

## 耐熱性アルミニウム輕合金の研究 (I)

(日本鐵鋼協會 第 10 回講演大會講演)

伊丹榮一郎\*

## ON THE SYSTEMATIC STUDIES OF HEAT-RESISTING AL-ALLOYS.

Eiichiro Itami

SYNOPSIS:—In the first part of the research of heat-resisting Al-alloys, which was carried on to investigate the Y-alloy series, the author could not find any excellent alloy comparing with the so-called Y-alloy which is wellknown in England. Hence, he undertook the systematic studies of heat-resisting Al-alloys. The specimens were all chillcast and the experiments were made at the temperatures from the room temperature to 500°C, on pure aluminium, binary, ternary, quaternary alloys and so on, adding the following elements, Cu, Zn, Ni, Cr, Mn, Fe, Si and Mg, and the results were discussed. On the other hand, the alloys containing Cu 4%, Si 1%, Mg 1% and Cu 4%, Si 10%, Mg 1% showed the excellent mechanical properties after heat-treatment. Therefore, he investigated the effects of Ni, Cr, Mn and Fe upon the improvement of mechanical properties of these alloys. Moreover, extraordinary improvement was obtained by adding Ti as  $TiCl_4$  into those alloys: for example, a certain specimen showed a very high tensile strength, 46 kg/mm<sup>2</sup> at ordinary temperature and 30 kg/mm<sup>2</sup> at 300°C. The reasons for gaining such high tensile cast Al-alloys were explained in detail on his theoretical consideration.

## 目次

總論

第III編 耐熱性アルミニウム輕合金の系統的研究

緒言

第I章 本研究の要領

第II章 使用せる原料の化學的成分

第III章 熔解方法と試験片の採取

第IV章 純アルミニウム合金の高溫度試験

總括

第V章 二元系合金の高溫度試験 I. Al-Cu系 II. Al-Zn系 III. Al-Ni系 IV. Al-Cr系 V. Al-Mn系 VI. Al-Fe系 VII. Al-Si系 VIII. Al-Mg系 IX. 二元系合金に於ける添加元素の抗張力に及ぶ效果率の比較 X. 總括

第VI章 三元系合金の高溫度試験

I. Al-Cu-Zn系 II. Al-Cu-Ni系 III. Al-Cu-Cr系 IV. Al-Cu-Mn系 V. Al-Cu-Fe系 VI. Al-Cu-Si系 VII. Al-Cu-Mg系 VIII. Al-Cu+X三元系に於ける添加元素が抗張力に及ぶ效果率の比較 IX. 總括

第VII章 四元系合金の高溫度試験

I. Mgを含まざる場合

1. Cu(4,6,12)%(Ni 1%+Cr 0.5%) 2. Cu(4,6,12)%(Ni 1.5%+Fe 2%) 3. Cu(4,6,12)%(Cr 0.75%+Mn 1%)

4. Cu(4,6,12)%(Cr 0.5%+Fe 1%) 5. Cu(4,6,12)%(Mn 1%+Fe 1%) 6. Cu 12%+(Cr 0.5~0.75%+Si 8%) 7. Cu(4,6,12)%(Mn 1%+Si 8%) 8. Cu(4,6,12)%(Fe 1%+Si 8%)

## II. Mgを含む場合

1. Cu(4,6,12)%(Ni 2%+Mg 1.5%) 2. Cu(4,6,12)%(Cr 0.75%+Mg 1%) 3. Cu(4,6,12)%(Mn 1%+Mg 1%) 4. Cu 10%+Fe 1.25%+Mg 0.25% 5. Cu(4,6,12)%(Si 8%+Mg %)

## III. 總括

第VIII章 多元系合金の高溫度試験 I. Cu(4,6,12)%+Ni 2%+Si 8%+Mg 1.5% II. Cu(1~12)%+Cr 0.75%+Mn 0.5%+Si 8%+Mg 0.5% III. Cu(2~12)%+Ni 2%+Cr 0.75%+Mn 0.5%+Si 8%+Mg 1% IV. Cu(2~12)%+Ni 2%+Cr 0.5%+Mn 0.5%+Si 2%+Mg 1% V. Cu(2,4,6)%+Ni 2%+Cr 0.75%+Mn 0.5%+Mg 1% VI. Cu(2,4)%+Ni 2%+Cr 0.5%+Mn 0.5%+Fe 1.5%+Si 2%+Mg 1% VII. 總括

第IX章 Al-Cu-Si-Mg-Tiを主體とする多元系高力輕合金の系統的研究 I. Al-Cu-Si-Mgの相對的含有量の決定 II. Si及びMgの含有量がAlの抗張性質に及ぶ影響 III. Al-Cu 4%-Si-Mg 1%合金に及ぶ種々の元素の影響

1. Si 1%の場合 2. Si 10%の場合

IV. Ti添加の影響(Al-Cu 4%-Si-Mg 1%+X+Ti)

1. Si 1% の場合 2. Si 10% の場合

V. Al-Cu 4%-Si-Mg 1%-Ti 合金に種々の元素を添加したる場合の顕微鏡組織

1. Si 1% の場合 2. Si 10% の場合

VI. 種々の多元系合金の高温度試験

1. Si 1% の場合 2. Si 10% の場合

VII. 多元系軽合金の抗張力増加の原因に関する理論的考察 VIII. 總括

## 總 論

鐵及び鋼の最近非常なる發達を見るに至つたのは既に數十年前より高温度に於ける鐵鋼の性質が研究され、次いで如何にして耐熱性のものを得るやに就いて研究され、之れが今日の發達の一大原因をなしたのである。吾人が使用する金屬材料の白化が叫ばれて既に 20 年、アルミニウム輕合金の應用が盛んなるべくして而も盛んならざる理由は尙研究の足らざるが故に機械設計者が之を信頼して使用するに至らざるにあると考へらる。即ちアルミニウム輕合金の研究は耐腐蝕の研究と共に尙多くの問題が残されて居るのであつて、著者が茲に記述せんとする耐熱性アルミニウム輕合金の研究も此の残されたる研究の餘地を埋める一つの問題と確信する。

著者が本研究に着手したのは昭和 3 年の初めであつた。當時著者が文獻を調査した結果によると英國で發明された Y 合金が既知の輕合金中最も耐熱的性質を有するものとされて居た。然し此のものゝ配合が果して此の系合金の中で最も良いかどうかは系統的研究の報告がない爲に疑問である。而して又此の合金は鑄造が困難である理由で一般には餘り喜ばれて用ひられて居ないのも事實である。斯様な難問題を解決する事も吾々冶金者としての義務であらう、又更に吾人は此の種配合の合金を以て耐熱性合金の尤なるものと斷定するには既往の文獻の餘りに貧弱にして且つ斷片的である事を遺憾とする。

著者は此の意味に於て耐熱性アルミニウム輕合金の研究を企てたのである。本研究は三段に分ち、先づ第一に Y 系合金の研究を行ひ、第二に之が最大の缺點たるピンホール除去の問題を解決し、第三には更に進んで耐熱性アルミニウム輕合金の系統的研究を行ひ此の種輕合金の耐熱性の原因を明かにし且つ優秀なる耐熱性輕合金を得んとしたのである。

第一段の Y 系合金に関する研究は本年の水曜會誌に報告し第二段のピンホール除去の研究は既に“鐵と鋼” 17 (1931) 1288 及び“水曜會誌” 7(1932)383 に「アルミニウム輕合金に及ぼす改良劑の影響に就て」の題目の下に掲載せる所で、第三段の研究は即ち次に記述せんとするもので昭和 8 年 4 月鐵鋼協會第 10 回講演大會に於て發表したるものである。

## 第 III 編 耐熱性アルミニウム輕合金の系統的研究

緒言 著者は Y 系合金の研究中多數の文獻を涉獵し、Al 輕合金の耐熱的研究に関する報告の極めて僅少なるを知つた。鐵及び鋼が今日各種の方面に應用さるゝに至れるも高温度並びに低温度に於ける研究が盛んに行はれた結果であつて、此の意味に於て Al 輕合金に關しても此の方面の研究を必要とするのである。

Al の高温度に於ける研究は相當古くより行はれ LeChatelier,<sup>1)</sup> Baumann,<sup>2)</sup> Bengough<sup>3)</sup> 及び Ludwik<sup>4)</sup> 或は T. Martin<sup>5)</sup> 氏等の報告があるが工業上最も必要とする Al 輕合金に關するものは歐洲大戰の末期に至つて始めて英國に於て行はれたもので Lea<sup>6)</sup> 及び N. P. L. の Rosenhain<sup>7)</sup> 其他の人々に依れば Y 合金が最も耐熱性に富める輕合金として推奨されて居る。此等の人々は航空機の Engine 用の目的で種々の輕合金に就て常溫より 350°C 迄の實驗を行ひ、其等の實驗結果は今日尙、利されて居るものもある。其後米國に於て S. Daniels<sup>8)</sup> 氏は Y 合金と Al-Cu-Fe-Mg 合金の比較を行ひ、又 W. Schwinning and F. Fischer<sup>9)</sup> 氏等は Al 輕合金の衝擊抗力及び硬度に及ぶ温度の影響を見たが Pure Al, Lantal 及び Scelon 等の比較で實驗温度は 200°C 迄の範圍であつた。

<sup>1)</sup> LeChatelier: Compt. rend. 109 (1899) 24.

<sup>2)</sup> Baumann: Z. V. D. I. 55 (1911) 2016

<sup>3)</sup> Bengough: J. Inst. of Metals 7 (1912) 123

<sup>4)</sup> Ludwik: Z. V. D. I. 59 (1915) 67

<sup>5)</sup> T. Martin: J. Inst. of Metals 31 (1924) 121

<sup>6)</sup> Lea: Proc. Roy. Aeronaut. Soc. (Aeronaut. Journ.) Nov. (1919) 545

<sup>7)</sup> Rosenhain: The Metal Industry. F. b. (.921) 85

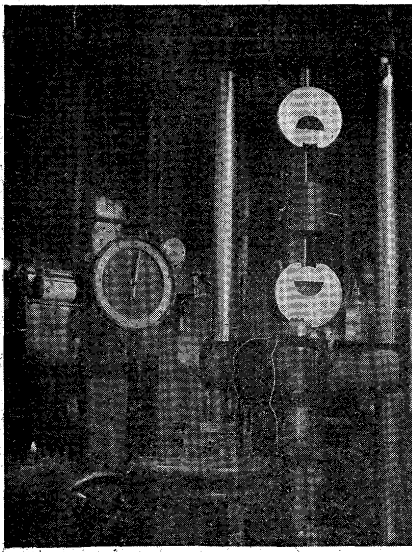
<sup>8)</sup> S. Daniels: Trans. Amer. Inst. Min. Met. Eng. 73. (1926) 479

<sup>9)</sup> W. Schwinning and F. Fischer: Z. Metallkunde 22 (1930) 1

最近 W. C. Devereaux 氏<sup>10)</sup> は R. R. 合金を發明し他の輕合金との比較試験を行ひ常溫並びに高溫度に於て優秀なる事を示した。我國に於ては飯高博士<sup>11)</sup>が耐蝕性アルミニウム合金を研究し、同時に既知輕合金との高溫度に於ける比較實驗を行ひ Y 合金に次ぐ耐熱性輕合金である事を示した。之等の入々の報告を見るに、耐熱性輕合金の研究としては Lea 氏及び N. P. L. の Rosenhain 氏等のものが此の方面の最も大なる報告であるが、斷片的で且つ研究の餘地は尙充分にある様に考へられる。著者は茲に於て耐熱性輕合金の系統的的研究を行ひ、輕合金の耐熱性が如何にして得られるかを明かにし、且つ耐熱性輕合金の優秀なるものを得る爲に本研究を企てたのである。

**第 I 章 本研究の要領** Al 輕合金は Al を主體とし之に各種の元素が加へられるが、普通加へられるものは Cu, Zn, Ni, Mn, Si, Mg 等で Cr, Fe, Sn, Mo, W, V 等

第 1 圖



其他のものは比較的に少いのである。本研究に於ては先づ Cu, Zn, Ni, Cr, Mn, Fe, Si, Mg 等に就て二元系の系統的實驗を行ひ、次に Cu の量を變化して之に他の元素を配合したる三元系の場合を調査し、更に四元系、五元系等

に亘つて實驗を行つた。從來の Al 輕合金に關する耐熱的實驗は其目的を航空機用内燃機のピストンに置いて居る。而してピストン内の溫度上昇程度は久しく不明であつて時には 500°C 内外に達するとさへ言はれて居たが、其後研究の結果一般に 250°~350°C の間にあると考へられる様になつた<sup>12)</sup>。従つて斯る目的で行はれた研究は一般に 350°C 迄の範圍で行はれたものが多いが廣い意味の耐熱性研究の爲には、相當高い溫度に於ける實驗が必要であるので本研究では常溫より 500°C 迄の試験を行ふ事にした。

耐熱的試験の方法は種々あるが、本研究に於ては直接機械設計上に必要なる data を與ふるに便なるために抗張試験法に依る事とし、試験機は Mohr und Federhaff 會社製能力 35 噸のペンデュラム式のものを用ひた。

本試験機は最新式の型にして第 1 圖の寫眞に示す如く高溫度の抗張試験には極めて適當せるものである。試験片は第 2 圖の如くに取付け其の周圍を電氣爐にて圍み電氣爐の壁を通じて試験片の中央に熱電對の密接する様にした。試験片を加熱する際は加熱の速さを一様にし各所定の溫度に於て一定時間 (20 分) 保持の後荷重をかけて破斷せしめた (此の際荷重—延伸曲線を自動的に描かして之より彈性限界を測定した。)

**第 II 章 使用せる原料の化學的成分** 本研究に於ては種々の元素の影響を明かにする爲に特に Al は工業的に最も純粹なるものを用ふる事にし、其他の原料も出来るだけ上等のものを使用した。今之等の原料の成分を示せば次表の通りである。

材料元素	使用原料化學分析表							
	Al	電氣 Cu	Zn	粒狀 Ni	金屬 Cr	金屬 Mn	金屬 Si	金屬 Mg
Al	99.874	—	—	trace	—	0.75	0.22	0.057
Cu	0.033	99.995	0.004	0.022	—	—	—	0.024
Zn	trace	—	99.974	—	—	—	—	—
Ni	—	—	—	99.470	—	—	—	—
Cr	—	—	—	—	98.97	—	—	—
Mn	—	—	—	trace	—	96.51	0.16	—
Si	0.018	—	—	0.006	0.18	0.92	98.79	0.041
Mg	—	—	—	—	—	0.05	trace	99.823
Sb	—	0.001	—	—	—	—	—	—
As	—	0.001	—	—	—	—	—	—
Bi	—	ナシ	—	—	—	—	—	—
Cd	—	—	trace	—	—	—	—	—
Ca	—	—	—	—	—	0.31	0.34	—
Fe	0.075	0.003	0.008	0.098	0.67	0.96	0.39	0.061
Pb	—	trace	0.014	trace	—	—	—	—
S	—	ナシ	—	0.011	0.08	0.04	—	—
C	—	—	—	0.142	—	0.39	0.05	—
P	—	—	—	—	—	0.07	0.05	—

**第 III 章 熔解方法と試験片の採取** Al 或は Al 合金の熔解にはクリプトル電氣爐に坩堝を入れて加熱し、之に Al を先づ装入して熔解し Al 合金の場合には豫め作り置きたる既知成分の母合金を添加して熔解し Zn 及び Mg のみは金屬の儘添加した。之等母合金の成分並びに各種添加金屬の量と合金の熔解溫度及び鑄込溫度を示せば次の通りである。若し合金が二元以上の場合には添加金屬の種類及び量によつて異なる熔解溫度並びに鑄込溫度の最高を採る事にした。

鑄型は複雑なる factor の入り來る事を避け以て各種合金の比較を容易ならしめる爲に金型とした。而して此の金

<sup>10)</sup> W. C. Devereaux: Found. Tr. Journ. 45 (1931) 331

<sup>11)</sup> 飯高博士: 鐵と鋼 17 (1931) 12, 1336

<sup>12)</sup> Lea: The Metal Industry 20 (1922) 533

添加金属	母合金	熔解温度°C	鑄込温度°C
Cu	50% Cu	750	700
Zn		750	700
Ni	10% Ni or 20% Ni	750	700
Cr	10% Cr	1% 以下の場合	800
		1% 以上の場合	850
Mn	10% Mn	2% 以下の場合	750
		2% 以上の場合	800
Fe	10% Fe	2% 以下の場合	750
		2% 以上の場合	800
Si	20% Si	750	700
Mg		750	700

型の形状寸法は第3圖の如くで、鑄造したる鑄塊より各種試験片を第4圖の如く採取した。

第IV章 純

アルミニウム

の高温試験

軽合金の系統的耐熱研究を

なすには先づ

其の根本たる

Al に就て實

験を行ふ事を

必要とする。

Al の高温試験に

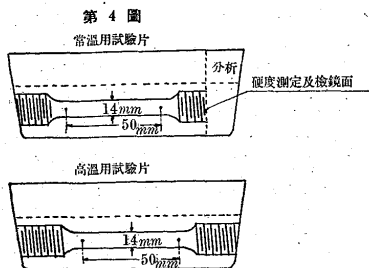
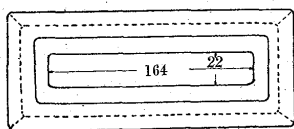
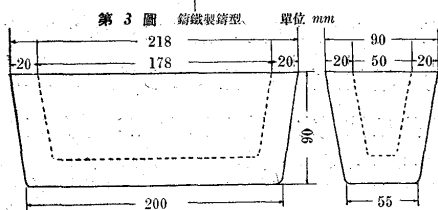
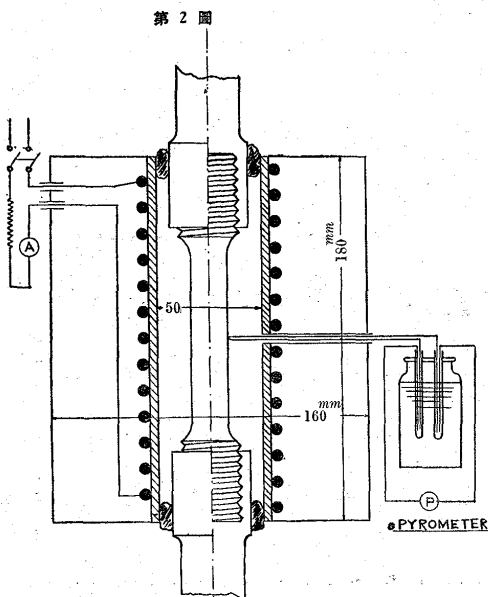
關する報告は既に二

三の文献に現はれて居る。

即ち Bengough<sup>1)</sup> は Al

99.56% Fe

0.22% のものを用ひ、又



Ludwik<sup>2)</sup> は商業上最も純度の高いものを用ひたが、何れも roll したものに就ての實驗で、鑄造状態に於ける報告としては Aluminium Co. of America<sup>3)</sup> にて砂型鑄造

のものに關して行はれた

ものあるのみである。本

實驗に使用せるものは歐

洲産にして純度 99.8%

以上を保ち現在に於ては

商業上最上のものである。

第5圖に示すは Temp

lin and Paul 兩氏<sup>4)</sup> の

得たる結果と著者が曩に

ピンホール除去の研究の

際に使用せしアメリカ産<sup>5)</sup>

の Al と本實驗にて使用

の歐洲産の Al との鑄造

試験片に對する比較であ

る。圖によると Tem

plin and Paul 兩氏の得たる

抗張力は低く延伸率は著し

く大であるが、これは Al の純度良好にして 99.95% の

ものを使用せるからである。

著者の場合は金型鑄造であり且つ Al の純度前者よりは

多少低下せる故に抗張力稍大である。而して著者が前に使用

したるアメリカ産のものは其の純度歐洲産のものに比し

て稍劣るから

従つて抗張力は最も強く現

れて居る。然れ共此等の曲

線を見ると何れも温度の上

昇と共に抗張力は殆ど直線的に減少

するが、延伸率は之に反して著しく

増加する。歐洲産の Al は常溫に於

て 5.3 kg/mm<sup>2</sup> であるが、400°C では約 1 kg/mm<sup>2</sup> を示し、

500°C では更に減少する。

純 Al の之等試験片の破斷狀況は寫真 No.1 に示す如く

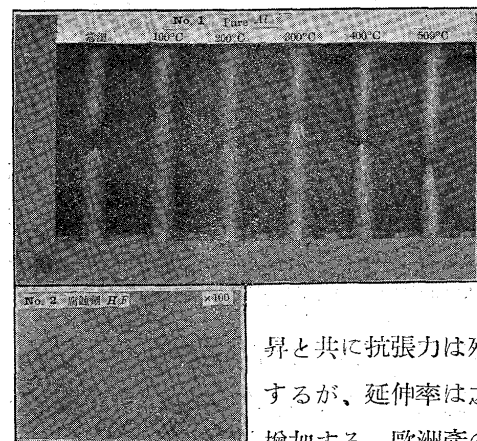
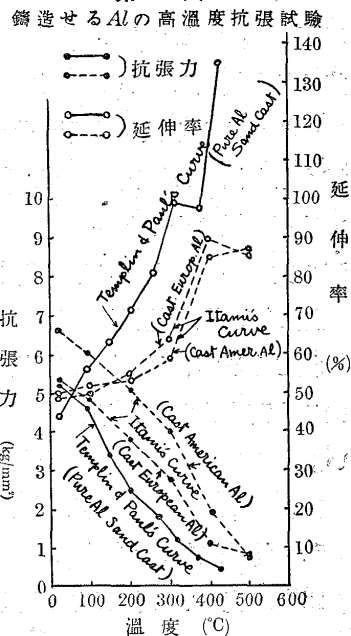
試験片の平行部分一面に亘つて稍深き皺を生じ、且つ破斷

