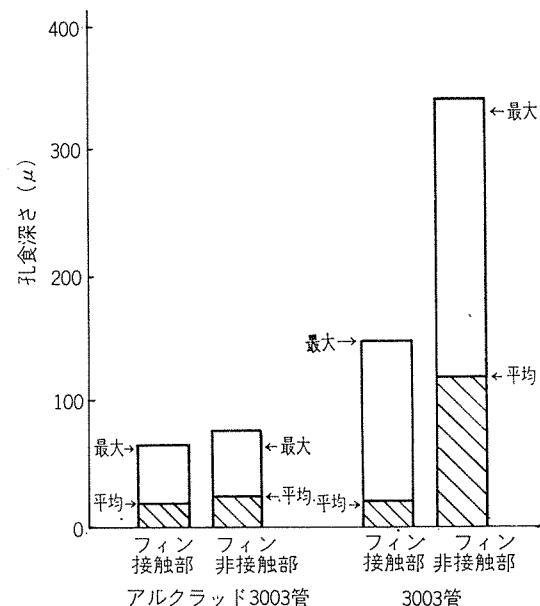


図1 30ヶ月を経過したウェット型コンデンサ冷媒管における管外面からの孔食深さ

・シートで組立てられたユニットは、化成皮膜処理のみで8カ月の曝露に耐え、通常のNo.11ブレージング・シートによるものより2倍以上の耐食性を示している。

なお、花粉などの外部物質の影響はきわめてわずかであった。

4. 超音波はんだ付け技術

4.1 リターン・ペンド管とヘヤピン管の接合技術

一般の家庭用ルーム・クーラーのエバポレータとコンデンサはクロス・フィン型であり、その製作にあたってはヘヤピン管とリターン・ペンド管、分歧管などの接合が不可欠である。これらの管をアルミ化した場合、強度および耐食性などの点からは、母材である管の材質と同等の化学成分をもった接合部が望ましい。この意味からは接合方法の一つとして共金系の溶加材を用いた溶接が考えられるが、互に近接した比較的小径のU字型のリターン・ペンド管をヘヤピン管拡管部に能率的に溶接することはほとんど不可能である。したがって、これまでわが国においてはカード・クーラーのエバポレータなどのようにオール・アルミ製の場合、管継手の接合には自動化が望まれながらも生産量

表11 米国陸軍により実施された熱交換器腐食試験結果 (Oldberg)

マーク	構成材料	熱交換器ユニット		耐用月数
		表面処理		
1	ブレージング・シート No. 11	クロメート化成処理		4.4(5個平均)
2	〃	同上+ジンク・クロメート・ウォッシュ・プライマ塗装		7.5(2個平均)
3	〃	クロム酸陽極酸化処理		2(3個平均)
4	〃	ビニル・ブチレート・ウォッシュ・プライマ+フェノール樹脂塗装		17(損傷なし)
5	〃	〃 +ポリウレタン樹脂塗装		17(〃)
6	ブレージング・シート No. 100	クロメート化成処理		8(〃)
7	コルゲート・フィンと管	黒色アスファルト塗装		14(1カ所リーケ)
8	〃	ジンク・クロメート・塗装		17(損傷なし)

と関係して主に Al-Si 合金ろうを用いたトーチろう付け法が採用されてきた。しかし、ろう付けではアルミニウム表面の強固な酸化皮膜を除去するために、一般に侵食性の強いフラックスを併用しなければならず、したがってろう付け後のフラックス残渣の除去に設備や工数を必要とするので、これがクーラー・アルミ化に対して一つの大きな障害になっていた。

ろう付け技術に関しては、比較的最近になって、従来の炉中ろう付けよりもフラックスの使用量が少なくて良好な継手をうるといわれる乾燥空気を雰囲気としたろう付け法⁴⁾、フラックスを全く必要としない真空ろう付け法⁵⁾、さらには不活性ガス雰囲気ろう付け法が開発され⁶⁾、関係分野でより注目されるようになった。しかしこれらのろう付け技術では対象とするユニット全体を炉内で加熱するために、ここで述べるようなクロス・フィン形のユニットの場合、管継手以外のむしろ加熱をさけたいフィン部までもが付随的に加熱され、その結果、フィンの軟化や変形をともなうという欠点がある。また、真空ろう付けにおいては蒸気圧の高い合金成分が蒸発により消失するので、Zn を含む7072合金をフィンとするようなユニットやアルクラッド3003(3102)管では問題があり、また、管継手に対してはろう材をクラッドした二重あるいは三重管も必要となろう。

いっぽう、ろう付けよりさらに作業温度の低いはんだ付けにおいては、はんだとして前述のろう付けにおける Al 基合金ろうとは全く別系統の Zn あるいは Sn 基合金が使われるため、わが国でははんだ継手の強度、耐食性などの諸性質に対して、ろう付け継手よりさらに不信感がもたれていたのも事実である。しかし、米国においては、10数年前より Zn 基合金(たとえば 95Zn-5Al) はんだとフラックスを用いた炉中あるいはトーチはんだ付けがクーラー関係に採用された^{7),8)}。その後、米国では一般的の炉中はんだ付けよりさらに効率のよいそれぞれ高温ガス⁹⁾や赤外線加熱を用いた連続式はんだ付け装置が実用化され、カー・クーラーにおけるリターン・ベンド管の接合に使われている⁷⁾。

このような米国における実績からみて、Zn 基はんだによる継手が少なくともカー・クーラーの接合部として実用に耐えうることは明らかであるが、ルーム・クーラー関係では米国においてすらも、Zn 基はんだとフラックスを併用するはんだ付けの採用が積極的に受け入れられていないようである。その理由としては、製品の多種、長い保証期間、および複雑な構造などが挙げられており、結局、フラックスを使用する限りはんだ付けは使用されないだろう⁷⁾といわれる。

したがって、これまでにもフラックスを用いない、たとえばラブ・ソルダリングを利用した方法やアルミニウム表面に銅を被覆した後に、銅用はんだで接合する方法¹⁰⁾なども試みられているが、実用化の域には達していない。

また、接着剤の進歩にも著しいものがあり、数年前にはエポキシ系の接着剤(たとえば 3M 社の EC-2214HT)が熱交ユニットの組立に対して一つの候補に挙げられたこともあるが、継手の多いクロス・フィン型などでは接着に費用がかかり、莫大な実機試験を要することから、接着もまだ一般には用いられていない⁷⁾。

次に、超音波はんだ付けは最近とくに注目されている接合方法の一つであるが、その最大の特長はフラックスを使用しない点にある。超音波エネルギーをはんだ付けに利用する試みは、この方法がすでに解説書¹¹⁾などにはんだ付けの一方として述べられていることや、わが国においても、以前から超音波はんだるつばおよびはんだごてが市販されていることからもわかるように全く新らしいものではない。ところが従来の装置は、たとえば電気部品の接点のような小さな部品の接合に一部では使用されていたが、量産性を要する比較的大きな組立物の接合に対しては、使用実績がなかった。しかし、以下に述べる超音波はんだ付け装置はクロス・フィン型のユニットを工業的に製造する上で、はんだ付け技術に大きな飛躍をもたらしたものということができる。

4.2 超音波はんだ付けの原理と従来の技術¹⁾

超音波はんだ付けにおいては、一般に 15~50 kHz の周波数が用いられ、発振器によって発生された電流はトランスデューサにより機械的振動に変換されるが、通常トランスデューサは積層ニッケルのコアとコアの周りに巻かれたコイルから成り、コイルは発振器に結合されている。

今、振動するコアの端を溶融はんだに接触させたとすると、融液中には無数の微細な泡あるいは空隙が生ずる(キャビテーション現象)。この溶融はんだ中に金属片を浸漬すると、空隙がつぶれ、金属の表面でキャビテーション・エロージョンとして知られるこすりつけるような効果が生じ、これによって金属表面の酸化皮膜が除去され、溶融はんだが金属表面に濡れるわけである。

通常、超音波エネルギーは積層ニッケル・コアから母材に適当な長さの金属棒を介して、すなわち、一種のはんだごてによって、あるいは溶融はんだ浴槽の底部を通して溶融はんだに伝えられるが、後者の場合には広い領域にわたってキャビテーション作用を与えるのに、非常に大きな電源を必要とし、従来のはんだ浴槽は、たとえば直徑 7/8 インチ、深さ 3/8 インチ、所要入力 55W 程度の小さなものであった。このように装置の容量が小さく、またこれまでには接合すべき面にあらかじめ超音波はんだ付けによってはんだを被覆した後に、両者を重ね合わせ、被覆を加熱溶融させて冶金的接合をうる方法が採られ、したがって、本法は重ね継手などを直接はんだ付けすることに対しては実用的でなかった。

4.3 最近の超音波はんだ付け技術

最近、米国の Branson Sonic Power 社や Blackstone

Ultrasonics 社で開発された熱交ユニット用の超音波はんだ付けの方法には、前者¹²⁾によれば、以下の 6 通りの方法がある。これには、いずれもはんだとして、4.1 項で述べたように、これまでに実績のある 95Zn-5Al はんだがすめられている。

(1) ホーンを溶融はんだ中に設けた浴中に、まずリターン・ベンド管先端およびヘヤピン管の拡管側を浸漬し、それぞれ別工程で、接合すべき部分にはんだの超音波被覆を行なう。ついでこれらを互にはめ込んだ後に、継手部を加熱してはんだを溶融させる。この場合、はんだ被覆後にはんだ表面に酸化皮膜が形成されるので、再加熱時にこの酸化皮膜を除去させる必要があり、一つの方法として、加熱によってはんだが溶融した後に、継手部に超音波エネルギーを直接瞬間に与えると、酸化物が溶融はんだ中に分散し、冶金的接合が得られるという。

(2) あらかじめ被覆した後に形成されるはんだ層表面の酸化皮膜を、互に機械的にこすり合わせることによって分散させようとするもの。すなわち、リターン・ベンド管端および拡管したヘヤピン管端を相互にはめ込む場合に、互にこすり合せができるように継手を設計し、加熱によってはんだが溶融した状態で相互に管を押込んで冶金的接合をうる方法である。

なお、この方法は米国特許 3,633,266¹³⁾ に関連するが、この特許は、はんだ (90 Zn-5 Al-4.9Cu-0.1Mg) の被覆方法について言及していない。

(3) リターン・ベンド管端および拡管したヘヤピン管端の接合部に、あらかじめはんだの被覆を施さないでユニットを組立てておき、つぎにユニットを逆さにしてリターン・ベンド管部とともに継手部をはんだ浴中に浸漬する。そして浴の外部で直接ホーンをヘヤピン拡管部の根元に接触させて、継手部に超音波エネルギーを与える。

この方法は比較的自動化が容易であろうが、リターン・ベンド管の配列によっては、ユニットが制限を受けるものと思われる。

(4) リターン・ベンド管端のみにあらかじめはんだ被覆を施しておき、管端を拡管したヘヤピン管にははんだ被覆を施さずにユニットを組てる。つぎにユニットを逆さにして、はんだ浴中に設けた 2 本のホーンの間にリターン・ベンド管部とともに継手部を浸漬する。この方法では、ホーンを管に接触させずに、溶融はんだを通して超音波エネルギーを与えるので、自動化が容易である。しかし、2 本のホーンの間に継手部を浸漬するので、上述の(3)と同様、リターン・ベンド管の配列によってユニットが制限される。

(5) 最も量産に適した方法で、つぎのような工程ではんだ付けが行なわれる。すなわち、

- (i) 管端を拡管したヘヤピン管にリターン・ベンド管、クロス・オーバ管などを組付ける。
- (ii) 継手部をガス、石英ランプあるいは高温空気などで予熱する。

(iii) ユニットを逆さにした状態で、継手部を溶融はんだ浴中に浸漬する。このとき、リターン・ベンド管は全体がはんだ浴中に浸漬される。

(iv) 溶融はんだ浴中に超音波エネルギーを与える。

(v) ユニットをはんだ浴から取出す。

この方法では、図 2 のように、超音波エネルギーははんだ浴槽底部のトランスデューサによって、溶融はんだそのものに伝えられるので、ユニットは上述の(3)および(4)の方法のように、ヘヤピン管の配置あるいは列の制限を受けない。したがって継手間の距離が 3~4 インチ程度のクロス・オーバ管の接合も可能である。はんだの種類や継手形状にもよるが、上述の(4)の方法のように、リターン・ベンド管側にあらかじめはんだ被覆を施しておけば、より信頼度の高い接合部が得られるのはいうまでもない。

なお、この方法については 4.4 項で詳述する。

(6) あらかじめ突合せ管継手の拡管部の周りにリング状のはんだをおくか、あるいは別にはんだを継手部に供給して、加熱および超音波エネルギーを与える方法。この方法では、ホーンを直接継手部に接触させて超音波エネルギーを与えるので、加熱方式とホーンの形状を工夫すれば、ガン・タイプのはんだ付け装置としてとくに継手の補修あるいは修正用に適したものになる。

一例として、Branson Sonic Power 社では図 3 のような概念図¹²⁾ を示している。この図では、加熱方式として抵抗加熱が用いられているが、いっぽう Blackstone Ultrasonics 社ではアセチレン-空気炎を用い、これと管の外径に合わせたホーンを一体化したガン・タイプのはんだ付け装置を市販している。この装置の仕様は所要入力 300W、重量 10.75 lb.、周波数 20±0.5kHz、時間調整 1~10sec となっている¹⁴⁾。

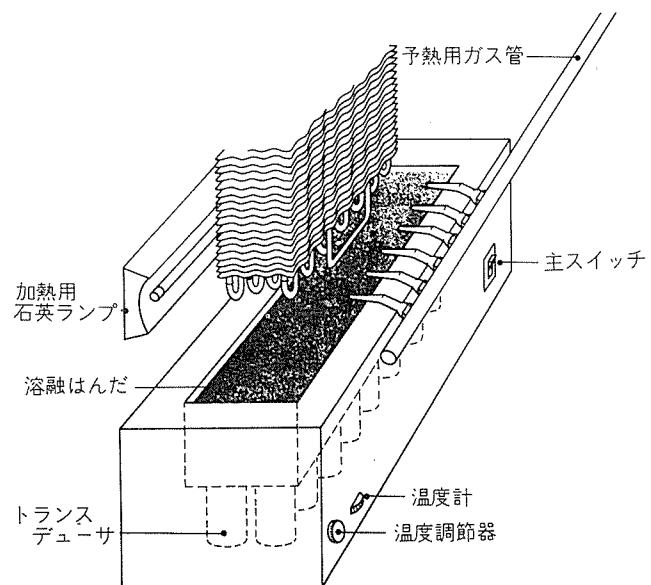


図 2 連続超音波はんだ付け装置の概略図

圖 5 超音波对人体组织之影响 - 第 1 部

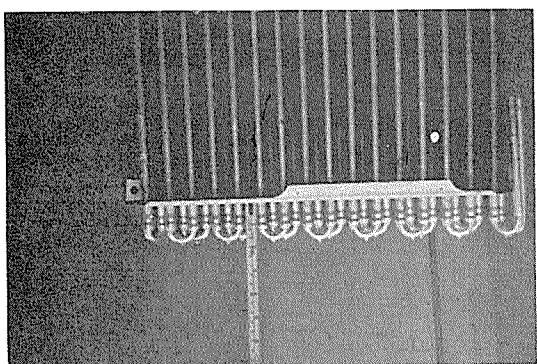
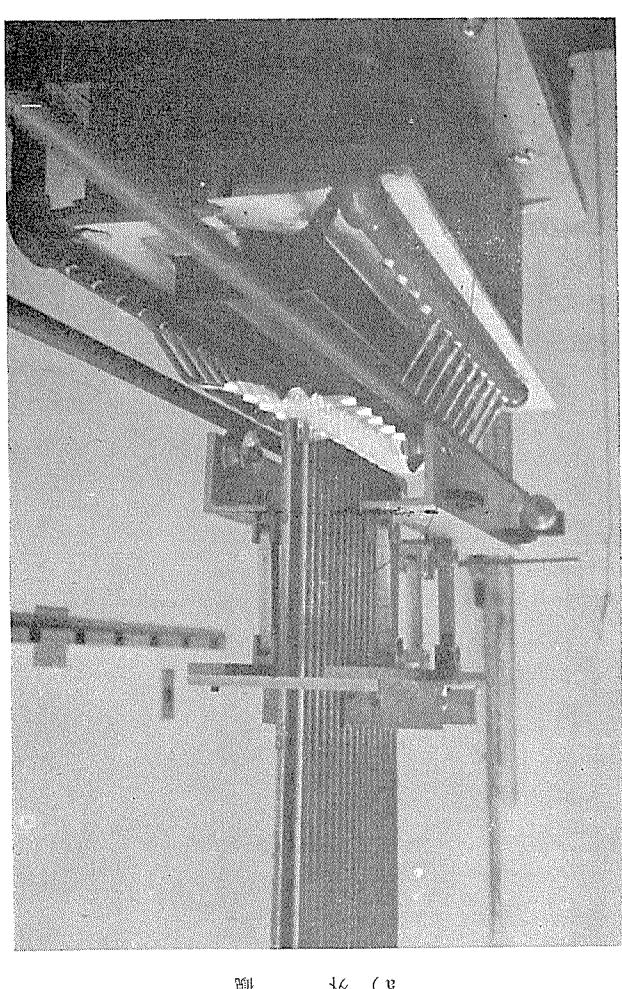
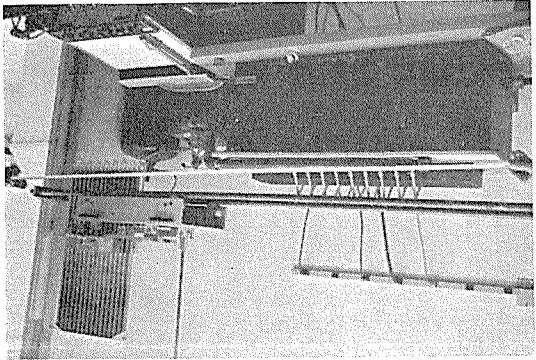


图 5 連續式超音波透光度計示意图



外觀



July 1973

任友樹全圖錄

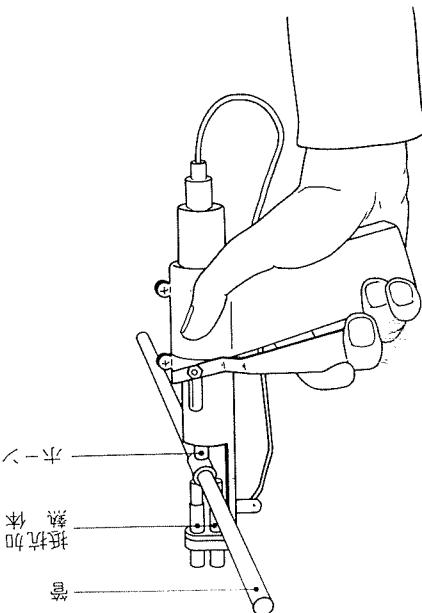
前掛式圖4：大連諾威超音波洗淨機，Bransonic Sonic Power社製造，同社之潔品沐浴露在C的潔淨率99%以上，可殺死99.9%的細菌，顯示其要求比十分對應它為各種需量的多樣化服務方式來得更切實，若干的日夜數需要方式的改變和化名。而現在的圖案形狀大浴槽其實是36吋以上，幅6吋以上，深3吋（需要火力15kW）的大桌子要有1.75m的長，通常的數效用一二，小尺寸就是，浴槽的寸法上應該比一米左右。另外，超音波的周波數120kHz，1.3m以上的一英寸的出力1.4kW等，浴槽底部比20mm的小于二英寸的厚度。

乙◎傳聲式超音波測量儀在材料檢驗與分析中應用的趨勢
分析於此。Alcoa 社力571力士刀16-18乙
分析於此。空調機器乙，HJD超音波測量儀在材料檢驗與分析中應用的趨勢
分析於此。Bansoni Sound Power 测量儀在材料檢驗與分析中應用的趨勢
分析於此。571力士刀及571力士刀16-18乙
分析於此。一體化量具「571力士刀」
分析於此。571力士刀及571力士刀16-18乙
分析於此。571力士刀及571力士刀16-18乙
分析於此。某社，一部份量具「571力士刀」
分析於此。571力士刀及571力士刀16-18乙
分析於此。Bansoni Sound Power 测量儀在
分析於此。Alcoa 社力571力士刀16-18乙
分析於此。空調機器乙，HJD超音波測量儀在
分析於此。乙◎傳聲式超音波測量儀在材料檢驗與分析中應用的趨勢
分析於此。

4.4.1 裝置

4.4 廣播式超音波使人形對手裝置

图3 超声用刀形或锯齿状刀片对玻璃(Brasson)



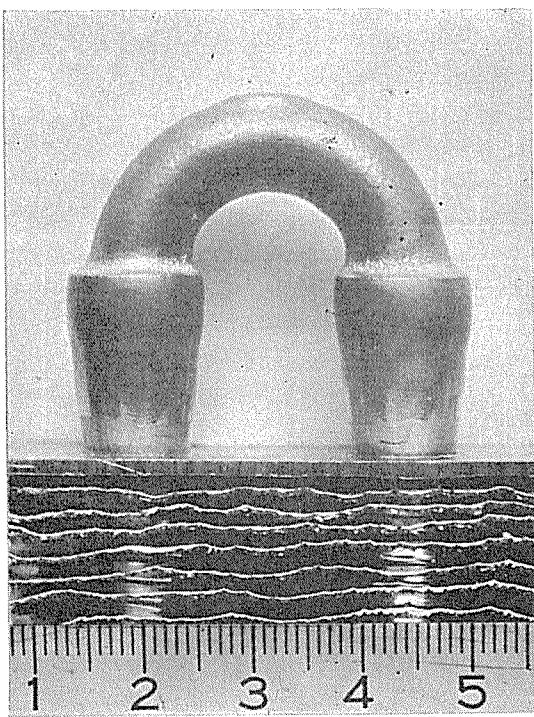


図6 リターン・ペンド管接合部

はんだには、先にも述べたように 95Zn-5Al はんだが用いられるが、Alcoa 社では、はんだの表面張力を下げ、継手間隙へのはんだの流入を容易にするために、はんだ浴に少量の Be を添加することをすすめている^{17), 18)}。なお、上記の標準形では、200 lb のはんだを必要とする。

4.4.2 特長と経済性

Alcoa 社によれば¹⁹⁾、571 プロセスは基本的には、(i) 各部品の蒸気脱脂一組立、(ii) リターン・ペンド管部を高温空気あるいはガス炎で予熱、および(iii) 超音波エネルギーを与えたはんだ浴中へのユニットの浸漬(4~5sec)の3工程より成り、その特長として以下の点が挙げられている。

- (1) フラックスを必要としない。
- (2) したがって、はんだ付け後のフラックスの洗浄あるいは中間工程における脱水処理が不要。
- (3) リーク試験に乾燥空気を使用すれば、最後の乾燥工程を省略できる。
- (4) 継手の拡管部を大きくとる必要がなく、したがってヘヤピン管の突出距離を短かくできる。
- (5) これまでユニットに用いられてきた一般的な管およびフィン材を使用できる。
- (6) サイクル・タイムが短かいので、量産が可能。
- (7) 設備費が安価である。
- (8) 接合部に気孔がない。
- (9) 熱影響が少ない(ユニット全体を加熱する必要がなく、リターン・ペンド管部のみが加熱域になる)。
- (10) すべての接合部を同時に接合できる。

経済性に関しては、従来の銅製ユニットあるいは Zn 基はんだとフラックスを併用して製作されたアルミニウム製

ユニットと本法によるユニットとの詳細な比較が公表されていないが、Alcoa 社によると、銅をアルミニウムに変えて 571 プロセスを採用すれば、それぞれルーム・クーラー 1 台当たり 5 ドル、セントラル・システムで 10 ドルの価格低減ができるという¹⁷⁾。また別の記事¹⁸⁾では、11,000 Btu(約 2,800 kcal/hr) のユニットを 1 年間に 500,000 台製作したとすると、材料費は銅の約 $\frac{1}{2}$ 、すなわち、ユニット当りの材料費の低減は 4.82 ドルであり、さらにフラックスは、なんだ、フラックスの混合、接合後のフラックスの除去や脱水処理などを考慮すると、銅製ユニットの約 $\frac{1}{4}$ になるといわれる。なお、Alcoa 571 プロセスを米国で最初に工業的に採用(1973年1月中旬)したのは Rudy 社であるとされているが、その生産能力はユニットの大きさにより 200~400 台/hr である¹⁸⁾。

4.4.3 作業条件

作業条件としてはユニットの接合部を溶融はんだに浸漬する前の予熱温度、はんだ浴の温度、接合部の浸漬時間などが挙げられる。予備加熱は通常のものでは 350°C 程度であって、加熱前の脱脂は重要な因子ではない。はんだ浴の温度は 427°C 前後、浸漬時間は 4~8sec 程度である。いずれにしても作業条件は対象とされるユニットの大きさ、継手の配置や列などによって異なるので、実験によって決定することが必要である。また、はんだ浴中へのアルミニウムの溶出により、はんだ浴の組成が変化するので常に浴組成が一定範囲にあるよう管理することが必要である。

継手には通常ヘヤピン管側を拡管し、リターン・ペンド管を拡管しないソケット形が用いられる。継手の形状には種々のものが考えられ、図 7 は米国で用いられている一例

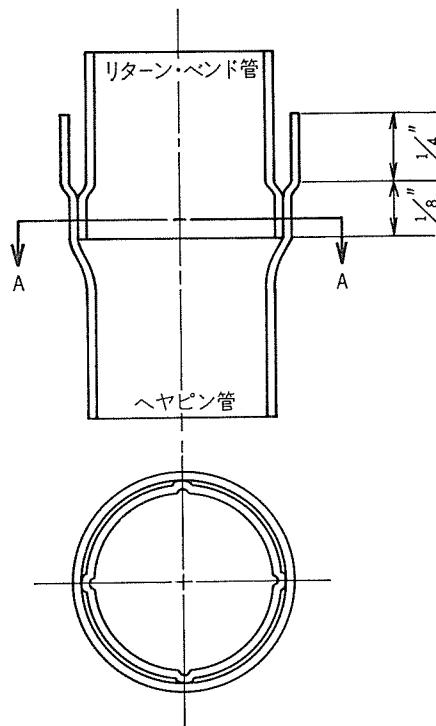


図7 拡管部の形状

- 2) W. King: Corrosion Tests on Room Air Conditioner Condenser Coils, ALCOA Res. Lab. (1972).
- 3) O. Oldberg: Rep. of Corrosion Tests and Analysts of Impact Heat Exchangers, U.S. Army Eng. Res. & Dev. Lab., (June, 1967).
- 4) J. R. Terrell: Metal Progress, 97(1969), 70.
- 5) H. Scherer und W. Schultze: Aluminum, 48(1972), 803.
- 6) Alico: Alcoa 571 Process (Technical Note).
- 7) I. B. Robison: Weld. J., 36(1957), 992.
- 8) Pyronics Inc.: Pyronics Hot Gas Brazer (Technical Note).
- 9) Pyronics Inc.: Pyronics Hot Gas Brazer (Technical Note).
- 10) S. Terai, Y. Sugiyama, T. Suzuki and H. Irie: US Pat. 3,666,520 (May 30, 1972).
- 11) AWS: Welding Manual, AWS, New York (1959), 73.
- 12) Branson Sonic Power Co.: Summary of Methods for Ultrasonic Solderting of Aluminum Tubing for Heat Exchangers (Sept., 1972).
- 13) G. A. Taylor: US Pat. 3,633,266 (Jan. 11, 1972).
- 14) Blackstone Ultrasonics, Inc.: Ultrasonic Flame Solderting Tool (1973).
- 15) It's All Air, Air Conditioning, Heating & Refrigeration News: Ultrasonic Process Solders Aluminum Return Line (May 15, 1972).
- 16) T. A. Mahoney: Air Conditioning, Heating & Refrigeration News (Sept. 4, 1972), 11.
- 17) Modern Metals, 28-8 (Sept., 1972), 61.
- 18) Iron Age, 210-25 (Dec. 21, 1972), 54.
- 19) J. R. Terrell and S. F. Dzierski: US Pat. 3,680,200 (Aug. 1, 1972).
- 20) Branson Sonic Power Co.: Data Sheet SG3-1 (1973).
- 21) 会议报告, 样品试验, 水文等, 质量鉴定, 大连市: 李惠, 14 (1973), 35.
- 22) Aluminum in Air Conditioners, Report of Refrig. Engg. (1958-9).

