

- 293458

基本金属

輕 金 属 材 料 工 作 法



武
不
知

PDC

輕金属材料工作法

輕金属協会編集

月刊工業講座

6

輕金屬材料工作法
〔月刊工業講座・6〕



定 価 460 円

K. 185・1954

昭和29年11月15日 印刷
昭和29年11月20日 発行

著 者 石 田 四 郎 他
発行者 増 田 顯 邦
印刷所 新日本印刷株式会社
東京都新宿区市ヶ谷本村町 27

発 行 所

東京都千代田区西田町1の1
電話九段(33)1171~7, 9087
接 警 口 池 東 京 186076

日 刊 工 業 新 聞 社

支社・支局 大阪・名古屋・神戸・八幡・広島・富山・京都・
静岡・四日市・川口

凡丁本・落丁本は本社でお取替します

序

軽金属、とくにアルミニウムは、戦時中は航空機、終戦直後は家庭器物に使用されて、その用途も限られていたが、海外各国では逸早く運転、建築、機械関係等に軽金属が進出し、鉄鋼、銅、亜鉛等の金属材料に代って用途が急増し、更に木材、紙の分野にまで使用されるに至っている。

わが国でもこの世界的の趨勢にそって、終戦直後の混乱期を脱するころから、ようやく建築、車輦、船舶を始めとし電気通信、紡績、光学、その他産業機械、電線、包装容器等の分野へ進出のため、学界、業界が一丸となって斯面の生産加工応用技術の研究、向上に努め、それぞれに適合するアルミニウム合金の生産が急速に進み、アルミニウムの特性が、各方面に浸透認識されるに至り、その使用は増加の一途をたどっている。

しかし軽金属利用の実際面においては、航空機製造等の経験ある工場から転換した一部工場を除き、軽金属材料の成分、性能等についての認識が充分でなく、その取扱いに対する経験も少なく、また従来の鋼材や銅系材料と全く同様な方法で工作を実施している工場も見受けられ、満足すべき状態にあるとはいきれない憾みが多い。さらに新しく軽金属を使用しようとする工場においても、加工、溶接、塗装等にわたる工作法が分らぬために、軽金属工業化しえないところも多い現状にある。

このとき、日刊工業新聞社において軽金属の工作法に関する解説書または指導書ともいふべき本書を刊行されることは、まことに機会をえたもので、その成果は大きいものと信ぜられ、われわれ軽金属工業にたずさわり、その健全な発展を常に希念している者にとってよろこびにたえない。しかしながら軽金属の生産加工および応用に関する技術は常に発展の過程にあるので、これに即応してこれらの工作法も今後進歩を重ね、本書がやがて書き改められる日も近いことと期待される。

最後に本書の執筆にあたり、それぞれ専門の先生ならびに各位から進んで御

協力を賜ったことに対して深い敬意を表わしたい。

1954年10月

軽金属協会会長 安 田 幾 久 男

執 筆 者

石 田 四 郎	明治大学工学部教授 工学博士
潮 田 豊 治	株式会社高田アルミニウム製作所・熔解工場長
西 村 儀 作	日本軽合金株式会社・稲沢工場長
藤 沢 乙 三	日本特殊塗料株式会社・常務取締役
高 山 捷 一	株式会社大阪アルミニウム製作所・製造課長
小 林 藤 次 郎	日本アルミニウム工業株式会社・製造部技術課長
中 山 孝 康	那須アルミニウム工業株式会社・取締役
菅 野 友 信	新古河鑄造株式会社・専務取締役

目

次

序	石田 四郎	
軽金属材料の種類と性能	石田 四郎	1
軽金属材料の圧延加工法	潮田 豊治	13
軽金属圧延品の製造法	西村 儀作	31
軽金属材料の塗装法	藤沢 乙三	55
軽金属材料の加工法	高山 捷一	85
アルミニウムおよびその合金の		
ガス熔接と鋲接	小林藤次郎	165
軽金属材料の表面処理法	中山 孝廉	209
軽金属鋳物の製造法と用途	菅野 友信	239

軽金属材料の種類と性能

石 田 四 郎

目 次

I. 序	3
II. アルミニウムおよび耐食アルミニウム合金	4
1. 日本工業規格	
2. Al の耐食性に関する基本的考察	
3. Al の耐食性に及ぼす微量不純物の影響	
4. 深絞り用 Al 板	
5. Al-Mn 合金(3S)	
6. Al-Mg 合金(52S, 56S)	
7. Al-Mg-Si 合金	
8. 冷間加工による硬化	
III. 高抗力合金	12
IV. 特殊用途	12