面は cup shape をなさず不規則なる形を呈するが、之は

一つは舟型式の鑄造方法にも原因するもので鑄型の上面に

相當する側には大なる筋の存するを見るがこれは即ち引け

第5圖



て稍劣るから

従つて抗張力は最も強く現

れて居る。然れ共此等の曲

線を見ると何れも温度の上

昇と共に抗張力は殆ど直線的に減少

するが、延伸率は之に反して著しく

増加する。歐洲産の Al は常溫に於

て 5.3 kg/mm<sup>2</sup> であるが、400°C では約 1 kg/mm<sup>2</sup> を示し、

500°C では更に減少する。

1) Bengough: J. Inst. of Metals 7 (1912) 123

2) Ludwik: Z. V. D. I. 59 (1915) 67

3) Templin and Paul: Symposium on Effect of Temperature on the Properties of Metals P. 290

4) 同上

5) 伊丹榮一郎: 鐵と鋼 第17年 第12號 1288

の影響で後述せる或る種の合金にも現れる。断面の組織は所謂 silky structure を呈して居る 300°C 迄は此の状態は餘り變化しないが断面收縮率は増加し 400°C に至れば表面皺は少く且つ破断面附近に於ける著しき皺も小さく浅くなり同時に断面收縮率は著しく大となり 500°C に於ては更に皺は少くなり断面收縮率は100%に近く殆ど圓錐形で其の破断面を見る事が出来ない。

純 Al の顯微鏡組織は寫眞 No.2 に示す如く一様なる單一相であるが、純 Al の研磨は甚だ困難にして充分注意したるも研磨疵並びに鏽を生じ結晶境界は明かに現れて居ない。

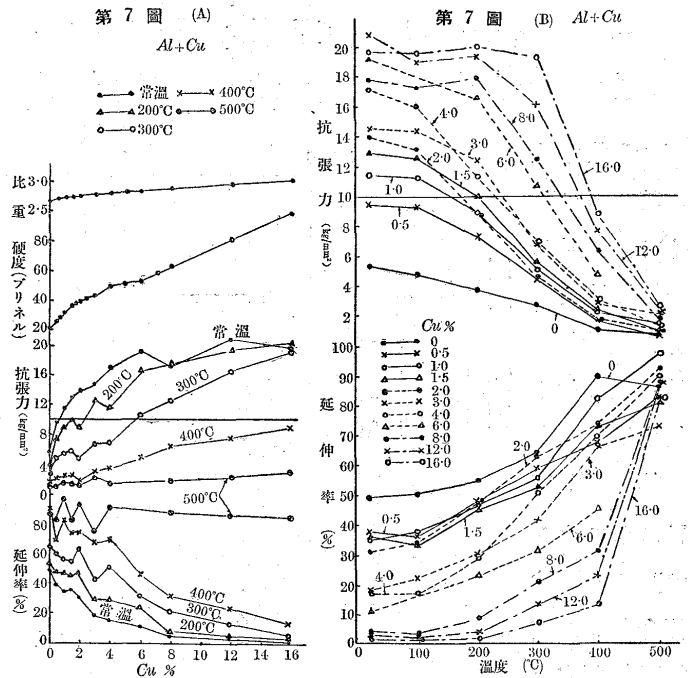
總 括

1. 鑄造状態の純 Al の高温度試験を行った。
2. 純度高い程抗張力は低く歐洲産のものでは常温で 5 kg/mm<sup>2</sup> 強で 400°C では 1 kg/mm<sup>2</sup> 強の抗張力を有するに過ぎない。
3. 抗張試験片の表面には著しく皺を生じ破断面は silky structure を呈す。

第 V 章 二元系合金の高温度試験

I. Al-Cu 系 此の系に屬する状態圖の研究は第一編) に述べし如く多くの人々によつて報告されてゐるが、最も新しいものは西村博士<sup>2)</sup> の状態圖にして共晶温度は 546°C で其の温度に於ける Cu の溶解度は 5.6% であると言われて居る。而して Al-Cu 系に關する常温に於ける抗張試験は多くの人々によつて研究されたが、高温度に於ける抗張試験の系統的のものは全くないのである。唯 W. Rosenhain<sup>3)</sup> が Cu, 6, 8, 12, 14% の Al-Cu 合金の chill cast せるものに就て高温度の抗張試験結果を報告せるのみである。彼れの實驗結果によれば之等の合金は 150°~250°C 附近で總て實際的に同じ位の抗張力となり 300°C 以上に於ては Cu の少い 6% 及び 8% を含むものは 12% 及び 14% に比較して悪い事になつて居る。其の實驗報告は詳細を缺き直に之を信じ又は之を批判する事も早計ではあるが、著者は此の 150°~250°C に於て Cu 含有量の如何に拘らず此等の合金が大體に於て等しき抗張力を示すと言ふ點に疑を持つものである。本實驗に於ては著者は

Cu を 0.5~16% に變化して常温より 500°C に至る抗張試験を行った。第 7 圖 A は Cu の含有量による抗張性質の變化を表すもので、第 7 圖 B は之等 Al-Cu 合金の常温より高温度に亘る抗張性質の變化を示すものである。第



7 圖 A を見ると常温に於ける抗張力曲線は約 Cu 2% 迄急激に昇り次に 6%迄稍急にそれより Cu が増加しても抗張力の増加は極めて徐々である。200°C の曲線では Cu 6% 迄は抗張力の減少を示すが 8%以上では殆ど常温に於ける抗張力を示して居る。然るに 300°C の場合には Cu 2% 迄は純 Al の抗張力と大差なく 2% 以上に増加するに従ひ抗張力は直線的に上昇し Cu 16% では殆ど常温の抗張力と異ならないが 400°C の場合には曲線は降下して Cu 16% の場合と雖も 10 kg/mm<sup>2</sup> 以下になり Cu の量の少いものは更に其の強さを減じて居る。之を第 7 圖 B の抗張力-温度曲線と對照すると温度の上昇と共に Cu の含有量に應じて抗張力曲線の形狀の變化して行くのがよく解る。此の Al-Cu 系に於て抗張力曲線の特徴とする所は、温度の上昇と共に此の曲線の方向が直線的に降下せざる事である。即ち Cu の量の如何に拘らず温度上昇するも最初或る温度迄は抗張力の變化少く、次に 400°C に向つて急激に降下する。而して Cu の量の多い程常温に於ける強さが急に減少し始めんとする温度が益々高くなり Cu 16% の如きは 300°C に於ても常温と殆ど變りなく、此の系合金中で最も耐熱性の強い事を示して居る。400°C に於ても Cu 8% 以上のものは純 Al の常温の強さよりも大なる抗張力

1) 伊丹榮一郎: 水曜會誌 第 8 卷 (昭和 9 年) 第 4 號  
 2) 西村博士: 水曜會誌 第 5 卷 (大正 15 年) 第 3 號 292  
 3) W. Rosenhain: Eleventh Rep. to the A. R. C. (1921)

を有して居る。即ち  $Cu$  は其の含有量の増加によつて  $Al$  の高温度に於ける抗張力を増加するもので W. Rosenhain の言へるが如き  $150^{\circ}\sim 250^{\circ}C$  に於ける此の系各種合金の抗張力の一致點を見出さないのである。

第7圖 A に就て常温に於ける硬度の變化を見るに  $Cu$  2% 迄急激に増加し、それより 6% 迄稍緩に、次に 6% より 16% に向つて更に前者よりも比較的急激に増加する。即ち常温に於ける抗張力曲線との關係を考ふるに  $Cu$  6% 迄は其の傾向を同じくするが  $Cu$  6% 以上に於ては曲線の方向は並行しない。併し  $300^{\circ}C$  の抗張力曲線はよく此の硬度曲線の傾向に一致し  $400^{\circ}C$  及び  $500^{\circ}C$  の曲線も其の程度は小であるが傾向の相似たるものを見るのである。本實驗の試験材は金型に注入し急冷して作られたものであるから、後述する如く常温に於ける  $Cu$  の  $Al$  中への溶解度は相當多くして  $Cu$  約 2% にして始めて  $CuAl_2$  の化合物を見る故に、此の範圍迄に於ては常温に於ける硬度並びに抗張力は直線的に増加する事は當然の事で、温度が上昇するにつれて  $Cu$  の溶解度が増加する故に  $Cu$  2% に至る迄の急激なる曲線の上昇の傾向が次第に少くなり  $Cu$  4~6% 迄殆ど直線的に抗張力の増加を見る。而して  $Cu$  4% 或は  $Cu$  6% より  $Cu$  16% に向つて抗張力は増加し、其の傾向の大小は試験温度によつて異なるが、常温よりは  $200^{\circ}C$  更に  $300^{\circ}C$  に於て曲線上昇の傾向は大となり  $400^{\circ}C$  では稍小となり  $500^{\circ}C$  では更に小となる。これは状態圖より考へられるが如く  $CuAl_2$  の量によるもので  $Cu$  の増加と共に  $CuAl_2$  の量多くなり従つて硬度の上昇を來たし又抗張力の増加を生ずるのである。即ち第7圖 B の抗張力曲線より考へて常温に於ける抗張力は主として  $Cu$  の溶解度に關係し、之に  $CuAl_2$  の化合物の増加量が相當影響を及すものであるが、高温度に於ける抗張力は主として  $CuAl_2$  の量によるものと言へる。

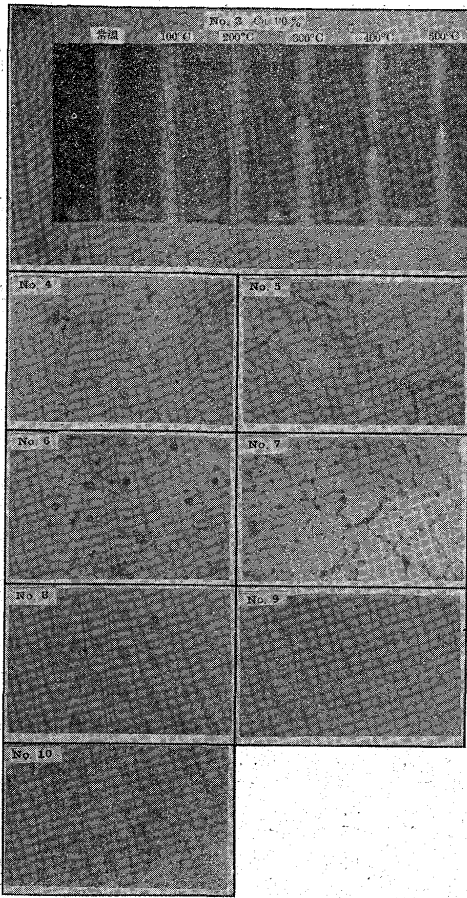
延伸率は第7圖 A を見ると  $Cu$  の量と共に減少して居る。而して常温曲線では  $Cu$  4% 迄減少の傾向著しくそれより徐々に低下するが、これは常温に於ける抗張力曲線と相對應するものである。温度上昇すると延伸率は一般に増加するが  $400^{\circ}C$  曲線では  $Cu$  4% 迄は餘り變化なく  $Cu$  がそれより増加すると延伸率は減少する。又温度に對する  $Al-Cu$  系各種合金の延伸率の變化を見るに此等の曲線は大體三群に分れて居る。即ち  $Cu$  0.5~2%  $Cu$  3~6% 及び  $Cu$  8~16% である。延伸率は抗張力曲線と大體相對

應する現象を呈し  $Cu$  の少い間は  $100^{\circ}C$  迄  $Cu$  が多くなると  $200^{\circ}C$  迄變化なく、温度の上昇に従つて延伸率は増大する。 $Cu$  の量の少いものは  $100^{\circ}C$  を過ぎると延伸率は増加の傾向大となり  $300^{\circ}C$  より急に増加するが  $Cu$  が多くなるに従ひ  $400^{\circ}C$  迄増加の割合が次第に少くなり  $400^{\circ}C$  を過ぎると急に増加する。即ち注意すべきは  $Cu$  の少い程  $300^{\circ}C$  から  $400^{\circ}C$  の延伸率の増加は大であるが  $Cu$  の多くなる程  $400^{\circ}C$  より  $500^{\circ}C$  迄の延伸率の増加率が大になる。之が爲に抗張力の減少と延伸率の増加とが相伴はない。 $Cu$  8% 以上の群に於ては抗張力は  $400^{\circ}C$  で著しく低くなるが其の割合に延伸率は増加しない。 $500^{\circ}C$  では  $Cu$  の量多いものでも全部純  $Al$  の延伸率に近い値を示す様になる。

試験片の破斷狀況を見るに  $Cu$  2% 迄は純  $Al$  の場合に大體似て居るが唯、純  $Al$  の場合の如き鑄塊の引けの影響が現れて居ない。寫眞 No.3 は  $Cu$  1% の場合を示すもので試験片の表面は多くの皺を生じて居る。破斷面は silky structure を呈し  $400^{\circ}C$  以上では酸化の爲に灰色となつて居る。 $Cu$  3% になるも表面の皺比較的大で常温に於ては破斷面附近に於ける局部的の斷面收縮がなく、破斷面は最早 silky structure を呈せず  $Ni-Cr$  鋼の場合に於ける如き木目組織に似たる状態を示すが其の方向も不揃で恐らくこれは結晶の slip ならんと考へられる。 $300^{\circ}C$  になると局部的斷面收縮が急に増し表面皺を減じて  $400^{\circ}C$ ,  $500^{\circ}C$  に至りては表面皺が極めて小となりて斷面收縮を著しく増加する。 $Cu$  4% になると常温にては硬度の増加と共に表面皺も小となり表面に小龜裂を生じ斷面收縮殆どなく破斷面は凹凸があるが結晶は細かい。 $300^{\circ}C$  から斷面收縮は大となるが  $300^{\circ}C$  及び  $400^{\circ}C$  に於て龜裂最も多く  $500^{\circ}C$  では再び減少する。 $Cu$  6% に於ても同様に常温より龜裂を見、且つ此のものは結晶粒が比較的粗である。 $Cu$  8% に於ては常温にては表面に異状なく  $200^{\circ}C$  より龜裂を生じ  $Cu$  12% 及び 16% に於ては斷面收縮の生ずる部分に龜裂を生じ  $500^{\circ}C$  に於ては殆ど消失する。破斷面は高温になると稍粗くなる傾向がある。 $Cu$  8% より 16% に進むに従つて結晶粒は次第に細くなり、而して  $Cu$  の量が多くなるに従ひ  $400^{\circ}C$  迄の斷面收縮率は次第に減少するが  $500^{\circ}C$  に於ては何れも 100% 附近となる。

比重は第7圖 A に示す如く總て 3 以下にして  $Cu$  16%

含有のもののみ僅かに3の値を超過して居る。



No. 4~10 Al-Cu 合金 ×100

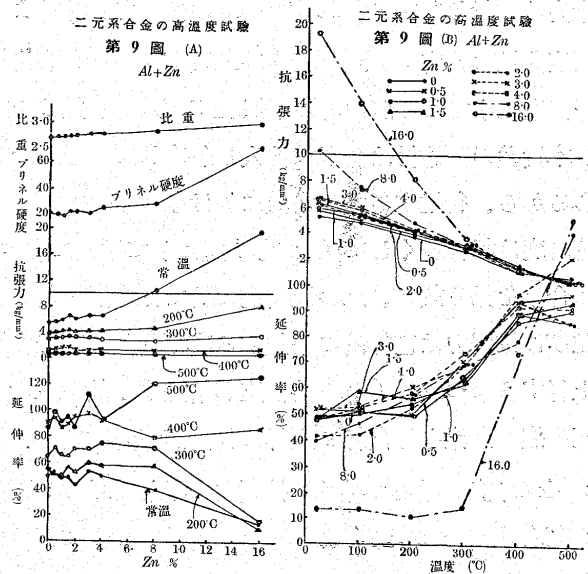
- No. 4. Cu 0.5% 腐蝕剤 10% NaOH
- No. 5. Cu 1.5% 腐蝕剤 10% NaOH
- No. 6. Cu 2% 腐蝕剤 HNO<sub>3</sub>
- No. 7. Cu 6% 腐蝕剤 10% "
- No. 8. Cu 8% 腐蝕剤 "
- No. 9. Cu 16% 腐蝕剤 ピクリン酸 曹達
- No. 10. Cu 12% 腐蝕剤 HF

寫真 No. 10 は Cu 12% 合金の 500°C に於ける抗張試験片の破断面附近の縦断面を示すもので、網状であつた CuAl<sub>2</sub> の化合物が tension の方向に配列して居るのが解る。

以上の結果によると Cu は Al の高温度に於ける抗張力を増加するもので、獨逸では Cu 12~16% の Al-Cu 合金がピストンに應用されて居るのも此の實驗結果から考へると首肯し得らるゝ所である。

**II. Al-Zn 系** 此の系に屬する状態圖は Hanson and Gayler<sup>4)</sup> に依つて研究されたが我國の石原富松博士<sup>5)</sup> の研究が最新のものに屬して居る。それによると Zn は 23% 位迄は常溫で固溶體を作る。Zn は Al の硬度及び抗張力を増加する爲に必要な要素であるが Al-Zn 二元系合金にして商業上實際に用ひられて居るものを見ない。

併し Zn が Al 合金の耐熱性に及す影響を見んとするには先づ Al-Zn 合金に就て研究して置く必要がある。Al-Zn 合金に關する高温度試験に就ては、既に N. P. L.<sup>6)</sup> で行はれて居るが其の報告が餘りに古く、又米人 J. B. Johnson<sup>7)</sup> の Zn 15% 迄の Al-Zn 合金に就て 150°C 及び 260°C に於ける實驗報告があるが、これ亦信賴出来ない所がある。依つて著者は之を確める意味で Zn 0.5~16% の範圍に亘つて各種の Al-Zn 合金を作り、常溫より高温に亘る抗張試験を行つた。第9圖 A 及び B は此の



結果である。之を見るに Zn が Al の抗張力に及す影響は Cu の場合と異つて居る。Zn は Al に固溶體として含有される範圍が Cu の場合よりも大で前述の如く Zn 約 23% 迄に及んで居る。故に實驗の範圍は全く此の常溫に於ける溶解度以内に屬し、従つて第9圖 A の如く常溫に於ける抗張力は略々直線的に増加するのである。而して Zn 16% を含むものは Cu 16% を含む場合に比して殆ど抗張力は同様であるが Zn 含有量の少いものは之と同量の Cu を含む合金に比較して抗張力は劣る。Al-Zn 状態圖に依ると Al に Zn 16% 迄を加へる時は其の熔融點は約 50°C 迄の降下が認められるが Al-Cu の場合に比して殆ど變りがないのである。然るに Al-Zn 合金に於ては Zn の多いものは 200°C に於ては著しく抗張力の降下を示して居る。これは Zn の溶解度の大きなる爲に Al-Cu 合金の如くに ageing をしない事も原因するが Zn それ自

<sup>4)</sup> Tenth Rep. to the A. R. C. (1912)

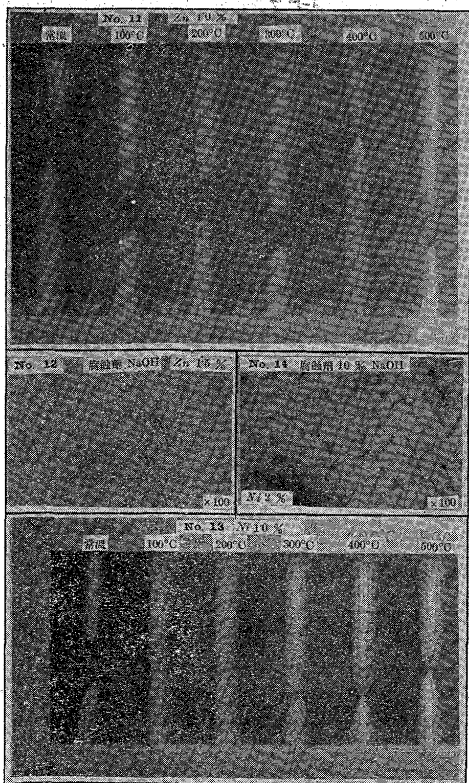
<sup>7)</sup> J. B. Johnson : Mech. Eng. 49. (1927) 1268.