文献 集

本篇文献集展示了近年来在铝热交换器方面的研究进展，包括了铝热交换器的材料、设计、制造和应用等方面的内容。

首先，文章概述了铝热交换器的基本原理及其在制冷空调中的应用。接着，详细介绍了铝热交换器的材料选择，包括铝及其合金、铜、镁等金属的性能及其在铝热交换器中的应用。然后，讨论了铝热交换器的设计和制造技术，包括铸造、挤压、冲压、焊接等工艺。此外，还介绍了铝热交换器在不同领域的应用，如汽车、船舶、航空航天等领域。

5. 文献集

本篇文献集展示了近年来在铝热交换器方面的研究进展，包括了铝热交换器的材料、设计、制造和应用等方面的内容。

首先，文章概述了铝热交换器的基本原理及其在制冷空调中的应用。接着，详细介绍了铝热交换器的材料选择，包括铝及其合金、铜、镁等金属的性能及其在铝热交换器中的应用。然后，讨论了铝热交换器的设计和制造技术，包括铸造、挤压、冲压、焊接等工艺。此外，还介绍了铝热交换器在不同领域的应用，如汽车、船舶、航空航天等领域。

R165

Reprinted from SUMITOMO LIGHT METAL TECHNICAL REPORTS

Vol. 14 No. 3 July 1973

家庭用ルーム・クーラーのアルミ化
に関する最近の情報と実機試験結果
その2 エバポレーターとコンデンサの
腐食状況

萩 原 理 樹
入 江 宏
姫 野 健

住友軽金属工業株式会社

家庭用ルーム・クーラーのアルミ化に関する 最近の情報と実機試験結果

その2 エバボレータとコンデンサの腐食状況

萩原理樹* 入江宏* 姫野健**

1.はじめに

家庭用小型ルーム・クーラーのエバボレータおよびコンデンサをアルミ化する場合には、それらに使用するアルミニウム、すなわち冷媒管とフィン材の耐食性ならびにその防食方法を検討する必要があり、さらに冷媒管としてのヘヤピン管とリターン・ベンド管の接合方法も重要となる。

腐食対策としてはすでに化成被膜処理などが試みられているが、陽極酸化処理、浸漬、吹付けあるいは電着などの方式による塗装などがあげられる。これらの処理は各ユニットに用いるフィン材と管材にそれぞれ組立前に施していく場合と組立てられたユニットに処理する場合がある。しかし、前者におけるフィン材のカラー加工とか冷媒管の拡管作業に対する表面処理被膜の適応性や経済性などを考慮すると、後者のほうが一般的であろう。

本報は銅管を冷媒管として使用している市販のセパレート型ルーム・クーラーを用いてそのエバボレータおよびコンデンサをアルミニウムの管材とフィン材で製作したものに取替えて、2年間にわたる実機試験を行ない、フィンおよび冷媒管の腐食状況を各種の表面処理の効果も含めてまとめたものであり、ヘヤピン管とリターン・ベンド管の接合には各種のろう付け、接着などの方式を採用した。

2.供試クーラーおよび実験計画

2.1 供試クーラー

供試クーラーは市販の家庭用セパレート型2機種であり、カラー加工したフィンにヘヤピン管を挿入し、それを拡管してフィンを固定後、ヘヤピン管とリターン・ベンド管を接合した、いわゆる、クロス・フィン型のものである。その1機種はコンデンサ1台で6台までのエバボレータを同時に稼動させることのできるフリー・システムであり、他はコンデンサとエバボレータが一対となった通常のペア・システムである。

本実験ではフリー・システムの場合、コンデンサは銅管-アルミニウム・フィンの購入時のままとし、4台のエバボレータをいずれもアルミニウム製のものに取替えて実験に供した。ペア・システムについては6台のコンデンサとエバボレータをいずれもアルミニウム製のものに取替えて実験に供し、比較のため、市販のままの状態、すなわちエバボレータ、コンデンサとも銅管(9.52mm ϕ × 0.5mm

t)-アルミニウム・フィンをもつもの1台を実験に加えた。

供試クーラーの仕様を表1に示す。

2.2 エバボレータ、コンデンサおよび継手

実験に用いたエバボレータとコンデンサの寸法、ヘヤピン管の数ならびに接合継手の数を表2に示す。

供試冷媒管は9.52mm ϕ × 1mm t、フィン材は厚さ0.15mmであり、表3および表4に冷媒管とフィン材の組合せ、施した表面処理、継手の接合方法等を機種別にそれぞれ示した。以下、くわしく説明すると次のようである。

(1) 無処理のユニットにおいては、フィン材の犠牲陽極作用によって冷媒管の腐食を防止することを目的として、フィンは7072-H22とし、冷媒管は1050-O(99.5%純アルミニウム)とした。

(2) 表面処理を施したユニットはフィンを1050-H22、冷媒管に1050-Oを用いたが、ペア・システムには冷媒管に3003-O、フィンに7072-H22を使用したユニット(マーク4P)も化成被膜処理用として加えた。

(3) ヘヤピン管とリターン・ベンド管の接合方法にはアルミニウム管のはめ合せ部表面に銅を置換メッキしてからはんだ付けする方式と、通常のZn基はんだ付けまたはAl-Siろう付けおよび接着剤による接合方式を採用した。

(4) ユニットの表面処理は化成被膜処理と塗装を採用し、いずれも組立後に実施した。脱脂処理は弱アルカリ性のリドリン液による洗滌を行ない、無処理のユニット(マーク1F, 1P, 6P)はそのまま試験に供した。化成被膜処理は液の高温加熱ならびに封孔処理を必要としないアロシン処理(#1200使用、マーク4P)を採用した。塗装は吹付けではユニットのフィン内面まで十分に塗料がゆきわらいない危険性があるので、浸漬塗装または電着塗装によった。浸漬塗装は耐水性のすぐれていることがわかっていたシリコン樹脂(SHK社製プライマー型)による塗装(マーク2F, 3P)と、ハイナック塗装(D社製、マーク4F, 5P)を採用した。また、電着塗装は当社独自の技術であるエデカ(マーク3F, 2P)を採用した。

表1 供試クーラーの仕様

型式	区分	冷房能力 (kcal/hr)	ファン・モーター出力 (W)	ファン風量 (m ³ /min)	圧縮機出力 (kW)	冷媒量 (kg)
フリー・ システム	エバボレータ	1800	10	7	—	フレオン-12 3.9
	コンデンサ	—	65	60	2.2	
ペア・ システム	エバボレータ	2240	10	7	—	フレオン-22 1.25
	コンデンサ	—	40	17	0.75	

*研究部

**住軽アルミニウム工業株式会社(当時開発部)

表面処理の条件は表5に示すようにリドリン洗滌後湯洗および水洗を行ない、各塗装は乾燥して余分な塗料を十分に除去し、塗料による目づまりがフィン間隙に生じないよう注意して、焼付け処理を行なった。

2.3 試験実施場所と試験期間

各クーラーの設置場所とその雰囲気の概略を表6に示す。

屋外ユニット（コンデンサ）については最初の6~7か月間はとくに風雨をさける工夫をしなかったが、冬期運転時にはサーモ・スイッチが作動しなくなるので、途中からアルミニウム製のおおいをとりつけた。

試験期間は、フリー・システムを短期試験用として稼動時間を5000hr、ペア・システムの場合は2年間連続運転さ

表2 エバボレータおよびコンデンサの寸法と接合継手の数

型式	区分	寸法(mm) 長さ×幅×高さ	フィン寸法 ¹⁾ (mm) 厚さ×長さ×幅	ヘヤビン 管の本数	接合継手の数	
					A-1	B ²⁾
フリー・システム	エバボレータ	60 × 207 × 537	0.15 × 43 × 292	8	16	6
	コンデンサ	120 × 680 × 930	0.15 × 85 × 660	52	104	14
ペア・システム	エバボレータ	60 × 260 × 528	0.15 × 43 × 252	10	20	6
	コンデンサ	115 × 370 × 512	0.15 × 65 × 360	21	42	4

1) フィン・ピッチ：フリー・システムはエバボレータが2mm、コンデンサは2.4mm。
ペア・システムはエバボレータ、コンデンサともに2mm。

2) ヘヤビン管とリターン・バンド管との接合箇所。

3) 3方リターン・バンド管、入口管、出口管との接合箇所。

表3 フリー・システムエバボレータの処理内容

マーク	使用材料		継手の接合方法	組立後の表面処理 ¹⁾
	フィン	冷媒管		
1F	7072	1050	接着剤接合 ¹⁾ (S社-2214, C社-AV138)	無処理
2F	1050	1050	銅被覆処理後 50%Sn-50%Pbはんだ付け	シリコン樹脂塗装……透明
3F	1050	1050	〃	電着塗装(エデカ)…黒色
4F	1050	1050	Al-12%Siろう付け ²⁾ , 60%Zn-40%Cdはんだ付け ²⁾	ハイニック塗装……緑色

1) 接着剤(すべてエポキシ系)の硬化条件 { S社-2214: 120°C × 40min
C社-AV138: 100°C × 5min }

2) 16か所の接合部を2分して実施。

3) 表面処理条件は表5参照。

表4 ペア・システムのエバボレータとコンデンサの処理内容

マーク	使用材料		継手の接合方法	組立後の表面処理 ¹⁾
	フィン	冷媒管		
1P	7072	1050	銅被覆処理後 50%Sn-50%Pbはんだ付け	無処理
2P	1050	1050	〃	電着塗装(エデカ)…黒色
3P	1050	1050	〃	シリコン樹脂塗装……透明
4P	7072	3003	〃	アロジン処理(#1200)…淡黄色
5P	1050	1050	Al-12%Siろう付け	ハイニック塗装…赤色
6P	7072	1050	接着剤接合 ²⁾ T社-EE-F30, S社-2214, SK社RY-2022.	無処理
7P ³⁾	1050	Cu	りん銅ろう付け	〃

1) コンデンサのリターン・バンド管のみ銅被覆処理後10ミクロンの電気メッキ

2) 接着剤(すべてエポキシ系樹脂)の硬化条件 { T社-EE-F30: 160°C × 10min
S社-2214: 120°C × 40min
SK社-RY2022: 200°C × 10min }

3) 市販品購入のまま。

4) 表面処理条件は表5参照。

表5 組立後の表面処理条件

表面処理	脱脂条件	前処理条件	仕上処理条件	目標値(μ)	
				エバボレータ	コンデンサ
無処理	リドリン #75-2%溶液, 60°C 2~5 min 洗浄→湯洗→水洗	—	—	—	—
アロジン	同上	—	アロジン #12.0-1.5%液 35°C × 15 sec 洗浄→水洗	<1.0	1.0
電着塗装	同上	アロジン #401-3%/45-0.5%液 35°C × 30 sec 洗浄→水洗	樹脂液中に浸漬、電着塗装、風乾後焼付(170°C × 60min)	20~30	<10
シリコン樹脂塗装	同上	—	樹脂液中に浸漬、風乾後焼付(150°C × 30 min)	5	5
ハイニック塗装	同上	—	塗料液中に浸漬、風乾後焼付(240°C × 15min)	5	5

することを目標とした。各クーラーの延べ稼動時間を求めるため、エバポレータとコンデンサの短絡部に積算時間計をセットし、サーモ・スイッチの作動によってコンプレッサの稼動時間を積算するようにした。

フリースистемは昭和45年6月18日、ペア・システムは昭和45年7月2日にそれぞれ運転を開始した。前者は比較的早く実験を終了したが、後者が昭和47年8月21日に終了するまで休止のままで放置した。

3. 運転状況

フリー・システム・クーラーは、試験開始14か月後にフレオン・ガスの圧力が25%程度低下したので、再充てんした以外に何らの事故も生じなかった。

ペア・システム・クーラーについては表7に運転を開始してからはじめの4か月の間に生じた事故を示した。生じた事故はサーモ・スイッチの作動不良とガス圧の低下によるエバポレータの凍結および継手部からのガス・リークがすべてで、いずれもそのたびに、簡単な対策で解決したものばかりであり、長期運転にさしつかえるようなトラブルはなかった。継手接合部からのガス・リークについては本報、その3でその原因、対策などをくわしく報告する。

運転を開始してから5、12および26か月経過した時点における各クーラーの積算運転時間を表8に示す。はじめの5か月経過の時点において、4Pクーラーは試験室の都合上昼間のみ運転したため、とくに稼動時間が少なかった。それ以外のクーラーは前述した事故を除けばほぼ順調に稼

表6 クーラー設置場所の概略

型式	マーク	設置場所	霧 冷 気 の 概 略	
			コンデンサ	エバポレータ
フリー・システム	1F～4F	研究4号館	溶接作業場屋外(建屋の北側)	人の出入りの比較的少ない締切った室内
	1P	研究4号館	ろう付け作業場屋外(建屋の北側屋根の上)	人の出入りの多い解放された事務室内
	2P	研究1号館～研究4号館	部屋屋外(建屋の南側) →溶接作業場屋外(建屋の南側)	人の出入りの少ない締切った室内 →解放された溶接作業場内
	3P	研究4号館	実験室屋外(建屋の南側屋根の上)	人の出入りの比較的多い締切った室内
	4P	研究2号館	疲労試験室入口屋外(建屋の東側)	人の出入りのほとんどない締切った室内
	5P	研究1号館～実験工場	会議室屋外(建屋の南側) →アルミ溶解場近くの屋外(建屋の西側)	人の出入りの少ない締切った室内 →溶解場に近い人の出入りが多い実験室内
	6P	研究4号館	表面処理作業場屋外(建屋の北側)	人の出入りの比較的少ない締切った室内
ペア・システム	7P	研究4号館	ろう付け作業場屋外(建屋の東側屋根の上)	人の出入りの多い解放された事務室内

表7 ペア・システム・クーラーの運転開始後4か月以内に生じた事故*

マーク	冷媒管の接合方法	発生した事故内容	発生時期	検討および対策
1P	鉛被覆処理後 Sn-Pb はんだ付け	サーモ・スイッチの作動不良	16日目	ガス圧正常でリークなし、高圧側圧力調整ゲージの作動が原因、短絡後、運転再開
2P**	鉛被覆処理後 Sn-Pb はんだ付け	エバポレータが凍結	14日目	ガス圧低下(リーク箇所不明)フレオンを充てんし、運転再開
3P**	鉛被覆処理後 Sn-Pb はんだ付け	再度凍結	35日目	ガス圧低下、フレオン充てんし、運転再開
4P**	鉛被覆処理後 Sn-Pb はんだ付け	サーモ・スイッチの作動不良	16日目	1Pに準じ、圧力調整ゲージを短絡させて運転再開
5P	A1-Si ろう付け	継手からのガス・リークのみ発生	直後	補修
6P**	接着剤接合	事故なし		
7P	市販品導入のまま	エバポレータが凍結	34日目	ガス圧低下(リーク箇所不明) フレオンを充てんし、運転再開
		サーモ・スイッチの作動不良	16日目	1Pに準じ、圧力調整ゲージを短絡させて運転再開
		コンデンサのファン回転不良	74日目	原因不明、24hr 休止後運転再開

* 継手部からのガス・リーク事故については別報にて報告故省略。

** 継手部からのガス・リーク事故が発生したクーラー。

表8 各クーラーの延べ運転時間(コンプレッサの総稼動時間)

型式	マーク	運転開始日	延 運 転 時 間 (hr)		
			昭和45年11月17日現在 (5か月目)	昭和46年5月13日現在 (12か月目)	昭和47年8月21日現在 (26か月目)
フリー・システム ¹⁾	1F	昭和45年6月18日	2143	2488	4103
	2F	ク ク	2323	2861	5030
	3F	ク ク	2129	2675	4967
	4F	ク ク	1744	1997	4365
ペア・システム ²⁾	1P	昭和45年7月2日	2238	3903	7972
	2P	ク ク	2244	2456	3209
	3P	ク ク	2245	2442	4627
	4P	ク ク	1172	1900	3504
	5P	ク ク	2340	2614	7000
	6P	ク ク	1751	2028	4600
	7P	ク ク	2073	4320	9122

1) フリー・システム・クーラーは事故なし、2Fのクーラーが5000hrをこえた時点で他の3つのクーラーも運転中止。

2) 2P, 3P, 4P, 6Pの各クーラーはガス・リーク等の事故により途中で運転中止。

動し、稼動時間の最大が2340hr（マーク5P）、最小が1744hr（マーク4F）であった。稼動時間の相違は最大と最小との差が約600hrあり、これは試験場所の温度差、ユニットの表面処理による冷房能力の差、ガス・リークその他の事故による運転休止などに起因するものである。はじめの5か月間における前述の稼動時間は同期間（延べ3600hr）の48~65%に相当し、連続運転とはいっても休止時間がかなりの割合を占めており、外気温度の影響が大きかったことを物語っている。これは冬期を過ぎた12か月後の積算時間をみても5か月目のそれよりもあまり増加していないことからも明らかである。

なお、26か月経過後においてペア・システムのうち、延べ稼動時間が5000hrに満たなかったものは機器の故障とかガス・リークの頻発などによって運転中止になったものである。

4. 調査結果

4.1 調査位置

ペア・システム・コンデンサについての運転開始前後の1例を図1に示した。2年間運転後のコンデンサは多量のほこりが付着し、フィン間隙にかなりの目詰りを生じていた。ほこりの量は、ユニットのファンに面した側（以下、ファン側とする）とは反対の外気に面した側（以下、外気

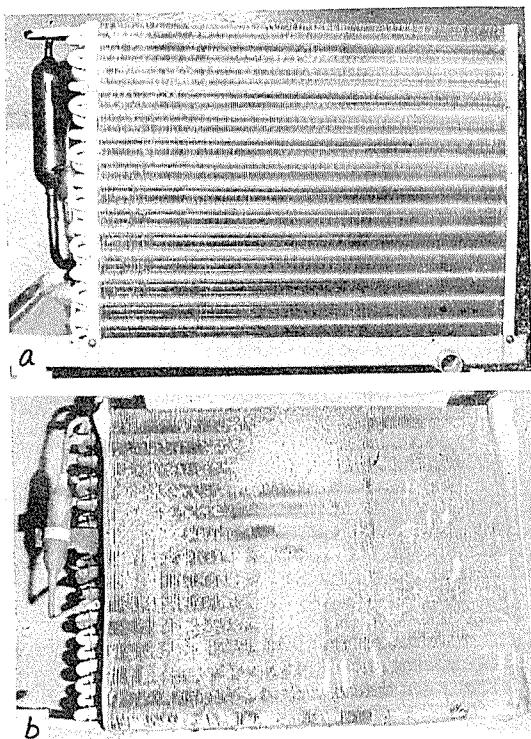


図1 ペア・システム・コンデンサの運転前後の外観1例
a : 運転前
b : 2年間運転後

側とする）の方に多かった。このほこりは調査前に圧縮空気を用いて吹きとばして除去した。

各ユニットの腐食状況を調査するに当り、図2に示すように各ユニットの中央で幅100mm程度の部分を切りとり、ペア・システムでは上、中、下段の両側、フリー・システムの場合は上、下段の両側について、冷媒管をフィンからとりはずして、それらの腐食状況を調査した。

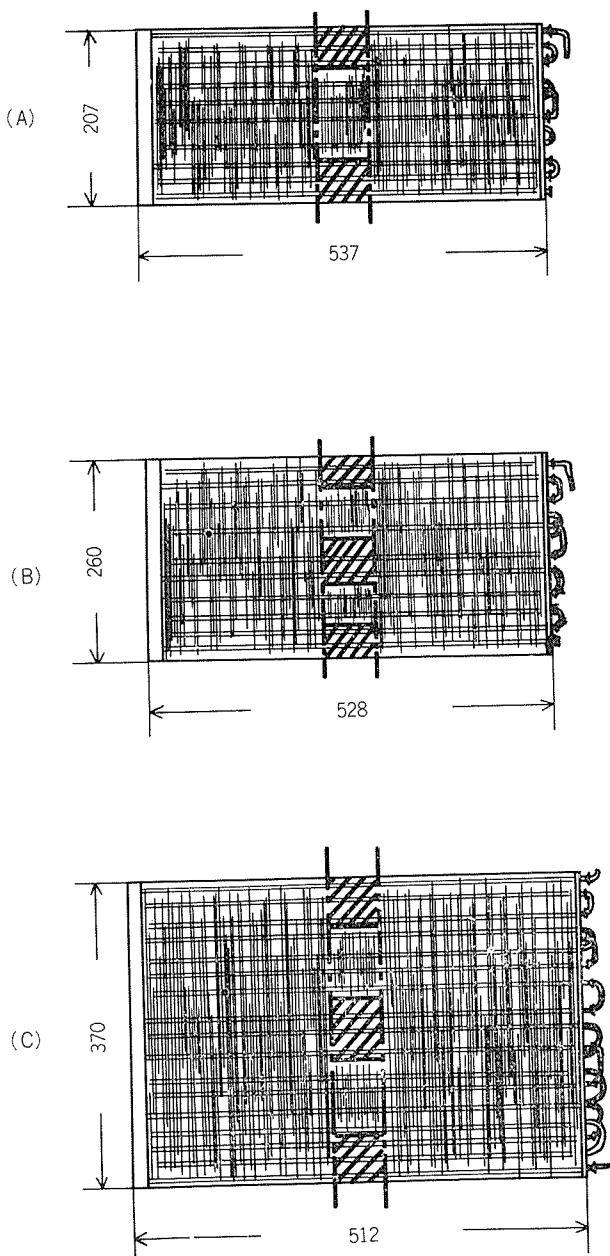


図2 各ユニットの腐食状況調査箇所（斜線部……ファン側と外気側）

- (A) フリー・システム・エバボレータ
- (B) ペア・システム・エバボレータ
- (C) ペア・システム・コンデンサ

4.2 フリー・システム・エバポレータの腐食状況

4.2.1 フィンの腐食状況

4台のフリー・システム・エバポレータから採取したフィンの1例をそれぞれ図3～6に示す。腐食状況を分類すると、図7に示したように①腐食および変色のまったくみられないもの、②変色または光沢低下のみがみられるもの、③わずかに腐食が生じたもの、の3段階となり、これにしたがって、フィンの各位置の腐食程度を評価すると表9のようになる。1F エバポレータにおける7072合金無処理のフィンは全体に光沢がなくなり、フィンの端部にごくわずかな腐食が発生していたが、表面処理を施した他のエバポレータ（マーク2F, 3F, 4F）のフィンはいずれの部分に

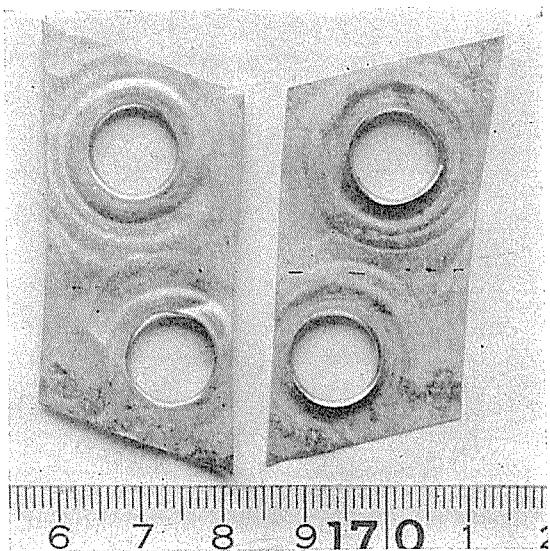


図3 フリー・システム・エバポレータの7072合金無処理フィン（マーク1 F）の状況

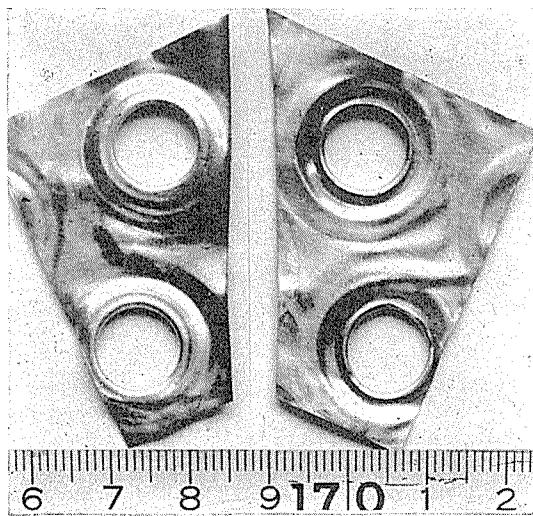


図4 フリー・システム・エバポレータの1050-シリコン樹脂塗装フィン（マーク2 F）の状況

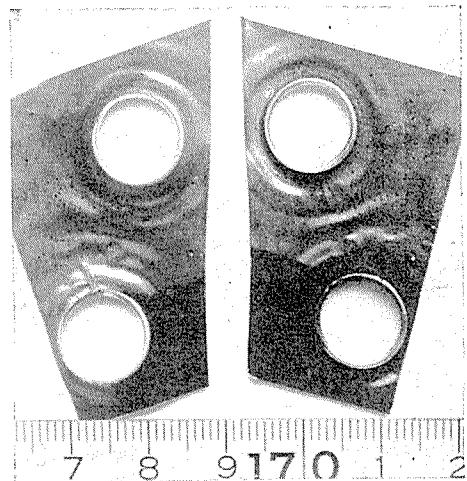


図5 フリー・システム・エバポレータの1050-電着塗装フィン（マーク3 F）の状況

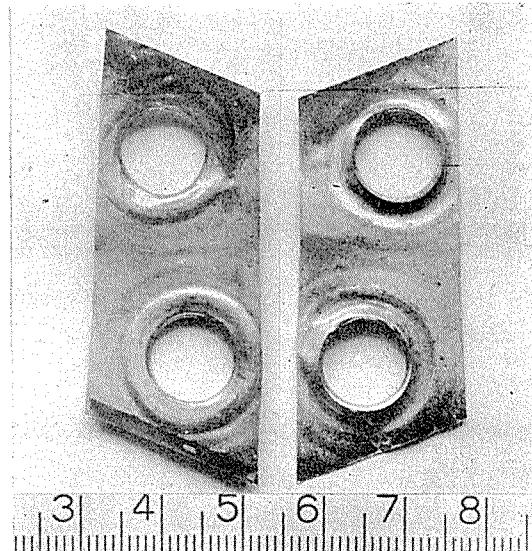


図6 フリー・システム・エバポレータの1050-ハイナック処理フィン（マーク4 F）の状況

表9 フリー・システム・エバポレータのフィン各部の腐食程度
(図7参照)

ユニット マーク	フィンの状況		ユニットの上段			ユニットの下段		
	材質	表面処理	ファン側	中央	外気側	ファン側	中央	外気側
1 F	7072	無処理	○	○	○	○	○	○
2 F	1050	シリコン樹脂塗装	○	○	○	○	○	○
3 F	1050	電着塗装	○	○	○	○	○	○
4 F	1050	ハイナック塗装	○	○	○	○	○	○