著者略歴

石田 四郎 大正 11 年 東京大学工学部冶金学科
卒業。昭和 7 年 工学博士。昭和 13 年 東京大学教授
東京大学航空研究所々員。昭和 24 年 明治大学教授。

軽金属材料の種類と性能

I. 序

これから軽金属というのは、アルミニウムとその合金とに限定する。もちろん、マグネシウムもチタンも軽金属には相違ないのであるが、わが国においては、そのいずれも現在ではあまり使用されていないので、この稿では、アルミニウムのみに限定することとする。

アルミニウムをその用途の面から大別すると、その耐食性を利用するものと、合金として熱処理後の強力さを利用、換言すれば、高抗力合金としての利用との二つに分けられる。なお特殊の用途としては、アルミニウムの電気および熱に対する高伝導性を利用する場合もあるが、これは一般的ではないから、この稿では最後に簡単に述べることにする。

さて、アルミニウムおよびその合金の耐食性と高抗力性との根本的な考え方を、まず述べなければならない。アルミニウムそのものは、きわめて耐食性のものであって、乾燥した空気中はもちろんのこと、たとえば湿気の多い場合でも充分耐食性であり、また海水中においてさえ、鋼等に比較すれば、はるかに耐食性である。

他方、そのような（耐蝕性）アルミニウムに他の元素を添加して合金とした場合を考えると、ある種の合金は熱処理後、きわめて強力なものとなって、軟鋼あるいはそれ以上の抗力をもち得るのであるが、不幸にして、そのような性能を与え得る元素としては、一般的に銅が用いられる。銅の他に亜鉛等も用いられるが、その場合でも常に銅を同時に添加する。しかるに、銅は、アルミニウムの耐食性をきわめて不良にする。換言すれば、強力にすれば、耐食性は低下することとなる。

以上のことから判ることは、アルミニウムの場合、耐食と強力とは、一応根本的に相反する性質となる。ここに一応と断ったのであるが、それは高度の耐食

と高度の強度とは根本的に相反する性質だというまでのことであって、その中間には相当の耐食性と相当の強さを併有させ得ることは、論をまたないものであるが、根本的に考えれば、相反する性質であることを記憶せねばならない。

従来はアルミニウム輕合金のおもな用途が航空機のような強度さを要する構造であつたために、この根本的な問題が等閑視されがちであつたのであるが、終戦後は、アルミニウムの用途としては、世界的にみて、耐食を必要とする方面、たとえば、家庭器具、食糧品工業、船、車輛、建築等にきわめて広く、そして大量に使用されており、それと並行して、強度材としても使用される有様であるから、輕合金の耐食の問題を徹底的に理解しなければならない。

以上の理由から、この稿においては、相当の部分を耐食に関する問題に費すことにした。

II. アルミニウムおよび耐食アルミニウム合金

1. 日本工業規格

第1表 アルミニウム板 JIS. H 4101

輸出アルミニウム円板 JIS. H 4102

	Si+Fe	Si	Fe	Cu	Al
Al 板 第1種	0.50 以下	—	—	0.05 以下	99.5 以上
" 第2種	0.70 "	—	—	0.10 "	99.3 "
" 第3種	1.0 "	—	—	0.20 "	99.0 "
" 第4種	—	1.0 以下	1.0 以下	0.50 "	98.0 "

第2表 耐食アルミニウム合金

成分%	Mg	Si	Mn	Cr	Cu	Fe	Zn	Al	
耐食 アルミニウム合金									
第1種	2.2~ 2.8	(Fe+ Si) 0.45 以下	0.10 以下	0.15~ 0.35	0.10 以下	(Fe+ Si) 以下	0.10 以下	残	Alcoa 52 S 相当
第2種	4.9~ 5.6	0.80 以下	0.05~ 0.02	0.05~ 0.20	0.10 以下	0.40 以下	"	"	" 56 S "
第3種	—	0.60 以下	1.0~ 1.5	—	0.20 以下	0.70 以下	"	"	" 3 S "
第4種	0.8~ 1.2	0.4~ 0.8	0.15 以下	0.15~ 0.35	0.15~ 0.40	0.70 以下	0.20 以下	"	" 61 S "
第5種	0.45~ 0.85	0.2~ 0.6	0.10 以下	0.10 以下	0.10 以下	0.85 以下	0.10 以下	"	" 63 S "

表から判るように、Al としては不純物 Si, Fe の量によって4種類あり、耐食性合金としては第1～2種は Al-Mg 合金、第3種は Al-Mn 合金、第4～5種はほぼ Al-Mg₂Si 合金である。