<sup>6)</sup> Hobson and C. Sylvester : A. Comp. Treat. on Inorg. and Theor. Chem. 4. 430.

<sup>4)</sup> Hanson and Gayler : J. Inst. of Metals. 27. (1922.) 267

<sup>5)</sup> 石原富松博士 : 金屬の研究 第 1 卷 第 3 號 283

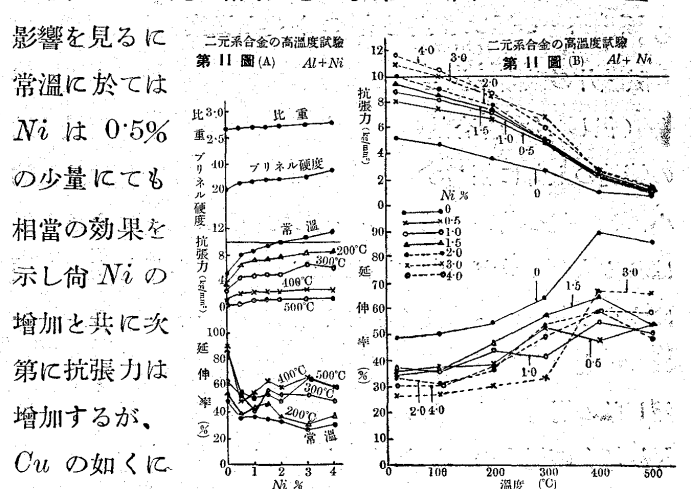
身が 100°~150°C<sup>8)</sup> に於て軟くなる特性を有する爲に Al-Zn 合金が既に 100°C 或は 200°C に於て著しき抗張力の降下を招くものでないかとも思はれる。300°C の曲線では殆ど水平線に近づき 400°C 及び 500°C では全く曲線は水平線となる。即ち Zn の含有量が増加するも 300°C 以上に於ては殆ど Zn が Al に與ふる耐熱的効果が何等現れない事を示して居る。Johnson の研究に依れば 260°C の抗張力曲線は Zn 7% 附近で最大を示して居るが上記の結果より考ふれば誠に疑はしく思はれる。延伸率は Zn の量少い間、即ち 8% 迄は純 Al と大差ないが Zn 16% に於ては著しく減少する。併し温度が 400°C 以上になると殆ど變りがない。硬度と常温抗張力の兩曲線は大體に於て並行する。而して Al-Cu 合金の場合に比して硬度は著しく小にして Zn 8% より稍増加し Zn 16% でブリネル硬度 70 に達す。第 9 圖 B は温度の上昇による抗張性質の變化を示すもので、常温に於て抗張力の大きなものも 300°C に向つて總て直線的に降下し以後全く純 Al と變りなく Zn 16% を含むものも 200°C に於て既に 10 kg/mm<sup>2</sup> 以下に落ちて居る。之を要するに Zn は Al の常温に於ける抗張力を増加するが、高温度に於ける抗張力には良好なる影響を及さない。



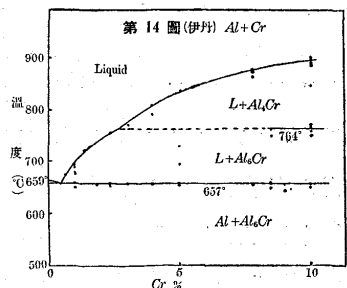
試験片の破断状況、即ち表面及び破断面の状態を見るに Zn 4% 迄は頗る純 Al の場合に類似し断面の平面圖は不規則なる形を呈して居る。然し Zn 8% より殆ど圓形を呈するが常温試験片のみは破断點附近の表面に hair crack を生じ Zn 16% に於ては常温より 300°C 迄は断面收縮殆どなく且つ常温より 400°C 迄は龜裂を生じて居

る。寫眞 No.11 は Zn 1% の場合を示せるものである。顯微鏡組織は本實驗に用ひたる Al-Zn 合金の Zn 含有量が最大 16% で、全く固溶體の範圍内であるから、寫眞 No.12 に見る如く單一相  $\gamma$  を現して居るのみであつて黑色の點々で見ゆるは研磨による疵である。

**III. Al-Ni 系** Al-Ni 系に關する状態圖の研究は Gwyer<sup>9)</sup> 後藤<sup>10)</sup> 及び三島<sup>10)</sup> 最近には久恒<sup>11)</sup> 工學士に依つて行はれた。久恒氏に依れば約 Ni 5% の處に共晶點を有し、共晶温度は 638°C で此の温度以下では Ni は全く Al 中に溶解度を有せず Al<sub>3</sub>Ni<sub>2</sub> の化合物となつて居る。Ni の Al に及す機械的性質の影響に就ては二三の報告があるが皆常温に於ける實驗である。唯、最近 J. B. Johnson<sup>12)</sup> によつて Ni 2% 迄のものに就て温度 260°C 附近迄の實驗結果が發表されて居る。著者は Ni 0.5~4% を加へて高温度に於ける影響を調べた。第 11 圖 A 及び B は此の結果である。第 11 圖 A にて Ni 量の影響を見るに



常温に於ては Ni は 0.5% の少量にても相當の効果を示し尙 Ni の増加と共に次第に抗張力は増加するが、Cu の如くに其の影響は大でない。之は Ni は Al とは殆ど固溶體を作らぬ事が Cu と異なる點で Al と化合物を作る事は兩者同様である。Ni の量による耐熱的効果は 300°C 迄認められるが 400°C に於ては 0.5% Ni も 4% Ni も殆ど變らない。硬度は Ni の量と共に増加し概



9) Gwyer: Z. Anorg. Chem. 57 (1908) 113.  
 10) 後藤博士: 三島博士: 日本鑛業會誌 (1925) 41  
 11) 久恒工學士: 水曜會誌 4 (大正 14 年) 1548  
 12) J. B. Johnson: Mech. Eng. 49 (1927) 1268.

断面收縮殆どなく且つ常温より 400°C 迄は龜裂を生じて居



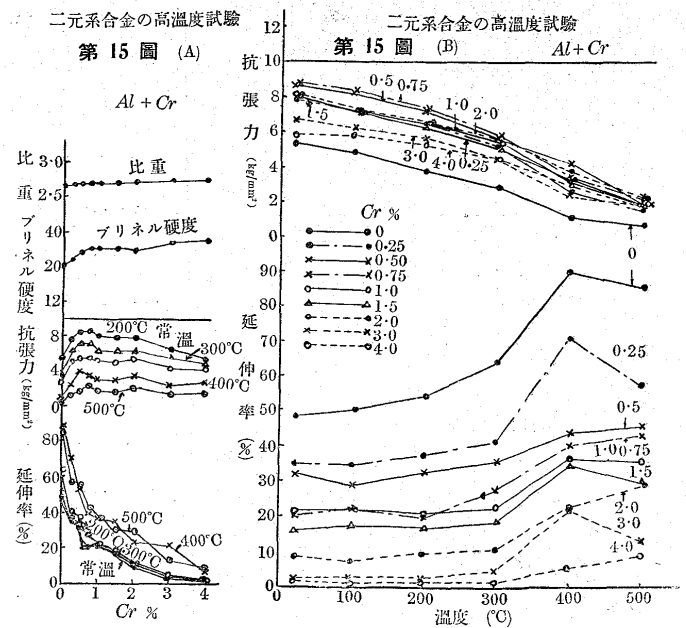
して常温の抗張力曲線に平行して上昇する。又  $Ni$  の量の延伸率に及ぶ影響は常温曲線によれば  $Ni$  の量と共に漸次減少する。而して温度上昇するに従ひ純  $Al$  の延伸率は増大するが  $Ni$  を含有するものは比較的延伸率の増加量少く且つ  $Ni$  の含有量による影響が明瞭に現れない。第11圖 B の抗張性質と温度との関係を見ると各種配合の  $Al-Ni$  合金の温度と共に抗張力及び延伸率の變化する有様がよく解る。 $Ni$  は其の量による効果  $Cu$  の如く著しくないが、少量にても純  $Al$  の高温に於ける抗張力に良好なる効果を與へる事は注意すべきである。又延伸率が  $Al-Cu$  の場合は  $500^{\circ}C$  に於て何れも純  $Al$  と殆ど同程度に増加するに反し  $Al-Ni$  合金に於ては純  $Al$  より遙かに延伸率は少ない。即ち  $Ni$  は  $Cu$  と同様に  $Al$  の耐熱性を増加せしむるものであるが  $Cu$  は含有量の増加と共に其の効果大なるに反し  $Ni$  は少量なる時の効果は  $Cu$  と同様に相當顯著であるが  $Ni$  の量の増加による影響は比較的少ないのである。

試験片の破断状況を見るに純  $Al$  又は  $Al-Zn$  合金の場合(但し  $Zn$  含有量の少い場合)に類似し、表面皺は元の鑄塊の上部に相當する側に大で下部に應ずる側は比較的小にして且つ其の数は多い。而して引けの影響によると思はれる大なる筋が上部に現れるが  $Ni$  の量が増加すると皺は少くなり此の筋も浅く小さくなる。破断面は silky structure を呈し  $Ni$  4% に至るも断面極めて綺麗である。然し此の場合には少しの龜裂を生ずる。寫眞 No. 13 は  $Ni$  1% の場合の状況を示すものである。

顯微鏡組織は状態圖より考へられる如く  $Ni$  は  $Al$  中に固溶體として含まれないから  $Ni$  0.5% でも明かに  $NiAl_3$  の compound が結晶粒の境界に見られ、寫眞 No.14 に示す如く  $Ni$  2% になると完全に網状組織を呈し  $Ni$  の増加と共に網目の面積が大となる。

**IV.  $Al-Cr$  系**  $Al-Cr$  系に關する状態圖の研究は Hindrichs<sup>13)</sup> の報告せるものがあるが既に古く且つ信頼性に乏しい様に考へられる。我國に於ては後藤博士<sup>14)</sup>が此の系の研究を發表されたが  $Cr$  0.5% で共晶點が存在し其の温度は  $645^{\circ}C$  と言はれ、而して  $Cr$  の solid solubility があるかも知れぬと點線を以て其の境界が示されて居る。

著者は本研究をなすに當り斯くの如く非常に異りたる状態圖を得たので之を確むる必要を生じ differential method 並びに顯微鏡試験によつて  $Al-Cr$  系の  $Al$  side で  $Cr$  10% 迄の範圍の實驗を行つたが第14圖の如き結果を得た。之に依ると大體曲線の形狀は後藤博士の行はれたものに似て居るが、著者の場合は共晶點は  $Cr$  0.75% 附近、共晶温度は  $657^{\circ}C$  となつて居る。併し、著者は顯微鏡寫眞に見る如く  $Cr$  0.25% にして既に  $Al_6Cr$  の化合物の存在を見たるを以て  $Al$  は  $Cr$  と殆ど固溶體を作らざるものと考へる。而して抗張試験片の  $Cr$  0.75% 配合のものは共晶組織を示し、又後述する抗張試験の結果から推察するに、共晶點は  $Cr$  0.75% 附近に存するものと考へられる。東北帝大、高橋清教授<sup>15)</sup>は鑄造用輕合金の研究中  $Al-Cr$  系の實驗に於て  $Cr$  0.8% にて此の系に於ける抗張力の最大を得て、之を Hindrichs. の状態圖から  $Cr$  1% の共晶點に於て最大の抗張力が得られると言ひ、又飯高博士<sup>16)</sup>は海水に耐蝕性大なる輕合金の研究に於て  $Cr$  の影響を見たるに  $Cr$  1% にて最大抗張力が得られる様であると述べて居る。併し後者も亦 Hindrichs の状態圖を参考として居る。併し前述せる如く著者の研究に於ては  $Al-Cr$  系の共晶點は Hindrichs の如く 1% でない結果が得られたので、著者は此の系に關する高温試験を行ふに當り特に配合を細かく分ち  $Cr$  0.25%, 0.5%, 0.75% 1%, 1.5% 2%, 3% 及び 4% に互つて實驗を行ふ事にした。



<sup>13)</sup> Hindrichs: Z. Anorg. Chem. 59 (1908) 430

<sup>14)</sup> 後藤博士: 合金學 (アルミニウム合金) 483

<sup>15)</sup> 高橋清: 金屬の研究 第3卷 第9號 453

<sup>16)</sup> 飯高博士: 鐵と鋼 第17年 第12號 1336

第 15 圖 A 及び B は此の結果を示すものである。

第 15 圖 A を見るに常温にては  $Cr$  0.5~0.75% に於て抗張力は最大に達しそれより  $Cr$  の量の増加と共に漸次減少し  $Cr$  3% より多くなると寧ろ純  $Al$  の抗張力よりも悪くなる。200°C, 300°C 及び 400°C の抗張力曲線も亦  $Cr$  0.5~0.75% に於て最大を示し 500°C に於ては  $Cr$  0.75% の場合に最大を示すが、それ以上  $Cr$  の含有量が增加しても抗張力は悪くならないが  $Cr$  0.5% の場合と殆ど差異を認めない。即ち  $Cr$  0.5~0.75% に於て各温度に於ける抗張力の最大点を有する故に  $Cr$  の添加は  $Al$  の耐熱性を増加せしむるには少量なるを可とするのである。延伸率曲線を見るに抗張力曲線の最大점에相當する現象を認める。即ち  $Cr$  0.5~0.75% に於て延伸率は急激なる減少をなし、それより  $Cr$  含有量の増加と共に漸次低下し  $Cr$  3% に於ては其値僅かに 3% となる。200°C 及び 300°C の延伸率曲線は常温曲線に接近して居るが 400°C 及び 500°C の曲線は之等と大なる開きを保つて  $Cr$  量の増加と共に降下して何れも其の傾向は相似て居る。之より考ふるに共晶點は Hindrichs の 1% でなくして後藤博士の 0.5% か或は 0.75% 附近にある様に思はれる。

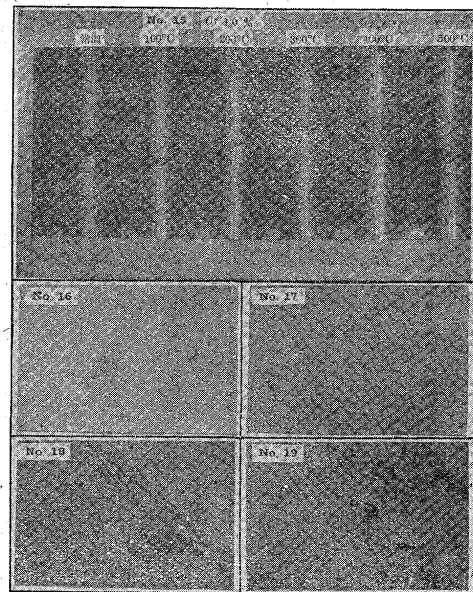
之等各種配合の合金が温度と共に變化する狀況は第 15 圖 B の如くで、抗張力曲線は純  $Al$  即ち  $Cr$  0% の曲線に大體平行する如き状態を呈して各曲線は密集し  $Cr$  の効果の大ならざるを感ぜしめるが 400°C 及び 500°C に於て  $Cu$ ,  $Zn$ ,  $Ni$  等に比して抗張力減少の割合少く、所謂  $Al$  合金の耐熱性を保持する點は注意すべき事である。尙此の圖に於て  $Cr$  0.5% 及び 0.75% の兩曲線が他の曲線の最上を走れる事は前述の説明を更に明かにするものである。温度による延伸率曲線の狀況を見るに  $Cu$ ,  $Zn$ ,  $Ni$  等の同量を添加せる場合に比較すると  $Cr$  は著しく延伸率を減少するものと言はねばならぬ、併し又一方高温度に於ける變形の困難なる點から考へて充分耐熱性を與へるものであると言へる。 $Cr$  0.25% の曲線は純  $Al$  の曲線と似て居るが  $Cr$  0.5% のものは 300°C より 400°C に至る延伸率増加の傾向が減少し  $Cr$  の量が更に増加するも大體此の傾向を示す様である。

試験片の破斷狀況を見るに  $Cr$  0.25% を含むものは表面の狀況純  $Al$  の場合に殆ど類似し表面皺多く破斷面は silky structure を呈するが  $Cr$  0.5% になると破斷面が silky structure を減じ且つ白灰色を帯ぶるに至り斷面の

收縮少くなる。 $Cr$  0.75% になると表面の皺を失ひ破斷面に近き表面に少數の微細なる龜裂を見る。 $Cr$  の含有量の増加するに従ひ此の龜裂は大になる傾きがある。 $Cr$  の量が 0.75% より増加すると破斷面に輝々たる結晶の散在するを見るが之は  $Al-Cr$  化合物の結晶である。此の結晶は  $Cr$  含有量の増すと共に多く且つ大なる形で現れる。而して  $Cr$  2% 迄は試験温度が上昇すると消失し 500°C に於ては破斷面は silky structure となるが  $Cr$  3% においては 500°C に於ても尙多少此の結晶を存し  $Cr$  4% に於ては殆ど各温度を通じて之を見る。之によつて  $Cr$  の多量含有されて居るものは鍛造の困難なる事が想像される。寫眞 No.15 は  $Cr$  1% の場合を示す。

Al-Cr 合金

顯微鏡組織



No.16  $Cr$  0.25% 腐蝕劑  $HF \times 800$   
No.17  $Cr$  0.75% 腐蝕劑  $HF \times 100$   
No.18  $Cr$  0.85% 腐蝕劑  $HF \times 100$   
No.19  $Cr$  1.0% 腐蝕劑  $HF \times 100$

は寫眞 No.16 ~19 に示す如く  $Cr$  0.25% 含有のものより  $Al-Cr$  の化合物を僅かに認められるが  $Cr$  0.75% は  $Al+Al_6Cr$   $Cr$  の eutectic よりなり  $Cr$  1% よりは棒状或は塊状の  $Al_6Cr$  の化合物が初晶として現れて居る。

V.  $Al-Mn$  系 此の系の状態圖は Hindrichs 氏<sup>17)</sup> のものがあるが不備の點が多く、我々に於ては後藤、三島兩博士<sup>18)</sup>が研究され更にその後石原寅次郎博士<sup>19)</sup>によつて完成された。それによると  $Mn$  約 3% で共晶點を有し共晶温度 654°C 以下では  $Mn$  は  $Al$  に溶解度を有せず  $Al$  と  $Mn$  の化合物、即ち  $Al_6Mn$  よりなつて居る。然るに Dix and Keith<sup>20)</sup>によれば共晶點は  $Mn$  2.2%

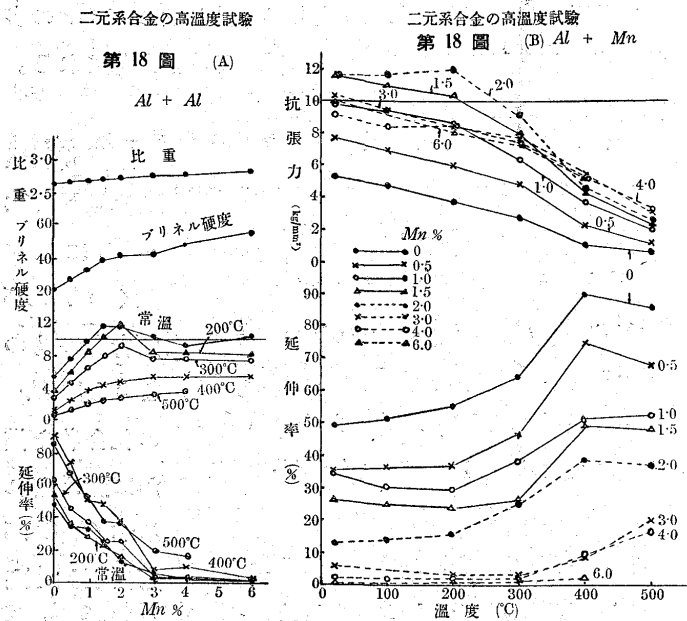
17) Hindrichs: Z. Anorg. Chem. 59 (1908) 441.