○ 異状なし ○ 变色のみ発生 ○ 腐食わずかに発生

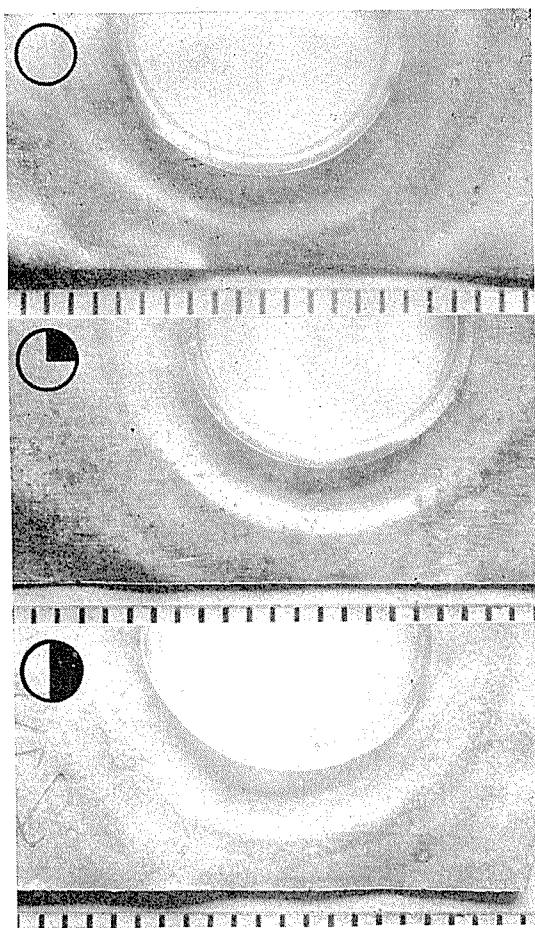


図7 フリー・システム・エバポレータのフィンの腐食程度評価基準

も何らの変化が認められなかった。なお、1Fエバポレータの腐食は孔食というより全面が酸化された状態で、光沢がなくなり、面が粗くなっていた。

4.2.2 冷媒管の腐食状況

冷媒管はいずれも図8に示したように、フィンのカラーパーと接した部分にペーマイト被膜の生成と思われる褐色の縞模様が生じたのみで、とくに管外表面が腐食されたこん跡は認められなかった。

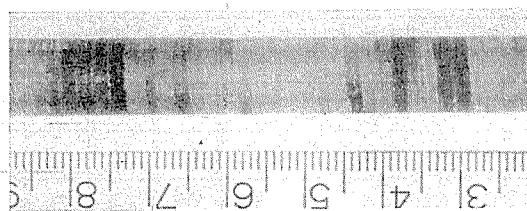


図8 フリー・システム・エバポレータの1050-冷媒管の状況
(縞状の変色が生じた例)

4.3 ペア・システム・エバポレータの腐食状況

4.3.1 フィンの腐食状況

7台のペア・システム・エバポレータから採取したフィンの1例をそれぞれ図9～15に示す。4.2.1項の場合と同様、表面処理を施した2P, 3P, 4P, 5Pの各エバポレータのフィンはいずれの部分にも何らの変化も生じていなかった。いっぽう、無処理の他のエバポレータのフィンは、単に光沢がなくなりて変色のみ生じていたものと、とくにフィンの端部にかなりはげしい腐食を生じていたものなど、フィンの位置によって相当の差が認められた。それらの腐食程度を図16に示すように5段階に区分して、フィンの腐食状況を評価すると表10のようになる。

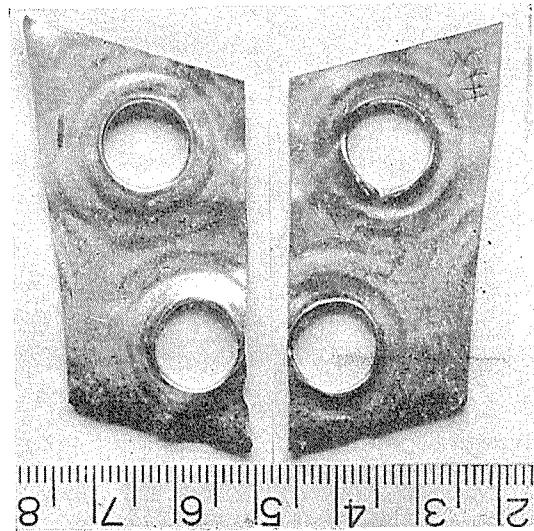


図9 ペア・システム・エバポレータの7072合金無処理フィン
(マーク1P) の状況

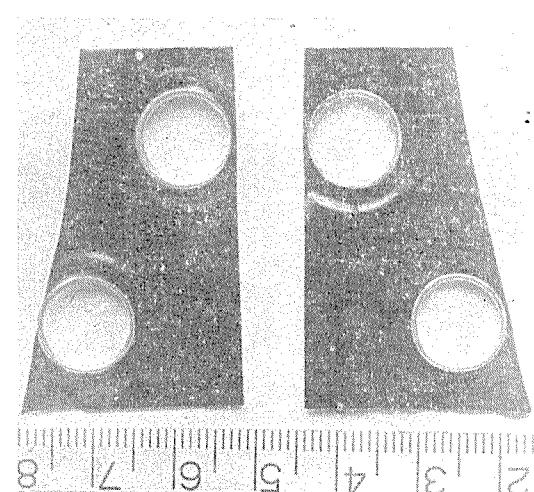


図10 ペア・システム・エバポレータの1050-電着塗装フィン
(マーク2P) の状況

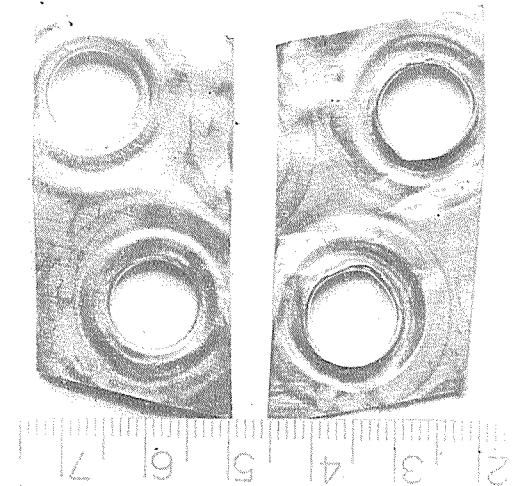


図11 ハア・システム・エバボレータの1050-シリコン樹脂塗装フィン（マーク3P）の状況

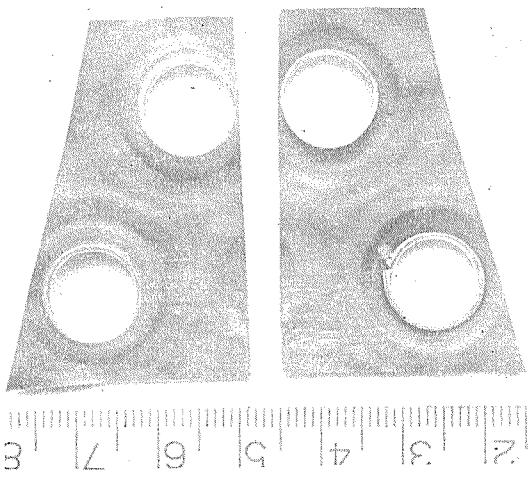


図12 ハア・システム・エバボレータの7072合金-アロジン処理フィン（マーク4P）の状況

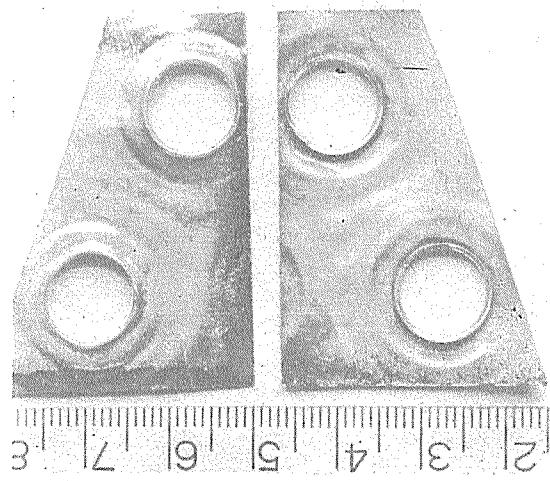


図13 ハア・システム・エバボレータの1050-ハイニック塗装フィン（マーク5P）の状況

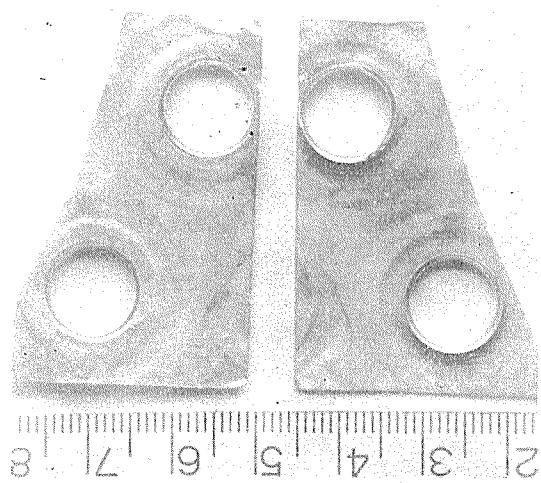


図14 ハア・システム・エバボレータの7072合金-無処理フィン（マーク6P）の状況

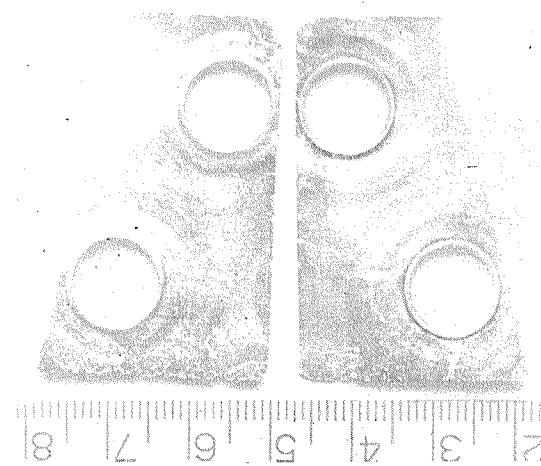


図15 ハア・システム・エバボレータの1050-無処理フィン（マーク7P）の状況

腐食の発生した無処理のフィンのうち、1Pと6Pエバボレータのフィンは7072合金で、1050-冷媒管と接していたのに対し、7Pエバボレータでは1050のフィンが銅の冷媒管と接触していた。フィンの腐食程度は表10からわかるように、銅の冷媒管と接している後者のほうが、前2者の場合よりややはげしかった。この結果は銅冷媒管とアルミニウム・フィンとの間でGalvanic作用が働き、フィンの腐食が加速されたものと考えられる。なお、フィンの腐食はエバボレータの下段部のほうが上段部よりはげしく、外気側の端部のほうがファン側端部よりはげしかった。

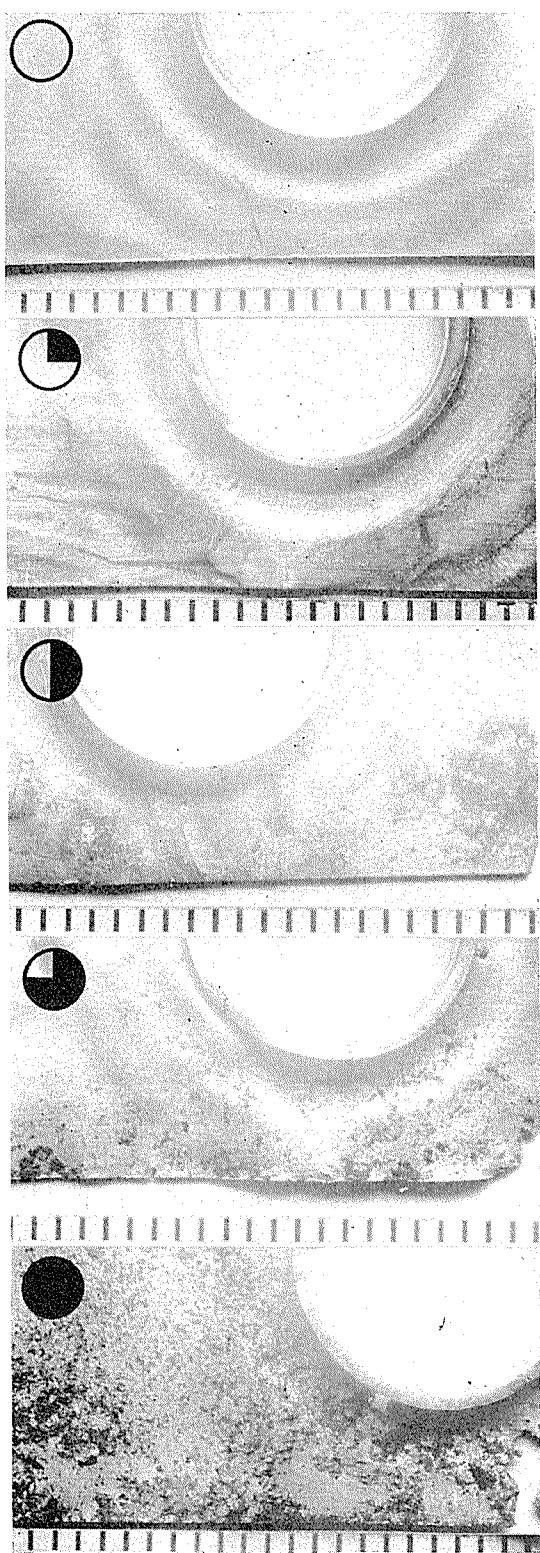


図16 ペア・システム・エバポレータとコンデンサのフィンの腐食程度評価基準

4・3・2 冷媒管の腐食状況

冷媒管は4・2・2項の場合と同様にペーマイトと思われる褐色の縞模様を生じ、腐食のこん跡は認められなかった。

4.4 ペア・システム・コンデンサの腐食状況

4.4.1 フィンの腐食状況

7台のペア・システム・コンデンサから採取したフィンの1例をそれぞれ図17～23に示す。フィンの腐食の程度を図16に示した5段階の区分で評価すると表11のようになる。

(1) 一般的な傾向を述べると、前項のエバポレータの場合と異なり表面処理を施したフィンもかなりのはげしい腐食を生じていた。腐食はやはりフィンの端部ではげしく、冷媒管との接触部（フィンのカラー部分）にはほとんど生じていなかった。また、フィンの位置による腐食の程度は

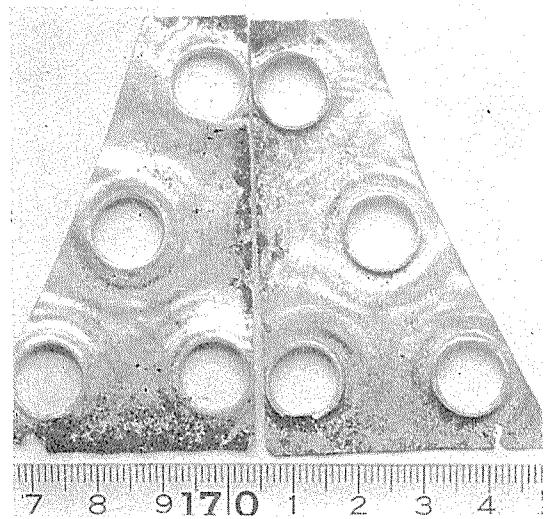


図17 ペア・システム・コンデンサの7072合金-無処理フィン
(マーク1P) の状況

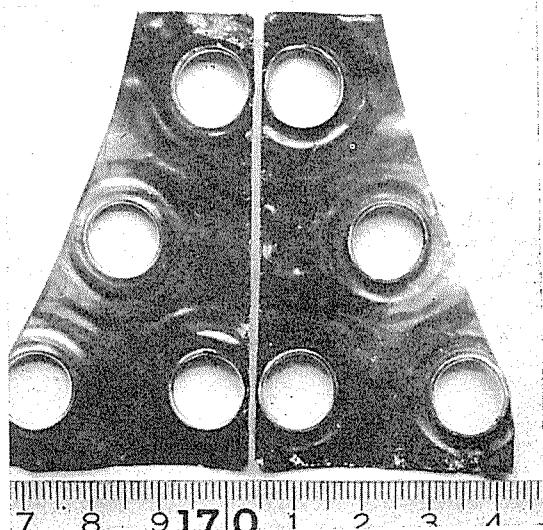


図18 ペア・システム・コンデンサの1050-電着塗装フィン
(マーク2P) の状況

表10 ペア・システム・エバボレータのフィン各部の腐食程度
(図16参照)

ユニット	フィンの状況		ユニットの上段			ユニットの中段			ユニットの下段			
	マーク	材質	表面処理	ファン側	中央	外気側	ファン側	中央	外気側	ファン側	中央	外気側
1 P	7072	無処理	○	○	○	○	○	●	○	○	○	○
2 P	1050	電着塗装	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
3 P	1050	シリコン樹脂塗装	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
4 P	7072	アロジン処理	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
5 P	1050	ハイナック塗装	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
6 P	7072	無処理	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
7 P	1050	無処理	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

○ 異状なし

○ 变色のみ発生

○ 腐食わずかに発生

○ 腐食かなり著しい

○ 腐食きわめてはげしい

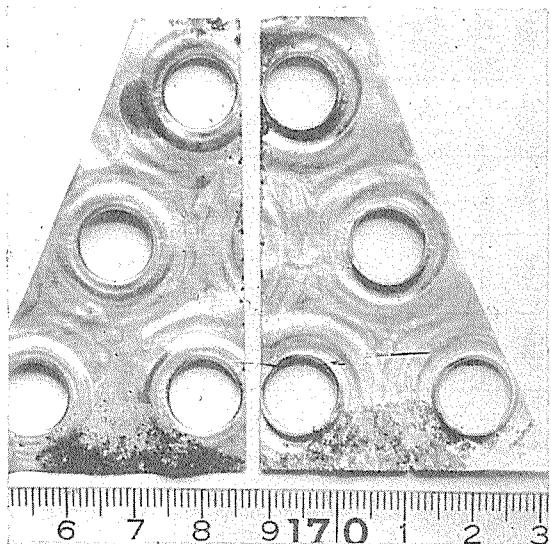


図19 ペア・システム・コンデンサの1050-シリコン樹脂塗装
フィン (マーク 3 P) の状況

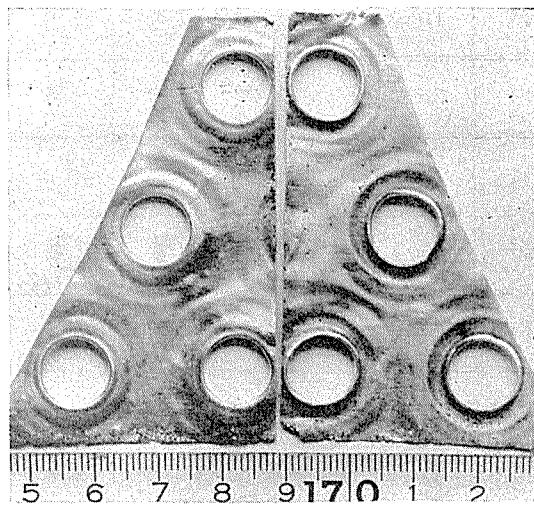


図20 ペア・システム・コンデンサの7072合金-アロジン処理
フィン (マーク 4 P) の状況

前項で述べた無処理のフィンの場合と傾向が同じで、フィンの端部とくに外気側端部がもっともはげしく、コンデンサ下段部の腐食が著しかった。

(2) 表面処理したフィンの場合、中央部における腐食はごくわずかであったが、ファン側、外気側の端部にはかなりの腐食が生じており、とくに下段の外気側の腐食の程度は無処理のフィンと大差なかった。すなわち、表面処理に

よるフィンの防食効果は、外気側端部ではあまり認められなかつたが、全体の様相から順位をつけると電着塗装がもっともすぐれており、ついでシリコン樹脂塗装、ハイナック塗装、アロジン処理の順になる。

(3) 無処理のフィンの腐食状況は4.3.1項で述べたエバボレータの場合と同様、1050-冷媒管と接触した7072合金フィン(1P および 6P コンデンサ)の腐食のほうが、銅冷媒

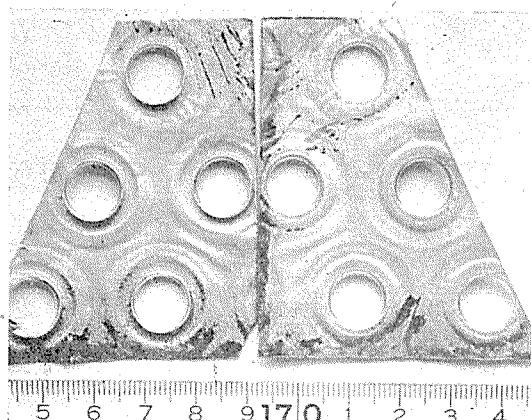


図21 ペア・システム・コンデンサの1050-ハイナック塗装フィン(マーク5P)の状況

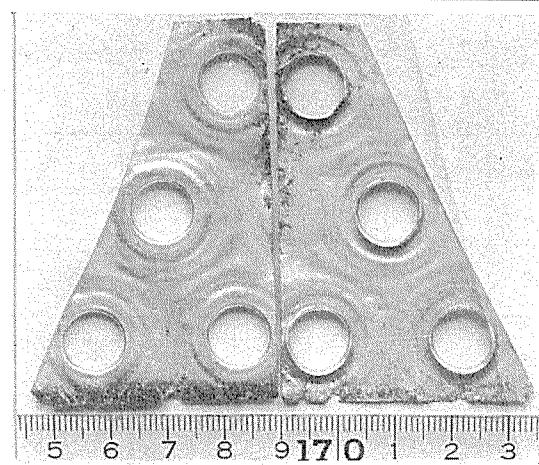


図22 ペア・システム・コンデンサの7072合金無処理フィン(マーク6P)の状況

表11 ペア・システム・コンデンサのフィン各部の腐食程度
(図16参照)

ユニット マーク	フィンの状況		ユニットの上段			ユニットの中段			ユニットの下段		
	材質	表面処理	ファン側	中央	外気側	ファン側	中央	外気側	ファン側	中央	外気側
1P	7072	無処理	○	○	●	○	○	●	○	○	●
2P	1050	電着塗装	○	○	○	○	○	○	○	○	○
3P	1050	シリコン樹脂塗装	○	○	○	○	○	○	○	○	○
4P	7072	アロジン処理	○	○	●	○	○	○	○	○	●
5P	1050	ハイナック塗装	○	○	●	○	○	○	○	○	●
6P	7072	無処理	○	○	●	○	○	○	○	○	●
7P	1050	無処理	●	○	●	○	○	●	●	●	●

○ 異状なし

○ 变色のみ発生

○ 腐食わずかに発生

○ 腐食かなり著しい

● 腐食きわめてはげしい

管と接触した1050-フィン(7Pコンデンサ)の場合よりもやや軽度であった。フィンの材質から考えた場合、1050の耐食性は7072合金よりすぐれているのに、得られた結果は逆であった。この現象はエバポレータ・フィンにも認められ、前述したGalvanic作用によって1050-フィンの腐食が加速されたのであろう。このことは銅冷媒管と接した1050-フィンのカラー部分に図24に示したような接触腐食が生じていたことからも明らかである。1050-冷媒管と接した7072合金フィンのカラー部分にはこのように腐食が集

中したこん跡は認められなかった。

冷媒管とフィンとの接触部に腐食を生じたのは7Pコンデンサのみで、その腐食もフィンのすべてのカラー部分に生じたわけでもなく、フィンと冷媒管とのめ合せがゆるむほどはげしいものではなかった。また、他のコンデンサにおいてはフィンの腐食は端部においてのみはげしかったため、いずれもクーラーの冷房効果には影響をおよぼさなかった。

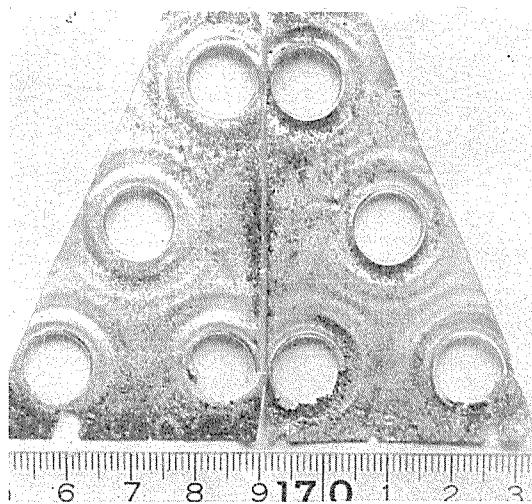


図23 ペア・システム・コンデンサの1050-無処理フィン(マーク7P)の状況

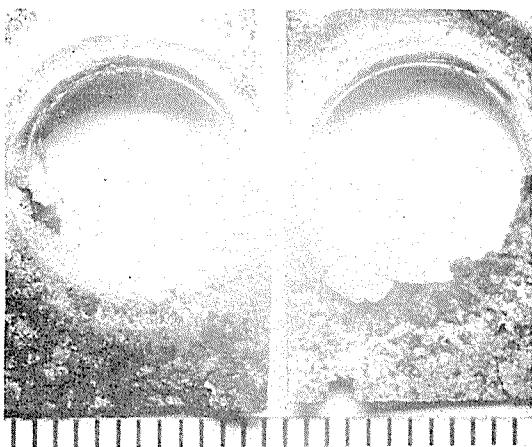


図24 銅冷媒管と接触したペア・システム・コンデンサの1050-無処理フィン(マーク7P)のカバー部分の腐食

4.4.2 冷媒管の腐食状況

1050冷媒管では5Pコンデンサ(ハイナック塗装)の外気側上段のごく一部分に図25に示すように腐食が生じていたが、腐食の深さは約0.05mmであった。このような腐食の生じた理由は表6にも示したように、コンデンサの置かれた場所がアルミニウムの溶解場に近い所であったため、アルミニウム浴湯の脱ガス処理の影響をうけたものと思われる。

その他のコンデンサの冷媒管は図26に示すように何らの食も生じなかったもの(1Pおよび6Pコンデンサ)腐と図27に示すようにエバポレータの場合と同様に褐色の縞模様の変色のみみられたもの(2P, 3Pおよび4Pコンデンサ)とがあった。

5. むすび

家庭用セパレート型アルミニウム製ルーム・クーラーに

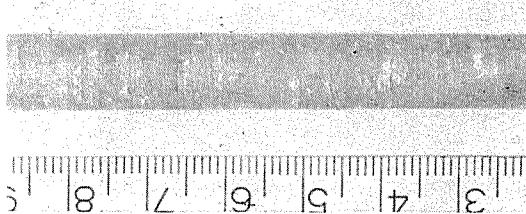


図25 ペア・システム・コンデンサの1050-冷媒管(マーク5P)に生じた腐食

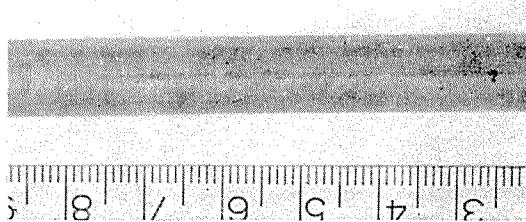


図26 ペア・システム・コンデンサの1050-冷媒管の状況(変化が生じなかった例)

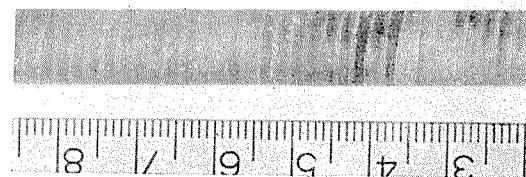


図27 ペア・システム・コンデンサの1050-冷媒管の状況(縞状変色が生じた例)

ついて2年間の実機試験を行ない、つきの結果を得た。

(1) エバポレータおよびコンデンサの冷媒管(1050および3003合金)にはほとんど腐食を発生せず、フィン(1050および7072合金)の端部にはかなりの腐食を生じたが、クーラーの稼動ならびに冷房効果に影響を与えるほど著しいものではなかった。このことからセパレート型クーラーの場合、無処理のアルミニウム管およびフィンを用いても十分使用可能であると考える。

(2) フィンの腐食はエバポレータの場合、無処理の7072合金でもほとんど発生しなかった。コンデンサにおいては、ユニットの外気側端部の腐食がかなりはげしく、とくにコンデンサの下段側で顕著であった。

(3) 無処理のフィンの腐食程度は1050-冷媒管と接触している7072合金よりも銅冷媒管と接触している1050のほうがはげしかった。

(4) コンデンサまたはエバポレータの組立後に施した表面処理による防食効果は、電着塗装とシリコン樹脂塗装が良好で、ハイナック塗装がこれにつき、アロジン処理がもっとも劣っていた。しかし、いずれの処理でもコンデンサ下段の外気側フィン端部にはかなりの腐食が生じ、その程度は無処理の場合と大差なかった。