2. Al の耐食性に関する基本的考察

耐食に関する理論は現在なお明らかでない処が残っているが、Aluminium Research Laboratories の DIX および BROWN が、アルミニウム合金の耐食性の基本として提案しているものは次の第3表である。

第3表 アルミニウム固溶体および化合物の電極電位

No.	固溶体または化合物	電位 Volts 0.1 N. Calomel Scale*
1	α (Al-Mg) (Mg ₂ Al ₃)	-1.07
2	Al+Zn+Mg (4% MgZn ₂) 固溶体	-1.07
3	β (Zn-Mg) (MgZn ₂)	-1.04
4	Al-4% Zn 固溶体	-1.02
5	Al-1% Zn 固溶体	-0.96
6	Al-4% Mg 固溶体	-0.87
7	α (Al-Mn) (MnAl ₆)	-0.85
8	アルミニウム (高純)	-0.85
9	Al+Mg+Si (1% Mg ₂ Si) 固溶体	-0.83
10	Al-1% Si 固溶体	-0.81
11	Al-4% Cu 固溶体	-0.69
12	α (Al-Fe) (FeAl ₃)	-0.56
13	Al-Cu (CuAl ₂)	-0.53
14	Si	-0.26

(* 1 l 中に NaCl 53 g, H₂O₂ 3 g を溶解した液中での測定)

Al 合金では、その組織は一般には Al を主体とする固溶体と化合物との混合したものが多い(特殊の場合には固溶体のみのこともある)。

そのような組織の Al 合金で、固溶体と化合物との間に電極電位が違っていると、(溶液のために腐食されるときに) その接触部で、腐食が著しく促進される。

たとえば、普通の Al 板を考えると、不純物として、Fe, Si, Cu を一般に含有しておることは、前に日本工業規格表に示したようであるが、この場合、Cu

は固溶体になっており、Si は Al 中に固溶体あるいは Fe と結合するので、化合物として存在するのは Fe のみであるが、これは第3表 12 から判るように、著しく陰極側になるので、電気化学的に腐食を促進するのみでなく、防護酸化被膜の発生を弱める。したがって、Al 板中の Fe は耐食性を害する。従って Al 板で1種から4種になるに従って耐食性は悪くなる。

次に耐食合金についていえば、耐食合金第3種は、Mn を含んでおるが、これは第3表 7 から判るように、純アルミニウムにきわめて近い電位をもっているため、耐食性合金となる。耐食合金第1～2種の場合は、固溶体であるため、第3表 6 から判るように、耐食性であるが、Mg が大量になって、それを不適当に熱処理すると1が結晶粒の界に析出するので、粒界腐食が起る。そんな心配があるので第1～2種の合金の Mg 量は5.6%以下になっている。耐食合金第4～5種は、 Mg_2Si に近い割合に Mg と Si とが存在するので、第3表 9 から判るように耐食性である。

なお、銅は 11 から判るように、著しく陰極側にあるのでたとえ微量でも耐食性を害する。それで、一般には 0.25% 以上は耐食合金には許されない。ただ Cu 以外に他の特殊元素の存在する場合には、その害が多少緩和されることもある。

熱処理の影響を考えると、耐食合金第4～5種の系統は、前にも述べたように、 Mg_2Si の化合物になっておるとそれが固溶しておればもちろん耐食性であり、また焼入後、焼戻して析出させても、 Mg_2Si の電位が変わらないので、耐食性は低下しない。これに反して、 Mg_2Si の割合以上に Si が存在すると、焼入状態では9、10から判るように耐食性であるが、焼戻すると、耐食性が悪くなる。

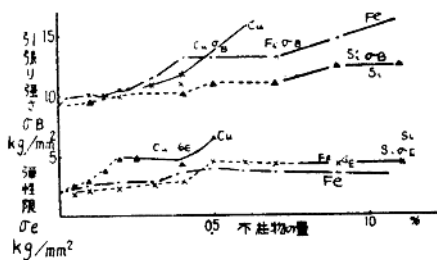
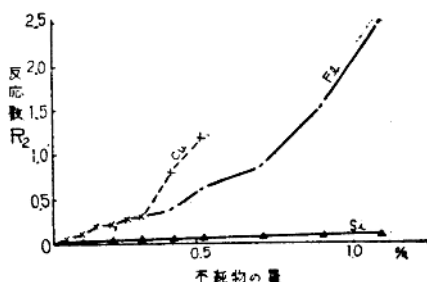
3. Al の耐食性に及ぼす微量不純物の影響