18) 後藤博士、三島博士: 日本鑛業會誌 (1925) 41

19) 石原寅次郎博士: 金屬の研究 第3卷 第1號 13

20) Dix and Keith: Amer. Inst. Min. and Met. Eng. No. 1663. E 及び The Heat-treatment and Annealing of Al and its Alloys. 95.

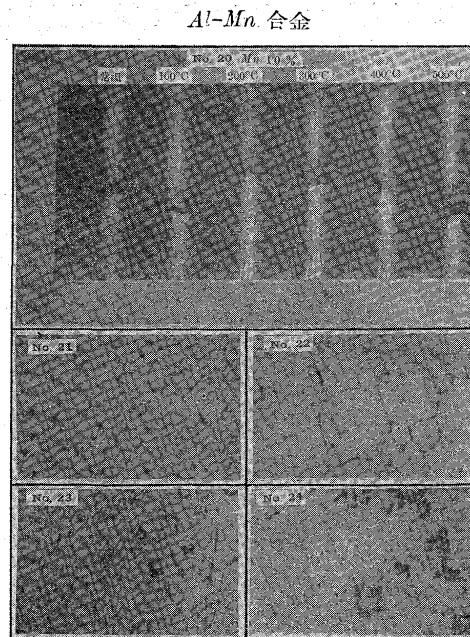
に於て存在し、共晶溫度 657 C に於ける Mn 最大溶解度は 0.65% で溫度の降下と共に之が減少すると言はれて居る。又此の系の機械的試験は至つて少く僅かに報告されて居るものは高橋清教授<sup>21)</sup>の研究で鑄造状態にて常溫に於ける試験が行はれ Mn 3% に於て最高抗張力が得られると報告されて居る。高溫試験に關しては J. B. Johnson<sup>22)</sup> が Mn 2% 迄で 260°C 迄の實驗を報告せるに過ぎない著者は Mn 0.5% より 6% に變化して各溫度に於ける抗張性質を調べた。



第 18 圖 A は各溫度に於ける抗張性質と Mn 含有量との關係を示すもので、抗張力曲線は常溫に於ては Mn 2% にて最大に達し 3% よりは寧ろ低下の傾向がある。200°C 及び 300°C の曲線に於ても Mn 2% で抗張力の最大點を示し 400°C 及び 500°C の曲線では Mn 2% 迄抗張力の上昇が稍著しいが上述の如き最大點を示さず且つ Mn が增加すると僅かに抗張力は増加する。延伸率は何れの溫度に於ても Mn 3% に向つて急激に減少しそれより更に減少するが殆ど大差ない。第 18 圖 B は各種の Al-Mn 系合金の抗張性質と溫度との關係を示すものである。之によると Mn は曲線の性質上耐熱性を有する事が窺はれる。即ち Mn 2% のものは 200°C に於て常溫と殆ど抗張力に變化なく Mn 1.5% のもの之れに次いで 200°C に於ける抗張力は他のものより大であるが、溫度 400°C に向つて此の兩者は抗張力の減少比較的大で、之に反し

Mn 3% 及び 4% のものは常溫に於ける抗張力は低いが溫度の上昇による抗張力の減少は少く 400°C 及び 500°C に於ては寧ろ他のものを多少凌駕して居る。而して 400°C 及び 500°C の如き高溫度に於て Al-Mn 合金の抗張力曲線は Al-Cr 合金に於ける如く純 Al の抗張力曲線と相當の間隔を有し、明かに耐熱性を有する事を示して居る。次に延伸率曲線を見るに亦頗る Al-Cr 合金の場合に類似し Mn の量と共に延伸率は小となり高溫度に於ても少いのである。

試験片の破斷狀況を見るに Mn 0.5% 含有のものは殆ど純 Al の場合と同様で、唯 500°C に於ても尙其の破斷面が認められる點が相違して居ると試験片表面に大なる筋を生じない事である。Mn 1% になると 500°C に於ても斷面收縮少く従つて相當破斷面が大となり Mn 1.5% は一層此の傾向が大にして Mn 2% は常溫にては表面に皺を生ぜず破斷點附近の表面に小龜裂の發生を見、且つ破斷面に針狀結晶の如きものを見るが溫度上昇するに従ひ此の結晶が減少し同時に表面に皺を生じ 300°C に於ては全く



腐蝕剤 10% NaOH × 100

No. 21. Mn 0.5% No. 22. Mn 1%  
No. 23. Mn 2% No. 24. Mn 3%

silky structure を呈し 400°C にては稍灰色味を帯び 500°C に於ては破斷點附近の收縮表面に多少の龜裂を見る。Mn 3% のものは常溫にては表面全く元の儘で破斷面は結晶の slip の爲に岩狀突起を呈し灰白色である而して 300°C 迄は此の状態を續けるが 400°C では表面に微かなる相交錯せる龜裂を生じ 500°C に至れば更に破斷點附近の表面に一二の龜裂を生ずるが破斷面の狀況に何等變化を生じない。Mn 4% は之と同様で龜裂が非常に少くなり Mn 6% に於ては各溫度を通じて表面及び破斷面に變化を生じない。寫真 No. 20 は Mn 1% の場合

<sup>21)</sup> 高橋清：金屬の研究 第 3 卷 第 9 號 459

<sup>22)</sup> J. B. Johnson：Mech. Eng. 46 (1927) 1268.

を示すものである。

顕微鏡組織は寫眞 No.21~24 に示すが  $Mn$  0.5% に於ては結晶粒の境界に  $Al_3Mn$  化合物が現れ  $Mn$  1% に於ては殆ど完全なる網状組織をなし  $Mn$  1.5% に於ては  $Al$  と  $Al_3Mn$  の eutectic を生じ始め  $Mn$  2% に於ては大體 eutectic の組織を示し  $Mn$  3% に於ては eutectic の外に primary の  $Al_3Mn$  化合物の出現を見  $Mn$  量の増加に従ひ此の化合物の量が多くなる Hindrichs、後藤博士、石原寅次郎博士の研究によると  $Mn$  3% で共晶點がある様になつて居るが本実験の抗張試験並びに顕微鏡試験の結果から考へると  $Mn$  2% 附近に共晶點の存在すると言ふ Dix and Keith の説の方がよく適合する様に思はれる。

**VI. Al-Fe 系** Al-Fe 系に関する状態圖は Gwyer<sup>23)</sup> によつて始めて研究され其後 Rosenhain,<sup>24)</sup> Kurnakov,<sup>25)</sup> Dix<sup>26)</sup> 等によつて報告せられ最近 Gwyer and Phillips<sup>27)</sup> によつて確められた。之等によると Fe 1.7~1.9% に於て共晶點を有し共晶溫度 655°C 以下では Fe は Al 中に全然溶解度を有して居らない。Al-Fe 系に對する常溫機械的試験に就ては既に Edwards<sup>28)</sup> 或

は高橋教授<sup>29)</sup>及び飯高博士<sup>30)</sup>の研究がある。前二氏の實驗に於ては Fe 2% に於て最大抗張力を示し、後者は Fe 3% に於て最大の結果を得た。然し之等は皆常溫に於ける實驗報告である。著者は Fe 0.5~4% を加へて高温に於ける其の影響を調べたが第 20 圖 A 及び B の如き結果を得た。

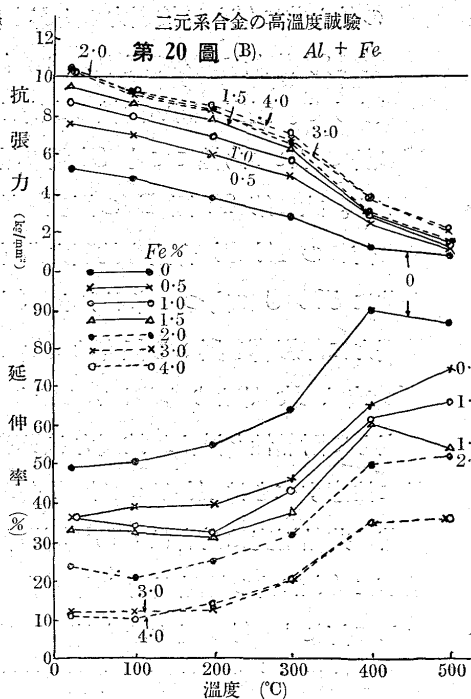
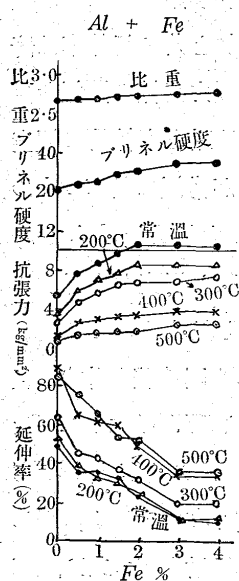
第 20 圖 A を見るに常溫曲線にては Fe 2%迄抗張力は増加し Fe 3% より多少減少するが大なる差異を生じない。200°C 及び 300°C にては Fe 2% 以上は抗張力殆ど變化なく 400°C に於ては Fe 0.5% 以上の含有量に對して其の効果顯著でなく徐々に抗張力の上昇せるを見る。而して 500°C に於ては殆ど直線的に Fe の含有量に應じて抗張力は僅かに上昇する。延伸率は各溫度曲線何れも Fe 含有量の増加と共に Fe 3% 迄次第に減少し 3% より 4% に向つては變化ない。

第 20 圖 B は之等各種合金が溫度と共に其の抗張性質の變化する様を示すもので曲線の性質は Al-Ni 等の場合に酷似して居るが、唯 Al-Fe の方が 400°C 及び 500°C に於て幾分か耐熱性が多い様に思はれる。而して Fe は Ni よりも延伸率を減少せしめる事が比較的大であるが Cr 及び Mn の如く甚しくない。

試験片の破斷状況を見るに Fe 0.5% 含有のものは試験片の破斷後の状況殆ど純 Al に似て居るが唯、破斷面の平面圖の形が圓形を示す事が異つた點である。Fe 1.5% 迄は大體此の傾向を呈し 500°C に於ける破斷面積が稍大なるのみである。Fe 2% になると最早 silky structure を呈せず結晶は頗る緻密であるが僅かに異種の針狀結晶の輝々として散在せるを見、又表面は龜裂の爲に粗となるが溫度の上昇に従つて針狀結晶並びに龜裂を減少し silky structure となる Fe 3% に至れば同様に表面龜裂及び針狀結晶が認められるが 500°C に於ては兩者共に消失し表面皺を増加する。Fe 4% に於ても同様の現象を認める。寫眞 No. 25 は Fe 1% の場合を示すものである。

顕微鏡組織は寫眞 No.26~29 に示す如く Fe 0.5% を含有するものは Fe が結晶の境界に ( $Al+FeAl_3$ ) の共晶として現れ Fe 含有量の増加と共に此の共晶の幅が増大し Fe 2% に於ては殆ど全部が共晶組織となり Fe

二元系合金の高温試験  
第 20 圖 (A)



<sup>23)</sup> Gwyer: Z. Anorg. Chem. 59 (1908) 113.

<sup>24)</sup> W. Rosenhain: Eleventh Rep. to the A.R.C. (1921) 212.

<sup>25)</sup> Kurnakov: Rev. de Met. 20 (1923) Extraits 66.

<sup>26)</sup> Dix: Proc. Amer. Soc. Test. Mat. 25 (1925) 120.

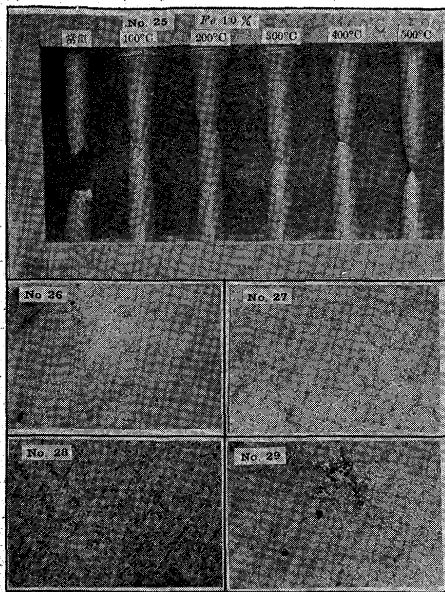
<sup>27)</sup> Gwyer and Phillips: J. Inst. of Metals. 38 (1927) 29.

<sup>28)</sup> Edwards: Rep. of the Light Alloys Sub. Com. Adv. Com. Aero. (1921) 146

<sup>29)</sup> 高橋清: 金屬の研究 第3巻 第9號 456

<sup>30)</sup> 飯高博士: 鐵と鋼 第17年 第12號 1336

Al-Fe 合金



腐蝕剤  $HNO_3$  10% × 100

No.26. Fe 0.5%      No.27. Fe 1%  
No.28. Fe 2%      No.29. Fe 3%

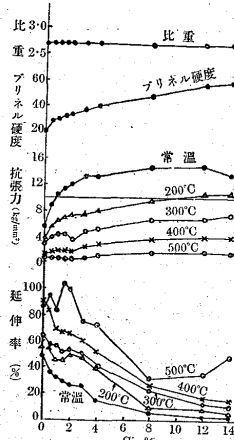
3% 以上に至れば primary の  $FeAl_3$  の大なる結晶を生じて居る  
**VII. Al-Si 系** Al-Si 系に関する状態圖は Fraenkel<sup>31)</sup> Roberts<sup>32)</sup> Hanson and Gayler<sup>33)</sup> Edwards<sup>34)</sup> 久恒工學士<sup>35)</sup> 大谷文太郎博士<sup>36)</sup>

Gwyer and Phillips,<sup>37)</sup> Köster and Müller,<sup>38)</sup> Dix and Heath<sup>39)</sup> 等の諸氏によつて研究された。之等の人々に依れば Al-Si 合金は Si 11.6% で共晶點を作り此の溫度に於ける Si の最大溶解度は約 1.5% にして常溫に向つて其の溶解度は減少して居る。Al-Si 系に関する常溫機械的試験は既に二三の文獻<sup>40)41)</sup> に報告され Si 約 12% で最大の抗張力を與へると言はれて居るが、高溫機械的試験の報告は J. B. Johnson<sup>42)</sup> によつてのみ與へられ而もこれは 260°C 迄の實驗を行つて居るに過ぎないのである著者は Si 0.5~14% に亘つて實驗を行つた。

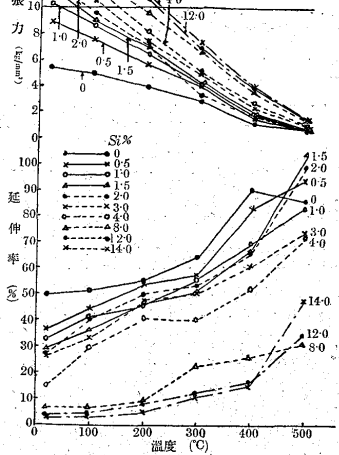
第 22 圖 A. に示す如く常溫曲線に於ては Si 0% より 1.5% に向つて急激に抗張力は増加し、それより Si 12% に至る迄徐々に増加し 12% を超えると減少して居る。之

31) Fraenkel: Z. Anorg. Chem. 58 (1908) 154.  
32) Roberts: J. Chem. Soc. 105. (1914). 1383.  
33) Hanson and Gayler: J. Inst. of Metals. 26(1921) 323.  
34) Edwards: Chem. Met Eng. 28. (1923.) 165.  
35) 久恒工學士: 水曜會誌 第 4 卷(大正 14 年)第 10 號 1455  
36) 大谷文太郎博士: 金屬の研究 第 2 卷 第 2 號 121  
37) Gwyer and Phillips: J. Inst. of Metals. 38 (1927) 29.  
38) Köster and Müller: Z. Metallkunde. 19 (1927) 52.  
39) Dix and Heath: Proc. Inst. Met. Div. A. I. M. E. (1928.) 164  
40) 高橋清: 金屬の研究 第 2 卷 第 8 號 797  
41) Archer and Kempf: Trans. Amer. Inst. Min. Met. Eng 26. (1926) 581  
42) J. B. Johnson: Mech. Eng. 49 (1927) 1268.

二元系合金の高温試験  
第 22 圖 (A) Al+Si



二元系合金の高温試験  
第 22 圖 (B) Al+Si

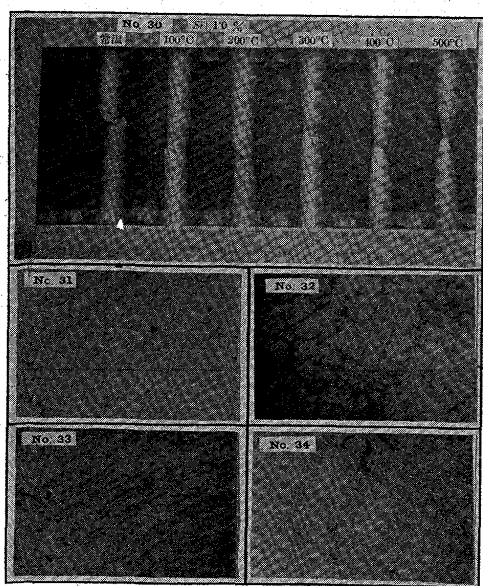


は Al-Si 系の状態圖より考へて Si の最大溶解度と Al-Si 系の共晶點に相當する點である。溫度が上昇すると此の抗張力曲線の形狀は變化する。即ち 200°C の曲線に於ては Si 1.5% 迄抗張力は急激に増加し、それより Si 量の増加と共に徐々に増加し Si 12% を超ゆるも殆ど變化なく、共晶點に相當する抗張力曲線の特異性が失はれて來る。而して 300°C, 400°C となるに従ひ曲線の形狀は次第に凸形を失ひ 500°C 曲線に至つては殆ど一直線となり Si の量と共に僅かに抗張力の上昇を示して居る。延伸率は Si 1% 迄急に減少しそれより Si 量の増加と共に次第に減少する。溫度の高い曲線の走向は多少亂雜になるが大體に於て何れの曲線にても Si 量の増加と共に延伸率は降下する。次に第 22 圖 B の溫度—抗張力曲線の關係を見るに何れの Al-Si 合金も抗張力曲線は殆ど直線的に溫度と共に 500°C に向つて降下する。Si が常溫に於て Al の抗張力に好影響を與ふる程度は Cu に次ぎ Zn, Ni, Cr, Mn 或は Fe 等よりも著しいのであるが、溫度が上昇すると直ちに耐熱性を減少し抗張力が降下し始めるのである。茲に注意すべきは Al-Cu, Al-Si 何れも固溶體を作り、且つ其の共晶溫度は前者は 546°C 後者は 577°C にして Cu 並びに Si が其の熔融溫度は夫々 1,084°C 及び 1,420°C にして何れも Al のそれより遙かに高いのである。而して Si は鐵に入りては頗る其の耐熱性を増加するが、Al に合金されたる時は餘り効果を現さず而も Si が Cu よりも其の熔融溫度が高いにも拘らず Al-Si の場合の方が耐熱性が乏しくなつて居る。顯微鏡組織を調べると Al-Cu 合金は  $\alpha + CuAl_2$  或は  $\alpha + (CuAl_2 + \alpha)$  eutectic である。Al-Si 合金は  $\alpha + (Si + \alpha)$  eutectic 或は  $(Si + \alpha)$

eutectic+primary large Si である。而して Al-Cu の共晶温度も Al-Si の共晶温度も約 20°C の差違で寧ろ Al-Si 合金の方が幾分たりとも高温度にありとすれば、次に考へられる事は唯 Cu が CuAl<sub>2</sub> として存在する事と Si が Al と化合物を作らずに存在せる事の差違あるのみである。而して CuAl<sub>2</sub> は Stockdale<sup>43)</sup> によれば其の溶解温度は 589°C にして Si のそれよりは著しく低い。而も温度僅かに 100°C 或は 200°C にして Al-Si 合金が Si 含有量の如何に拘らず總て抗張力の降下を示せるは、之等 CuAl<sub>2</sub> 及び Si の形状及び Al 固溶體との cohesion の差違によるものと考へられる。延伸率が温度と共に變化する様は Si 4% にては温度と共に次第に増加し殆ど純 Al の走向に相似て居る。且つ 500°C に於ては純 Al の延伸率と殆ど同様になるが Si 8% 以上は延伸率少く、400°C 迄徐々に増加し 500°C に向つて急に増加するが Al-Cu 合金に於ける如く増加しない。

試験片の破断後の状況を見るに Si 0.5% を含有せるものは純 Al の如く表面皺大にして多く、破断面は silky structure をなし其の平面圖の形状は圓形を呈しない。Si 1~4% のものは表面皺小となるが其の數多く且つ破断點附近に龜裂を生ずるが温度の上昇と共に減少し 500°C にては殆ど消失する。Si 3% より断面灰白色となり常に犬齒狀を呈し 300°C にては断面緻密となる。Si 8% に至