家庭用ルーム・クーラーのアルミ化
に関する最近の情報と実機試験結果
その3 冷媒管の接合方法および継手の
腐食

杉山 複彦
入江 宏健
姫野 健

住友軽金属工業株式会社

家庭用ルーム・クーラーのアルミ化に関する 最近の情報と実機試験結果

その3 冷媒管の接合方法および継手の腐食

杉山 権彦* 入江 宏* 姫野 健**

1. はじめに

家庭用小型ルーム・クーラーのエバポレータおよびコンデンサの冷却ユニットをアルミ化する機運は数年前から高まりつつある。しかし冷媒管すなわち、ヘヤピン管とリターン・ベンド管の接合技術が、現行の銅管を使用したクーラーにおけるリン銅ろう付けに匹敵する程の容易な接合法が得られないことおよび冷媒管と放熱フィンの接触部が腐食しやすく、完全な防食技術が確立されていないことなどがアルミ化への障害になっている。

筆者らはこれらの問題点を解決すべく、市販のルーム・クーラーのユニットをアルミニウムに置き換えて実機試験を行なっているが、そのうち素材の腐食状況については、各種の表面処理効果とともに本報のその2で報告した。

本報は試験開始時点での接合技術およびその継手の腐食状況について検討したもので、接合法としては当社で考案した接合部に金属銅を被覆して銅用はんだで接合するはんだ付け法^{1),2)} のほかにカーナー・クーラー用コンデンサにも使用されているAl-Siろう付け、オイル・クーラーの一部に用いられているZn基はんだ付けおよび接着法の4種類を適用し、さらに各種の表面処理法を組合わせ、2年間にわたる実機試験を行なった結果をまとめたものである。

なお、その後開発された接合技術として、新たに真空ろう付け法および超音波はんだ付け法が関係分野で注目されているが、前者ではAl-Si-Mgろうが、また後者では95%Zn-5%Alはんだが使用されるので、これらの継手の腐食挙動については本実験結果がある程度参考になろう。

2. 調査方法

市販の標準的ルーム・クーラー（フリー・システムおよびペア・システム）のフリー・システムについてはエバポレータ、ペア・システムについてはエバポレータおよびコンデンサをアルミニウム化し、以下に述べるような各種の接合法によって組立て、種々の表面処理を施した後に実機試験に供した。

供試クーラーの種類およびその仕様、冷媒管とフィン材の組合せ、組立てたクーラーのユニットへの表面処理法については本報のその2に述べた通りであるが、供試ユニッ

トとそれらの接合法を表1に示す。

表1 フリーならびにペア・システム・クーラーの記号と管継手の接合方法

機種	マーク	管継手の接合方法
フリー・システム	1 F	接着剤接合 (S社・2214, C社・AV138)
	2 F	銅被覆処理後5%Sn 5%Pbはんだ付け
	3 F	
	4 F	Al-12%Siろう付け, 60%Zn-4%Cuはんだ付け
ペア・システム	1 P	真打覆処理後5%Sn 5%Pbはんだ付け
	2 P	
	3 P	
	4 P	
	5 P	Al-12%Siろう付け
	6 P	接着剤接合 (T社・EE, S社・2214, SK社・RY2 22)
	7 P	りん銅ろう付け (購入のまま)

ユニットの接合部の継手形状については、各接合法に対してもっとも適した形状を採用すべきであるが、今回の実験では工作上の問題から現行の銅管用継手（後掲図14）を採用した。すなわち、継手は後掲図14に示すように、継手間隙0.12~0.16mm、平行部の長さ4.5~5.5mmのチュウリップ形である。

継手部の油脂類を除去するために、接合前に次の方法で脱脂洗浄を行なった。

- アセトン液中に浸漬してブラッシング
- パー・クロール・エチレン(S)液中に浸漬
- 圧縮空気による強制乾燥
- 管内部を窒素ガス処理
- 屋外乾燥

なお、窒素ガス処理はパー・クロール・エチレン(S)液を乾燥させるためにおこなったものである。

本実験に用いたユニットはエバポレータおよびコンデンサを含めて全部で18台であるが、接合には従来から実績のあるAl-Siろう付け(2.5台のユニットに適用)、Zn-Cdはんだ付け(0.5台)およびエポキシ系接着剤(3台)の他に、接合部にあらかじめ金属銅を被覆して銅用はんだで接合する銅被覆法(10台)さらに比較のために従来のリン銅ろうによる銅管ユニット(2台)を採用した。

各接合法における施工要領はつきの通りである。

- 銅被覆法によるはんだ付け

この方法^{1),2)}は一般のアルミニウムのろう付およびはん

*研究部

**住軽アルミニウム工業株式会社（当時開発部）

た付けに使用されるような浸食性の強いフラックスを用いないで、接合部にあかじめ金属銅を被覆し、Sn-Pb系はんだでアルミニウム相互あるいはアルミニウムと異種金属を接合しようとするものである。

ここでは塩化第二銅粉末と特殊媒体を用いてあらかじめ接合部に金属銅を被覆した後に、松や樹脂を含んだペースト状の50%Sn-50%Pbはんだをリターン・ベンド管に塗布し、これをヘヤピン管にはめ合せ後、都市ガス炎で約200°Cに加熱しながら接合を行なった。

(2) Al-Siろう付け法

ろう材には直径1.6mmのAl-12%Siろう、フラックスには市販のKCl-NaCl-LiCl系フラックスを用い、通常の方法でろう材を手で供給しながら、酸素ーアセチレン炎によりトーチろう付けを行なった。

(3) Zn-Cdはんだ付け法

はんだには60%Zn-40%Cdはんだ、フラックスには試作したZnCl₂基の反応フラックスを用い、通常の方法ではんだを手で供給しながら、都市ガス炎によりトーチはんだ付けを行なった。

なお、はんだには当初95%Zn-5%Alはんだを使用する予定であったが、はんだ付け作業において、適用フラックスの反応温度とはんだの溶触温度が合わないために作業性が劣り、良好な継手が作成されなかつたので、止むなく60%Zn-40%Cdはんだを適用した。

(4) 接着法

アルミニウム冷媒管継手の接着に適用した接着剤はT社のEE(主剤および硬化剤よりなる二液常温硬化型)、S社の2214(一液高温硬化型)、C社のAV138(二液高温硬化型)およびSK社のRY2022(一液高温硬化型)の4種類であり、いずれもエポキシ系ペースト状接着剤である。

これらの接着剤の最適硬化条件については本報のその2に示したとおりである。

接着に際しては、リターン・ベンド管の管端外周部に各接着剤をヘラにて塗布し、ヘヤピン管とはめ合せた後に、130°Cにて30分間炉中加熱して接着剤を硬化させた。

なお、本来ならば各ユニットに1種類の接着剤を適用すべきであるが、本実験では各ユニットに2~3種類の接着継手を配分させたために、それぞれの接着剤の最適硬化条件を採用できず、したがって全ての接着剤に適当と思われる共通的な条件を用いた。

接着によるユニットを除き、以上の方法で接合した管継手部の外面は水洗、湯洗、ブラッシング(外面)、湯洗によってフラックス残査を除去し、続いて30kg/cm²で10分間の耐圧試験(水圧)を行ない接合部の健全性を確認した。

なお、塩化物系フラックス残査の確認には硝酸銀溶液を用いた。

その後、再び回路内を湯洗して空気乾燥後さらにユニットを100°Cにて10分間炉中加熱して回路内の乾燥を行なった。

冷媒管継手の接合を終えたアルミニウム・クーラー・ユニットは本報のその2で述べた表面処理を施したが、ペア・システム・クーラーの1Pエバポレータおよびコンデンサ、5Pならびに7P各コンデンサの4台については、さらに管継手部に白色ペンキ塗装(1P)あるいは銀色エポキシ樹脂(5P, 7P)を塗布して継手の防食を二重に行なった。

上述のようにして得られた各ユニットをクーラー本体に組込み、入口管、出口管をろう付け接合して冷却回路を作成した。さらに、サーモ・スイッチのON-OFF作動に連動させるように積算時間計をセットし、室外コンデンサの3方バルブから真空引きしたのち、フレオン・ガスを充てんして運転を開始した。

フレオン・ガスの圧力はフリー・システム・クーラーは2.0~2.5kg/cm²、ペア・システム・クーラーは4.0~5.5kg/cm²が運転時の安定圧力である。

2年間の実機試験終了後、各クーラーからエバポレータおよびコンデンサを取りはずし、フレオン・ガス・リーク試験によってユニットの漏えい個所の有無を確認した後、管継手部の腐食状況を外観検査およびマクロ写真ならびにミクロ組織によって調査した。

表2 フリーおよびペア・システム各クーラーの運転中のフレオン・ガス圧力の変化

機種	マーク	運転開始年月日	運転開始時の圧力	45-8-13		45-9-2		46-1-23		46-5-13		46-7-5	
				測定圧	充てん圧	測定圧	充てん圧	測定圧	充てん圧	測定圧	充てん圧	測定圧	充てん圧
フリー・システム	1F	45-6-18	2.0~2.5	2.3	...	...	...	2.1	...	...	...	1.7	2.3
	2F	〃	〃	〃	...	...	...	〃	...	...	...	〃	〃
	3F	〃	〃	〃	...	...	...	〃	...	...	...	〃	〃
	4F	〃	〃	〃	...	...	...	〃	...	...	...	〃	〃
ペア・システム	1P	45-7-2	4.0~5.5	4.5	...	4.5	...	5.5	4.2	...	4.3	...	...
	2P	〃	〃	3.8	4.6	0.5	5.0	...	4.6	...	0	4.8	...
	3P	〃	〃	4.5	...	4.5	...	3.6	...	...	4.2	...	...
	4P	〃	〃	3.6	4.6	4.2	...	3.5	...	...	4.1	...	...
	5P	〃	〃	4.5	...	4.5	...	4.2	...	...	4.5	...	...
	6P	〃	〃	3.3	4.6	0.5	5.0	...	0	4.2	0	4.2	...
	7P	〃	〃	4.5	...	4.5	...	5.5	4.2	...	4.4	...	...

なお、試験中に一部のユニットについては予想に反してフレオン・ガスの漏れを生じたので、その状況を調査した。

3. 調査結果

3.1 運転中のフレオン・ガス・リークについて

連続運転を開始してまもなく試験クーラーは種々のトラブルが発生したが、開始後4カ月までの事故については本報のその2で詳しく報告した。

その後の運転試験で生じた事故は管継手部からのフレオン・ガスのリークによるものがほとんどであった。表2に2年間の運転試験中に生じたフレオン・ガス・リークの状況を示す。フリー・システムについては14カ月後に $1.7\text{kg}/\text{cm}^2$ のガス圧力となり、運転開始時のガス圧力である $2.0 \sim 2.5\text{kg}/\text{cm}^2$ に比較していくらか圧力低下がみられたので、再びフレオンを充てんして $2.3\text{kg}/\text{cm}^2$ にもどし、そのまま運転を続けた。

いっぽう、ペア・システム・クーラーについては銅被覆法による2Pクーラーのコンデンサおよび3種類のエポキシ系接着剤で接着した6Pクーラーのコンデンサの管継手部分からフレオン・ガス・リークが生じ、2カ月、6カ月、12カ月ごとの検査では $0 \sim 0.5\text{kg}/\text{cm}^2$ のガス圧力に低下した。したがって、それぞれの時点でいったんコンデンサを取りはずし、リークを生じた継手部分をもとの接合法に応じて補修し、運転を続行した。

3.2 運転試験後のフレオン・ガス・リーク試験

運転試験終了後、クーラー本体から取りはずしたエバボレータおよびコンデンサ・ユニットにフレオンガスを装入し、 $10\text{kg}/\text{cm}^2$ のガス圧力を保ちながらアルコール式リーク試験機およびバブル・テストによってフレオン・ガス・リークを調査した。

表3はフレオン・ガスのリーク試験結果である。

フリー・システム・クーラーのエバボレータについてはいずれもガス・リークは認められなかった。

ペア・システム・クーラーについては3P、4Pのコンデ

ンサおよび6Pエバボレータならびにコンデンサの管継手部でガス・リークが生じた。3Pおよび4Pコンデンサは銅被覆法によるものであるが、この接合法によるエバボレータおよびコンデンサは今回の試験には全部で10ユニットあったが、ガス・リークが生じたのはそのうちの2ユニットであり、2F、3Fおよび1Pクーラーのように運転中を含めて全くガス・リークが生じていないものもあるので、本接合法に適した継手形状を検討して継手中にピン・ホールや空隙を生じないようにすれば、さらに改良された継手が得られるであろう。

6Pエバボレータおよびコンデンサは接着によるユニットであるが、ガス・リークはいずれもSK社のRY2022接着剤による接着継手にみられた。別に行なったRY2022による接着継手の耐フレオン性の予備試験は非常に良好であったにもかかわらず、この継手がしばしばガス・リークを生じたのは、後に示すように継手中に多くのボイドを含んでいたことによるものと思われる。

3.3 運転試験後の冷媒管継手の腐食状況

3.3.1 冷媒管継手の外観状況

実機試験を終了した試験クーラーからエバボレータおよびコンデンサ・ユニットを取りはずし、管継手部分を観察したが、外観状況の1例を図1に示す。

継手は油、ちりによってかなり汚れているが、圧搾空気によって接合部の汚れを落した後では、外観上、とりたてて目につくような腐食は生じておらず、この傾向は他のユニットにおいても同様であった。

3.3.2 フリー・システム・エバボレータの腐食状況

実機試験を終了した4台のフリー・システム・エバボレータからそれぞれ数個の管継手を採取し、継手の断面マクロ写真によって腐食状況を調査した。

(1) 銅被覆法によるはんだ継手について

拡管したヘヤピン管の内面およびリターン・バンド管の外面に金属銅を被覆し、Sn-Pbはんだではんだ付けした2Fおよび3Fエバボレータのはんだ継手のマクロ写真を

表3 試験を終了したエバボレータおよびコンデンサ・ユニットのフレオン・ガス・リーク試験¹⁾

機種	マーク	運転試験中の継手の補修		フレオン22ガス・リーク試験結果(ガス圧力: kg/cm^2)	
		有	無	エバボレーター	コンデンサ
フリー・システム	1 F	無	...	リークなし	...
	2 F	×	...	×	
	3 F	×	...	×	
	4 F	×	...	×	
ペア・システム	1 P	無	...	リークなし	リークなし
	2 P	有	入口管継手の漏れ修理 リターン・バンド継手の漏れ修理	×	×
	3 P	有	リターン・バンド継手の漏れ修理	×	はんだ付け継手1カ所リーク(中央部のリターン・バンド管継手)
	4 P	有	リターン・バンド継手の漏れ修理	×	はんだ付け継手1カ所リーク(入口管近傍のリターン・バンド管継手)
	5 P	無	...	×	リークなし
	6 P	有	リターン・バンド継手の漏れ修理	接合継手3カ所リーク(中央部のリターン・バンド管)	接着剤継手2カ所リーク(中央部のリターン・バンド管継手)
	7 P	無	...	リークなし	リークなし

1) 真空引きなしでポンベから直接フレオンガスを装入し、 $10\text{kg}/\text{cm}^2$ のガス圧力を保ちながらアルコール式リーク試験およびバブル試験により行なった。

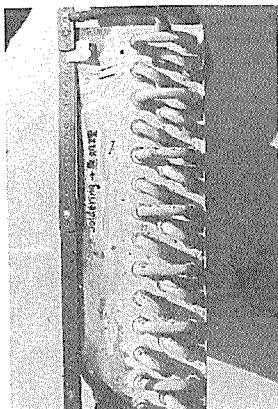
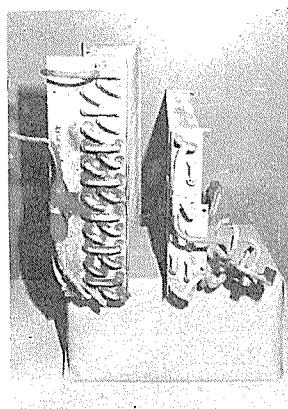


図1 実機試験後の1Pエバポレータおよびコンデンサの
冷媒管継手——銅被覆法によるはんだ付け
(2) 接着継手について

図2に示す。写真によれば、接合部外面(大気側)、内面(フレオン側)および接合境界部のいずれにおいても腐食の形跡は認められない。

(2) Al-Si ろう付けおよびZn-Cd はんだ継手について
Al-Si ろう材およびZn-Cd はんだにそれぞれ塩化物フラックスを併用して接合した4F エバポレータのろう付けおよびはんだ継手のマクロ写真を図3に示す。写真によれば、ろう付け継手は継手の内外面ともに腐食は認められないが、はんだ継手は継手外面のはんだそのものがわずかに腐食している。しかし、継手内面は腐食の形跡はみられない。

(3) 接着継手について

1F エバポレータに適用したS社のエポキシ系2214およびC社のエポキシ系AV138接着継手のマクロ写真を図4に示す。写真によれば、今回の運転時間内(4103hr)では、接着部外面のリターン・ベンド管との接着境界部にわずかにはく離現象がみられるが、接着剤そのものには腐食は認められない。

いっぽう、接着部内面では接着剤そのものおよび接着境界部のいずれにも腐食の形跡はまったく認められない。



図2 実機試験後の2Fおよび3Fエバポレータはんだ継手の
マクロ写真(x5×1/2)——銅被覆法によるはんだ付け

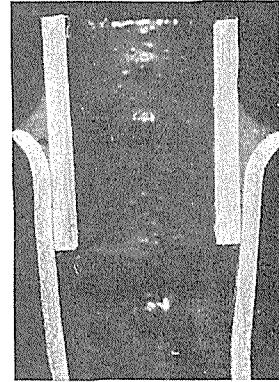
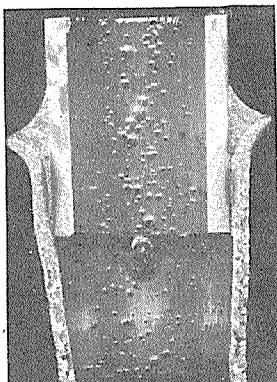


図3 実機試験後の4Fエバポレータ継手のマクロ写真
(x5×1/2)

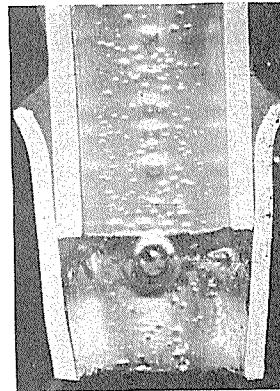
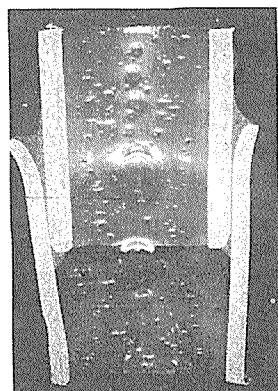


図4 実機試験後の1Fエバポレータ接着継手のマクロ写真
(x5×1/2)

3.3.3 ペア・システム・エバポレータおよびコンデンサの腐食状況

実機試験を終了した7台のペア・システム・クーラーのエバポレータおよびコンデンサからそれぞれ数個の管継手を採取し、継手の腐食状況を断面マクロ写真およびミクロ組織により調査した。

(1) 銅被覆法によるはんだ継手について

実機試験後の1P~4P クーラーのエバポレータおよびコンデンサのSn-Pb はんだ継手のマクロ写真を図5に、ミクロ組織を図6および図7にそれぞれ示す。

図5は1P エバポレータおよびコンデンサのはんだ継手のマクロ写真であるが、運転時間が前述の2F および3F エバポレータ(フリー・システム)に比べて約60%長かったにもかかわらず、継手外面および内面のいずれにも著しい腐食はみられない。

なお、エバポレータのはんだ付け部にはピンホールがいくらか内在しているが、1P クーラーは試験中にフレオン・ガス・リークがなかったことから、この程度のピンホールならば、ガス・リークに影響はないようである。

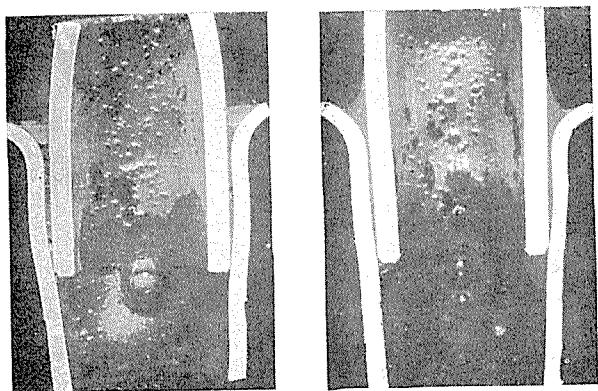


図5 実機試験後の1Pエバポレータおよびコンデンサはんだ
継手のマクロ写真 ($\times 5 \times 1/2$)
——銅被覆法によるはんだ付け

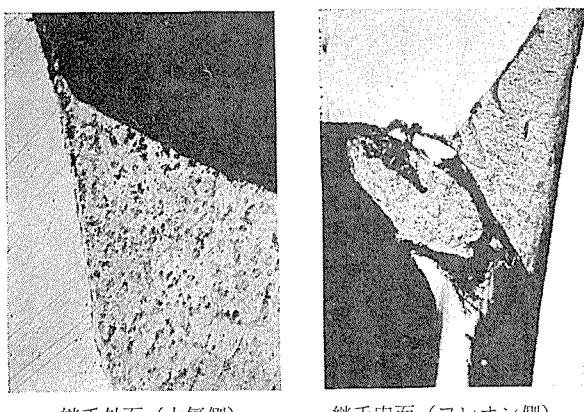


図6 実機試験後の1Pエバポレータはんだ継手のミクロ組織
——銅被覆法によるはんだ付け ($\times 100 \times 1/2$)

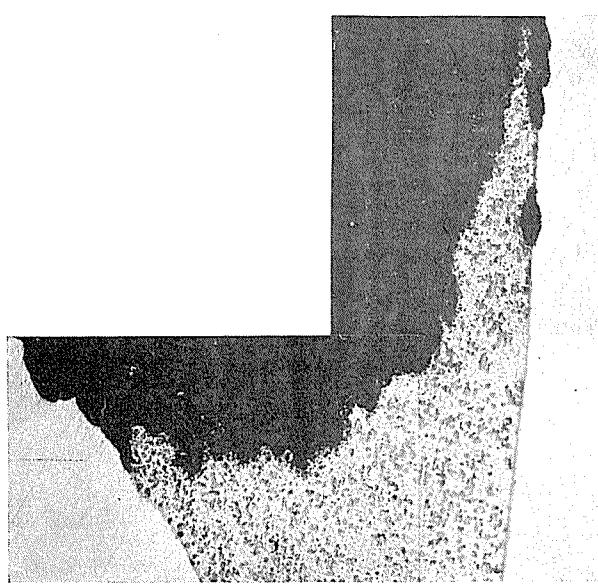


図7 実機試験後の2Pエバポレータはんだ継手のミクロ組織
——銅被覆法によるはんだ付け ($\times 100 \times 1/2$)

しかし、図6にみられるように、同じ1Pエバポレータのはんだ継手のミクロ組織によると、継手外面は銅被覆とアルミニウム母材の境界部で銅層がわずかにはく離腐食を生じ、また継手内面ははんだ付け境界部がわずかにはく離腐食を生じているようである。

図7は2Pエバポレータはんだ継手のミクロ組織である。継手外面はエデカ塗装をしていたにもかかわらず、銅被覆層が浸食され、さらにはんだそのものも腐食されている。このような腐食がみられるのは、はんだ付けに併用する松や樹脂フラックスが洗浄によって完全に除去されず、はんだ表面に残存していたため、電着塗装の際はんだ表面に塗膜が形成されなかったことによるのかも知れない。

なお、銅被覆層とSn-Pbはんだの接合は良好で、欠陥のないはんだ継手が作成されている。

また、3Pおよび4Pクーラーの各はんだ継手では前述の1Pおよび2Pクーラーと同程度の腐食がみられたが、著しい浸食腐食は認められなかった。

(2) Al-Siろう付け継手について

実機試験後の5Pエバポレータのろう付け継手のミクロ組織を図8に示す。

このユニットは組立て後、ハイナック塗装を行なったものであるが、写真によれば、継手外面でろう材そのものがわずかにピッティング腐食を生じている。しかし、継手内面および接合境界部には腐食の形跡はみられない。

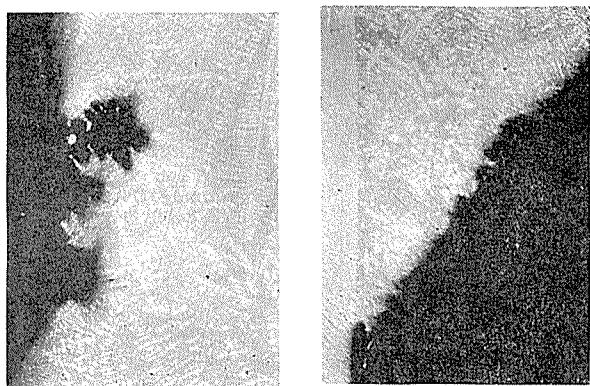


図8 実機試験後の5Pエバポレータろう付け継手のミクロ組織
——Al-12%Siろう付け ($\times 100 \times 1/2$)

(3) 接着継手について

6Pクーラーのエバポレータおよびコンデンサの管継手にT社のEE、S社の2214およびSK社のRY2022各ペースト状エポキシ接着剤を適用して作成した接着継手の実機試験後のマクロ写真およびミクロ組織を図9~13に示す。

図9はT社のEE接着剤によるエバポレータの接着継手であるが、継手の外面、内面および接着境界部のいずれも腐食の形跡はみられない。

なお、接着剤の中にみられる片状の白色のものは通常、継手のせん断強さを増すために配合されるアルミニウム・

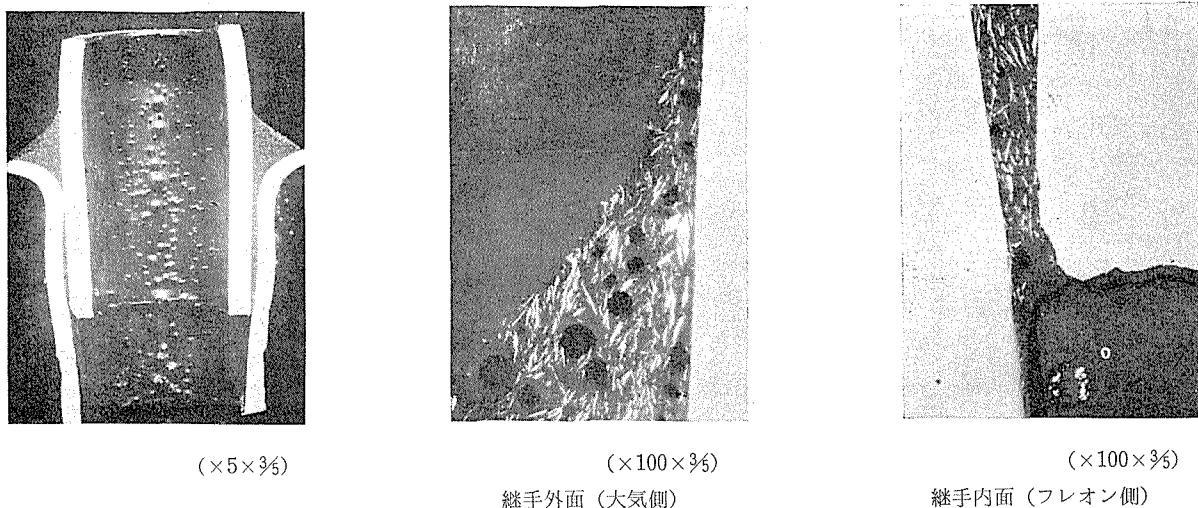


図9 実機試験後の6Pエバポレータ接着継手のマクロ写真およびミクロ組織
——T社-EE接着剤

フィラーである。

図10は同じくT社のEE接着剤によるコンデンサの接着継手であるが、写真によれば継手外面は腐食がみられないのに対し、継手内面は接着境界部がはく離現象を生じている。しかし、これがフレオン・ガスによってはく離されたのか、あるいはこの部分のフィレットが大きいことから、接着の際、はめ合せ部下部にあふれでた接着剤が垂れおちて完全に接着されずに、最初からはく離された状態になっていたのか、写真からだけでは明らかでない。