第1図は、高純 Al (99.99%) に Cu, Si, Fe を添加した試料を $430^{\circ}C \times 1.5$ hr. 焼鈍し、 $300^{\circ}C$ から空冷したものを50%冷間圧延したものについて実験したもので、反応数というのは、HCl 10% (比重 1.02) 液 500cc 中に試片 $30 \times 30 \times 1$ mm を入れ、Al 板が溶けるときの発生する水素量を単位表面積、単

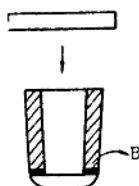
位時間 (hr) 当りで示したもので反応数 R_z の小さいものほど、耐食である。第1図から、微量の銅、鉄も相当悪影響のあることが判る。珪素の影響は割合に小さい。

4. 深絞り用 Al 板

深絞りを使用される Al は、いわゆる板として、相当輸出されるのであるが、その成分は前に日本工業規格として、4種類あることを示した。絞ったものは、場合によっては必ずしも耐



食性を必要としないことも第1図〔明治大学工学部金属研究室(石田, 中村)〕あるが、多くの場合耐食性を望むものである。それから考えて、Cuの含有量の少ない第2種くらいまでが適当のように考えられる。それ以外に Si+Fe が規定されておるが、これと深絞り性との関係は従来明らかにされたものはなかった。ただ経験上、高純 Al よりもかえって Si, Fe が適当に含有されておるほうがよいらしいことが判っておった。筆者の研究室での研究によると、そのことが実験的に明らかとなった。深絞りの場合、円板の外周部すなわち第2図



第2図

の斜線部は、加工(冷間)によって絞り込まれるが、底部はほとんど加工されない。したがって深絞りに必要な全荷重はB部で支えられ、その部が破れない限り、周辺部は変形あるいは絞りが可能となる。このことを考慮すると、 K_{tm}/K_z の比が小さいものほど、深絞りできることとなる。ここに K_{tm} は、冷間加工によって材料が硬化した真

の引張り強さであって、 K_z は、その材料の焼鈍状態の引張り強さである。この測定をしてみるとつぎの結果が得られる。

第 4 表

区 分	K_{tm}/K_z		区 分	K_{tm}/K_z	
	冷間加工 40 %	冷間加工 60 %		冷間加工 40 %	冷間加工 60 %
Al 99.9 %	1.12	1.33	Al-Cu 0.1 %	1.05	1.20
99.8 %	0.95	1.16	Cu 0.2 %	1.14	1.27
Al-Fe 0.3%	1.05	1.20	Cu 0.4 %	1.22	—
Al-Fe 0.5%	1.18	1.27	Al-Fe0.3-Cu 0.2	1.16	1.32
Fe 0.7%	1.18	1.26	-Fe 0.5-Cu 0.2	1.25	1.33
Fe 0.8%	1.17	1.26	-Fe 0.5-Cu 0.4	1.34	1.34
Fe 0.9%	—	1.32			
Fe 1.0%	1.30	1.37	Al-Fe0.3-Si 0.3	1.08	1.18
Al-Si 0.3 %	1.08	1.18	Fe0.5-Si 0.3	1.08	1.19
Si 0.5 %	1.07	1.14	Fe0.3-Si 0.5	0.99	1.07
Si 0.7 %	1.16	1.22	Fe0.5-Si 0.5	1.21	1.29
Si 0.9 %	1.24	1.31			
Si 1.0 %	1.25	1.39			

深絞りの場合、一般には外周辺の加工は40~50%以下であるので、第4表の40%加工の欄から判るように、高純99.9% Alよりも99.8% Siのほうが絞りがやすく、またFe単独では0.3%、Si単独では0.5%、Cu単独では0.1%、複合ではFe0.3-Si0.3%、Fe0.3-Si0.5%くらいまでは、99.9% Alよりむしろ絞りがやすいが、Fe、Siがそれ以上となったり、Cuが共存すると不利であることが判る。またここに表にはしなかったが、同様の実験の結果、Mn、Mgを微量含有しても絞りに不利であることが判った。以上の結果を総合してCu、FeはAlの耐食性を害するし、またAlには常にSiが存在するが、それはあまり耐食性を害さない。それ

第 5 表

らから考えて、Fe0.3-Si0.5%くらいのものなら、深絞り用として適当だと考えられる。

5. Al-Mn 合金

区 分	引張強さ kg/mm ²	降 伏 点 kg/mm ²	(板) 伸び(%)	H _B
焼 鈍 O	11	4	30	28
冷間加工 H ₁₂	13	10	10	35
" H ₁₄	15	13	8	40
" H ₁₆	18	15	5	47
" H ₁₈	20	18	4	55