Al-Si 合金



腐蝕劑 HNO<sub>3</sub> ×100

No.31. Si 0.5%      No.32. Si 4%  
No.33. Si 12%     No.34. Si 14%

れば常温にて全く表面皺を見ず破断面稍粗にして灰白色を呈し温度上昇すれば表面龜裂を増加する。Si 12% のものは断面稍粗にして灰色を呈するが 400°C に於ては緻密なる組織

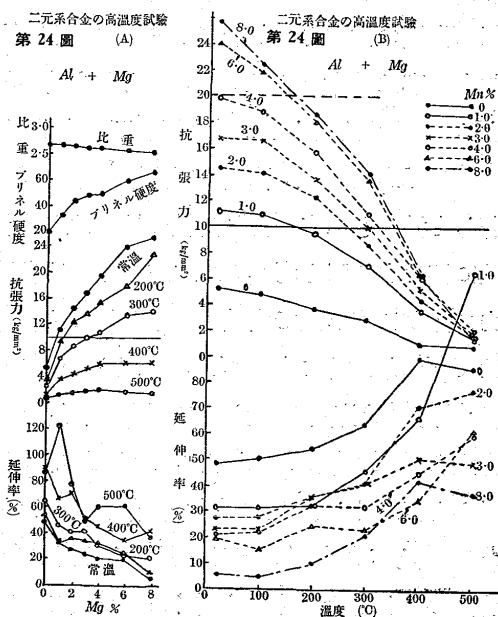
となり Si 14% に於ては同様に常温では表面に何等變化を見ないが破断面は灰色を呈し primary Si の結晶の爲に一様ならずして比較的粗と密なる混合組織を示して居る 300°C 及び 400°C にては多少の龜裂を見るが 500°C にては收縮部分の表面に皺を生じ龜裂を認めず破断面は緻密である。寫眞 No.30 は Si 1% の場合を示せるものである。

顯微鏡組織を見るに寫眞 No.31~34 に示す如く Si 0.5% に於ては α 組織を示すが Si 1% は α+eutectic となり結晶間に少量の eutectic が現れ Si の増加と共に之が網狀組織を呈し Si 12% に於ては殆ど eutectic の組織となり Si 14% に至れば primary の Si 結晶が出現する

VIII. Al-Mg 系 Al-Mg 系の状態圖は多くの人々

に依つて研究されたが現在の所最も完全と思はれるものは Hanson and Gayler<sup>44)</sup> の研究したものである。機械的試験に於ては既に數氏の報告があるが之等は皆常温に於ける試験であつて大谷博士<sup>45)</sup> は Mg 8% 迄著しく抗張力を増すと云ひ、高橋清教授<sup>46)</sup> は Mg 9% に於て最大抗張力を得たと述べて居る。然るに飯高博士<sup>47)</sup> は Mg 3% 迄非常に抗張力を増すがそれ以後は減小し、又再び Mg 10% に向つて抗張力が増加して行くと發表した。前二氏の唱ふる所と後者の實驗結果とは其の趣を異にして居る。著者は本實驗に於て Mg

1~8% の範圍に亙り常温並びに高温度に於ける Mg の影響を調べたが第 24 圖 A 及び B に示す結果を得た。第 24 圖 A を見るに常温に於ける



<sup>44)</sup> Hanson and Gayler: J. Inst. of Metals. 24 (1920)201.

<sup>45)</sup> 大谷文太郎博士:工業化學會誌 25 (大正 11 年) 36

<sup>46)</sup> 高橋清:金屬の研究 第 3 卷 第 9 號 463

<sup>47)</sup> 飯高博士:鐵と鋼 第 17 年 第 12 號 1338

<sup>43)</sup> Stockdale: J. Inst. of Metals. 31. (1924) 275.

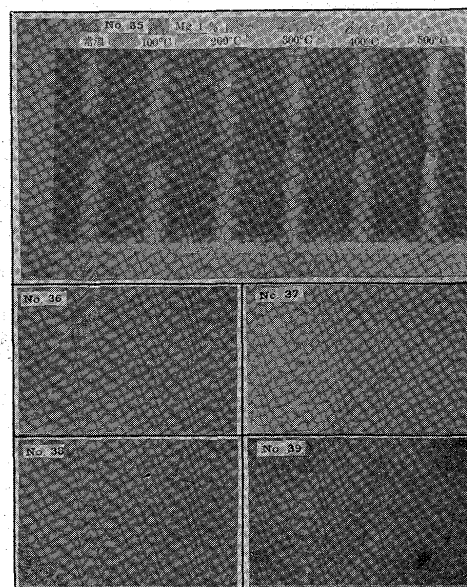
抗張力は  $Mg$  8% に至る迄著しく増加し  $Mg$  の量の多くなるに従つて稍緩かに曲線の上昇を示し  $Mg$  8% に於ては  $24\text{ kg/mm}^2$  以上の抗張力を表して居る。 $Mg$  8% は状態圖<sup>44)</sup>より考ふれば  $Mg$  は固溶體として存するから抗張力に著しき変化を見ずに溶解度の極限迄上昇するのが當然である。前研究<sup>48)</sup>に於て砂型にて  $Al-Mg$  系の抗張試験を行ひたる結果も  $Mg$  含有量と共に  $Mg$  10% 位迄は抗張力の上昇したる事を示したのである。200°C 及び 300°C の曲線も  $Mg$  の含有量と共に上昇するが温度の高い程曲線は緩傾斜となり 400°C では全部  $10\text{ kg/mm}^2$  の水平線以下に降下し 500°C では僅かの上昇を示すのみである。常温に於ける延伸率曲線は  $Mg$  1% に於て急激に下り、それ以後は  $Mg$  の含有量と共に漸次低下し  $Mg$  8% では延伸率 5~6% となる。高温に於ける延伸率は  $Mg$  量の如何に拘らず増加し大體に於て常温の曲線に平行する傾きがある。而して之等  $Mg$  の含有量を異にする各種  $Al-Mg$  合金が、温度と共に抗張性質の變化する状態は第 24 圖 B の如くである。 $Mg$  を多く含む程曲線は上部に位して居るが、曲線の性質は  $Mg$  の含有量大なるもの程温度と共に降下する傾斜が最初より急になつて居る。 $Mg$  は  $Cu$  と同様に僅か 1% 添加量にて常温に於て  $10\text{ kg/mm}^2$  以上を示し、且つ 200°C に於ける抗張力の減少極めて少く  $Mg$  3% 迄此の傾向を保つが  $Mg$  4% からは 200°C になると既に常温の抗張力より急に下る。 $Mg$  が  $Al$  の抗張力を増加する事は  $Mg$  が多い程  $Cu$  よりも其の効果著しいのであるが  $Cu$  は多くなる程高温に至るも抗張力の減少少きに反し  $Mg$  は多いもの程高温に進むに従つて抗張力の著しき減少を示す。併し曲線の性質は上述の如く所謂耐熱性に適せざる形と考へられるが、それは常温に於ける抗張力の餘りに高い故で實驗の結果としては  $Mg$  4% のものは 300°C に於ても  $10\text{ kg/mm}^2$  以上を保ち  $Al-Cu$  合金の  $Cu$  6% の場合に匹敵し、又  $Mg$  8% のものは  $Cu$  8% 合金と 200°C, 300°C 及び 400°C 等に於ける抗張力を殆んど同じくし、且つ  $Mg$  含有量の少ないもの程 200°C, 300°C 及び 400°C に於ける抗張力は同じ含有量の  $Al-Cu$  合金のそれ等よりも多少高くなつて居る。斯くの如く  $Mg$  と同様に  $Al$  と固溶體を作る  $Al-Zn$  の場合と比較すると格段の差異あるものと言ふべく  $Al-Mg$  合金は實驗の範圍に於ては  $Al-Cu$  合金と共に耐熱性の大なるものと言はね

ばならぬ。次に温度による延伸率の變化を見るに  $Cu$ ,  $Mn$ ,  $Fe$  の如く  $Mg$  1% に於て各温度に於ける延伸率は降下し、純  $Al$  の曲線と大體同じ傾向で温度と共に増加するが  $Mg$  3% 以上の各曲線は 400°C 及び 500°C に於ても延伸率の増加は少い。

抗張試験後の試験片の状況を見るに  $Mg$  1% 含有せるものは、表面大皺多く破断面亦純  $Al$  の如く silky structure を呈するが其の断面の平面圖は圓形を示して居る。而して温度が昇るに従ひ断面收縮が大となり 500°C にては圓錐形となる。 $Mg$  2% になると表面皺小となり同時に破断點に近き表面に小なる龜裂を發生するを見る。破断面は silky structure を呈するが 300°C より灰白色となり断面の收縮は増加するが 500°C に於て圓錐形とならず断面灰白色を帯び龜裂は此の温度に於ても相當現れて居る。 $Mg$  3% になると常温に於て破断面は灰白色を呈し結晶粒は細かいが 400°C より断面灰黑色を帯び表面皺の外に龜裂多く  $Mg$  4% 及び 6% は一層龜裂甚しく而して後者は断面稍粗となり  $Mg$  8% のものは常温及び 100°C に於ては表面の龜裂極めて微細であるが 300°C より甚しくなり破断面は常に灰黑色を呈してゐる。寫眞 No.35 に示すは  $Mg$  1% の場合である。

Al-Mg 合金

顯微鏡組織



×100

No.36.  $Mg$  1% 腐蝕劑  $HNO_3$   
No.37.  $Mg$  3% 腐蝕劑 ピクリン酸曹達  
No.38.  $Mg$  6% 腐蝕劑 ピクリン酸曹達  
No.39.  $Mg$  8% 腐蝕劑 ピクリン酸曹達

は寫眞 No.36 ~39 に示す如くである。 $Mg$  1% 及び 2% は全く  $Mg$  が固溶體として存在し  $\alpha$  相を示して居るが  $Mg$  3% より微量の  $Al_3Mg_2$  の化合物が現れ  $Mg$  の増量と共に益々之が増加して居る。元來  $Mg$  約 9% 迄は状態圖で見る如く  $\alpha$  相となるべき筈であるが、試験片が金型で chill されて居る爲に此の化合物の發生を見たものと考へられる。

44) 伊丹榮一郎:水曜會誌 第 8 卷 (昭和 9 年) 第 4 號

**IX. 二元系合金に於ける添加元素の抗張力に及す効果率の比較** *Al* と合金せしめたる各種元素が抗張力に及す影響を定量的に明瞭にする爲に、純 *Al* の場合に比して抗張力の増加したる量の百分率を求め之を効果率と稱し各温度別に曲線で示した。

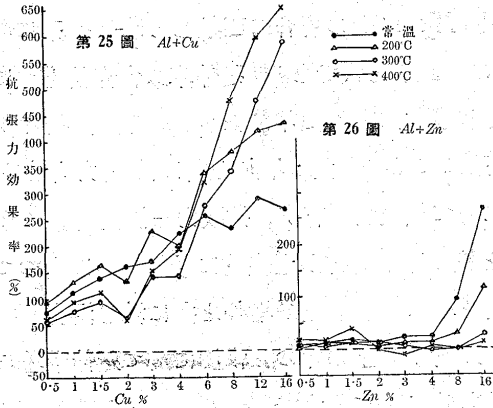
第 25 圖~第 32 圖は夫々 *Al-Cu*, *Al-Zn*, *Al-Ni*, *Al-Cr*, *Al-Mn*, *Al-Fe*, *Al-Si* 及び *Al-Mg* の場合である。之等を通覽すると各種の成分が抗張力に及す影響がよく了解され且つ各々の影響の特性が看取される。

即ち之を説明すると *Al-Cu* の場合は常温に於ける効果率曲線は約 *Cu* 5% 迄漸次上昇するがそれ以上は餘り著しく上昇しない。200°C に於ては純 *Al* は多少抗張力は下るが *Al-Cu* 合金は抗張力の効果なき爲に却つて効果率曲線

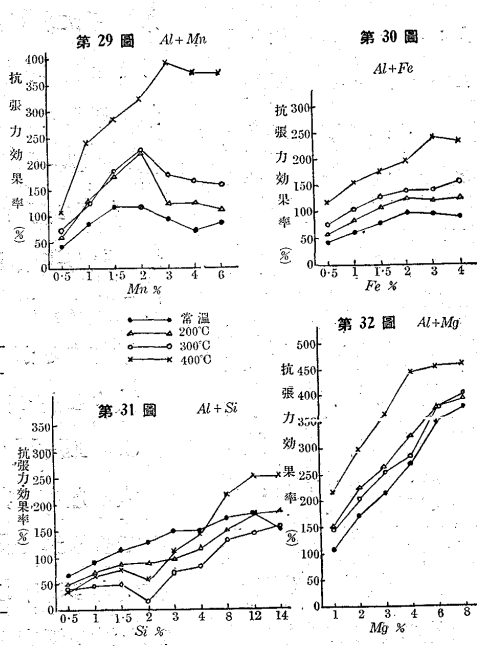
大となり且つ一般常温曲線よりも高温度に於ける曲線が次第に上層に位せる事は *Ni* 含有によりて耐熱性が増加される事を明かに示して居る。*Al-Cr* 合金の場合には常温に於ける効果率曲線は *Cr* 0.75% 迄は漸次増加するがそれより次第に減少し *Cr* 2% より更に急に降下する。而して其の効果率の値は最大約 60% で *Ni* の場合に比して小である。而して 200°C 及び 300°C の曲線は常温曲線の上層に位し大體前同様の曲線を示すが 400°C の曲線は著しく上方に位し *Cr* 0.5~2% の間は特に効果率は上昇し殊に此の兩點に於て最大點を示して居る。又 *Al-Mn* 合金に於ては矢張り効果率曲線は温度の高い程上層に在り且つ一般に *Mn* 量と共に効果率は増加し 300°C 迄は *Mn* 2%, 400°C では *Mn* 3% に於て最大點を示し、之より *Mn* 含有量が増加すると効果率は漸次減少するが含有量が少量にも拘らず効果率が高温度に於て著しく大なる事は注意すべきである。*Al-Fe* 合金に於ては効果率曲線は常温及び 200°C では *Fe* 2% で最大に達し 400°C では *Fe* 3% で最大に達す。而して之等の各曲線は温度の高い場合程上方に位し極めて規則正しい曲線の配列を示し耐熱的效果の相當大なる事を表して居る。*Al-Si* 合金に於ては常温効果率曲線は *Si*% と共に次第に上昇するが高温度に於ける曲線は常温曲線の下に位し、唯 *Si* 8% 以上に於ては後者の上に現れ耐熱性の稍大なる事を示して居る。次に *Al-Mg* 合金に於ては *Mg* が solid solution として *Al* 中に溶解して居るに拘らず効果率曲線は他に比して實に著しい傾向を示して居る。即ち常温曲線に於ても *Mg* の含有量と共に曲線は急激なる上昇を示し、高温度に於ける曲線も此の傾向に準じ且つ常温の場合よりも上方に位し特に 400°C の場合は一層大である。

第 33 圖~第 36 圖は含有量同一なる場合各種成分の抗張力に及す効果率の比較を示したもので之等によつて各種成分の効果率が一層明かにされる。之を總括して簡単に比較すれば次表の如くなる。

二元系合金に於ける添加元素の含有量が抗張力に及ぼす効果率の比較 (其の一)



二元系合金に於ける添加元素の含有量が抗張力に及ぼす効果率の比較 (其の二)



は常温曲線の上に位し、特に *Cu* 5% 以上に於ては曲線は急に上昇する。然し 300°C 及び 400°C の効果率曲線は常温曲線よりも下方に位するが *Cu* 5% 以上に於ては前の場合よりも一層著しく急激に曲線は上昇し効果率 650% を示すを見る。即ち之は solid solution の範圍に於ては 300°C 以上は効果率減少し solid solution の範圍を超へて *CuAl<sub>2</sub>* compound の出現するに至れば効果率は大となる事を示すものである。又 *Al-Zn* 合金に於ては常温にて *Zn* が 8% 以上の場合には相當の効果率があるが、それより *Zn* の量が少い場合又は温度が 300°C 以上では *Zn* の量の如何に拘らず殆ど効果率を有しない事になる。*Al-Ni* 合金の場合には効果率は餘り著しくないが *Ni* の量と共に次第に

於ては後者の上に現れ耐熱性の稍大なる事を示して居る。次に *Al-Mg* 合金に於ては *Mg* が solid solution として *Al* 中に溶解して居るに拘らず効果率曲線は他に比して實に著しい傾向を示して居る。即ち常温曲線に於ても *Mg* の含有量と共に曲線は急激なる上昇を示し、高温度に於ける曲線も此の傾向に準じ且つ常温の場合よりも上方に位し特に 400°C の場合は一層大である。

第 33 圖~第 36 圖は含有量同一なる場合各種成分の抗張力に及す効果率の比較を示したもので之等によつて各種成分の効果率が一層明かにされる。之を總括して簡単に比較すれば次表の如くなる。



に純 Al の抗張力曲線に一致する。而して延伸率も他のものと異り Zn 8% 迄は純 Al と餘り變りがない。

4. Al-Ni 系と Al-Fe 系とは殆ど同様の影響を示し何れも少量にて相當の効果を與へる。延伸率は Fe の方が稍 Ni よりも減少するが其の走向相似て 400°C 及び 500°C に於ける延伸率は Al-Cu, Al-Zn 兩系の如く大でない

5. Al-Cr 系にては Cr の常溫抗張力に及ぶ効果は餘り著しくないが高溫度に向つて抗張力減少の傾向は極めて徐々で Cr 0.5~0.75% に於て最大抗張力を示し、延伸率は Cr の含有量と共に最も著しく減じ溫度による變化は少い。

6. Al-Mn 系に於ても Mn 2% で抗張力の最大點が存するが溫度 400°C 以上に於ては Mn 3% が最大となる。Mn 2% に於ては相當の耐熱性を示し其の効果 Al-Mg 系に於ける Mg 2% の場合に匹敵し Al-Cu 系に於ける Cu 2% の際よりも大である。延伸率は含有量と共に最も著しく減じ高溫度に於ける増加は少い。

7. Al-Si 系にては Si 量の増加と共に抗張力増加し Si 約 12% に於て最大點を有す。抗張力-溫度曲線の形狀は他の場合と異り殆ど全部が直線的に 500°C に向つて降下する。延伸率は Si 含有量の増加と共に減じ溫度と共に増加するが Si 8% 以上のものは常溫に於て延伸率著しく減少し且つ高溫度に於ても大でない。

8. Al-Mg 系に於ては Mg 含有量と共に抗張力は著しく大となり、其の増加の傾向此等二元系の第一に位するものであるが Mg の含有量の大なる程、溫度の影響による抗張力の降下の程度著しい、Mg は其の含有量と共に延伸率を減じ溫度と共に増加するが Mg の含有量が大になると高溫度に於ける増加も亦少くなる。

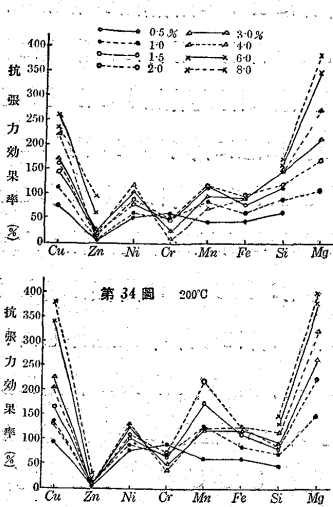
9. 之を要するに各種成分が Al の耐熱性を増加する効果の順位は Cu 或は Mg を第一位とし次に Mn, Cr, Fe, Ni, Si 等で Zn は最下位である。

**第 VI 章 三元系合金の高溫度試験** 二元系に於ける試験の結果 Al-Cu 合金が最も耐熱性を有する事を知つたので、三元系に於ては Al-Cu 合金を基として他の元素の影響を見る事にし Cu の量を 2, 4, 6, 12% とした。

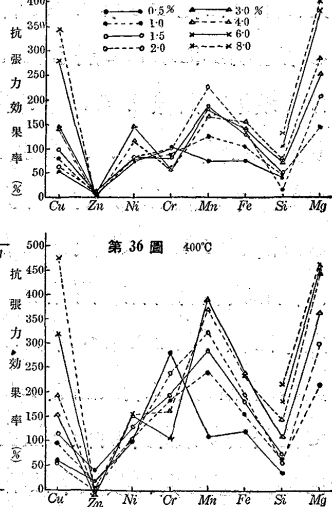
**I. Al-Cu-Zn 系** Al-Cu-Zn 合金は英、獨に於て主要鑄物合金として用ひられ、米國に於ても Al-Cu 合金に次いで Al-Cu-Zn-Fe (87:2:10:1) 合金<sup>1)</sup> が 40%