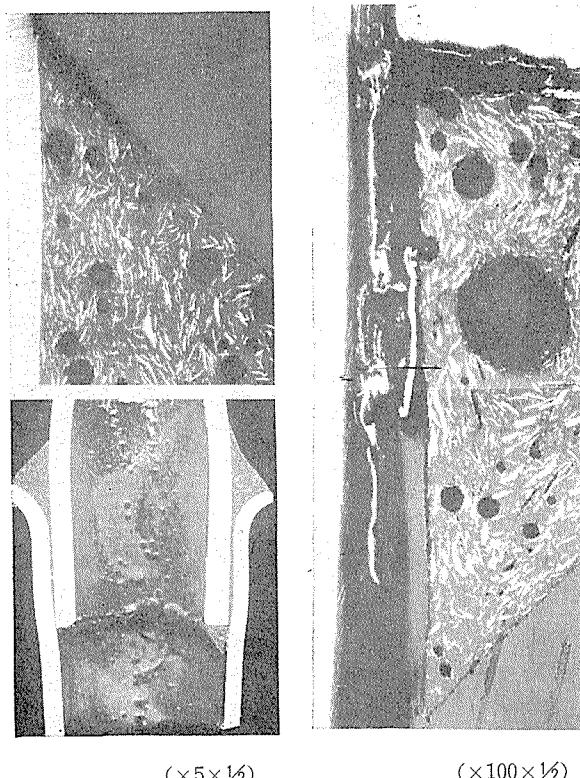


図10 実機試験後の6Pコンデンサ接着継手のマクロ写真およびミクロ組織
——T社-EE接着剤

図11はS社の2214接着剤によるコンデンサの接着継手であるが、継手外面のリターン・バンド管との接着境界部にはく離が生じている。しかし、継手内面および接着剤そのものには腐食はみられず、しかも継手には接着剤が充分に充てんされ、ボイドのない良好な継手が作成されている。

図12はSK社のRY2022接着剤によるエバポレータの接着継手であるが、写真によれば、継手外面のリターン・バンド管および継手内面のヘヤピン管との接着境界部にはく離現象が生じている。また、この接着継手はフィレット中に相当数のボイドが内在しており、前述したようにボイドの多いことがフレオン・ガス・リークを生じる一因であることが確認された。

図13は同じくSK社のRY2022接着剤によるコンデンサの接着継手であるが、エバポレータと同様のはく離現象が生じている。また、写真に示す接着継手は試験中にフレオン・ガス・リークが生じた個所をT社の常温硬化型EE接着剤によって補修した状況を示したものであるが、接着剤が異なるためかはく離部分を完全にふきぐような接着が得られていない。

(4) リン銅ろう継手について

アルミニウム・クーラーの実機試験において、比較のために実験に加えた市販のクーラー・ユニットはヘヤピン管およびリターン・バンド管とともに銅管であり、リン銅ろうによってろう付け接合されたものである。

図14は7Pクーラーのエバポレータおよびコンデンサのリン銅ろう継手のマクロ写真であるが、継手の外面、内面および接合境界部とも腐食の形跡はみられない。

3.3.4 アルミニウム管と銅管継手の腐食状況

アルミニウム製エバポレータおよびコンデンサのフレオノ・ガスの入口管、出口管部分はアルミニウム管と銅管を接合した異種金属継手であり、ゴムで覆って防食処理がなされているが、継手部分については腐食が懸念される。

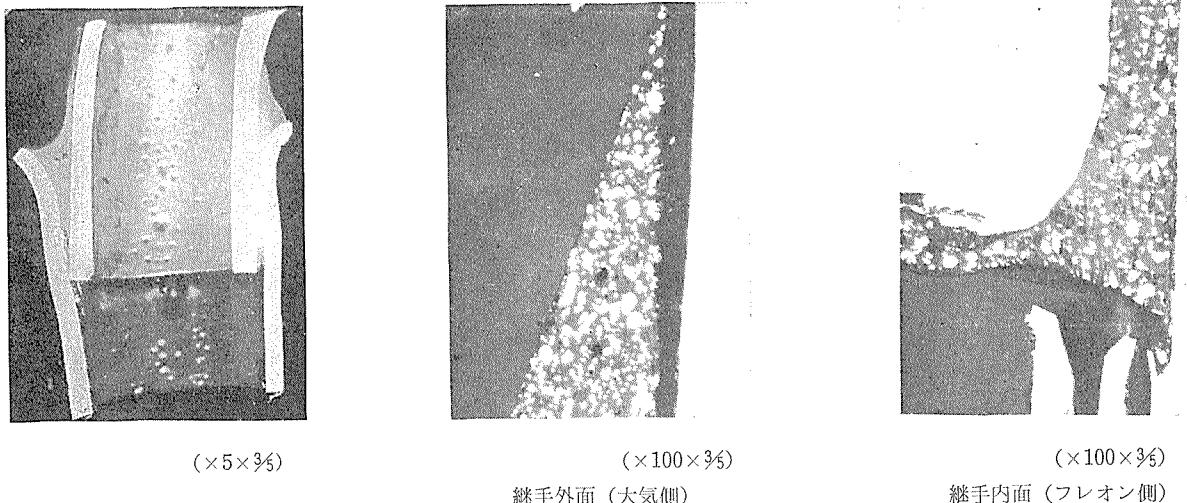


図11 実機試験後の6Pコンデンサ接着継手のマクロ写真およびミクロ組織
——S社-2214接着剤

図15は実機試験後のアルミニウム管と銅管継手の腐食状況を外観写真およびミクロ組織によって観察したものである。写真によれば、ろう材にはAl-12%Siろうが使われているが、アルミニウムと銅管のろう付け接合部にはほとんど腐食が認められない。

なお、一般にアルミニウムと銅あるいは軟鋼などの異種金属をAl-Si系ろう材でろう付けすると、脆弱な化合物層が形成され、充分な接合強度が得られないことが知られている。そこで、別に供試へヤピン管と同径のアルミニウム管および拡管した銅管をはめ合せ、フラックスを併用してAl-12%Siろう材によるろう付け継手を作成し引張試験を行なったところ、176~218kgの破断荷重でいずれもアルミニウム管で破断した。

したがって、アルミニウム管と銅管をAl-Si系ろう材でろう付けした場合の静的強度および継手の耐食性は一応良好であるといえよう。

4. 結果についての検討

以上、市販ルーム・クーラーの銅管ユニットをアルミニウムに替えて種々の接合法および表面処理法を適用し、約2年間にわたる実機試験を行なった。

実験当初においては、さらに長期間の試験が期待されたが、結果的には組立て作業の不慣れもあって一部の継手にリークが生じ、補修を行ないながら試験を続行したので、なかには、連続運転を行なうことができないものもあった。

しかし、各接合法について一応初期の目的は果し得たと思われる。

接合法については、本実験では接合を全て手作業によったので、量産性の要求されるこの種のユニットへの適合性を簡単に評価し難いが、作業性に関してはAl-Siろう付けではアルミニウム母材とろう材の融点の差が小さいために、作業温度の制御が困難であり、むしろZn-Cdはんだ

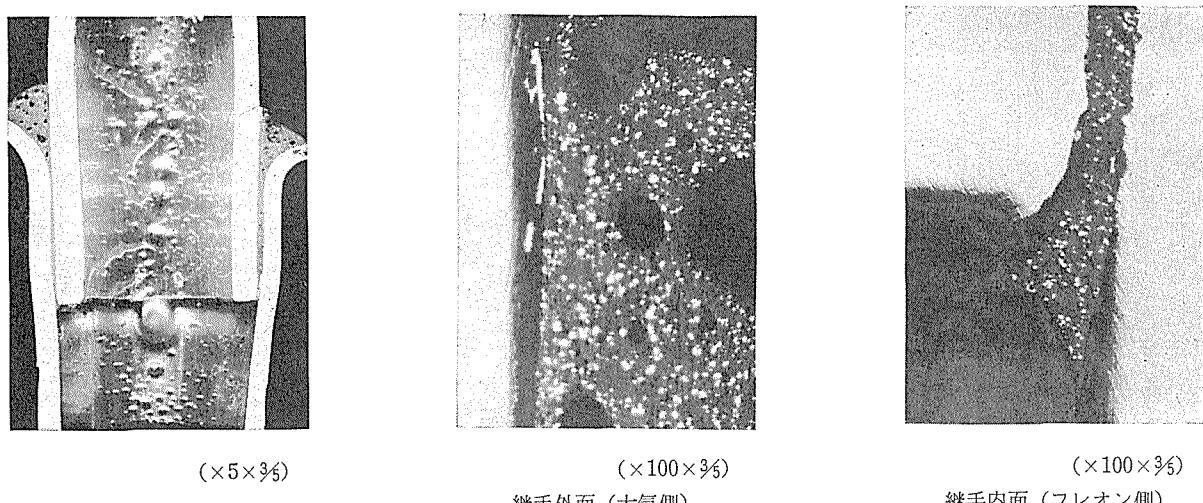


図12 実機試験後の6Pコンデンサ接着継手のマクロ写真およびミクロ組織
——SK社-RY2022接着剤

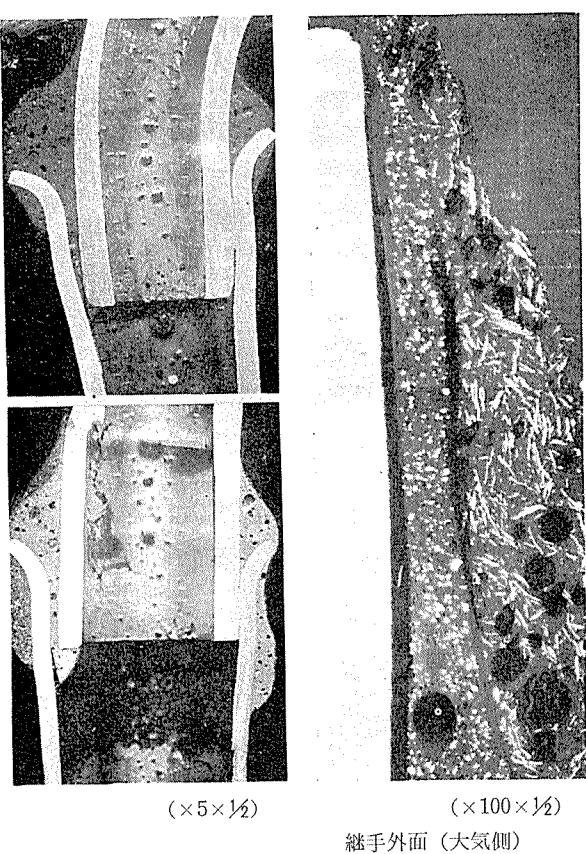
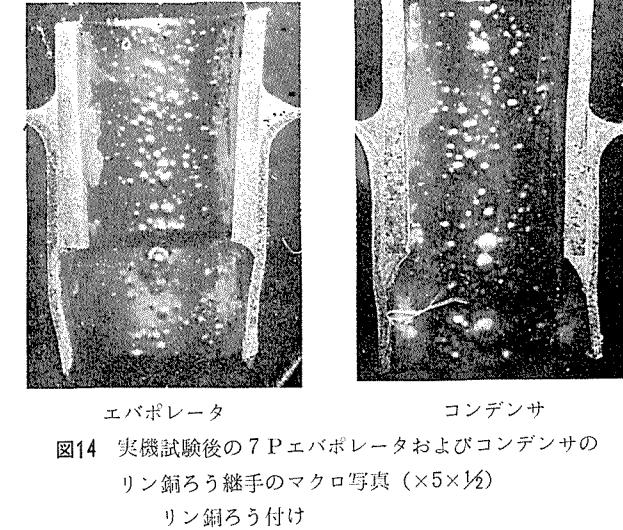


図13 実機試験後の6Pコンデンサ接着継手の補修状況

—SK社-RY2022接着剤、補修はT社-EE接着剤

の方がすぐれていた。しかし、フラックスを併用するろう付けおよびはんだ付けでは、とくに後洗浄を必要とするところからフラックスの併用に難点があるので、今後はフラックスを使用しない接合法が望まれる。この意味では、本実験の開始時点以降に実用化技術が確立された超音波はんだ付け法などが期待される。

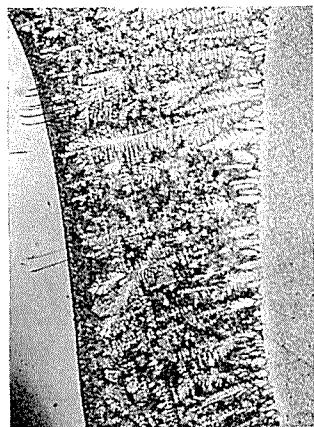
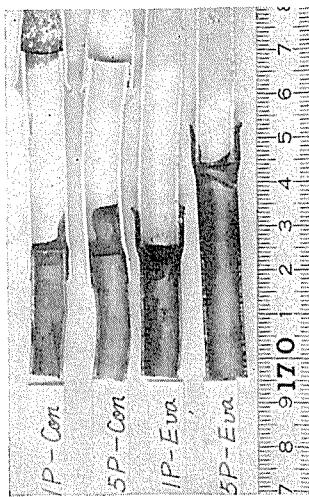
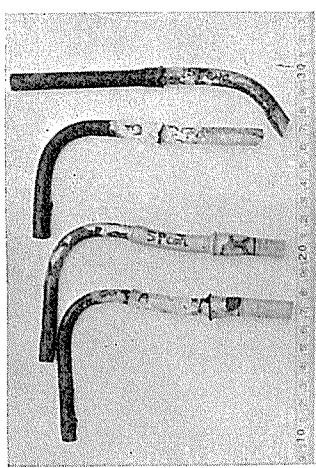
図14 実機試験後の7Pエバボレータおよびコンデンサの
リン銅ろう継手のマクロ写真 (×5×12)
リン銅ろう付け

銅被覆法によるはんだ付けでは金属銅の被覆が良好であれば比較的容易に Sn-Pb はんだ継手が得られる。

いっぽう、接着では接着剤の塗布に工数がかかり、管継手の多いこの種のユニットに関しては自動化に問題があるようと思われた。

なお、期待される接合法の如何を問わず、補修法についても信頼すべき方法の確立が必要である。ただ、この場合は補修後の冷却回路の洗浄が不可能であるため、フラックスを使用しない rub-soldering や接着などが有利であろう。

継手の耐食性については、試験当初はアルミニウム母材と組成が類似する Al-Si ろう材を用いるろう付けがもっとも有利で、Zn-Cd はんだがやや劣り、Sn-Pb はんだについてはさらに劣るであろうと予想されたが、上述のように、本実験の範囲では試験期間が比較的短かいことにもよるのであろうが、各接合法の間にとくに顕著な差はなかったといえる。とりわけ、フレオン・ガスに対しては接合法によってほとんど差がみられなかった。いっぽう、継手外



(×100×36)

図15 実機試験後のアルミニウム管と銅管ろう付け継手の外観写真およびミクロ組織 Al-12%Si ろう付け

面の耐食性については、防食処理そのものの耐食性、防食処理の各接合部への適合性、無処理のままの管継手部の耐食性などを個々に調査して判断すべきであろうが、本実験の範囲では接合法によって著しい差がなかったことは上のとおりである。

從来、とくに我が国においてはろう付け継手より信頼性が欠けているように思われるがちな高融点ないしは低融点はんだによる継手の耐食性も良好であった。本実験では、すでに米国で自動車用クーラーのユニットに10数年前より実績のある95%Zn-5%Alはんだを前述の理由により使用しなかったが、Zn-Cdはんだによる継手の結果からみて、Zn-Alはんだ継手はさらに良好な耐食性が期待されよう。事実、米国の家電空調機器メーカーで実用化されつつある超音波はんだ付け法には95%Zn-5%Alはんだが使用されている。

我が国においても、家庭用クーラーのアルミニウム・ユニットに本法の実用化が検討されつつあるが、湿度などの気候条件が米国と異なる我が国では現在のところ実用化に資するデータが欠けているので、引続いてZn基はんだによる実験を実施する予定である。

5. む す び

試作したアルミニウム製家庭用ルーム・クーラーの2年間にわたる実機試験をおこない、ヘヤピン管とリターン・ペンド管の接合方法および接合部の耐食性を検討し、次の結果を得た。

1) 接合は銅被覆法によるはんだ付け、Al-Siろう付け、Zn-Cdはんだ付けおよび接着を適用したが、いずれの接合法でも初期の目標に近い程度の継手が得られた。しかし、これらの接合法の総体的な作業性は簡単には評価しがたかった。

2) 実機試験後の継手の耐食性については、いずれの接合法による継手も著しい差はみられなかった。

3) 大気あるいは湿分雰囲気にさらされる継手外面の腐食は防食処理を施しているので厳密な比較はできないが、銅被覆法によるはんだ継手は境界部およびはんだそのものにわずかに腐食がみられたのに対し、Al-Siろう付けおよびZn-Cdはんだ継手は接合部外面のろう材あるいははんだそのものがわずかに腐食していた。また、接着継手は接着境界部がわずかにはく離現象を生じていた。

4) フレオン・ガスにさらされる継手内面の腐食は、接着継手における接着境界部がわずかにはく離現象を生じていたのみで、他の接合法においてはほとんどみられなかった。

5) 信頼できる補修法の確立が必要であるが、現時点ではフラックスを使用しないrub-solderingや接着などが適当である。

6) Zn-Cdはんだ継手の耐食性が比較的良好であったので、超音波はんだ付けによるZn-Alはんだ継手はさらに良好な耐食性が期待できると思われる。これについては、今後、超音波はんだ付けの実験を行ない確認する予定である。

最後に本実験の実施にあたり、アルミニウム・ユニットへの表面処理の実施および表面処理技術に関して有益な示唆を賜わった、当研究部鈴木研究員に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) S. Terai, Y. Sugiyama, T. Suzuki and H. Irie : U.S. Patent, 3,666,520(1972)
- 2) 寺井士郎、杉山慎彦、鈴木敏夫、入江宏：特許公告，No. 683, 824 (1973)

アルキル芳香族油の金属加工分野への応用

第1報 油の物性と潤滑特性

榎本 聰
後藤 弘
寺井 郎
斎藤 爾

住友軽金属工業株式会社

アルキル芳香族油の金属加工分野への応用*

第1報 油の物性と潤滑特性

榎本 聰** 後藤 芳弘*** 寺井 士郎**** 斎藤 菁爾*****

1. 緒 言

金属加工油とくにプレス加工油は、大別して鉛油系と動植物油系に2分される。しかし、現在ではほとんど鉛油系が使用されている。

鉛油系加工油は、鉛油を基油として油性向上剤、極圧剤などが添加されており、これらの添加剤が脱脂性、金属腐食性、安全性などでしばしば問題になることがある。加工油の基油としてパラフィン系、ナフテン系については従来から詳細に検討されてきたが、その中に含まれる芳香族成分は、油性向上剤、極圧剤などの添加剤に対して悪影響をおよぼすため好ましくないとして一般に芳香族成分の使用は極力避けられて来た¹⁾。しかし近年 Appeldoorn ら²⁾ Goldblatt³⁾ がメチル・ナフタリンのような芳香族化合物の潤滑挙動を再検討し、興味ある結果を得たが、実用的にはまだ問題がある。

我々は、アルキル芳香族油が金属加工油としての特性を持っていると考え、金属加工分野への応用を検討した。本報では、アルキル芳香族油の製造、物性および潤滑特性について述べる。

2. 性状と潤滑特性

2.1 製造および性状

呉羽化学㈱は、原油を2000°Cのスチームで高温熱分解する方法で、塩化ビニールの原料であるアセチレンやエチレン

を得る技術を開発^{4),5)}したが、その際、副生する芳香族油を原料として水素精製、アルキル化、減圧蒸留というプロセスで目的に応じたアルキル芳香族油族溜分に分ける^{6),7)} 製造プロセスの概要を図1に示す。

表1に代表的溜分の物性値を示す。また、アルキル芳香族油の赤外線吸収スペクトルの1例を図2に示す。

構造基分析による芳香族分 CA% の値および図2のIRスペクトルの1620cm⁻¹ の芳香族特有の吸収が見られるところからも、パラフィン系鉛油と明らかに異った構造をもっていることがわかる。

2.2 潤滑特性

表1に示した W1~W5 の5種について振子型摩擦試験機による摩擦係数 μ と、四球試験機による耐荷重能を測定した。その結果を表2に示す。比較のため、パラフィン系鉛油の潤滑特性をあわせて記した。

表2の結果から明らかなように、アルキル芳香族油の潤滑特性、特に耐荷重能は相当する粘度のパラフィン系鉛油のそれよりも著しくすぐれている。

これは、アルキル芳香族油がパラフィン系鉛油にくらべて金属に対する吸着能が大きいためと考えられる。

3. 絞り性能

アルキル芳香族油の潤滑特性が、パラフィン系鉛油に比べすぐれていることから、金属薄板深絞り試験機を使って

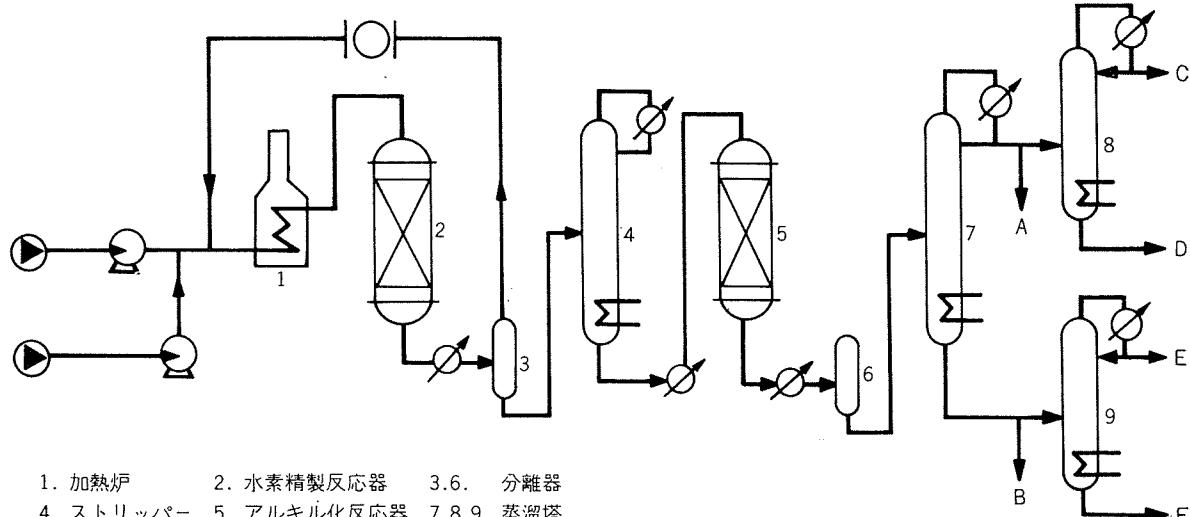


図1. アルキル芳香族油の製造プロセスフローシート

*塑性加工学会春季講演会(1973)で発表

**呉羽化学東京研究所 理学博士

***呉羽化学東京研究所

****研究部 工学博士

*****研究部

表1 アルキル芳香族油の代表的物性値

	色相 (ユニオン)	比重 d_{15}^4	屈折率 n_{25}^D	引火点 (C.O.C) °C	流动点 °C	動粘度 cst		構造基分析*	
						100°F	210°F	CA%	CP%
W-1	1-	0.955	1.550	128	-55.9	3.3	1.2	56.0	25.6
W-2	1	0.958	1.562	146	-40.0	6.5	1.6	58.6	32.8
W-3	1+	0.950	1.558	168	-30.0	20.5	2.9	53.7	41.7
W-4	2½	0.980	1.580	174	-10.0	93.0	5.5	58.9	36.1
W-5	7	0.994	1.581	194	0	230	8.0	55.1	31.6

*Hazelwood の n-d-M 法による計算値

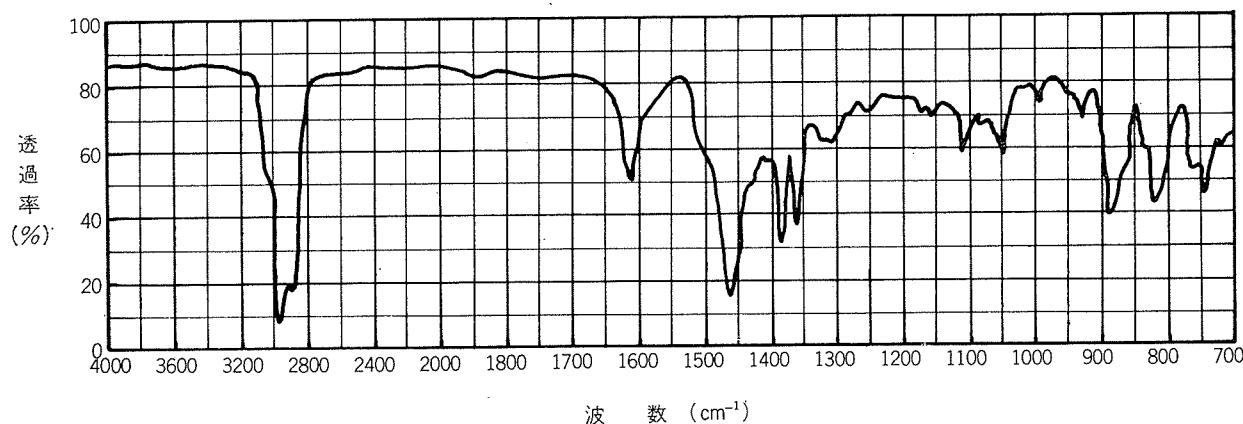


図2 アルキル芳香族油 (W-4) の IR スペクトル

表2 潤滑特性

	摩擦係数 μ (振子型, 25°C)	耐荷重能kg/cm² (曾田式, 200rpm)	相当する粘度のバラフィン系油	
			摩擦係数 μ	耐荷重能kg/cm²
W-1	0.242	10.0	—	—
W-2	0.189	11.5	0.164	3.5
W-3	0.156	15.0	0.156	4.5
W-4	0.123	13.5	0.150	4.5
W-5	0.110	8.5	—	—

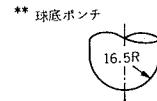
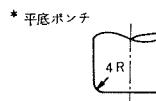
表3 アルキル芳香族油の絞り性能(限界絞り比)

オイル	ポンチ形状	アルミ板(1100-O材, 0.8%厚)		鋼板(SPC-2, 0.8%厚)
		平底*	球底**	
		—	—	
W-1	—	—	—	1.90
W-2	2.05	2.18	—	2.02
W-3	2.11	2.21	—	2.07
W-4	2.18	2.26	—	2.13
W-5	2.20	2.26	—	2.17
市販深絞り油(アルミ用)	2.18	2.23	—	—
〃(鋼用)	—	—	—	2.20

プレス加工条件: ポンチ径33%

シワ押え力(アルミ)400kg (鋼)1000kg

プレス速度(アルミ)3.0mm/min (鋼)5.0mm/min



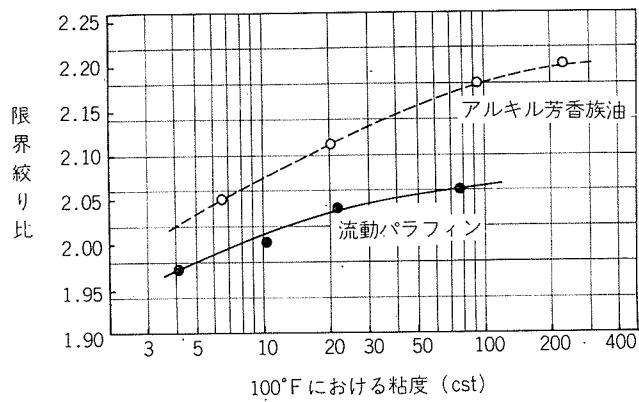


図3 アルキル芳香族油と流動パラフィンの絞り性能
絞り性能を検討した。絞り性能は、限界絞り比 (L.D.R.)
で求めた。得られた結果を表3に示す。

表3のW4, W5の絞り性能は、市販の深絞り加工油と比べてもすぐれていることが判る。アルキル芳香族油が金属に対してパラフィン系鉱油より吸着能が大きいためであると考える。これはn-セタンとセテン-1のアルミニウムに対する吸着能が著しく異なること⁸⁾によって説明できる。表3の結果でもアルキル芳香族油は特にアルミニウム板に効果が顕著であり、これは芳香環のπ-電子雲がセテン-1の二重結合と同様にアルミニウムに対して吸着能を有していることになる。

絞り性能は、吸着能と並んで粘度が大きく影響すること

はよく知られている。したがって吸着能の影響を調べるために鉱油の中でも芳香族分がなく、イオウ、窒素などの不純分がない流動パラフィンの絞り性能を求め、対応する粘度のアルキル芳香族油との比較を行なった。結果は図3に示すように明らかにアルキル芳香族油がすぐれている。

4. 結 言

原油の高温熱分解によって得られる副生芳香族油を原料として、アルキル芳香族油を製造し、潤滑特性をパラフィン系鉱油と比較すると特異な性質を示す。また絞り性能を限界絞り比 (L.D.R.) で測定すると、アルミニウム板ではなくにすぐれていることがわかった。潤滑特性および絞り性能がパラフィン系鉱油より著しくすぐれている理由については、さらに検討を必要とする。

文 献

- 1) 河合剛、近藤一義、清水勲、中村保：日本機械学会論文集, 37 (1971), 1788.
- 2) J. K. Appeldoorn, F. F. Tao : Wear, 12(1968), 117.
- 3) I. L. Goldbatt : IEC Rrod. Pes. Develop., 10(1971), 270.
- 4) 五味真平：化学と工業, 23(1970), 1424.
- 5) 五味真平：化学工学, 36(1972), 610.
- 6) S. Gomi, M. Takahashi : Bull. Jap. Petrol. Inst, 13(1971) 103.
- 7) 五味真平、高橋正明：石油学会誌, 15(1972), 636.
- 8) 村山敦男：潤滑, 14(1969), 195.