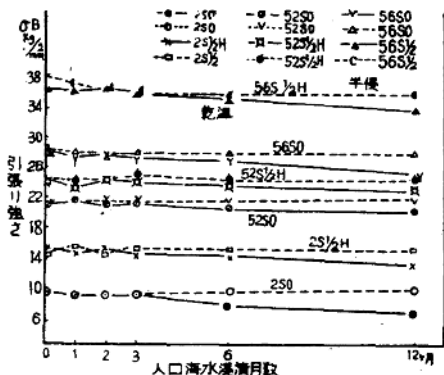
(3S)

この合金は、広く使用されておるが、ただ応々にして、結晶粒が大きくなる。それを防ぐには、熱間圧延のとき 570°C くらいにあらかじめ加熱してから行うこと、また Fe=0.4% くらいを含ませると結晶が粗大化せぬといわれておる。最終焼鈍のとき、急速加熱（たとえば塩浴）するといふ。機械的性質は第 5 表のようである。

6. Al-Mg 合金

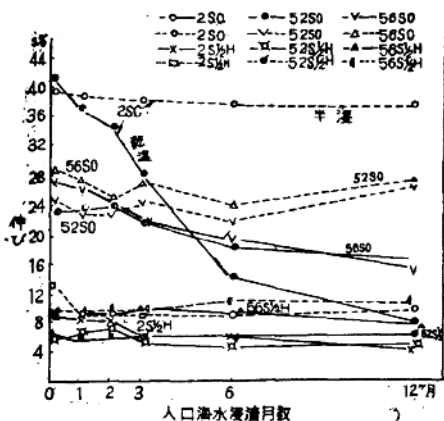
(52S, 56S)

この系のものはわが国では、最近数年間船用として研究され、また実用されておる。筆者の実験室で、長期の腐食試験の結果は第 3 図のようで、引張り強



第 3 図 A

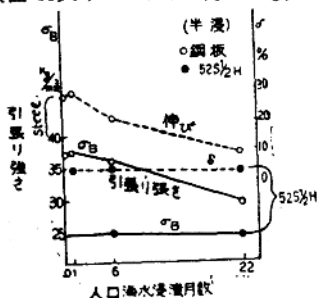
〔明治大学工学部金属研究室(石田, 中村)〕



第 3 図 B 〔明治大学工学部金属研究室(石田, 中村)〕

さは 12 月 3% 食塩水につけてもほとんど変らなく、伸びもあまり変らない。すなわち、ほとんど腐食されないことが判る。この実験と並行して、船用鋼の裸の腐食を行ったが、それによると第 4 図のようである。

この系の合金 (52S, 56S) は、湿気はもちろんのこと、海水に対しても特に耐食性であり、アルカリに対しても、Al 合金としては比較的強い。焼入によ



第4図
(明治大学工学部金属研究室、
石田、中村)

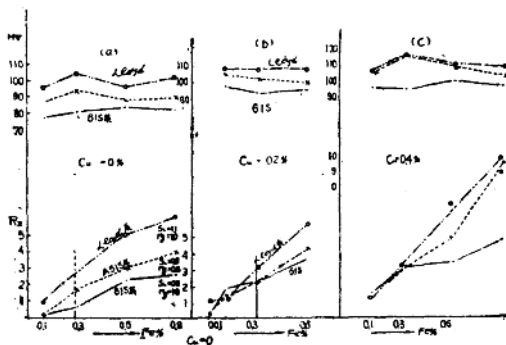
って機械的性質はよくなる。

以上は主として、板についてのことであるが、鋳物としても広く使用される。鋳物の場合には、Mg=5%のもの及び Mg=10%のものも広く用いられる。Mg=10%のものは Alcoa では 220 合金と称せられるが、焼入 (400~430°C, 20hr 以上加熱、空冷) 後、引張り強さ 32 kg/mm², 降伏点 17 kg/mm², 圧縮降伏点 18 kg/mm², H_B 75 で、き

わめて優秀な性質をもっており、高力を要する処に使用される。不純物として、Fe, Si, Mn が多くなると機械的性質も劣化する。

7. Al-Mg₂Si 合金

この系の合金には米国系と英国系とで、成分上多少の差違があつて、第5~6図のような耐食性を示す。Mg₂Si 結合のものの方が耐食性がよい。Mg₂Si



第5図

(明治大学工学部金属研究室 (石田、中村))