<sup>1)</sup> 濱住博士; 近代の金屬材料 35

二元系合金に於ける各種添加元素の同一成分が抗張力に及ぶ効果率の比較(其の一) 第33圖 常溫



二元系合金に於ける各種添加元素の同一成分が抗張力に及ぶ効果率の比較(其の二) 第35圖 300°C



効果率大さの順序

順位	1	2	3	4	5	6	7	8
常溫	Mg	Cu	Si	Ni	Mn	Fe	Cr	Zn
200°C	Mg	Cu	Mn	Ni	Fe	Si	Cr	Zn
300°C	Mg	Mn	Cu	Fe	Ni	Cr	Si	Zn
	(Mg)	(Cu)	(Mn)	(Fe)	(Ni)	(Cr)	(Si)	(Zn)
400°C	Mn	Mg	Cr	Fe	Cu	Ni	Si	Zn
	(Cu)	(Mg)	(Cr)	(Fe)	(Cu)	(Ni)	(Si)	(Zn)

註:( )内は各種成分が4%以上になる時の順位

上表を見るに Mg は常溫並びに高溫度に於て Al の耐熱性を最も増加するもので、之に次いで Mn 及び Cr は高溫度になる程効果率は大となつて居る。之に反して Ni は高溫度になると多少増加するが其の量少き爲、又 Si は他のものと比較して高溫度になる程効果率は小となる故に低位となり Zn は常に最低位にある。但し此の比較は各成分 4% 以下の場合で含有量が之より増加する時は Cu 及び Mg が一二を争ふ事となり其他のものは順位が低下される事は疑ない所である。何となれば他のものは含有量少きに拘らず既に効果率の最大値を示せるが爲である。

**X. 總 括**

1. Al-Cu, Al-Zn, Al-Ni, Al-Cr, Al-Mn, Al-Fe, Al-Si, Al-Mg 等の二元系に就て Al に及ぶ等元素の影響を常溫より 500°C に亘つて試験した、

2. Al-Cu 系に於ては Cu の増加する程高溫度に於ける抗張力を増加し其の効果最も大である。而して延伸率は Cu の量と共に減するが 500°C に於ては何れも純 Al の有する延伸率の附近の値を示す様になる。

3. Al-Zn 系は常溫に於ける抗張力は含有量の増加と共に増加するが、耐熱性全然なく、何れの合金も 300°C に於て全く純 Al の抗張力に近づき、更に溫度の上昇と共に

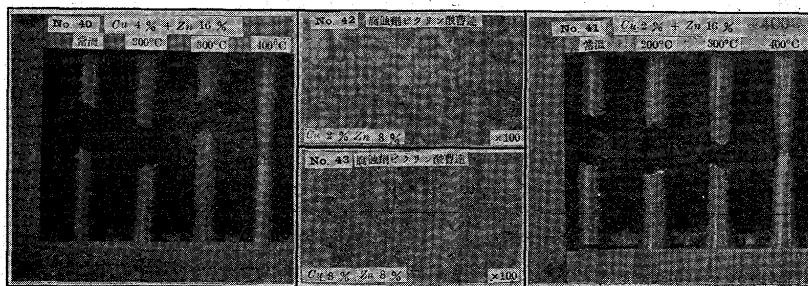
を占めて居ると言ふ事である。此の系合金の特徴は抗張力及び降伏点の高い事で主として砂型鑄物として用ひられて居る。Al-Cu-Zn 系の状態圖の研究には Hanson and Gayler<sup>2)</sup> 及び西村博士<sup>3)</sup> の報告がある。機械的性質に於ては Rosenhain<sup>4)</sup> が Cu 1~4%, Zn 5~25% に亘つて常温から 350°C 迄の範囲で實驗を行つたが温度の上昇に對して急激なる抗張力の減少を示した。著者は Al-Cu 合金に Zn 4, 8 及び 16% を添加して高温度に於ける實驗を行つた。第 37 圖 A の如く常温に於ては Zn 4% は Al-Zn 系の場合に於ける如く効果極めて少く殆ど Zn を入

き値を保つが 400°C で急に増加する。Cu 2% の場合には 400°C で著しく延伸率が大き又 Al-Zn 16% の場合も 400°C で延伸率は大きであるが Cu 2% に Zn が 16% 入ると 400°C に於ける延伸率は減少する。之は Zn の添加によつて低温並びに高温に於て Cu の Al 中に於ける溶解度が減少して來る爲と考へられる。Cu 4% の場合には Zn 8% のみの配合に就て實驗したが單に延伸率の減少を見るのみで何等の効果を生じないので Zn を配合する實驗は之れ以上行はざる事にした。要するに本實驗では Zn は其の量多き時は Al-Cu 合金の抗張力を著しく増加するが高温度に於ける抗張力に及す効果はないと言ふ事になる。

試験片の破斷状況を見るに Cu 2% 系に於ては Zn 4% は表面皺多く silky structure を呈し、温度上昇して 300°C に至れば皺減じ破斷面は海綿狀の如くなるが結晶粒は細かい。而して Zn 8% になると破斷面は灰白色を帯び 200°C 及び 300°C に於て小龜裂を發生し、Zn 16% は表面小皺多く又常温より各温度に亘つて龜裂を生じ破斷面は灰色となり且つ結晶粒は粗となる。Cu 4% 系の Zn 8% のものは表面皺小さく微細なる龜裂を生じ破斷面は灰色を呈し結晶粒は細かいが凹凸多く粗面を呈し 200°C 及び 300°C に於て龜裂最も多くなる。寫眞 No. 40 は Cu 2%, Zn 16% の場合、No. 41 は Cu 4%, Zn 16% の場合を示すものである。

顯微鏡組織は寫眞 No. 42 及び No. 43 に示す如く Cu 及び Zn を含む solid solution  $\gamma$  の基地に  $CuAl_2$  の化合物が現れて居る。此の基地は著しく core structure を呈するが燒鈍すると消失するものである。

Al-Cu-Zn 合金



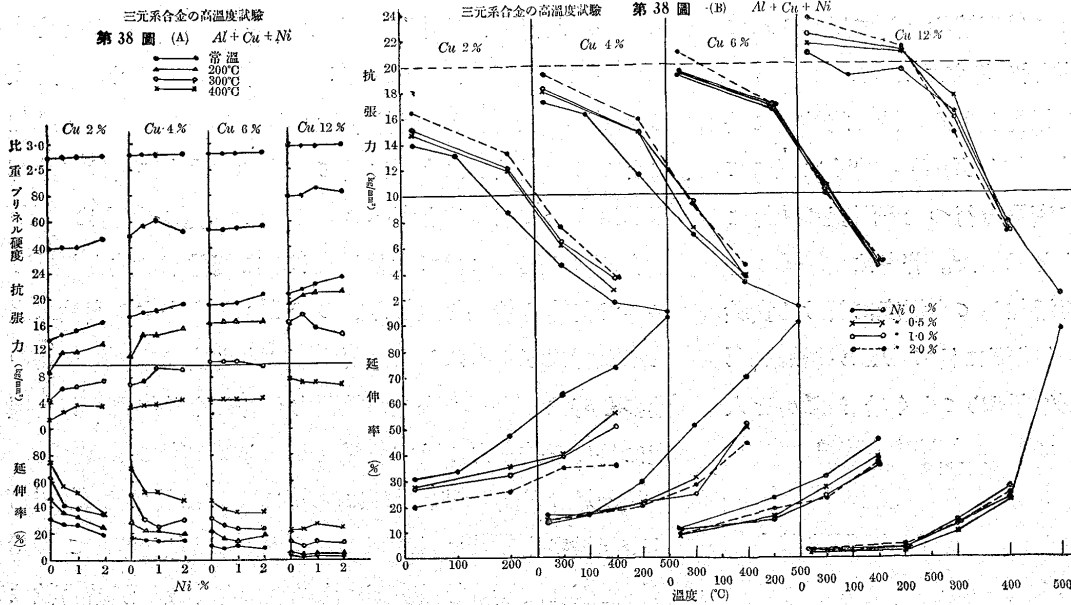
れざる場合と異らないが Zn 8% より 16% にかけて急激に増加し 27 kg/mm<sup>2</sup> 以上に昇る。然れ共、温度 200°C に於ては忽ち降下して 10 kg/mm<sup>2</sup> 附近となり、更に 300°C 及び 400°C の曲線に於ては殆ど一直線に近く Zn の抗張力に及す影響全く消失する。延伸率に及す Zn の量の影響を見るに、常温及び 400°C に於ては Zn 8% 迄は變化なく、16% で相當減少するが 200°C 及び 300°C の場合には Zn の量と共に減少する傾向がある。第 37 圖 B は温度の變化と各種 Al-Cu-Zn 系合金の抗張性質の關係を示すもので、何れも 300°C に於て全く Al-Cu 2% 合金に一致し、延伸率は Zn 8% 迄は Zn 0% の場合と變りなく Zn 16% は 300°C 迄低

II. Al-Cu-Ni 系 此の系合金は既に著者が前研究<sup>5)</sup> に於て砂型の場合の實驗を行つたのであるが、それに依ると Ni は Cu の量に拘らず總て Ni 3% 迄抗張力が増しそれより急に減ずる結果を得た。又 Rosenhain<sup>6)</sup> は

2) Hanson and Gayler: J. Inst. of Metals, 34 (1925) 125  
 3) 西村博士: The Memo. of the College of Eng. Kyoto Imp. Univ. Vol. 5, No. 2.  
 4) Rosenhain: J. Inst. Mech. Eng. (1921) 308

5) 伊丹榮一郎: 水曜會誌、第 8 卷(昭和 9 年)第 4 號

6) Rosenhain: 11th Rep. to the A. R. C. (1921) 27.

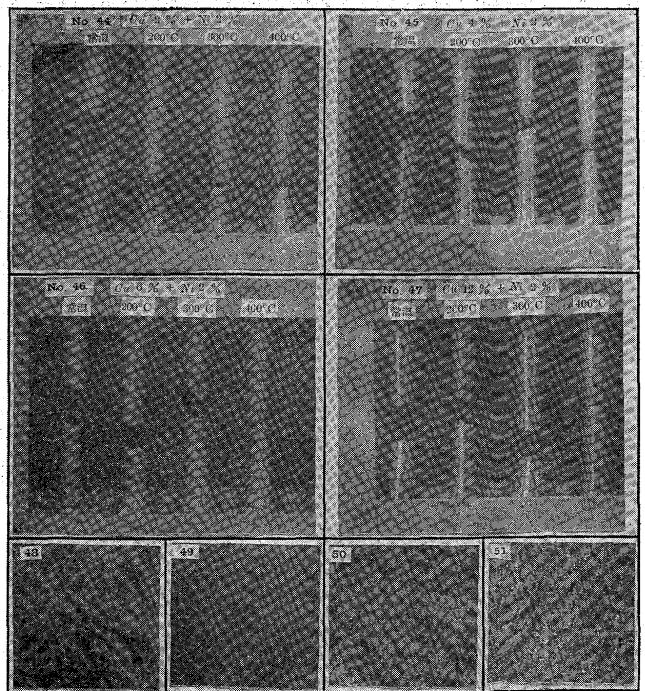


Cu 8% 以上に於て Ni を添加して高温度の試験を行つたが Ni 2% も Ni 3% も餘り差を見ない結果になつて居るので、本実験に於ては Ni 0.5~2% を加へて高温度に於ける影響を調べた。第38圖AはNi含有量の影響を示すものである。抗張力は常温ではNiの含有量と共に増加しCuの量の多い程増大するが200°Cの曲線から此の傾向は稍變化を生ずる。即ちCu 2% 及び4%の場合にはNi 0.5% で抗張力の増加急でNi更に増加すると共に抗張力漸次増加するが、Cu 6% に於ては殆どNiの影響なくCu 12% に於ては再びNiの影響が現れ抗張力はNi含有量と共に増加する300°Cに於てはCu 2% 及び4% はNiの影響が現れて居るが、Cu 6% 及び12% に於ては寧ろNi含有量の増加と共に抗張力は減少する傾きがあつて、400°Cに於てはCu量少の場合程Niの効果は現れるがCuの量多くなる程此の影響は消滅し終には却つて悪影響をさへ生ずるに至るのである。即ちNiの添加は常温ではCuの量の如何に拘らず其の効果が認められるが、温度が上昇するとCuの少い時にのみ効果を生ずる事を知る。延伸率は常温に於てはNiの含有量と共に減するがCuの多くなる程最初より延伸率が低いからNiの影響が次第に少くなる。又Cuの少い場合は温度の上昇する程Niの延伸率を減する影響が益々明かになるが、Cuの多くなる程此の影響が判然と現れない様になる。而して一般にCuの多い程延伸率は少くなる第38圖BはAl-Cu-Ni系合金の温度による變化を示すものでCu 2% 及び4%にては高温度に至る迄Niは良

好なる影響を與へ、Cu 6% にはNiの影響少くCu 12% では常温及び200°Cでは相當の効果を與へるが高温度では殆ど其影響が認められない。延伸率はNiの配合によつて何れも高温度となるも増加の傾向が少い。尙注意すべきはCuの量少い時は延伸率に及ぶNiの影響は著しいが、Cuの量多くなるにつれて前述の如く此の傾向が少くなつ

て居る。

試験片の破断後の状況を見るにCu 2%系に於てNi 0.5% は常温で皺多く silky structure を呈するが、Niが増加し又温度が上昇するに従ひ皺を減じ破断面は白灰色を帯ぶるに至る。Cu 4%系に於ては皺小となり且つNi量の増加に従つて其の数を減するが、此の系に於ては全部龜裂を生じNiの少量なる場合其の發生多く200°C或は300°Cにて最も著しく現れる傾向がある。破断面は silky structure を呈しないが結晶粒細かくNiの多く



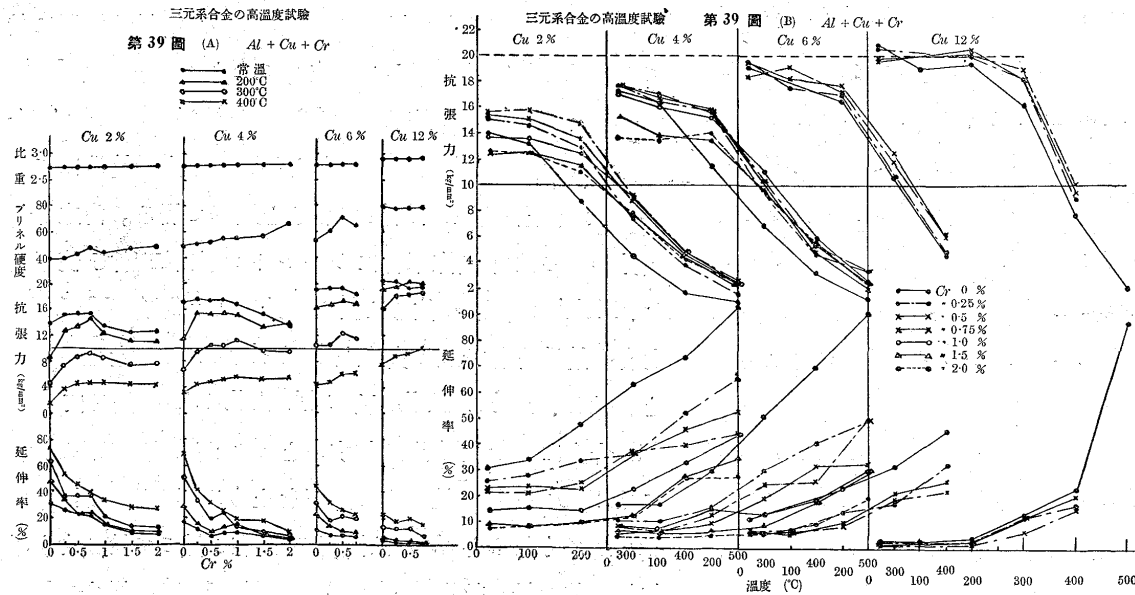
Cu 2% Ni 1% Cu 4% Ni 1% Cu 6% Ni 1% Cu 12% Ni 1%  
腐蝕剤ピクリン酸曹達×100

なるにつれて灰色を帯びる。Cu 6% 系に於ては表面比較的滑かとなるが尙小皺存在し 300°C 及び 400°C に於て収縮部の表面に龜裂を生じ破断面の組織は密にして灰色を呈して居る。Cu 12% 系に於ては表面全く元の儘にして滑かであるが、Ni 0.5% のものは 400°C に於て龜裂を生じ、Ni 1% 及び 2% のものは 300°C 及び 400°C に於て龜裂を發生する。破断面は灰色にして結晶粒は細かい。寫眞 No.44~47 は以上各系の代表的なものを示す。

顯微鏡組織は寫眞 No.48~51 に示す如く Cu 2% の場合には  $\alpha + CuAl_2 + NiAl_3$  の組織を現し Cu 4% の場合には更に Al-Cu-Ni よりなる化合物 T を交へ Cu 6% 以上に於ては之等の ternary eutectic が出て居る。

**III. Al-Cu-Cr 系** Al-Cu の三元系に関する状態圖は未だ研究されて居らず、亦機械的性質の發表されたるものもない。然し Al-Cu 及び Al-Cr の各二元系に於ては既に状態圖が知られて居るので之を参考として實驗を行つた。此の場合には Cu の入りたる三元系であるから Cr を少くして 0.25~2% を加へて其の影響を調べる事にした。第 39 圖 A は Cr の量に依る影響を示す

影響が有効に現れる。即ち Cu 2% 系に於ては Cr を含まざるものは約  $8 \text{ kg/mm}^2$  に落ちるが、Cr 0.25% を含有するものは  $12 \text{ kg/mm}^2$  以上を示し Cr 0.75% に至る迄抗張力は上昇して最大點を示し、それ以上 Cr の含有量が増加すると抗張力は次第に減少するが Cr を含有せざるものよりは常に抗張力は大である。300°C 及び 400°C の曲線にも大體此の傾向は見られるが 400°C 曲線では最大點が明瞭でなく Cr 0.5% 以上は餘り變化しないのである。Cu 4% の 200°C 曲線も Cu 2% の場合に類似し Cr 0.25% で既に好影響を現し Cr 0.5% で最大を示しそれより徐々に曲線は降下する。300°C 及び 400°C 兩曲線共に Cu 2% の場合に其の傾向は似て居るが Cu の多いだけに抗張力曲線の位置は上昇し 300°C に於て  $10 \text{ kg/mm}^2$  以上を示して居る。Cu 6% 及び Cu 12% では常溫の場合には Cr の量が増すと却つて抗張力は減少したのであるが、200°C 及び之以上の溫度に於ける曲線では Cr の添加によつて抗張力は増加を示して居る。然し其の影響は餘り著しくない。延伸率は Cr の含有量と共に減少し又 Cu の量の増加と共に低下する。而して Cu の量が多くな



ものである。常溫抗張曲線を見るに Cu 2% の場合には Cr は 0.25% で稍効果を現し 0.75% 迄餘り變化ないが、Cr 1% より以上になると却つて Cr を配合せざる場合よりも悪くなる。Cu 4% になると常溫に於ける Cr の影響は少く Cr 1% 以上は前同様に抗張力は減少する。Cu 6% では殆ど效果なく、0.75% より既に抗張力は減少し更に Cu 12% に於ては Cr 0.25% より抗張力は低下して居る。然るに 200°C の抗張力曲線に於ては Cr の

る程 Cr の量による影響は少くなる。第 39 圖 B は之等各種の Al-Cu-Cr 合金の溫度に依る抗張性質の變化を示すものである。之に依ると Cu の量の變化による Al-Cu-Cr 合金の大體の變化が明かになる。即ち Cu 2% 及び Cu 4% の場合には溫度 200°C 迄は Cr の含有量による變化が明かで、溫度が上昇するに従つて其の差が次第に少くなり Cr 0.5% 及び 0.75% の曲線は各曲線の上層を走つて居る。且つ此の二つの場合は何れも Al-Cu 即ち Cr 0% の抗張力曲線と 500°C に至る迄相當の間隔を保つて居る。然るに Cu 6% 及び Cu 12% では Al-Cu-Cr 合金の各曲線は Al-Cu 合金の曲線の附近に接近して走つて居る。即ち之等は Cu の量が多くなるにつれて Cr 添加の效果は少