Reprinted from SUMITOMO LIGHT METAL TECHNICAL REPORTS (Title No. R-168)

アルミ建材の表面処理

——アルミサッシのアルマイト加工法について——

— 柳 昭 成* 鈴 木 敏 夫* 林 美 克*

住友軽金属工業株式会社技術研究所

アルミ建材の表面処理

—アルミサッシのアルマイト加工法について—

一 柳 昭 成* 鈴 木 敏 夫* 林 美 克*

1. はじめに

およそ3年前に米国および西欧の数カ所で建材表面処理の実状調査した際、わが国の実状を説明し彼我の比較をするために所見を求めたところ、彼らは日本のアルマイト加工法の隆盛に驚き同時にじゃっかん批判的に“You're too much familiar with anodizing.”と表明していた。

また本年3月に米国Extruders Councilの多数のメンバーが来日したが、この機会にも建材表面処理について質問したところ、米国におけるエナメル型塗料の静電塗装法や電着塗装法（いずれも下地は化成皮膜処理）の発展ぶりを説明しており、むしろ日本にこれらの処理法がきわめて少ないことに疑問を感じているようであった。この3年間

にも米国の建材表面処理法はやはり塗装品優位の傾向が変わらなかったようである。

ところで、わが国では近年ますますアルマイト加工法（アルマイトまたはアルマイトを主体とする方法）が隆盛であり、たとえば、塗装だけを主体とするものはその比率がきわめて小さい。このような実状において、なぜアルマイト加工法に偏ったか、この傾向は今後も継続するのかということを調査することはあながち無駄ではない。むしろアルマイト加工法にかかる公害対策などを考えると、わが国のアルマイト工業をより発展させるためにも是非検討しなければならないことである。

そこで、サッシを主体とした建材の表面処理法について今後の動向を推測する資料とするため、現在の問題点につ

表1 年間皮膜加工量の推移¹⁾

単位: 1000m²

年別	日用 品		産業用品・建築用品		合 計	
	硫 酸	しゅう酸	硫 酸	しゅう酸	硫 酸	しゅう酸
21年	658	145	113	35	771	180
22	2,322	153	223	38	2,548	191
23	5,872	435	372	29	6,244	464
24	6,636	618	563	71	7,199	689
25	5,407	391	369	38	5,776	429
26	5,016	523	542	23	5,558	552
27	5,103	465	309	29	5,412	494
28	6,444	521	460	30	6,904	551
29	6,441	668	457	46	6,898	714
30	5,954	1,554	587	65	6,541	1,619
31	5,939	2,450	997	118	6,936	2,568
32	5,033	2,955	1,481	228	6,514	3,183
33	5,420	3,444	1,776	236	7,196	3,710
34	5,472	3,767	2,401	483	7,873	4,250
35	5,611	3,954	3,201	889	8,812	4,853
36	8,207	4,085	4,165	1,060	12,372	5,145
37	8,077	3,623	6,609	1,662	14,686	5,288
38	8,860	3,440	8,675	1,656	17,535	5,096
39	10,374	3,492	12,235	1,298	22,609	4,790
40	9,938	3,154	13,848	1,379	23,786	4,533
41	9,435	3,530	18,182	1,776	27,617	5,306
42	9,893	2,708	24,048	2,489	33,941	5,197
43	10,629	2,151	31,674	2,984	42,303	5,135
44	11,376	2,074	44,416	3,055	55,792	5,129
45	11,541	1,887	54,274	3,174	66,815	5,031
46	10,303	1,593	56,896	3,496	67,199	5,089
47	10,234	1,747	68,110	3,009	78,344	4,756

*研究部

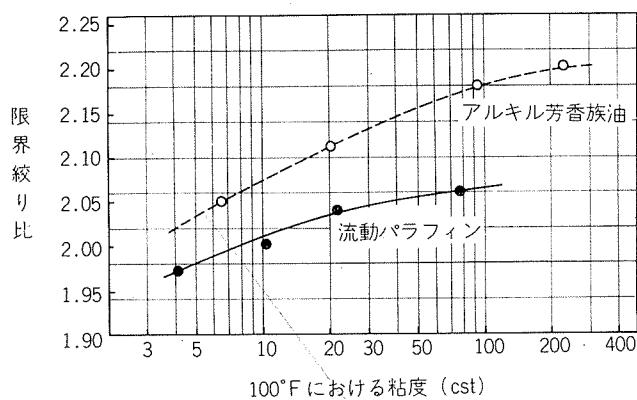


図3 アルキル芳香族油と流動パラフィンの絞り性能
絞り性能を検討した。絞り性能は、限界絞り比(L.D.R.)で求めた。得られた結果を表3に示す。

表3のW4, W5の絞り性能は、市販の深絞り加工油と比べてもすぐれていることが判る。アルキル芳香族油が金属に対してパラフィン系鉱油より吸着能が大きいためであると考える。これはn-セタンとセテン-1のアルミニウムに対する吸着能が著しく異なること⁸⁾によって説明できる。表3の結果でもアルキル芳香族油は特にアルミニウム板に効果が顕著であり、これは芳香環のπ-電子雲がセテン-1の二重結合と同様にアルミニウムに対して吸着能を有していることになる。

絞り性能は、吸着能と並んで粘度が大きく影響すること

はよく知られている。したがって吸着能の影響を調べるために鉱油の中でも芳香族分がなく、イオウ、窒素などの不純分がない流動パラフィンの絞り性能を求め、対応する粘度のアルキル芳香族油との比較を行なった。結果は図3に示すように明らかにアルキル芳香族油がすぐれている。

4. 結 言

原油の高温熱分解によって得られる副生芳香族油を原料として、アルキル芳香族油を製造し、潤滑特性をパラフィン系鉱油と比較すると特異な性質を示す。また絞り性能を限界絞り比(L.D.R.)で測定すると、アルミニウム板ではとくにすぐれていることがわかった。潤滑特性および絞り性能がパラフィン系鉱油より著しくすぐれている理由については、さらに検討を必要とする。

文 献

- 1) 河合剛、近藤一義、清水勲、中村保：日本機械学会論文集，37(1971)，1788.
- 2) J. K. Appeldoorn, F. F. Tao : Wear, 12(1968), 117.
- 3) I. L. Goldbatt : IEC Prod. Pes. Develop., 10(1971), 270.
- 4) 五味真平：化学と工業，23(1970), 1424.
- 5) 五味真平：化学工学，36(1972), 610.
- 6) S. Gomi, M. Takahashi : Bull. Jap. Petrol. Inst., 13(1971) 103.
- 7) 五味真平、高橋正明：石油学会誌，15(1972), 636.
- 8) 村山敦男：潤滑，14(1969), 195.

いて検討してみた。

2. アルマイト加工法発展の推進力

2.1 アルマイト工業の成立

本年がアルマイト発明の50周年に当たるが、最近のアルマイト加工量の推移をみると表1¹⁾のようである。この表からアルマイト業界の動向を推察してみる。

昭和38年頃から始まった本格的サッシ・ブームはアルマイト業界に多くの改革をもたらし、それまでの家庭器物中心のアルマイトから、建材の加工法に主導権が移った。この頃には専業者も建材処理に指向する限り膨大に殺到するサッシを厳格な納期内で、注文通りの仕上げを行うには、設備を大型化・自動化して省力化のために新設・改造しなければならず、中小企業ではこの負担に耐えられなくなつた。その結果、限られた企業のみが建材処理の可能な専業者に成長し、他は従来の器物加工に止まらざるを得ず、建材処理を中心に再編成されることになった。

他方建材メーカーにおいては仕上げという重要な工程を専業者に依存するには生産性と品質保証において問題があるため社内処理の方向に進むことになるが、中小アルマイトメーカーで行なっている長靴に前掛けという汚れ役の作業は労働条件の厳しい建材メーカーでは実施が困難であり、のために設備は大型化・自動化の方向に進んだ。このようにしてサッシを中心とした建材処理は膨大なサッシ・ブームに対応して装置産業としてのアルマイト工業へ脱皮していったと考えることができよう。このような状況の最終結果として表2¹⁾の中小企業の生産量に占める割合をみると興味深い。

表2 建築用品規別統計表(昭和47年度)¹⁾

生産品目	合計(A)	大企業	中小企業(B)	中小企業の占める割合B/A(%)
全生産量(ton)	350,995	336,548	14,447	4.1
サッシ(ton)	322,327	309,796	12,531	3.9
ドア(ton)	18,696	16,780	1,916	10.2
その他(ton)	9,972	9,972	—	—

ところでサッシの表面処理にアルマイト加工のみがなぜ積極的に採用されたのであろうか。確立した技術であったこと、設備メーカーとの協調があったこと、仕上り外観がアルミの素地を生かしており日本人の趣味に合っていたこと、アルマイト加工法の新しい技術開発が相ついだこと、等々が挙げられようが要は殺到する膨大な量をこなす処理技術が工業的に実施しうるものとしては他に開発されていなかったからではないだろうか。

2.2 アルマイト加工生産規模の変化

ところで設備の省力化のための傾向はどうであったか。まず設備規模であるが建材メーカーにおいては、当然のことながら採算に見合う規模を考える。これは需給のバランスを考え操業の安定化をはかることを目的としているから過剰分があればそれを外注の専業者にまかせようといった

発想で設備規模を決めたようである。そして当初はそのほどんどが150t/月あたりであった。しかしサッシの伸びはその程度をはるかに超え、直ちに新增設を必要とすることになり、同時にその規模は300t/月程度になってきた。それでもなお、サッシの伸びに追いつかず、新增設の処理能力は年々大型化していくことになり、昭和42年には500t/月ラインの出現をみており、しかもこの間に次々と新しい処理技術が取り入れられており、わが国のアルマイト加工技術を飛躍的に発展させた原動力をみることができる。この間の情勢については峯岸²⁾の図1の資料がある。

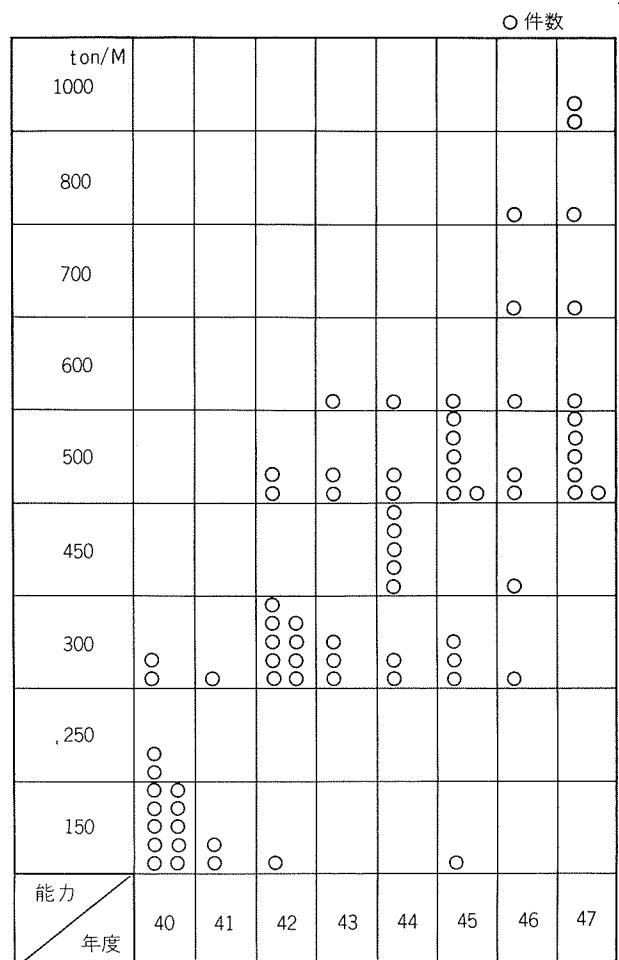
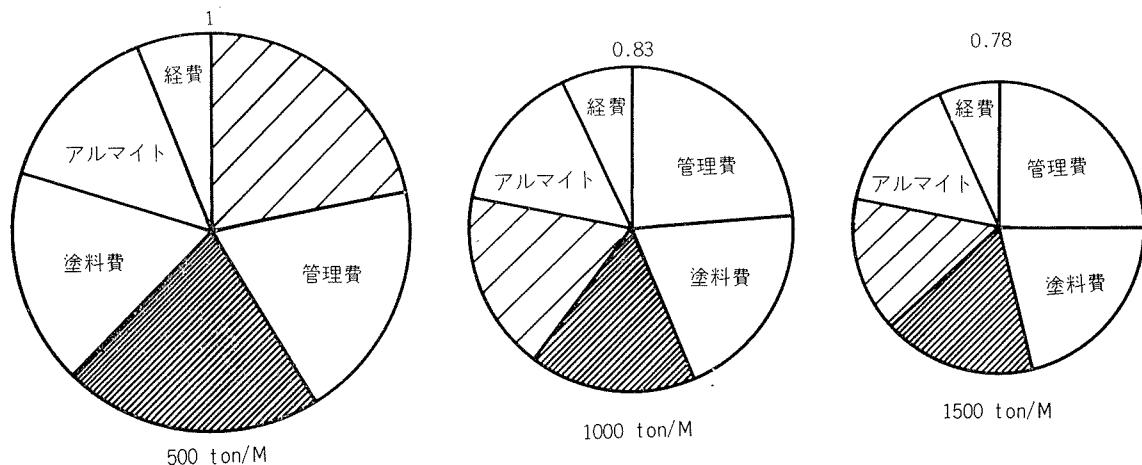


図1 大手14社年度別新設ライン能力²⁾

峯岸は500, 1000, 1500t/月の設備におけるスケールメリットの比較をしており、これらの設備規模における原価構成は当業者には興味深いものがある。コストと処理能力の関係についてはこれらの資料にゆずるとして、この間の処理技術に関する推移をみてみよう。図2は各設備規模における峯岸による原価構成比率の比較例である。

図2 処理能力別原価構成比率(製品kg当たり)²⁾

粗い斜線部：設備償却金
細い斜線部：人件費

2.3 アルマイト加工法における技術開発

処理設備の大型化・自動化による省力化の技術的開発は、たえず表面処理の分野で開発された新技术を導入していく。その代表的なものは次のようなものである。

- i) 自然発色皮膜処理法
- ii) 無機金属塩による電解着色法
- iii) アルマイト後の電着塗装法
- iv) アルマイト後のTFS 塗装法
- v) アルマイト後の浸漬塗装法、一体化処理法

このうちカラー化に寄与している技術は ii) 項の金属塩着色法（交流または直流による）が圧倒的である。その技術的内容については表3、4³⁾に示す。この方法で得られた着色は耐光性にすぐれている。これはその着色原因が安定な金属酸化物によるからであろう。皮膜中に金属酸化物が生成している状態を図3、4³⁾に示す。金属酸化物は皮膜の底部である基金属側に沈着した状態になっている。

ところでこれらの処理技術をみると興味深いことには、自然発色法は米国カイザー社のカルカラー法の国内導入に端を発していること、金属塩着色法は浅田の発明によること、電着法は化学薬品メーカーであるハニー化成がアルマイト上への応用を推進させたこと、TFS 法は東亜合成がデュ・ポンから技術導入して他業界で実績を得てからアルマイト業界に導入されたこと、などである。すなわちアルマイト業界は、浸漬塗装法以外についてはその初期開発を他にまかせて、工業化のための技術開発の段階で貢献したことである。もちろん、類似技術の開発は初期開発から応用まで各社で進められたが、その主眼は前節のスケールの設備規模における適用性においての選択であり改良であった。言い換えるとこの間の技術開発はその判断基準の根底に量産適応性が存在していたこと、さらにもうひと

つの基準が、サッシブームすなわち過当競争と読み直すとわかるように、商品イメージを変える要因となる技術であり、アルマイト加工の範囲内にあることが重要であったようである。だから、今日問題となっている公害上の観点は必らずしも重要な因子でなかったように思う。

2.4 JIS 規格の改正

アルマイト加工品の性能上の問題について重要な役割を果たしたものに JIS 規格の改正があった。

JIS A 4706—1970（鋼製およびアルミニウム合金製サッシ）は昭和45年11月に改正された。これによると、アルミサッシの表面処理について次のような改正点における特徴がある。

- i) アルミ合金製サッシ用材料を規格化した。
- ii) 陽極酸化皮膜の性能を規定し、さらに透明合成樹脂塗料の塗装を定めた。

前項については陽極酸化処理において当然のことであるが、被処理機が皮膜の性能を支配するので、性能の規定を行なう以上必要である。後者については JIS H8601—1968 の 9L2 以上または 6KL1 以上の皮膜を必要とし、さらに透明合成樹脂塗料の塗装を行なわしむるもので、明らかに性能を規定している（電着塗装には封孔を必要としない）。

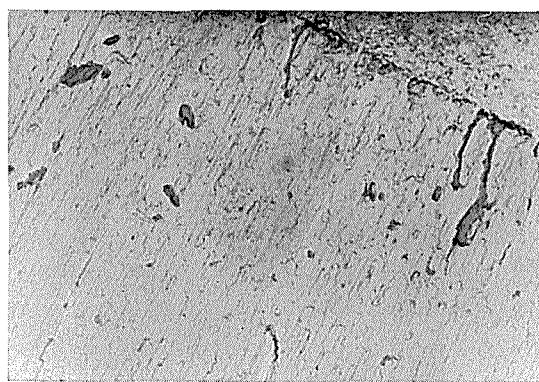
ところで JIS H8601—1968（アルミニウムおよびアルミニウム合金の陽極酸化皮膜）も昭和27年2月の制定以来の大きな改正と受け取られてきた。それは20μ, 25μという厚膜を導入したこととともにさることながら、耐食性を重視してキャス試験を追加導入したことによる。そして製品についての JIS 化のみならず加工技術についても JIS H9500—1971（アルミニウムおよびアルミニウム合金の硫酸陽極酸化処理技術基準）などを制定して、製造工程自体の技術を JIS 化している。

表3 特許から見た現行の電解着色技術³⁾

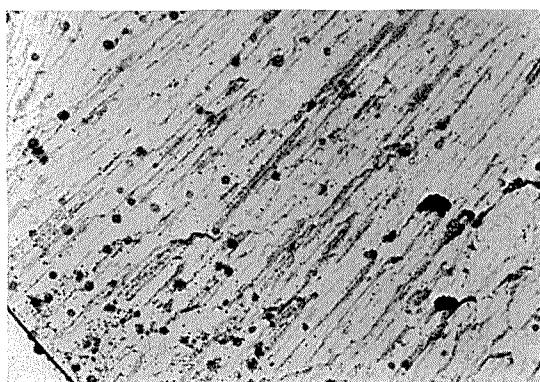
項目	着色浴の特徴
対極	添加金属イオンと同種の電極または炭素。 ニッケル塩ではニッケル極がよい。(pH変動が少なく、高電圧を負荷することができる。) 不均一な着色を避けるためにアルミニウム対極間の距離を一定にする。
電解浴組成	金属塩とはニッケル塩、コバルト塩が一般的。 添加物として多価基性芳香族スルフォン酸の亜鉛、カルシウム塩、硫酸マグネシウム、硫酸アルミニウム、硫酸アンモニウム、塩化ニッケルが使用される。 100ppmのアルミニウム、マグネシウム塩の添加により皮膜の剥離が防止される。 塩化ニッケルの添加は電解液成分の室温における析出と対極の分離を防ぐ。 亜鉛塩の添加では電流密度を高くすることができるので短時間で着色を得ることができる。
電解浴のpH	ニッケル浴では3.5~5.5が望ましい。 ニッケル浴で5~6のときにはアルミニウムイオン濃度の増加による皮膜のくもりが生じるのを避けるためアルミニウムイオンを飽和にする(過剰になったときはヒドロキシドとして沈殿する)。 亜鉛浴ではpH1.5が推められる。
電解浴の電導度	塩化ニッケル、亜鉛塩、酒石酸、酒石酸アンモニウムの添加により電導度が上がる。 鉛塩の添加は特に効果的に着色程度がアルミニウム対極の位置に依存しない。
処理時間	着色を得ようとして時間を長くすると、皮膜の局部的剥離が生じやすくなり、また口力の必要性が生じてくる。
電流密度	0.1~1.5A/dm ² が一般的である。 電流密度を一定に保つことが重要。高電流密度になると口力が必要になるかもしくは皮膜アレのために剥離が生じる。低電流密度、長時間処理でも口力の危険性が大きくなる。 着色を得るために亜鉛塩を添加して高電流密度短時間処理を行なう。
電圧	電解浴組成により異なり5~30V。
色調	ブロンズ、黒、れんが赤、青味がかった赤。
耐光性	キセノンアーク2000hr 色の変化なし(1500W)。
皮膜中の金属分布	微視孔の底部に集積。
硬度	硫酸皮膜250Kp/mm ² 有機酸皮膜350Kp/mm ² 以上(ヴィッカース値)。
耐候性	DIN17611、DIN17612に合格。

表4 欧米における現行の電解着色技術の概要³⁾

名称	電流の種類 第1段 第2段	電圧(V) 直流 交流	電流密度(A/dm ²) 直流 交流	温度(°C) 直流 交流	電解浴 第1段 第2段	色調	
Anolok	直流 交流	18 14~18	1.2~1.5 0.25	18~20 20~30	硫酸+金属塩 他の酸溶液	ブロンズ、黒	Alcan
Carmitol T70	同上 同上	18~24	5~25 1.2~1.5	— 18~20 20~25	同上 同上	黄、ローズ、ブロンズ、黒	Instituto Sperimentale dei Metalli Leggeri
Colinal 2000	同上 同上	16~20	8~18 1.2~1.8	0.1~0.5 18~20 20~30	同上 同上	2100シリーズ、ブロンズ、黒 2200シリーズ、ローズ、銅色、黒	Alusuisse
Colorax	同上 同上	16~20	5~30	1.5 0.1	同上 同上	黒ブロンズ	Firma Gartner, Gundelfingen
Eurocolor 800	同上 同上	15~20	8~24 1.5~1.8	0.2~0.8 18~22 25~35	同上 同上	ブロンズ、黒、銅色、レンガ赤、 マホガニー、青味がかった赤、藤色	Péchiney
Korundalor	同上 同上	18~21	10~25 1.3~1.5	0.5 18~22 18~22	同上 同上	ブロンズ、黒	Firma Keller, Bietigheim
Krydur	同上 同上	15~20	12~20 1.0~1.5	0.7~1.5 25~27 20	同上 同上	ブロンズ、黒	Firma Krüger, Neckarweihingen
Metacolor	同上 同上	13~16	5~30 1.0~1.6	0.1~0.8 18~24 18~24	硫酸+添加物 同上	浴タイプ1 ブロンズ、黒 浴タイプ2 ローズ~ブロンズ、銅色、黒	Firma Metall- und Oberflächemie GmbH Kierspe
Metalox	同上 同上	20~24	3~17 1.0~1.2	0.1~0.8 18~20 18~20	同上 同上	洋銀色、ブロンズ、黒	Firma Müller Eloxal GmbH, Waiblingen
Oxicolor	同上 同上	15~18	10~20 1.0~2.0	0.2~0.5 25~28 20~40	同上 同上	ブロンズ、褐色、黒	Firma Riedel & Co, Bielefeld
Variocolor	同上 同上	10~15	10~20 1.2~1.5	0.3~1.0 18~20 20~30	同上 同上	洋銀色、ブロンズ、黒	Firma Blasberg GmbH & Co. KG, Solingen



(×31500)

図3 硫酸アルマイト後無機金属塩中で交流電解した皮膜の表面側断面の電顕写真⁴⁾

(×31500)

図4 同上の基金属側断面写真⁴⁾

金属酸化物がアルマイト通電孔の底部に生成されていることがわかる

だからサッシのJIS認定工場となった建材メーカーがその部材についてもJIS部材を望むとすると、JIS認定のアルマイ特工場にて加工しなければならない。

このようにして、アルミサッシのJIS改正、陽極酸化処理に関する改正はアルマイ特業界にとって、加工品の標準化、加工技術の標準化をもたらし、また装置産業あるいは加工技術工業への転換に大きな役割を果したことは事実である。ただ現実の姿としては建材メーカーの多くが、JIS認可とJIS製品の一般市場への普及とは別としており、一般市場ではJIS規格に準ずる性能の範囲にあったようである。

3. アルマイ特加工法の範囲と限界

3.1 塗装品の出現

昭和47年度のアルミサッシの生産高統計例（軽金属ダイジェストNo.133を表5、6に示す）。これからみるとアルマイ特加工法に関する設備拡張は依然高水準にあることがわかる。しかしこのなかにはアルマイ特加工法以外の新しい処理法が含まれていることを見落してはならない。この間の事情については次のように考えることができる。

表5 47年の住宅用アルミサッシ生産高ベスト10¹⁷⁾

順位	会社名	生産高 (ton)	伸び率 (%)	シェア (%)	前年順位
1	吉田工業	46,081	146.2	20.2	1
2	不二サッシ	28,383	145.2	12.4	2
3	東洋サッシ	26,368	154.9	11.5	3
4	三協アルミ	20,169	136.3	8.8	5
5	日軽アルミ	20,052	132.2	8.8	4
6	ホクセイアルミ	12,312	117.5	5.4	6
7	日鉄カーテン	11,964	137.6	5.2	9
8	日本アルミ	11,529	132.4	5.0	8
9	アルナエ機	9,644	105.0	4.2	7
10	理研軽金属	8,854	145.3	3.9	11
10社合計		195,356	136.6	85.5	
全国合計		223,522	135.0	100.0	

表6 47年のビル用アルミサッシ生産高ベスト10¹⁷⁾

順位	会社名	生産高 (ton)	伸び率 (%)	シェア (%)	前年順位
1	不二サッシ	18,874	108.2	20.5	1
2	日軽アルミ	13,559	148.3	14.7	2
3	三協アルミ	10,123	130.0	11.0	3
4	吉田工業	7,905	410.2	8.6	10
5	日鉄カーテン	4,860	132.3	5.3	4
6	昭和ヨーニア	3,455	175.3	3.7	9
7	ダイケンサッシ	2,967	118.9	3.2	5
8	日本アルミ	2,655	109.5	2.9	6
9	日本建鉄	2,437	109.8	2.6	7
10	近畿工業	2,255	105.4	2.5	8
10社合計		69,107	134.9	74.9	
全国合計		92,264	140.9	100.0	

アルミサッシの生産量とその伸び率をみると、明らかに吉田工業の独走がみられる。生産設備規模、販売網などを考慮するとこの傾向はますます顕著になっていくと思われ

る。そこで同一素材に同一の表面処理をして同一の製品が市場で競合しているとしたら、このような傾向は今後も続くであろう。だから大手メーカーといえども独自の新製品の開発はきわめて関心が高いはずである。

ところで新製品となるには、材質、寸法、強さ、気密性、水密性などといった機能上に関する項目はさておき、当面考えられることは、新しい表面処理方法の開発が必要である。この意味での表面処理法としては従来の方法、すなわちアルマイ特加工法にとられることなく、コスト的負担が少く、カラー化の要求が満足されており、大量生産方式に適していてかつ公害上の負荷が少ないことが必要とされる。理研軽金属⁵⁾が化学処理と塗装の一体化というRIC法を開発しているが、これは以上の要求に対する1つの解決法と思われる。同法においてのカラー製品出現が待望のまとあるが、この方法は技術的省力化と公害問題の解決という点で今後の方向を示唆していることはまちがいないであろう。

ところで、このような塗装品への移行は必ず進展するものであろうか、まず塗装品における長所を考えてみよう。静電塗装を行なえば、塗料の色替えはきわめて容易であり、カラー化は満たされる。電着ならば1槽1色の制約はあるが大量生産が可能である。下地に着色成膜処理を行なえば塗装法は任意で良い。コスト的には今後の技術的改良点を待つ必要はあるがアルマイ特加工法に十分対応出来る素地を持っているように思う。

つぎに問題点であるが、まず従来の方法の評価からはじめたい。まず共通する課題として下地処理法があげられる。塗装の下地処理としてはクロメート系化成皮膜法が一般的であるが、公害問題と上塗り塗料が不透明エナメル型を必要とする点で問題である。上塗り塗料の色調に影響を与えない方法としては、クロメート・ホスフェート系、ペーマイト系などがあるが前者は公害対策上、後者は生産性の点で難点がある。着色成膜法についてもほぼ同様な制約がある。そこで塗装下地処理としてのアルマイ特皮膜の利用を考えられるが、これは塗装法との組み合せにおける作業の連続性、コストなどの観点で技術的問題点を残している。

(1) 浸漬塗装法

技術的に開発され工業化されているものにRIC法があり、他にTFS法、浸漬塗装法というアルマイ特上に塗装する方法がある。現時点でこれらの塗膜自体のカラー化はなされていないよう見うけるが、これは仕上り塗膜における膜厚の均一性、端部のタレ、タマリ(RIC法)、スケ(TFS法)がさけられないからか、または適性顔料の選択が難しいからかもしれない。しかし浸漬法は公害負荷がなく、技術的省力化が可能である点、今後の発展は期待できる。

(2) スプレー法

アルマイ特後の静電塗装以外で、エナメル型塗料の塗装

が行なわれる理由を調べてみると、異形寸法でアルマイト処理が困難である、設計者の希望にかかる外観が塗装以外にできないなどで、米国のように量産化はなされていない。その理由として塗装効率が比較的悪くコストが高い、専用工場が少ない、受け入れユーザー側の評価が定まっていないなどがあげられる。溶剤型塗料が多く大気汚染対策、臭気対策など技術上の問題もある。だから色替え可能による外観多様化との選択基準が問題であろう。

(3) 電気泳動塗装法、または電着塗装

アルミニウムに適用されている電着はアルマイト加工法としてのハニーライト法が圧倒的に多い。同法の現状をみるとつぎのような問題がある。

- i) アルマイト膜厚6～9μを下地としている。
- ii) 被塗物に付着して水洗槽に持ち出される量が多く、塗料効率が悪い。したがって廃水負荷が大きい。
- iii) 塗料単価およびii)項にかかる問題でコストが高い。
- iv) 電着塗膜厚さなどに制限がある。
- v) 塗膜自体のカラー化は工業化されていない。

いっぽう、エデカ法、エプラ法といった着色電着塗装法も一部工業化されているので、塗膜の着色、膜厚の限定などは塗料種によるものと思われる。電着塗装は他の業界では大いに採用されているが、たとえば自動車業界では塗料効率の向上と廃水負荷の減少のためにU.F.法³⁾（ウルトラフィルトレーション）が採用されて水洗水槽に持ち込まれる付着塗料を回収再使用に供している。

アルマトイ皮膜を電着の下地処理とする場合に塗料種の選択によりアルマイト皮膜厚さにかかる電着が可能になるので、最終性能の目的に合わせて全膜厚を設定すれば電着にかかるコストあるいは表面処理コストは相当低減されるものと思われる。

したがって当面の加工法としては、塗料種の改良、U.F.法のような周辺技術の開発（水洗を不要とする電着用塗料の改良も1方法であるが）により技術的省力化、公害負荷の軽減は十分に可能である。

(4) 粉体塗装法など

静電粉体塗装法、流動層法などが他産業には採用されているが、アルミニウムの加工法としてはまだ適用されていない。これは塗料種に制限があること、厚膜を得るには有効であるが薄膜化が困難でコストが高いこと、仕上り外観がアルミニウムの素地を全くいかさないことなどの技術的改良点を持っているからであろう。しかし気体媒塗料であり大気汚染が少ないと、ホーロー調外観が得られることなどの特徴があり、近い将来必ず発展していくであろう。

塗装品に関して共通していえることは、JIS認定への努力を続けること、塗装保証面を組立・取付後の有効面のみにして、施工後の埋められたり隠れたりする面まで保証するようなむだをはぶくことによりコスト低減への努力、更には塗料ビヒクルの高級化を推し進め塗装品に対するイメージアップをはかるなどして市場への普及をはかることが

必要である。塗膜の方がアルマイト皮膜よりも大気汚染や高い温度に対して抵抗性があることを考えるとその使用は将来必ず増加するであろう。

3.2 アルマイト加工法における公害防止対策

アルマイト加工にかかる生産設備は年々飛躍的に発展してきたことはさきにみたが、最近になってそれでもなお押出機能とアルマイト処理能力において後者が不足気味である状態を呈している。その理由は、まさに公害防止対策にかかる問題である。すでに公害対策の不備による工場操業があやぶまれているのが相当の規模のメーカーにも生じており、一部には工場閉鎖も起こってしまった。そこで、現実の技術をふまえ、どのような方向に公害防止対策が進んでいるのかを見てみよう。

公害防止対策で取りあげられる課題はつぎの2つである。

- i) 公害対策基本法、水質汚濁防止法、各都道府県公害防止条例などの規制値を満たす処理技術を確立すること。

ii) 地域住民の了解が得られること。

すなわち、規制値を満たすことのみならず、工場操業にかかる、振動、騒音、臭気、水質大気の汚染防止の効果を地域住民が納得してくれなくてはいけない。アルマイト加工法においては特に水質汚濁にかかる問題が主体となるが、最近では規制値がない項目、たとえば中和後の放流水に含まれる可溶性塩類の絶対値についても制約されるようになってきた。他方アルマイト加工業者の方は公害防止処理で発生するスラッジが2次公害を起こさないように処分する方法については全くの難問となってきた。

まず処理技術の推移を振り返ってみよう。

アルマイト処理で発生する廃水は酸系、アルカリ系の2種類であり、処理対象項目はpH値、S.S.(浮遊性物質)、B.O.D.(生物化学的酸素消費量)又はC.O.D(化学的酸素消費量)などである。そこで第1に実現した処理法は全廃水を混合して一括処理するというものであった。そのプロセスは中和、凝集、沈澱、固液分離から成り立っているが、この方法では処理水量が大きく設備費がかさみ、いっぽう分離したスラッジは含水率が高くてその処分がきわめて難問である。

第2の方法は酸系統、アルカリ系統の個別処理であったが、根本的解決はなされなかった。

第3の方法は規制項目で特に処理の難しいS.S.を対象にして1次水洗水と2次水洗水を別個に処理するというものであった。しかしこの場合にも不定期に放出される廃酸、廃アルカリを中和用に用いるには量的問題があり、これがスラッジの含水率を大きく変化させており、処理上の管理でうまくなかった。しかしこの間に廃酸、廃アルカリをそれ自体単独に処理する廃酸回収法、廃アルカリ回収法が開発され、組み込まれるようになった。前者については減圧蒸留法(大同化工装置)、透析法(旭硝子一日軽産業)、沈殿法(住友ケミカルエンジニアリング)などがあり、後

者についてはバイヤー法に準じた水酸化アルミの析出法などで各種の変形改良技術が加味されている。

したがって、現時点でのアルマイド処理にかかる廃水処理のモデルフローシートは図5のようになる。

しかしこのような方法においても装置上の安定性は相当に難かしく、ポンプや配管類における予備装置はあたかも二重配管のように必要になっている。ただこのように個別処理すれば、可溶性塩類が少なくなること、売却可能なスラッジなどが生成してある程度装置上の負担を軽減させうるものとなる。しかしこのフローシートの場合でも1次水洗水にかかるスラッジはその処分が問題であり万全とは言えない。

この他に電着工程にかかる廃水処理、金属塗着色法を行なった場合の重金属塩処理は全く別系統の特殊処理を必要とするため、多系列処理にかかる管理は大きな負担となってきた。

3.3 酸化皮膜の構造上の欠陥

酸化皮膜の耐食性は皮膜の性質・構造によるところが多い。それは陽極処理や封孔処理によることもさることながら、本質的に母材の組成と調質によっていることが大きい。合金の場合に添加元素の種類により、また熱処理によって生成する金属間化合物は陽極酸化処理中に酸化されたり、あるいは不活性のまま酸化皮膜中に残留したりする。酸化物となったものも一部があるいはその全部が電気化学的にあるいは電解液によって化学的に溶解することにより、皮膜の構造が不均一となることが光学顕微鏡により観察される。

固溶体となる元素にあっても、それらはそのほとんどが母材中における組成比率を酸化皮膜中に持ちこむことはなく、陽極酸化中に溶解（一部又は全部）し、皮膜の性質・構造を複雑に変化させる。

このように合金元素は必ず陽極酸化皮膜の構造と性質に影響を与えるので、これまでにもいくつかの研究がある。このうち、主として2元合金を対象に、母材の熱処理条件を変化させて種々の大きさ、形状に金属間化合物を生成させ、これらを硫酸電解液中で陽極酸化させた場合の金属間化合物の挙動を光学顕微鏡およびEPMA(Electron Probe Microanalyser)で解析したCoteら^{7,8)}の報文を参考してみたい。彼らは陽極酸化の際にマトリックス中の固溶合金元素がどの程度皮膜中に移行するかということと、母材に生成させた金属間化合物の陽極酸化処理中の反応性をみている。その結果を表7, 8にまとめてみた。

これらの結果からみると、固溶元素で皮膜中にそのまま移行するものはSiだけであり、比較的移行するものがMn, Crであり、Znは多少は皮膜中に移行する。他方Mg, Cuなどは実質上皮膜には残留しない。

金属間化合物ではMnAl₃, TiAl₃, β-AlFeSiが電解中全く不活性でそのまま皮膜中に移行するが、Mg₂Si, CrAl₇, CuAl₂, β-AlMg, T(AlZnMg)などはマトリッ

クスよりも早く酸化されたり溶解したりして皮膜中に金属間化合物としては残らない。Mg₂Siの場合にはSiのみは皮膜中に残る。

これらの結果は合金発色型の自然発色皮膜処理法においてよく知られており、その結果が利用されているが、ここで問題とすることはこの種の金属間化合物が不活性で皮膜中に残留するとすれば、その周囲の微細孔を有するセル構造は不均一に乱されるということ、また酸化されたり溶解したりすれば、酸化物／電解液界面、酸化物／金属界面は滑らかな状態を保ちえず、不規則不連続となることである。大きな金属間化合物が溶解性であれば通電と共にまずこの化合物が溶解もはじめ母材にくい込んだミクロピットをつくる。その後同ピットの側面は化合物が無くなれば酸化皮膜が生成するが、結果的にはミクロ的な凹凸を生じる。

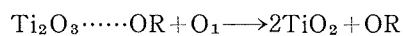
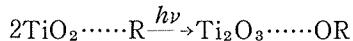
このような陽極酸化面の凹凸個所は通常の封孔処理などではなくならず、使用環境においては腐食媒を含んだ水を受け入れたり、保持したりして孔食発生個所となることが多い。アルマイド後に封孔の代わりに塗装することはこのような意味において価値があり、陽極処理で生成した微細な通電孔を樹脂でふさぐことではなく、ミクロ的な凹凸部をより滑らかにして、腐食媒の作用をふせぐことである。

なお大気暴露試験において母材の予備で化学研磨などの処理で表面を平滑にした場合とエッチング処理で荒くした場合では後者の方がピットの発生が多いことが経験上知られており、表面調整は前述と同様な効果をもたらすことを忘れてはならない。

3.4 酸化皮膜のクリヤー塗装仕上げの必要性

アルミサッシに関するJIS規格では前記の通り陽極酸化皮膜に透明樹脂塗料の塗装を規定している。その塗装の効果については前項に述べた酸化皮膜の欠陥の点からも考えられるが、さらに一般的に考察してみよう。

一般に塗膜は大気暴露によってその厚さを減じると言われている。ところでここで注意すべきことはこのようなデータが通常エナメル型塗料に関するものでクリヤー塗膜についても全く同様傾向に減少するとは考えられないからである。たとえばエナメル型塗料の場合には塗膜の劣化に添加顔料のTiO₂が作用していることをGerteisら⁹⁾は次のように考察している。



ここに、R : 酸化される有機物（塗料ビヒクル）

TiO₂ : 結晶の活性な表面座

O₁ : 活性な座から有限な距離にある酸素

h : プランク定数

ν : 光の振動数

すなわち、酸化チタンは光を受けて励起し、反応性に富んだ酸素を放出して周囲のビヒクルを酸化させたと同じ効果をもたらす。ビヒクル（塗膜形成成分）が酸化破壊され

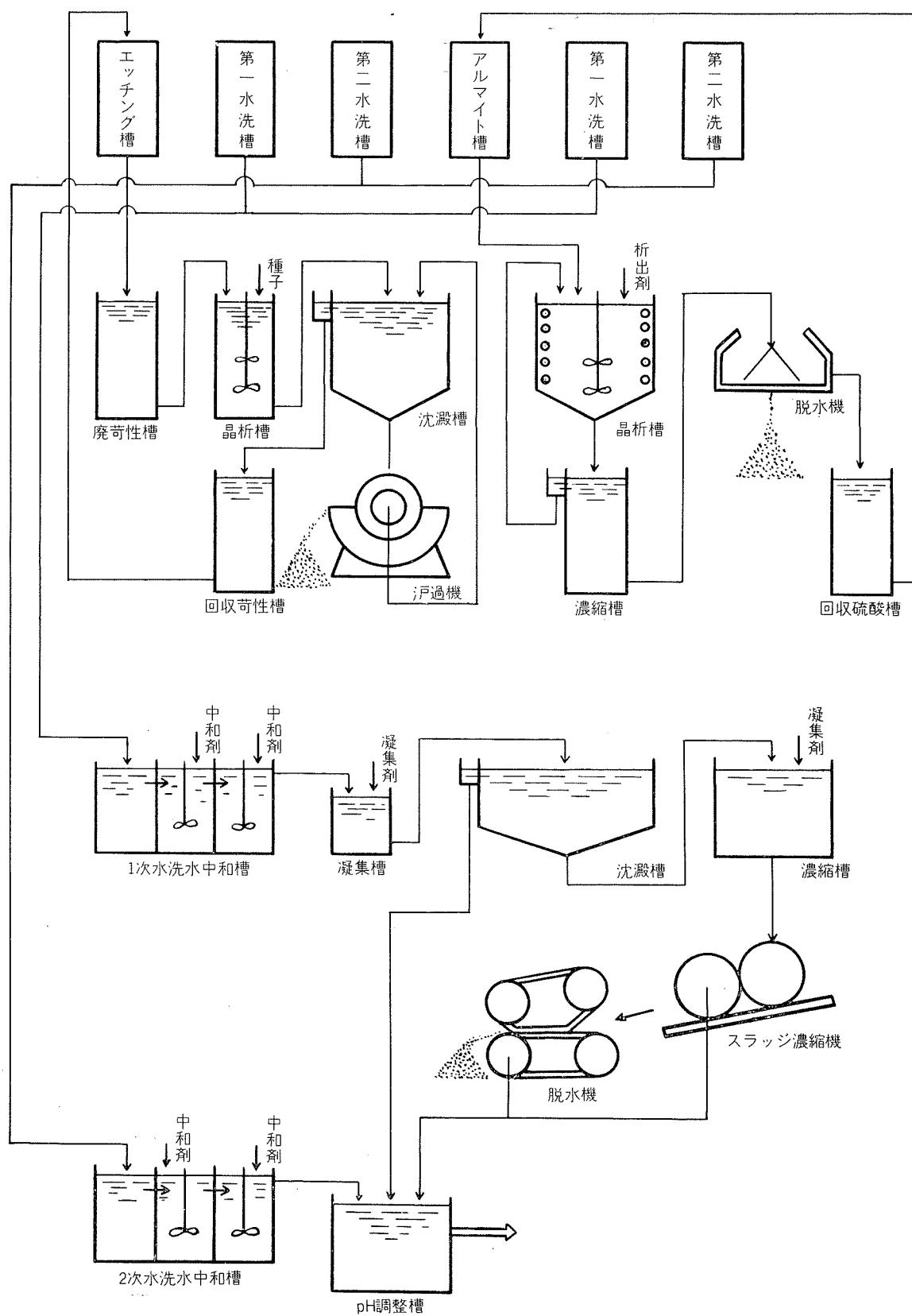


図5 アルマイト廃水処理にかかるモデルフローシート

表7 固溶元素の母材と陽極皮膜における挙動^{7),8)}

合 金	マトリックス 中の元素	マトリックス中の元素(wt%)		陽極皮膜中の元素		溶 解 性
		測 定 値	補 正 値	測定値(wt%)	酸化物/金属	
Al-3Mn	Mn	1.0		0.3	0.3/1.0=0.3	不溶(1部溶解)
	Al	99.0		33.0		
Al-5Fe	Fe	trace		trace		
	Al	99.95		34		
Al-6.4Mg-3.7Si	Mg	1.0	1.4	trace	trace/1.0=0	可溶(1部溶解)
	Si	0.2	0.7	0.2	0.2/0.2=1	不溶
	Al	98.8	97.9	31.0		
Al-2Cr	Cr	0.4		0.2	0.2/0.4=0.5	不溶(大部分不溶)
	Al	99.6		33.0		
Al-10Cu	Cu	3.0	3.0	0.2	0.2/3.0=0.07	可溶
	Al		97.0	32.0		
Al-10Mg	Mg	7.5	7.9	0.5	0.5/7.5=0.07	可溶
	Al		92.1	27		
Al-13Si	Si	0.6	1.5	0.6	0.6/0.6=1	不溶
	Al					
Al-1Ti	Ti	trace		trace		
	Al		~100			
Al-4Fe-8Si	Fe	0.1	0.1	trace	trace/0.1=0	可溶
	Si	0.5	1.5	0.5	0.5/0.5=1	不溶
	Al					
Al-9Mg-3Zn	Mg	6.3	7.3	0.6	0.6/6.3=0.10	可溶
	Zn	2.1	2.1	0.5	0.5/2.1=0.24	1部可溶
	Al		90.6	28		
Al-9Zn-3Mg	Zn	7.5	7.5	1.1	1.1/7.5=0.15	1部可溶
	Mg	1.3	1.9	trace	trace/1.3=0	可溶
	Al		90.6	30		

表8 金属間化合物の陽極酸化中の挙動^{7),8)}

合 金	相 元素	金属間化合物中の元素(wt%)			陽極皮膜中の元素(wt%)		溶 解 性
		測 定 値	補 正 値	化学量論的組成	測 定 値	補 正 値	
Al-3Mn	MnAl ₆	Mn 52.4 Al 53.6	25 73	25.4 74.6	NA NA	NA NA	不活性で皮膜に残る
Al-5Fe	FeAl ₃	Fe 36.7 Al 28.0	38.1 58	40.7 59.3	14.5 12.5	14.5 18.0	マトリックスと同じ速度で酸化され、皮膜中に残る
-Al-6.4Mg-3.7Si	Mg ₂ Si	Mg 75.8 Si 19.5	75.8 37.8	63.4 36.6	trace 23	33	マトリックスより早く酸化され部分的に溶解
Al-2Cr	CrAl ₇	Cr 21.9 Al 50.4	21.9 75	22 78	NA NA	NA NA	マトリックスより早く酸化されるか溶解される
Al-10Cu	CuAl ₂	Cu 48.5 Al 17.5	50.0 49.3	54 46	NA NA		急激に酸化と溶解をおこす
Al-10Mg	β -AlMg	Mg 29.5 Al 28.6	30.5 73.4	36.1 63.9	NA NA		マトリックスよりも早く酸化され電解液中に溶解する
Al-13Si	Si	Si ~100	~100	100	NA		酸化も溶解もしない
Al-1Ti	TiAl ₃	Ti 33 Al 35	36.5 58.6	37.2 62.8	NA NA		酸化も溶解もしない
Al-4Fe-8Si	β -AlFeSi	Fe 25.5 Si 4.2 Al 30.3	26.6 13.8 53.6	25-27 13-14 59-61	NA NA NA		不活性で皮膜中に残る
Al-9Mg-3Zn	T(AlZnMg)Mg	Zn 11.3 Al 20.0 12.7	32.0 23.0 45.0	NA NA NA			マトリックスよりも早く酸化され直ちに溶解する
Al-9Zn-3Mg	T(AlZnMg)Zn	Mg 42.5 Al 2.5 9.0	42.0 23.0 35.0	NA NA NA			マトリックス早く酸化され直ちに溶解する

NA: 検出されない

て出来る酸化生成物は水に溶解流出性があると思われる。だから TiO_2 の光学的性質は TiO_2 風料のチョーキング性と関連が深いといえる。

もちろん風料用 TiO_2 は各種のコーティング処理でこれらの現象を抑制するようにされていることは十分に考えられるが、それを完全におさえることはできないといわれている。

それでは TiO_2 を含まない塗料は劣化しないかというと、それは TiO_2 による影響がないというだけであってその他の要因による劣化は当然考えられる。とくに建材の場合には、工事中に付着するセメント・モルタルなどによるアルカリ腐食媒は塗膜に大きな影響を与えるようである。

しかし最も重要な要因として取りあげられねばならないものは近年の大気汚染によるものであろう。これについて酸化皮膜との組み合せにおける興味ある実験例を、Broockmann ら¹⁰⁾は示している。彼らは陽極処理後にクリヤ

ラッカーを塗装したものとしないものについて、亜硫酸ガスを含む恒温恒湿試験を行なっているが、その際に各試料表面上にいろいろな燃焼残査をまぶしつけている。その結果を表9に示す。

この結果について考えられることは有機バナジンを含む重油などの燃焼残査には五酸化バナジンが入っており、これや鉄の酸化物が亜硫酸ガスを無水硫酸にする触媒的作用があり、各試料は硫酸々性の局部的アタックを受けることを意味しているということである。そしてこのような場合に明らかに10ミクロン程度の塗膜でも相当の腐食防止の効果があると思われる。

わが国の場合原油が中近東産に片寄っているため、これらの原油に含まれている有機バナジンが重油などに残留して燃焼の結果、ほこりとなってばらまかれていると考えねばならない。だから陽極皮膜などに付着するほこりはできる限り取り去ないと、汚染個所にピットが発生すること

表9 アルマイト加工品に各種媒介物を付着させて Kesternick 試験をした場合の耐食性¹⁰⁾

No.	アルマイト一封孔 (20μ) 後に付着させた各種媒介物 付着量: 2g/10cm ²	濡れた亜硫酸ガスを含む露氷中に40±2°C で4日間放置した場合の腐食状況	
		塗装しないアルマイト皮膜 10~13μのクリヤーラッカーを塗装した アルマイト皮膜	10~13μのクリヤーラッカーを塗装した アルマイト皮膜
1	褐炭灰	腐食なし	腐食なし
2	ガス工場コーカス灰	同上	同上
3	鉱山コーカス灰	同上	同上
4	軽油灰 (V ₂ O ₅ を含まない)	潤り、斑点、小数のピット	同上 (クリヤーの僅かな黄変)
5	重油灰	激しく腐食	同上
6	アラブ諸国、アルジエリヤ、ア メリカからの各種原油による燃 料油灰	燃料油の出所毎に激しく腐 食	多少ともクリヤーラ ッカーの黄変
7	鉄酸化物 (赤色)	軽い腐食 (斑点)	腐食なし
8	鉄酸化物 (黄色)	ひどく腐食	同上
9	セメントと砂	腐食	同上
10	石膏	腐食	同上
11	石灰と砂	ひどく腐食	同上

になり、工場地帯の大気暴露腐食の経験とよく合致する。

また、塗膜は酸化皮膜が凝縮水（露）による腐食や室内で使用される場合の手汗に代表されるような一般的な腐食媒に対しても保護作用があると考えられるので塗膜による保護が必要なものと考える。

なお実際の製品について考えると、下地のアルマイト皮膜の厚さと塗膜の厚さの比率などは経済性なども考えて今後十分に検討しなくてはならないと思う。著者らは塗膜の通気性（または通水性）について大いに関心があり、場合によっては塗膜を通ってきた腐食媒を含む水蒸気や水がアルマイト皮膜をおかす場合において、むしろ酸化皮膜が厚い程その傾向が大きいのではないかと考えており、必要以上の酸化皮膜はむしろ無用とも考えられることを経験しているので、この点については別の機会に述べてみたい。

ただこのように場合に大切なことは塗膜はできる限り均一であり、また十分な性能を有するものであることは当然必要である。熱硬化型アクリルの電着塗膜などはその意味で大いに効果がある。

3.5 屋外暴露における酸化皮膜の耐候性

建築用品にしめるサッシの使用内訳は表10¹¹⁾の通りである。表10からわかるように木造住宅用サッシが圧倒的に多いが、その価格は各種サッシのなかで最も低い。量産によるコストダウンの効果とみることもできるが、実際は表面処理（アルマイト加工）の品質性能に比例しているのでは

ないだろうか。これらが屋外使用されるかぎり、アルマイト皮膜厚さに差がつけられるとすれば問題であろう。少くともサッシのJIS規格が尊重されるとすれば価格差の生ずることはないと思う。

ところで、屋外使用の建築用品に関してはどの程度のアルマイト皮膜厚さを必要とするであろうか、これを文献例からみてみる。

CIDA-EWAA（国際アルミニウム開発センター・欧州アルミニウム展伸材協会）の勧告¹¹⁾がISO（国際標準化機構）の勧告に採用されることが近いであろうことを期待してCIDAの一般的示唆をまず見てみると次の通りである。

皮膜厚さの等級選択に対する規定

(1) 規定の基本的方針

皮膜の厚さの分類を行なうにあたっては陽極酸化された部材の使用される環境の影響を考慮すること。

(2) 腐食因子

一般に陽極酸化されたアルミニウムにおよぼす大気の影響には3つの主要因がある；

湿気の影響；湿気が表面に作用する継続時間

大気の汚染；工場煤煙（特にSO₂）や粉塵など

塩化物含有量；海岸地区、工場排気ガス中の塩化物量

(3) 皮膜厚さの等級選択基準

皮膜厚さの等級をえらぶには次の規定が適用される；

上述の3要因のうち少なくとも2つが最高の数値を示す場合は25ミクロンが選ばれる。これは汚染された工業地域、特に特定の北部地域が典型的である。

この3要因の2つが少なくともその平均値を示す時は、15ミクロンが選ばれる。これはたとえば中央・南ヨーロッパにあたる。

3要素のうち少なくとも2つが最小の時、たとえば屋内の使用には、5ミクロンが選ばれる。

(4) 特別規定

いろいろな要因で一般的規則に従った指定が必要となり、地域ごとの実験および規定に基づいて定められる。

(5) 洗浄法

アルマイト層がしばしば雨に当って洗われたり、規則的洗浄をうけて汚れの付着がふせがれる時には、腐食要因は比較的少なく、比較的薄い皮膜の等級が選ばれる。

CIDA勧告とわが国のアルミサッシのJIS規格とを比較すると、前者の方が合理的のように思える。後者では使用環境の腐食にかかる要因を考慮せずに一律に規制している点は今後検討の余地がある。