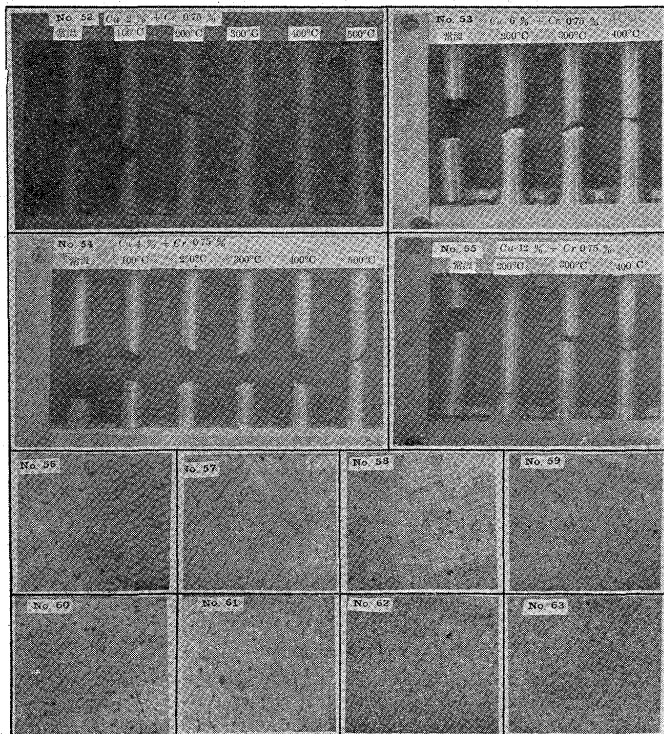
くなる事を表すものである。又延伸率は何れの合金も温度の上昇と共に増加する傾向は少く、Cuの量は増加し又Crの量が増加するにつれて一層此の傾向が著しくなる。

試験片の破断状況を見るにCu2%系に於てはCr0.75%以下を含有するものは表面皺多くCr1%以上に於ては表面皺著しく減少する。而して一般に破断點に近く龜裂を生じCrの含有量に比例して且つ温度の上昇に従つて益々著しくなる。破断面はCr0.25~0.75%は銀白色で結晶緻密であるがCr1%以上は灰色味を帯び且つAl-Cr compoundの出現と共に漸次結晶稍粗となる。併し高温度になるに従ひ此の断面に現る、化合物の結晶は次第に減少する傾向がある。Cu4%系に於てはCr0.25%は表面大皺を存するがCr0.5%以上は表面殆ど元の儘にして、概して何れも300°Cより龜裂を生じ温度の上昇と共に益々著しくなる傾向がある。破断面は緻密であるが温度上昇すると稍、其の密度を減ずる傾きがありCrの含有量の増加に従ひ灰色となる。Cr0.5%にて木目組織の如きもの現はるゝが恐らく結晶面のslipならんと考へられる。Cr1%以上に於てはAl-Cr化合物の結晶を混ゆ。Cu

6%系に於ては表面殆ど元の儘であるが高温度になるに従ひ龜裂を生じ300°C以上に於て特に此の現象が顯著となる。破断面は結晶細かく灰白色を呈し高温度になるに従ひ稍粗となる傾きがある。Cu12%系に於てはCr量に拘らず常温及び200°Cでは表面全く異状を認めず300°Cより何れも龜裂を生じ、破断面は200°C迄は比較的凹凸の少ない状況を呈して居るが高温度にては犬齒状を呈して居る。Cr0.75%含有のものはslipの爲に木目組織を現せるものがある。寫眞No. 52~55は各系のCr0.75%含有の場合を示す。

之等Al-Cu-Cr合金の顯微鏡組織は寫眞No. 56~63に示す如くCu2%系に於てはCr0.5%迄は(Al-Cu-solid solution+CuAl<sub>2</sub>)の組織であるがCr0.75%以上になると更にAl<sub>6</sub>Crの化合物を現しCrが増加すると此の化合物も増加する。Cu4%系、Cu6%系、Cu12%系等に於ても同様の現象が認められ唯、Cuの多い程CuAl<sub>2</sub>の網狀組織の發達の爲にAl-Cu-solid solutionの地が減少して行く。

IV. Al-Cu-Mn系 Al-Cu-Mnの三元系に關する状態圖の研究は未だ報告されて居ないが機械的性質に就ての實驗は既に數氏の人々に依つて行はれたRosenhain and Lantsberry<sup>7)</sup>等はCu2%-Mn2%及びCu3%-Mn1%のものが最も有望なりとし、殊に金型鑄造にてはAl-Cu合金に著しく勝れて居ると述べて居る。尙之等の成分のものは米國海軍特にワシントン海軍工廠で使用され、McKinney<sup>8)</sup>に依れば其の成分はCu2%, Mn1.5%を含み鑄造容易で且つ實際上hot shortnessを起さないと云はれ、又N. P. L. 及びF. C. Lea<sup>9)</sup>に依ればAl-Cu合金にMn2%迄添加するとCuが8%以下の場合には250°C迄の抗張力の降下を止める事が出来、而してCuが多くなるとMnは温度の上昇に従つて抗張力を増加し、其の最大効果はCu14%, Mn1%の場合に得られると言はれて居るが此の合金は脆性甚だ大なる故に、米國ではCu12%, Mn1%に改められTemplin<sup>10)</sup>は之



No. 56. Cu2% Cr0.5% 腐蝕劑 10% NaOH  
 No. 60. Cu4% Cr0.75% 腐蝕劑 10% NaOH  
 No. 57. Cu2% Cr0.75% 腐蝕劑 10% NaOH  
 No. 61. Cu4% Cr1.5% 腐蝕劑 10% NaOH  
 No. 53. Cu2% Cr1.5% 腐蝕劑 10% NaOH  
 No. 62. Cu12% Cr0.5% 腐蝕劑ピクリン酸曹達  
 No. 59. Cu4% Cr0.5% 腐蝕劑 10% NaOH  
 No. 63. Cu12% Cr0.75% 腐蝕劑ピクリン酸曹達

× 100

7) Rosenhain and Lantsberry: 9th Rep. to the A. R. C. (1910)

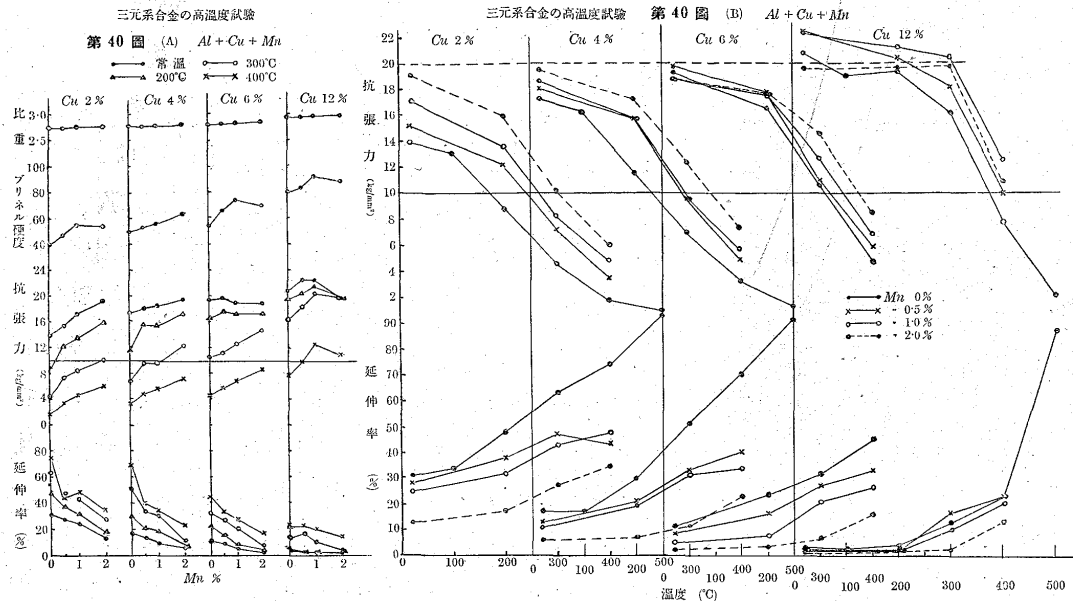
8) McKinney: Trans. Amer. Inst. Metals. 10 (1916) 166.

9) N. P. L. and F. C. Lea: Rep. of the Light Alloys Subcom. of the Advis. Com. for Aeronau. (1921) 9.

10) Templin, Braghio and Marsh: Mech. Eng. 50(1928)

でも尚 Y 合金(鑄造の儘) 其の他普通の合金よりも高温に於て多少抗張力が大であると唱へて居る。著者は Al-Mn 系に於ける実験の結果 Mn 2% が最良の成績を示し

ては再び Mn の影響は良好となつて来るが、Mn 1% の添加が最も良好で Mn 2% も入れると却つて抗張力は悪くなつて居る。即ち Cu 12%、Mn 1% が最大を示して



たので Mn 0.5~2% を加へて其の影響を調べた。其の結果第 40 圖 A の如く Cu の少い場合、即ち Cu 2% に於ては合金の抗張力は著しく改善され各温度に於ける抗張力曲線は全部 Mn 含有量の増加と共に上昇し、特に温度の上昇につれて Mn 0.5% に於て其の効果顯著である。然るに Cu 4% になると常温抗張力曲線の上昇傾向は頗る緩となるが、温度 200°C 以上に於ては曲線の上昇の傾向は著しくなる。Cu 6% に於ては常温及び 200°C の場合は Mn 含有量の影響殆どなく、300°C 及び 400°C に於て其の効果顯著である。Cu の量増して Cu 12% になると Mn の影響は再び常温及び 200°C に於て明かになるが Mn 2% の添加は却つて抗張力を悪くする。即ち Cu の多い場合は 1% 迄を可とする。延伸率は Mn の含有量と共に減少し此の減少の割合は Cu の量少い場合程大である。一般に延伸率は Cu の多くなる程小であるから斯る場合には Mn 量に依る延伸率の變化が少くなる事は當然である。第 40 圖 B は之等の結果を温度によつて如何に變化するかを示せるものである。圖に見る如く Cu 2% の場合は Mn の影響最も明かで Mn 2% に於て著しく其の効果を現して居るが Cu 4% では稍其の効果が減少する。Cu 6% では急に Mn の影響、常温及び 200°C で悪く曲線は Mn 0% 即ち Al-Cu 合金の曲線の附近に集るが 300°C 及び 400°C では相當の効果を示して居る。次に Cu 12% に於

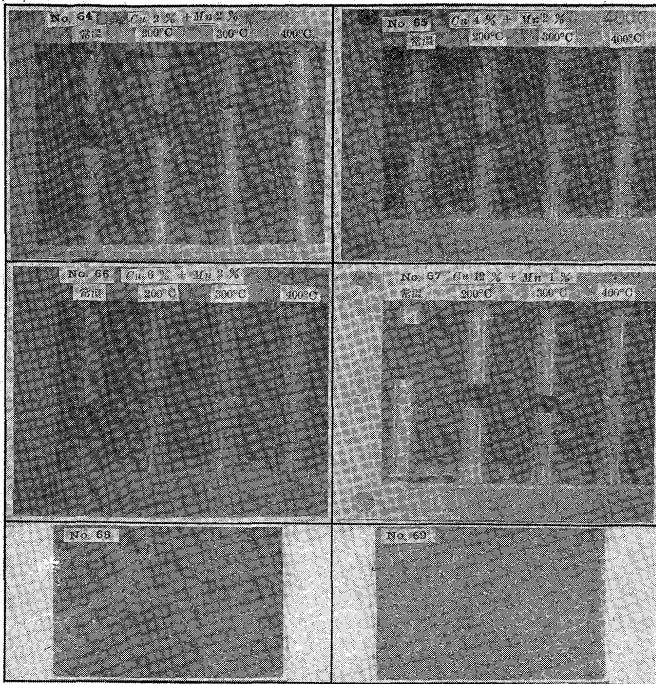
ては再び Mn の影響は良好となつて来るが、Mn 1% の添加が最も良好で Mn 2% も入れると却つて抗張力は悪くなつて居る。即ち Cu 12%、Mn 1% が最大を示して Templin の推奨せるものと一致する。而して此のものは後述する Y 合金(鑄造の儘)よりも抗張力が勝れて居る點も同氏の言へる所と一致して居る。此の B 圖を全體として見ると最大抗張力は Cu の含有量の多い程大となつて居るが、Mn による抗張力増加の程度は Cu の少い程良好で Cu 6% で最も不良である。延伸率の温度による變化

の状況は大體 Al-Cu-Cr の場合に類似し、温度が上昇しても延伸率は餘り變化せず徐々に大となり Cu の量が増すに従つて Mn 含有量の影響が小となる。

試験片の破断状況を見るに Cu 2% 系に於ては Mn の含有量少いものは表面皺多く Mn が増加すると減少し、Mn 2% のものは 300°C より断面收縮部の表面に少數の龜裂を發生する。破断面は緻密にして灰白色を呈し高温に至れば凹凸が多く、Cu 4% 系に於ては表面皺は激減するが龜裂甚しく増加し殊に温度の上昇につれて一層著しくなる。破断面は一般に緻密にして灰白色であるが温度高くなれば灰白味を増す、Cu 6% 系にては表面僅かに小皺を生じ又常温にて少數の微細なる龜裂を認め温度の上昇に伴ひ一層著しくなる。但し Mn 1% 及び 2% は 200°C 迄龜裂を生じない。破断面は Mn の増加につれ稍粗となる傾きがあつて且つ其の中に小さき針狀結晶の現れるものもある。Cu 12% 系に於ては表面殆ど元の儘にして Mn 1% のものは 300°C より、Mn 2% のものは 400°C より龜裂を生じ、破断面は Cu 6% 系よりも緻密にして灰白色を呈してゐる。寫眞 No.64~67 は以上諸系中の適當なるものを示す。

顯微鏡組織は寫眞 No.68 及び 69 に示す如く Al-Cu-Mn 合金に於ては Al-Cu の solid solution 基地に CuAl<sub>2</sub> 及び Al-Mn compound (Al<sub>3</sub>Mn) が現れてゐて、之等

Al-Cu-Mn 合金



腐蝕剤ピクリン酸曹達 ×100

No. 63. Cu 2% Mn 2%      No. 69. Cu 12% Mn 2%

の compound は Cu 及び Mn の含有量の少ない間は不連続に現れてゐるが含有量が増加すると漸次網目状を呈してゐる。Cu 6% 以上では大抵青白き  $CuAl_2$  の中に  $Al_5Mn$  は eutectic となつて現れて居る。

V. Al-Cu-Fe

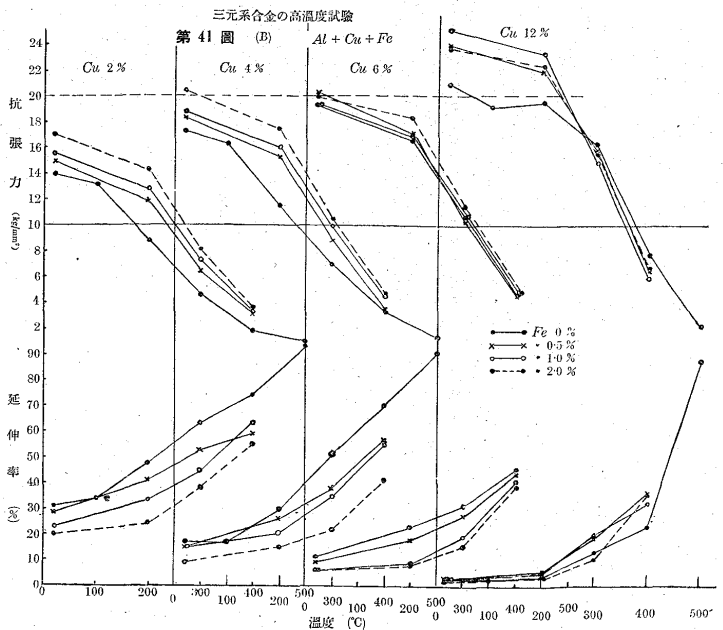
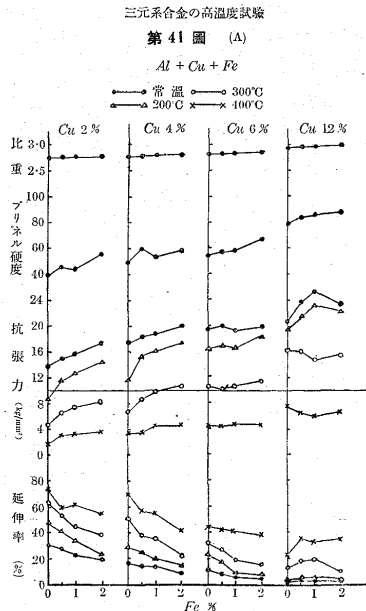
系 Al-Cu-Fe 系に属する組織圖は Gwyer Phillips and Mann<sup>11)</sup> によつて研究され、又 Archbutt and Fink<sup>12)</sup> によつて報告されてゐるが大體に於て此兩者は一致して居る。此の系に属する機械的性質の實驗は頗る稀で Lea, Edwards and Wills<sup>13)</sup> の報告あるのみである。彼等は Cu 6~12% に Fe 1% を入れて其の影響を見たので

<sup>11)</sup> Gwyer, Phillips and Mann: J. Inst. of Metals. 40(1928) 297.

<sup>12)</sup> Archer and Fink: J. Inst. of Metals. 40(1928) 350

<sup>13)</sup> Lea, Edwards and Wills: Rep. of the Light Alloys Subcom. of the Advis. Com. for Aeronau.(1921)136.

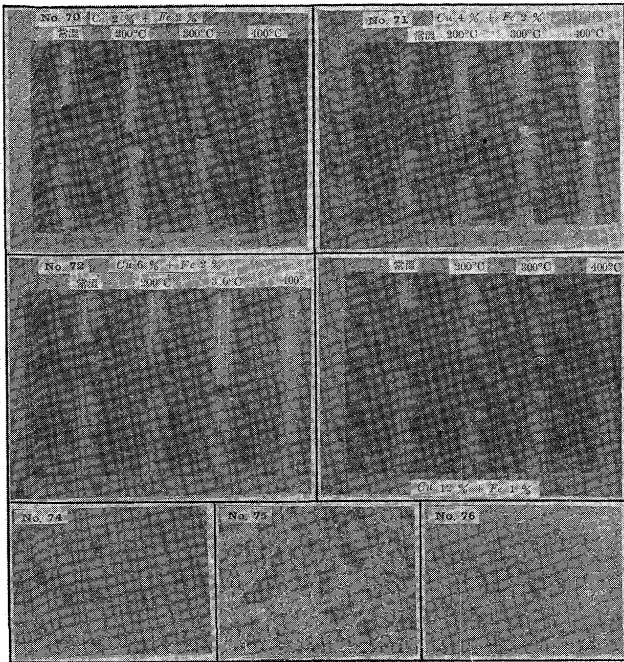
あるが高温度に於ける抗張力を改良する傾向があると述べて居る。著者は Fe 0.5~2% を添加して實驗を行つた。第 41 圖 A は Fe 含有量の影響を示すものである。Cu 2% 及び Cu 4% の場合には常温に於ては抗張力は Fe の量と共に殆ど直線的に増加するが、200°C 以上の抗張力曲線に於ては Fe の影響一層著しく現れる。然るに Cu 6% の場合には Fe の影響現れず Cu 12% に於ては常温及び 200°C の曲線は Fe 1% の點にて最大を示し、それより抗張力は降下し 300°C 及び 400°C に於ては Fe の含有は却つて有害となつて居る。延伸率は Fe の含有量と共に減少し且つ温度の高い程 Fe 含有量の多いものは延伸率の増加は少い。第 41 圖 B は此の種合金の各々が温度と共に抗張性質の變化する様を示せるもので、Fe の添加によつて Cu 2% 及び Cu 4% では 200°C の抗張力の降下が著しく減ぜられた事が解る。Cu 6% の場合は Fe の影響最も小で、Cu 12% では 200°C 迄の効果は著しいがそれ以上の温度では却つて稍悪い影響を及せるを見る。温度による延伸率の變化を考ふるに Mn 及び Cr の場合に比して延伸率の變化が大で且つ延伸率もそれ等より大である。一般に Al-Cu-Fe 系の抗張力曲線は著しく Ni の場合に酷似せる事は注意すべきである。



試験片破斷後の状態を見るに Cu 2% 系に於ては Fe の量少いもの程表面皴多く Fe の量多くなると小皴となるが、Fe 2% に於ては龜裂を生じ高温になる程龜裂が多くなる。破斷面は緻密にして silky structure を呈す。Cu 4% 系に於ては表面小皴となり Fe 2% を含有せるものは