ついに具体的な暴露結果例をみてみる。

Sautterら¹²⁾は硫酸アルマイト皮膜の5~30ミクロンのものを5および7.5年暴露した結果を表11に示している。彼らはピッティングとチョーキングに対して0.2~2点までの点数を与えてそれぞれの程度を0（腐食なし）~5（極めて強い）の6段階に分けこれを加重係数として総点数を出してそれを腐食数と名づけた。腐食数は表面裏面の合計

表10 建築用品の生産量と製品屯当り価格¹¹⁾

サッシ使用分野	生産量 (ton)	製品屯当り価格(千円)	
		S46年	S47年
木造住宅	230,014	701	650
ビル規格	40,978	954	853
住共公宅規格	8,194	801	772
オーダーメード	43,141	1,256	1,186
計	322,327	811	753

表11 屋外暴露後の腐食数と陽極酸化皮膜厚の関係¹²⁾

陽極酸化皮膜厚 (μm)	海洋地区 5年間		重工業地区 7年間	
	Al-0.7%Mg- 0.5%Si合金	Al-3%Mg 合 金	Al-0.7%Mg- 0.5%Si合金	Al-3%Mg 合 金
5	6.6	7.1	5.0	6.2
10	3.4	3.9	2.0	3.4
15	1.3	2.7	0.9	1.8
20	0.9	2.0	0.7	1.1

である。一般に腐食数3以上は耐候性不十分と考えており、この表の結果では最低膜厚20ミクロンを必要とすることになる。

同じく Sautter らによる20ミクロンアルマイト皮膜厚さの4年間暴露における電解条件と封孔条件の影響を調べた結果を表12に示す。これによると硫酸アルマイト皮膜は電解液温度が25°Cで生成させられると海洋地区、苛酷な工業地帯では腐食が激しいこと、市水による封孔は不十分であることがわかる。なお自然発色の Veroxal 法の皮膜は封孔に関係なく海洋地区でも腐食が少ないことがわかる。

表12 屋外暴露後の腐食数と陽極酸化処理条件、封孔条件の関係¹²⁾

陽極酸化処理方法	封孔条件	弱工業地区	海洋地区	重工業地区
硫酸20°C 20 μm	蒸気100°C 50min	1.0	1.1	4.0
	市水100°C 50min	1.4	1.2	3.3
	ニッケル塩100°C50min	1.2	1.4	3.2
	脱イオン水100°C50min	1.1	1.3	3.2
硫酸25°C 20 μm	蒸気100°C 50min	1.0	1.6	7.7
	市水100°C 50min	1.6	3.3	9.7
	ニッケル塩100°C50min	1.0	1.4	7.2
	脱イオン水100°C50min	1.0	1.7	5.1
硫酸-亜硫酸25°C 20 μm	蒸気100°C 50min	0.9	1.6	4.2
	市水100°C 50min	1.1	1.5	5.2
	ニッケル塩100°C50min	1.0	1.3	6.8
	脱イオン水100°C50min	0.8	1.3	5.3
Veroxal 25°C 20 μm	蒸気100°C 50min	0.5	0.2	2.5
	市水100°C 50min	1.1	0.3	3.2
	ニッケル塩100°C50min	0.7	0.2	3.3
	脱イオン水100°C50min	0.5	0.2	2.9

Siebel は西独の7カ所で各種の表面処理したものと材質間の差異を10年間の暴露で比較している¹³⁾。表13、14にその外観調査結果を示すが、評価は0(腐食なし)~5(激しい腐食)までの6段階の点数表示で全ての試料について平均値を算出した結果である。この結果からみるとアルマイト皮膜があっても無くとも裏面側(南面45°の暴露)の腐食が激しいことがわかる。またアルマイトの6ミクロンが実質的な防食効果がないことは注意すべきである。

表13 10年間屋外暴露後のアルミニウム表面の腐食状態¹³⁾

表面処理	表面外観 ⁽¹⁾		最大孔食深さ (mm)
	表	裏	
Eloxal 15 μm ⁽²⁾	1.1	2.0	0.10
Eloxal 6 μm	2.2	2.7	0.14
ペーマイト 1 ⁽³⁾	2.0	2.8	0.15
ペーマイト 3 ⁽⁴⁾	2.3	3.6	0.16
カセイ洗い	2.5	3.6	0.17
圧延のまま	2.3	3.6	0.15

表14 各種材質の10年間屋外暴露後の腐食状態¹³⁾

A.A.相当 材	表面外観 ⁽¹⁾		最大孔食深さ (mm)
	表	裏	
1100	2.3	3.2	0.15
1050	2.0	3.0	0.16
1080	2.0	3.0	0.15
3003	2.1	3.1	0.16
5005	2.1	3.2	0.15
5182	2.0	3.1	0.13
6031	2.3	3.2	0.14
2017	2.7	3.7	0.07

(1) 上図、下図ともに全試料についての平均値

(2) 27wt%H₂SO₄ 18~20°C 13V 1.5 A/dm² 蒸気封孔

(3) 蒸留水 3hr boiling

(4) アンモニア水 20hr boiling

英國における苛酷な工業地区での一連の材質と各種皮膜厚さの試験結果については、Kape ら^{14),15)}の報告がある。彼らは5年目において各材質と必要膜厚の関係を表15のように示しているが、10年後における評価ではピット発生は

表15 5年間屋外暴露後の防食に必要な最低陽極酸化皮膜厚¹⁵⁾

A.A.相当 材	防食膜厚(μm)
1080	20.0
1050	18.8
1100	29.0
5052	20.3
6061	>23.0
6063	21.3

多少とも避けられないものとしている¹⁶⁾。一連の試験における外観変化をまとめてみると表16のようになる。なお裏面の腐食が表面よりひどいこと、蒸溜水による6カ月毎の周期的洗浄では明らかな効果がないことなどは注目すべきことである。

以上の屋外暴露試験の結果からいえることはアルマイト皮膜の単独処理では工業地域での使用で腐食が避けられないということである。

表16 1年間、5年間、10年間屋外暴露後の表面外観¹⁶⁾

A.A.相当 材質	陽極酸化皮膜厚 ⁽¹⁾ (μm)	1年	5年	10年
1080	30.0	腐食なし	腐食なし	光沢あり、ピット13ヶ
1050	31.3	腐食なし	腐食なし	かなり光沢あり、ピット16ヶ
1100	29.0	腐食なし	事實上腐食なし	かなり光沢、ピット8ヶ
5052	31.0	腐食なし	腐食なし	かなり光沢、ピット5ヶ
6031	25.9	—	大きなピット数ヶ表面清浄 盤底部は剥落	大きなピット(120)周辺部攻撃
6063	26.7	腐食なし	腐食なし	4ピット、内面 に多い

(1) 陽極酸化条件 10%H₂SO₄ 18~20°C

封孔条件 沸騰水 (pH5.5~6.0) 30min

4. あとがき

建材(サッシ)の表面処理がアルマイト加工法に偏った経過を振り返ると、膨大なサッシの伸びが推進力をなしていたことがよくわかる。しかし酸化皮膜は多かれ少なかれ構造上欠陥を有しており、それ単独で防食効果を期待することはできないと思う。したがってアルマイト加工法として、アルマイト+塗装という組み合せが必要になるが、その場合にカラー化を酸化皮膜で行なうか、塗膜で行なうかが当面検討されるべき問題となろう。

塗装品を指向する場合に、生産性、コスト、外観などは比較的容易に検討されると思うが、問題は塗料ビヒクル自体の改良ではないだろうか。それは塗膜性能の向上ということもさることながら、たとえば電着塗装において水洗処理を不要とするとか、U.F.法が適用されうるといった公害防止対策がなされることを必要とする。

建材の隆盛に寄与したアルマイト加工法の技術確立は、まさにその当事者に敬意を表するところであるが、同時に今後の方針のために、この機会に心静かに反省し再検討したいと思う。

文 献

- 1) 軽金属製品協会 昭和47年軽金属製品生産統計、昭和48年2月
- 2) 峯岸正俊：Al・ある・1972-12, 22
- 3) Leopold Bosdorf : Jahrbuch Oberflächentechnik 28 (1972), 202
- 4) 広沢栄一：未公表
- 5) 高橋俊郎：Al・ある・1971-6, 92
- 6) 加藤雅彦：塗装技術1971-8, 339
- 7) J. Cote, E. E. Howlett, M. J. Wheeler, H. J. Lamb : Plating 56(1969), 386
- 8) J. Cote, E. E. Howlett, H. J. Lamb ; Plating 57(1970), 484
- 9) R. L. Gerteis, A. C. Elm ; J. Paint Technology 43 No555(1971), 106
- 10) K. Broockmann, A. Schimmer ; ALUMINIUM 43(1967), 101
- 11) CIDA-EWAA ; ALUMINIUM 42(1966), 165
- 12) W. Sautter, F. E. Faller ; Werk. u Korr. 23(1972), 636
- 13) G. Siebel ; ALUMINIUM 45(1969), 221
- 14) J. M. Kape, J. A. Whittaker ; Trans. Inst. Metal Finishing 38(1961), 66
- 15) J. M. Kape, J. A. Whittaker ; ibid, 43(1965), 106
- 16) E. A. G. Liddiard, G. Sanderson, J. E. Penn ; ibid, 49 (1971), 200

R169

Reprinted from SUMITOMO LIGHT METAL TECHNICAL REPORTS

Vol. 14 No. 3 July 1973

スポットテストによるアルミニウム 合金の簡易判別法

一 柳 昭 成
高 島 章

住友軽金属工業株式会社

スポットテストによるアルミニウム合金の簡易判別法

一 柳 昭 成* 高 島 章*

1. 緒 言

アルミニウム合金材料の異材混入は、製造者だけではなく、使用者においてもしばしば発生し、対策にかなりの工数を費すことがある。特に使用者側で起こるケースは、板、管、棒、押出形材などの素材を用いて加工品を作る過程で異材混入を起こしたり、完成品で混じつてしまったりすることが多いため、判別するための試料採取さえ不可能になり、たとえ工数をかけても解決できるという性質のものではない。アルミニウム合金は素材のままでは色調が同じであり、外観により区別がつけにくい。それがかえって異材混入の発生をみるとかもしれない。しかし製品に対する管理方式が近代化されて異材混入などは起こりそうにも思えないし、また種々の分析機器が発達した今日、古典的ともいえる材料判別法などは不必要と思えるにもかかわらず、我々が数年前に開発したアルミニウム合金簡易判別法がかなり役だっていることを知り、ここにアルミニウム合金の簡易判別法について紹介することにした。

2. 簡易判別法のねらい

アルミニウム合金の簡易判別法としては、すでに試薬を用いる方法として二、三公表されている^{1),2)}。いずれも判別しようとする材料の表面あるいは他の一部を削りとって特定の溶液と反応させ、反応途中または反応終了後における溶液、試料の色彩の変化によって判別する方法であるが、数種類の試薬を用いたり、あるいは特別な器具を必要とするため操作に工数がかかる。それに試料を削りとらねばならないのは、すでに製作された完成品などには適用できない。

いっぽう、このような試薬を用いずに合金固有の物理的性質を利用して、試料として切りとることなく判別する方法もある。電磁誘導法によって電気伝導率を測定する方法で、電気伝導率は合金材料の状態や化学組成によって変る物理量の一種であるからこれを測定することにより材質の判別が可能になる。表1に示したのは代表的アルミニウム合金の電気伝導率とブリネル硬さ、ピッカース硬さの関係を示すもので、たとえば5056-0(電気伝導率 IACS 29%)と6061-T6(電気伝導率 IACS 43%)が混じった場合はその差が14%もあるので判別は容易にできる。この電磁誘導法による判別は迅速かつ正確にできるが、反面、被判別材料の形状により測定が困難となる場合がある。それは細線とか凸面凹面を有する形材、肉厚1mm以下の薄板などである。この装置の接触子の直径が10mmでかつ接触面

が平滑であるため、もし測定面がある大きさの曲率を持っていると、接触子と完全な密着がなく、測定誤差が大きくなつて信頼できる値が得られない。また、たとえば2117-T4(40%)と6061-T4(40%)のように材質がまったく異なる場合でも電気伝導率が同じであれば電磁誘導法による判別是不可能である。このように電磁誘導法によって材質をよりわかる手段は、合金の化学組成のほかに質別(0, T4, T6など)があらかじめあきらかにされていて、材料の測定面が少なくとも接触子の接触面積以上の平滑面を有し、肉厚が1mm以上でなければ実用上問題があり、一つの制約が生ずる。これらに加えて、現在のところこの電磁誘導法による測定装置が高価であるため、単に異材混入をよりわかる手段だけのために常設するには抵抗がある。

そのほか、現在の分析技術の進歩によれば、当然簡単に迅速な判別方法が考えられる。たとえばX線分析であり、それを現場分析用に簡易化した放射線源を用いる装置も開発されている。しかし、これとても装置は高価であり、本報の主旨に沿わない。また、たとえ装置が高価であるという欠点を無視したとしても、対象物の形状や寸法に限定されるといった悩みがのこる。

本簡易判別法は、以上のような判別法に代り、簡単でかつ迅速なスポットテストによる検知方法であり、異材混入の発生した場所で検査ができ、寸法、形状に限定されずに、だれにでもやさしく判別でき費用も少なくてすみ、その上大きな特徴として、製品を損傷することなく判別できる方法である。なお、このような主旨に沿う方法としてはマグネシウムの判別法³⁾があり、この考え方を参考とした。

3. 判別液の種類と特徴

アルミニウム合金中に含まれる元素の種類に応じてNo.1～No.3の3種類の判別液を調合した。このうち、No.1とNo.2は弱アルカリ溶液、No.3は弱酸性溶液である。これらの溶液は、合金成分を均一に溶解し、反応が終了すると同時に判別液中に含まれる特別な試薬により溶解した特定元素が、還元されて着色したり、染色されたりして検出面に色がつき、その色彩の違いにより判別する方法である。

3.1 No.1 判別液

このNo.1判別液はA液とB液とからなり、使用する直前に両液を混合して用いる。この判別液の特徴はアルミニウム合金中にマンガンが存在すると茶黄色を呈するので、マンガンを含む合金、たとえば3003と他の合金が混じったときに用いると便利である。反応途中で一旦MnO₄⁻の赤色を示すが、反応終了後ではこれが還元されて茶黄色になる。

*研究部

表4 アルミニウム合金棒材にNo.1～No.3の判別液を適用した場合の発色状況。

合金系	合 金 名	判別液		No.1		No.2		No.3	
		O	T6	O	T6	O	T6	O	T6
1xxx	1100		—		—	—	—	—	—
2xxx	2011							—	—
	2014					—	—	上と同じ	上と同じ
	2017					—	—	上と同じ	上と同じ
	2024					—	—	上と同じ	上と同じ
3xxx	3003		—		—	—	—	—	—
5xxx	5052		—		—	—	—	—	—
	5056		—		—	—	—	—	—
6xxx	6061							—	—
	6063				—	—	—	—	—
7xxx	7075								

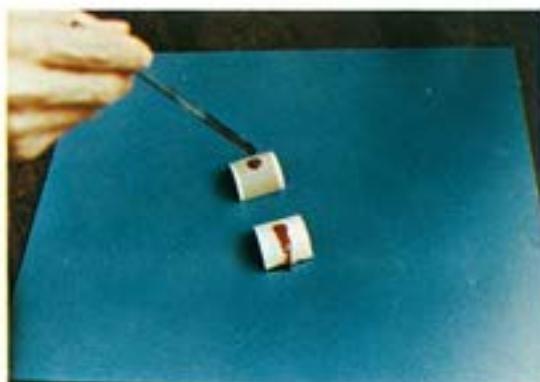


図1 曲面を有するサンプルの判別液滴下方法

上：ガムテープ使用

下：ガムテープ使用せず。このため液が流れで反応面積を広くし具合が悪い例である。

表1 代表的アルミニウム合金の電気伝導率と硬さの関係

導電率 (%)	合金質別	硬さ		導電率 (%)	合金質別	硬さ		導電率 (%)	合金質別	硬さ	
		ブリネル (10/500)	ビッカース (5kg)			ブリネル (10/500)	ビッカース (5kg)			ブリネル (10/500)	ビッカース (5kg)
27	5056-H38	100	111	35	5252	68~75	76~83	42	6151-T4	—	—
	5056-O	65	73	37	6066-T6	120	136	43	6061-T6	95	108
29	5083-O	—	—	38	2024-T6	—	—	44	2219-O 6070-T6 6262-T9	—	—
	5456-O	—	—	39	2311-T3	95	108	45	2011-T8 6053-O 6151-T6	100	111
30	2024-T4 2219-T81	129	136					47	6061-O	30	—
31	7178-T6	155	179		2118-T61 2025-T6	120	136		2014-O 2017-O 2024-O	45	48
	5154	—	—		2117-T4 2218-T72	70	78		3003-H18 6053-T4 6061-T4	45	48
32	5254	—	—		3003-H18	95	108		3003-O 5050	47	50
	7079-T6	145	167		6066-O	55	60		6063-T1 6463-T1	36~63	70
33	7075-T6	150	174		3003-H14	46	43		42	42	45
	2014-T4 2017-T4 5454-O 5454-H38	105 105 62 80	118 118 68 90		3003-H12 3004 4043-O 6053-T6	35 45~77 — —	48~86		52	5005	28~51
34	4032-T6 5052	120 47~77	136 50~85							55	62
35											E.C.
											1060-O
											19

*1, 2*A.A. Aluminum standards and data (1972~1973) *3換算値 (ASTMによる)

3.2 No.2 判別液

この判別液はマグネシウムの検知に極めて有効で、マグネシウムが存在すると紅色を呈する。(マンガンが存在すると、極めて淡いけれども紅色となるから要注意) この反応は、アルカリによって基質が溶解したとき、 $Mg(OH)_2$ が試料の反応面に付着し、これが着色物を吸収する結果、紅色を呈するものである。

3.3 No.3 判別液

この液は、判別しようとするアルミニウム合金材料に亜鉛が多く存在すると黒変する特徴を持つ。溶液中に含まれる Cd^{2+} が還元されて析出するためである。

3.4 能力の限界

以上の3種類の簡易判別液は、アルミニウム合金の異材混入に対して、簡単かつ迅速に判別することが可能であるが、どのような材料の混入も判別できるわけではない。操作が簡単である反面、同系列合金間の異材混入をよりわけることはほとんど不可能である。たとえば $2 \times \times \times$ シリーズ合金の中で、2017 (Al-4% Cu-0.7% Mn-0.6% Mg) と 2024 (Al-4.4% Cu-0.6% Mn-1.5% Mg) では、銅、マンガンがともにはほぼ同量含まれているため、マグネシウム量に約0.9%の差があるものの、銅の含有量が多いことによりNo.1～No.3のどの判別液を使用しても検出面が黒色となり判別は不可能である。マグネシウムの差は求めようとすれば、それはもはや定量分析の範囲に入り、簡易判別の枠から外れる。これらのことは、他の $1 \times \times \times$ 、 $3 \times \times \times$ 、 $4 \times \times \times \dots$ の各シリーズについてもいえることであって、簡易判別法の能力限界でもある。同シリーズ合金内でも確実に判別できる方法については今後の研究成果を期待するとして、いちおう本判別液にも判別能力に限界があると云うことをあらかじめことわっておく。

表2に示したのは、各合金系列間で材料が混じったときに使用に適した判別液の種別である。この表は、たとえば $1 \times \times \times$ と $5 \times \times \times$ の合金が混じった場合は、No.2の判別液が適当であり、 $3 \times \times \times$ と $7 \times \times \times$ の合金が混じった

表2 合金系と判別液の使い分け

合金系	7×××	6×××	5×××	4×××	3×××	2×××
1×××	No. 1 No. 2 No. 3	No. 2	No. 2	No. 3	No. 1	No. 1 No. 2
2×××	No. 3	No. 2	No. 2	No. 1 No. 2	No. 1	
3×××	No. 1 No. 2 No. 3	No. 2	No. 2	No. 1		
4×××	No. 2	No. 2	No. 1			
5×××	No. 1 No. 2 No. 3	No. 2				
6×××	No. 1 No. 2 No. 3					

ときはNo.1, No.2, No.3のどれでもよいということを示している。

4. 判別手順

これらの判別液を用いてアルミニウム合金の異材混入をより分けるとき、使用方法と判別手順などが正確でないと、判別を困難にするばかりでなくダブルミスをもおかすことになりかねない。このため簡易判別液を使用する場合、次の手順によっておこなわねばならない。

4.1 検出面の清浄化

判別しようとするアルミニウム合金の被検出面に、汚れや、酸化皮膜、油脂分の付着があってはならない。汚れはきれいな布とか、水に浸してつよくしぼった脱脂綿でふきとり、油脂分などの除去は、脱脂綿にアルコール、アセトンなどの有機溶媒を含ませたものでこするとよい。また、高力アルミニウム合金の熱処理材などのように、熱処理を通じて生成した酸化皮膜とか、あるいは製品に陽極酸化皮膜処理が施されて数ミクロン以上の陽極酸化皮膜がついている場合には、あらかじめ400番程度の比較的細かいサンドペーパーでこれら酸化皮膜を除去しておかねばならない。

4.2 判別液の滴下

判別液はスポットまたは直径5mm位のガラス棒で検出面に一滴たらすだけでよい。検出面との反応を早くし、よ

り正確な検知を得るには、検出面の単位面積当たりの液量を多くした方がよく、そのためには十分に乾燥した面に、液の表面張力を利用して球状に滴下することである。液量はできるだけ少量にするためスポットの先にさらにプラスチックの細管をはめて調節してやるといい。反応を早くするために検出面の温度は20°C以上あることが望ましい。検出面が、線、棒、管などのようにある曲率をもった形状のものは、図1に示したようにガムテープを用い、それに書類と同じ用のパンチャで穴を開け（直径約6mmの穴があくはず）検出面にはりつけ、穴の中へ液をたらせば液が流れ出すことなく、正常な反応が進む。検出後はテープは簡単にはがすことができる。この方法を用いると正確な判別ができるし必要以上の面積を汚染させないですむ。

判別液を滴下すると同時に検出面で反応が起り盛んに気泡が発生するが、しばらくして気泡の発生が止み、反応が終了したことを示す。反応開始から反応終了までの時間は、液温とか検出面の温度にも左右されるがおおよそ2~3分である。もし液を滴下しても気泡がない場合には、よほど液温、検出面の温度が低かったか、液が老化していたかあるいは検出面の清浄化が充分におこなわれていなかつたかなどの原因が考えられるのでこれらをチェックする必要がある。なおこれら判別液との反応によって検出面がどの位溶解するかを実測したところ、おおよそ5~10μであり、材料に損傷を与える程の量ではないことが確認されている。

4.3 水洗

水洗は反応終了後ただちにおこなうのがよい。水洗の要領としては、反応の終った液だけを洗い落し、検出面上の沈着物は決して流してはいけない。判別はこの沈着物の色で見分けるのであるから絶対に手指、綿などでこすらないようにする。水をどの程度かけるかは、検出面に滴下している液量で左右されるが前述のように滴下量を極力少なくした場合には5ml程の水で充分である。スポットを利用して反応の終った液を水で吹きとばすような要領で洗い落とせば便利である。

4.4 判定

表3、表4に示した色調と見較べて判別する。判別液の滴下量、反応時間の差などで色調にわずかな差を生ずることがあるが、黒に発色すべきものが赤になったり、茶黄色になったりするようなことはないから多少の差は問題にしなくともよい。しかし、表4はカラー写真であって正しく色合を再現しているとは保証しがたい。そこで、通常混入した材料の材質は調査によりあきらかになるものであるから、混入したと思われる材質の既知試料で反応を確認して、より正確な判定することが望ましい。

4.5 事後処理

No.1~No.3の判別液は、弱アルカリまたは弱酸性溶液であるが、反応終了後においては、中性に近い状態になっているものと考えられる。したがって事後特別な処置を

する必要はないが、反応残査をそのまま放置しておくのは好ましくない。少なくとも乾いた布で検出面や水洗によってぬれた部分はよくふきとり、さらにもう一度乾いた布でみがく程度の処理は必要である。

5. その他の応用例

これらNo.1~No.3の簡易判別液は、異材混入を選別する目的以外にも2、3の応用例があるのでこの機会に紹介しておく。たとえばクラッド材の皮板が全肉厚に対して占める割合を知りたいとき、普通は断面を平滑に充分研磨してからエッチング液で腐食し、クラッドと心材の境界を拡大鏡、顕微鏡などで確認するが、No.1~No.3の溶液を用いると、断面をシェーパなどで削ったあとその切削面にこの溶液を滴下すれば、反応後の皮板と心材の色彩が異なるためその境界に明らかなコントラストがついて容易にクラッド率の測定ができる。（ただしこの場合も前述同様皮材と心材の材質が同シリーズであると境界にコントラストがない。）

もう一つの例として、母材と異なる溶加材を用いて溶接した溶接材の、母材一溶加材間の溶け込み状態を知りたい場合には、母材と溶加材の材質の組合せに応じてNo.1~No.3の中から適当な判別液を選び、溶接部に滴下してや

表3 判別液の相違による合金系別呈色

判別液 AA シリーズ 例	No.1			No.2			No.3		
	1100 1080	2014 2017 2021	3003	4048	5052 5055 5083	6051 6053	7075	8083 8086 8088	9091 9093 9095
1×××	呈色なし	黒	茶 黄	呈色なし	黒 赤	うす赤	呈色なし	呈色なし	呈色なし
2×××				呈色なし	濃赤	呈色なし		うすねずみ	
3×××					呈色なし*1			呈色なし*2	
4×××									
5×××									
6×××									
7×××									

*1 5083はMn0.6%を含有していてうす茶色を呈する。

*2 5056はうすねずみ色を呈する。

*3 6069はうすねずみ色を呈する。

表5 色彩別による材料管理方法の例*

色	だい だい	灰	紫	茶	緑	青	黄	赤	黒	白
白	4032		2218	4043	2018	6151	7277	2025	7076	1100
黒	7072	5556	6053	2618	7079	5050	2117	6101	7075	
赤	5086	5083	1199	5554	6066	7001	5005	2024		
黄		6201	3004	5056	6033	2219	2017			
青	7178	5457		5356	5154	6061				
緑	7179	1345	1188	7175	3003					
茶	5183			2011						
紫	6351	5456	5052							
灰	Alclad 5056	2014								
だい だい	6262									* A.A. Aluminum standards and data 1972~1973年版p.65より

れば、境界で強いコントラストを示してマクロ的にみると
ができる、便利な場合もある。

6. 結 言

以上簡易判別液を用いてアルミニウム合金の異材混入を
簡単に見合ける方法とその他の2, 3の利用方法を述べた。
異材混入などの事故でこれら簡易判別法の助けを借りるよ
りも、日常の在庫管理を正しくおこなってこのような事故
を未然に防ぐことが材料管理の本来の姿であろう。その意味
で異材混入の予防を積極的に試みるべきである。アルミ
ニウム合金の異材混入を予防するのに特別な方法はない。
要するに材料取扱者個人の材料管理に対する態度いかんに

帰するといつても過言ではない。材料管理方法のうち、素
材については、たとえば荷札とか、表5に示したように材
料の端部に直接ペイントを塗って色彩別に管理する方法も
ある。このように材料個々について充分な注意を払っても
なおちょっとした手違いで異材混入した場合に、始めて簡
易判別法を用いるのが普通であって、日常の管理を乱雑に
してみだりに簡易判別法を採用するようなことは厳にさけ
るべきであろう。

文 献

- 1) 尾木偶子：金属，8 (1938), 669.
- 2) 住友化学工業株式会社：技術資料，9 (1965).
- 3) 桶谷繁雄：金属材料簡易鑑別法，(1946)，100.