微龜裂を生じ 300°C 以上に於て龜裂増大する。破断面は緻密にして灰白色を帯び常温にては凹凸少いが高温に於ては犬齒状を示して居る。Cu 6% 系に於ては表面皺は少くなり 300°C 以上に於ては Fe 含有量の多少に拘らず龜裂を生じ破断面は緻密にして灰白色を帯びて居る。Cu 12%

Al-Cu-Fe 合金



Cu 2% Fe 1%    Cu 6% Fe 1%    Cu 12% Fe 1%  
腐蝕剤ピクリン酸曹達 ×100

になると表面殆ど皺を認めず滑かであるが、Fe 0.5% 及び 1% は 300°C 及び 400°C に於て又 Fe 2% は 400°C に於て多少の龜裂を生じ破断面は灰白色を帯ぶる事前同様である。寫眞 No. 70~73

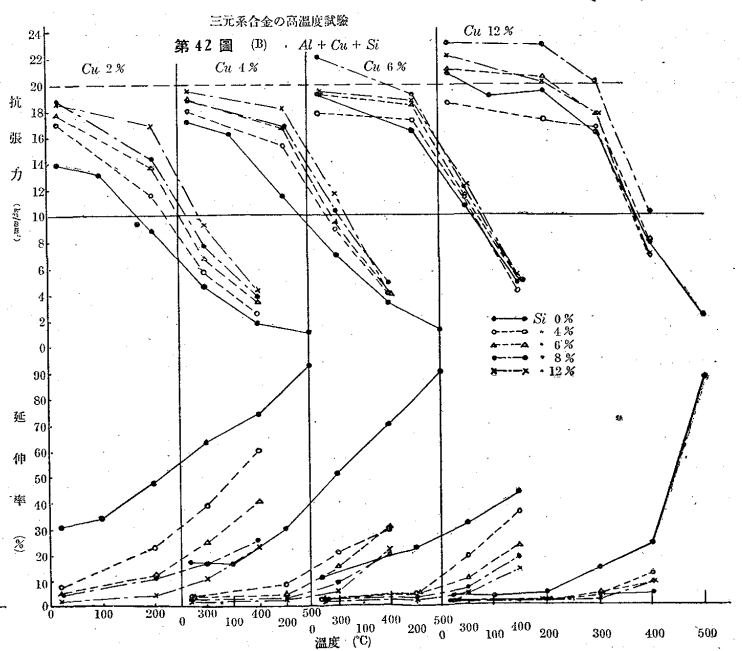
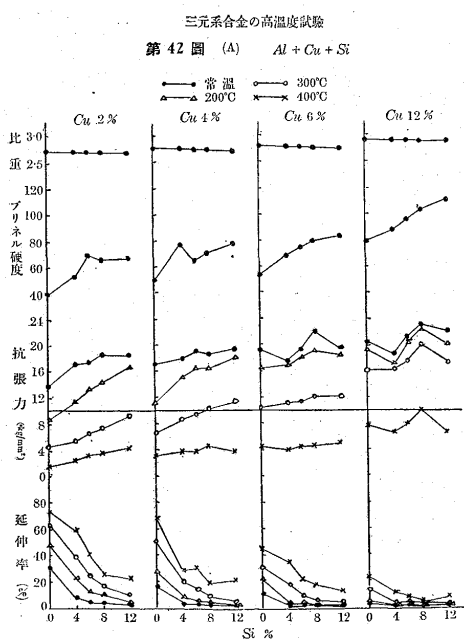
は以上各系の中より適當なるものを選び示せるものである。

顯微鏡組織は寫眞 No.74~76 に其の代表のものを示す

が Al-Cu solid solution の  $\alpha$  と  $CuAl_2$  及び  $FeAl_3$  の ternary compound より成り、Cu 及び Fe の含有量の増加に従ひ之等の compound は次第に多く網状を呈して居る。

**VI. Al-Cu-Si 系** Cu 及び Si を含有する Al 合金は Pacz<sup>14)</sup> 及び Johnston, Archer and Jeffries<sup>15)</sup> 等の特許の中に既に記載されて居る。Pacz は特に 15% Cu, 7% Si に興味を持つたのである。此の合金は全く硬くピストン、rubber molds 等に適當であると考へられたが商業上には多く用ひられるに至らなかつた。然るに Johnston, Archer and Jeffries 等の實驗は 1920 年に於ける pressure die casting の製造となり鑄造性質のよい爲に此の方面の重要なる合金となつた。此の合金は主として 2~8% Cu, 2~10% Si のものが用ひられて居るが、單に die cast のみならず金型或は砂型鑄物としても用ひられて居る。Anderson<sup>16)</sup> も此の系合金の鑄物用輕合金として優秀なる性質を有する事を認めた。又米國の McCook Field で此の種の合金が Dix and Lyon<sup>17)</sup> 等によつて研究せられ、又歐洲では Lantal と言ふ名稱の下に著名になつた。此の系の状態圖に關しては後藤、三島

<sup>14)</sup> Pacz: U.S. pat. 1572, 502 filed Sept. 12 (1919) issued Feb. 9 (1926)



<sup>15)</sup> Johnston, Archer and Jeffries: U. S. pat. 1,572,489, filed Nov. 27 (1920) issued Feb. 9 (1926).

<sup>16)</sup> Anderson: The Mineral Industry. 24 (1922)

<sup>17)</sup> Dix and Lyon: Proc. Amer. Soc. Test. Mat.

22(1922) 250.

Foundry. 51. (1923) 331.

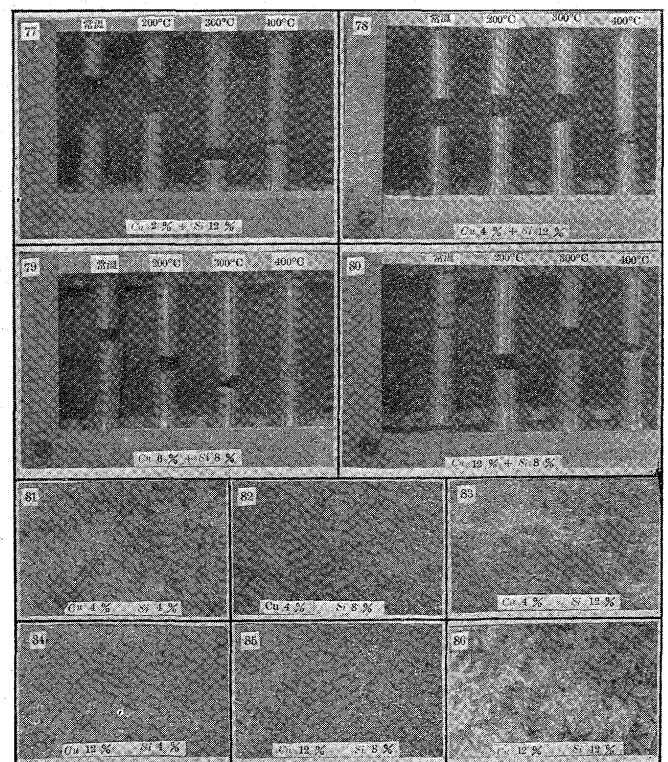


兩博士、<sup>18)</sup> Fuss、<sup>19)</sup> Gwyer 其他の人々<sup>20)</sup>及び最近には久恒中陽氏<sup>21)</sup>等の研究がある。然し系統的なる機械的性質或は高温度に於ける斯くの如き實驗報告は未だ見ないのである。著者は *Si* を 4, 6, 8, 12% に變化し *Cu* 2, 4, 6 及び 12% の場合に就て實驗した。其の結果第 42 圖 A の如く抗張力は *Cu* 2% の場合には *Si* 含有量と共に増加するが、*Cu* 4% に於ては *Si* 4% に対する常温抗張力は *Si* を含有せざる場合よりも稍増加し、而して *Cu* 6% 及び 12% の場合には減少する。然るに 200°C の抗張力曲線は *Cu* 2% 及び 4% の場合には *Si* 量と共に抗張力は増加し、300°C 及び 400°C の場合には此の増加の傾向が次第に緩かとなる。*Cu* 6% に於ては 200°C に於ける *Si* の影響は餘り著しくないが漸次抗張力は増加し *Si* 8% で最大を示し 300°C 及び 400°C では次第に *Si* の効果小となる。*Cu* 12% の場合には他の場合と趣きを異にし 200°C 以上の各温度曲線に於ても、*Si* 4% に於て抗張力は減少し *Si* 8% で最大を示し *Si* 12% に於て再び抗張力は減少する 而して之等の結果を一括して考ふるに一般に抗張力は *Cu* 及び *Si* の増加と共に大となるが、*Cu* の量少い場合程抗張力増加の傾向は大であるが温度の上昇による抗張力の減少は *Cu* の量大なる程小である。延伸率は常温に於ては *Cu* 及び *Si* の増加と共に減少するが、温度が上昇するに従ひ *Si* の少いもの程延伸率の増加が著しく大で *Si* 量による差異が明かであるが、*Cu* の量多くなるにつれて此の差が益々小となる。第 42 圖 B の温度の上昇による各種 *Al-Cu-Si* 合金の抗張性質の變化の状況を見るに *Cu* 2% の場合に於ける *Si* の有效なる影響を明かに認める事が出来るが、*Cu* 6% では最も *Si* の影響が少く *Cu* 12% の場合には *Si* 8% の合金が抗張力頗る大で 300°C に於て 20 kg/mm<sup>2</sup> を示し 400°C に於てさへ 10 kg/mm<sup>2</sup> を呈せるは注意すべき事である *Cu* の少い時は温度の上昇につれて延伸率は増加するが *Cu* が多くなるに従つて益々此の傾向が小となる。

試験片の破断後の状況を觀察するに *Cu* 2% 系に於ては前述の他の合金系の場合と異り、最初より *Si* の量を 4% も配合せるを以て表面僅かに小皺を生ずるのみで、常

温に於ては殆ど原状を呈し平滑であるが一般に 300°C より龜裂を生じ *Si* の増加に従ひ高温度に於ても断面の收縮が次第に少くなる。破断面は比較的緻密にして灰色を帯び *Si* 12% に於ては組織一様でない。*Cu* 4% 系に於ては常温では表面原状の儘にして *Si* 4% 及び 6% を含むものは 300°C より龜裂を見、*Si* 8% 及び 12% は 400°C に至つて龜裂を發生する。破断面は *Si* 少き間は緻密にして灰白色であるが、*Si* 8% 及び 12% のものは断面稍粗となり灰色を呈し、*Si* 12% は粗密混合の組織を現して居る。*Cu* 6% 系に於ても同様に *Si* 4% 及び 6% は 300°C より *Si* 8% 及び 12% は 400°C より龜裂を生じ後者の場合は餘り著しからざる状態である。破断面は緻密にして灰色であるが *Si* 量の増加と共に暗色を加へ且つ結晶粒稍粗となる感がある。*Si* 6% 及び 8% は結晶の slip を示し、*Si* 12% は初晶 *Si* の析出の爲めに粗密混合の組織を示し粗なる所は黒鉛色に輝いて居る。*Cu* 12% 系に於ては表面全く原状の儘にして *Si* 4% 及び 6% は表面に微細なる龜裂を生ずるが、*Si* 8% は全くなく、*Si* 12% は 400°C に於て極めて微細なる龜裂を示して居る。破断面は *Si* 4% 及び 6% は灰色であるが、*Si* 8% は更に濃く *Si* 12% は粗密混合の組織を現して居る。寫真 No. 77~80 は此の *Al-Cu-Si* 系合金の代表的なるものを示

#### Al-Cu-Si 合金



腐蝕劑ピクリン酸曹達 ×100 (縮寫½)

<sup>18)</sup> 後藤博士、三島博士：日本鑛業會誌、41. 4.

<sup>19)</sup> Fuss：Z. f. Metallkunde. 16 (1924) 362

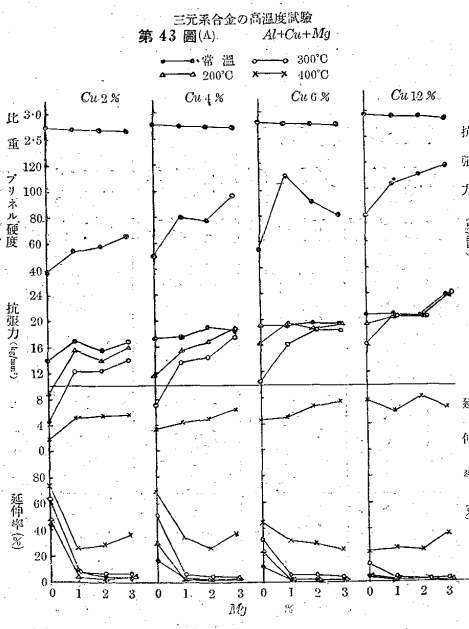
<sup>20)</sup> Gwyer, Phillips and Mann：J. Inst. of Metals. 40 (1928) 297.

<sup>21)</sup> 久恒中陽：水曜會誌、第5卷 第7號 559.

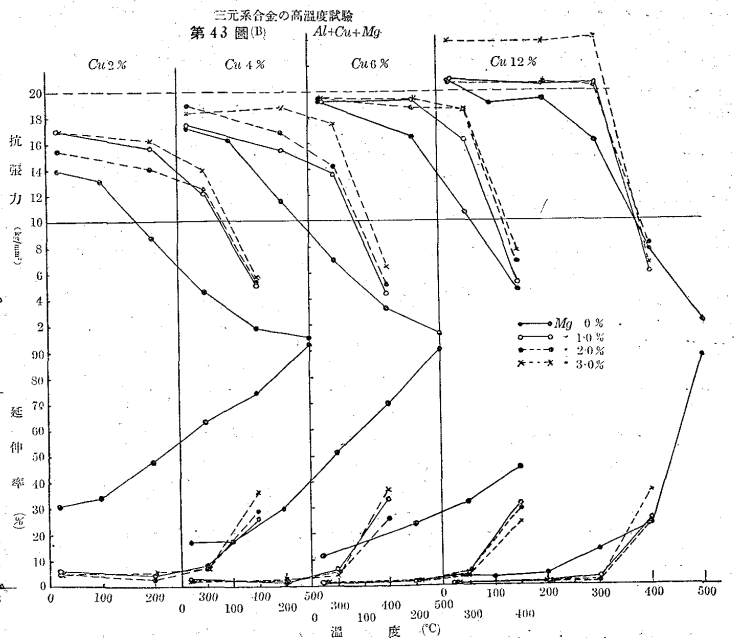
せるものである。

顕微鏡組織を見るに寫眞 No.81~86 の如く上記實驗の Al-Cu-Si 系合金に於ては Al-Cu-solid solution  $\alpha$  に Al, Si 及び  $CuAl_2$  の ternary eutectic を現し、Cu 及び Si の増加に従ひ  $\alpha$  の地は益々減少し Si 12% に至りて初晶 Si の析出を見、此の Si の結晶は Cu 含有量の増加と共に其の大きさを増して居る。本實驗に於て Cu の多くなる程 Si 12% の場合に抗張力の減少を來したるは全く此の初晶 Si の成長によるものと考へられる。

**VII. Al-Cu-Mg 系** Al-Cu-Mg 系に關する理論的研究は Vogel,<sup>22)</sup> Gayler,<sup>23)</sup> 大谷文太郎博士<sup>24)</sup>等によつて報告されて居る。又機械的性質に關する實驗に就ては大谷博士、<sup>24)</sup>Daniels<sup>25)</sup> 及び高橋清教授<sup>26)</sup> 等の人々の報告があるが、Daniels 氏は Cu 2.5~5% 迄 Mg 1% 以下更に Si, Fe を含み尙 Mn の影響等を見て居り、純なる Al-Cu-Mg の合金の系統的研究ではない。然るに高橋教授は Al-Cu-Mg 系に就て常溫に於ける系統的实验を行はれたが、其の結果此の系に於ては Mg の効果の平凡にして注意に値しないものと述べられて居る。著者も亦前研究<sup>27)</sup>に於て Y 系合金の研究中砂型鑄造による Al-Cu-Mg 合金を研究し、Mg 1% 迄抗張力を増加するが Mg 2% 以上は影響なく寧ろ抗張力を減少せしむる傾きあり且つ此の抗張力の増加も餘り著しくない事を認めたのである。然るに本實驗の高溫度試驗に於て著者は



Cu 2~12%, Mg 1~3% の範圍に亘つて實驗を行つたが、Al-Cu-Mg 合金が耐熱的に興味ある現象を示す事を知つた。第 43 圖 A の如く常溫に於ける抗張力曲線は試片が金型鑄造である爲に砂型鑄造の場合と完全に一致しないが、要するに常溫に於ける抗張力曲線は Cu の少い場合に於て Mg 1% で効果を示し Cu が増加すると Mg の影響が明瞭に現れて居ない。然るに 200°C の抗張力曲線は Mg 1% に於て著しく上昇し、此の傾向は Cu 2% の場合最も顯著で Mg がそれ以上増加しても抗張力の上昇は少いが、Cu 4% では更に Mg の量と共に抗張力は増大する。Cu 6% では Mg 1% で最大を示すが Mg の影響は次第に少くなり、Cu 12% には Mg 1% 及び 2% では餘り變化ないが Mg 3% で最大を示して居る。300°C の抗張力曲線に於ても一般に Cu 6% に至る迄は Mg 1% で抗張力の上昇著しくより以上は徐々に増加するが、Cu 12% では更に Mg 3% で最大を示せるは注意すべきである。400°C の抗張力曲線の形は Cu 2% のみ前述の傾向を保つが、Cu 4% 及び Cu 6% は Mg の量と共に徐々に殆ど直線的に抗張力は増加し、Cu 12% の場合は Mg の量に依る明かなる効果を認めない。之等の抗張力曲



線を通覽するに 300°C 迄の各溫度の抗張力曲線は Cu の増加と共に次第に常溫曲線に接近して居るが 400°C で全部殆ど一樣に 10 kg/mm<sup>2</sup> 以下に落ちて居る。延伸率曲線を見るに Mg の延伸率に及す影響甚しい爲に Cu の少い場合には Mg の添加によつて急激なる曲線の降下を呈するが、Mg は少量にてても延伸率に及す影響大なる爲に Mg の含

22) Vogel: Z. Anorg. Allgem. Chem. 107 (1919) 265,

23) Gayler: J. Inst. of metals. 29 (1923) 507.

24) 大谷博士:工業化學會誌、26(大正 12 年) 427.

25) Daniels: Amer. Inst. min. met. Eng. 71(1925)864.

26) 高橋清:金屬の研究、第 5 卷、第 6 號、212

27) 伊丹榮一郎:水曜會誌、第 8 卷 (昭和 9 年) 第 4 號.

有量による延伸率の變化は現れない。故に高温度の曲線に於ても大體上記の傾向を示すのである。而して  $Cu$  量が多くなると  $Al-Cu$  合金自身の延伸率が非常に減少するから  $Mg$  の影響が明かでない様になる。以上の結果を第 43 圖 B に於て、各々の合金の温度の上昇による抗張性質の變化を一覽すると  $Mg$  の影響が一層よく解る。即ち常温に於ける  $Mg$  の効果は  $Cu 2%$  で最も良好で  $Mg$  の 1%, 2%, 3% 何れの場合も  $Al-Cu 2%$  合金に優るが、 $Cu 4%$  以上に於ては其の効果稍小となり  $Cu 6%$  で最も小で  $Cu 12%$  に於ては  $Mg 3%$  を含むものは良好である。而して何れの場合に於ても  $200^{\circ}C$  及び  $300^{\circ}C$  に於ける抗張力の増加極めて著しく、殊に  $Cu 12%$  の場合には  $Mg 3%$  を含有するものは  $300^{\circ}C$  迄抗張力は減少せざるのみか寧ろ増加の傾向が認められ、鑄造状態にて約  $24 kg/mm^2$  の抗張力を  $300^{\circ}C$  で保てるものは以上實驗し來りし三元系合金の中で此の  $Al-Cu 12\%-Mg 3%$  合金あるのみである。尙總體として注意すべき事は  $Cu 2%$  では  $400^{\circ}C$  に於ても  $Mg$  の影響大であるが  $Cu$  の多くなる程  $400^{\circ}C$  に於ける抗張力増加の効果が次第に小となる。 $300^{\circ}C$  に至る迄  $24 kg/mm^2$  を保ちたる  $Al-Cu 12\%-Mg 3%$  合金も  $400^{\circ}C$  では急激に降下し  $Cu$  の少い場合と同様に  $10 kg/mm^2$  以下に減少する。延伸率と温度との關係は他の系にては見ざる所で、 $300^{\circ}C$  迄は  $Mg$  含有量の如何に拘らず殆ど變化なく  $400^{\circ}C$  にて急に増加する。

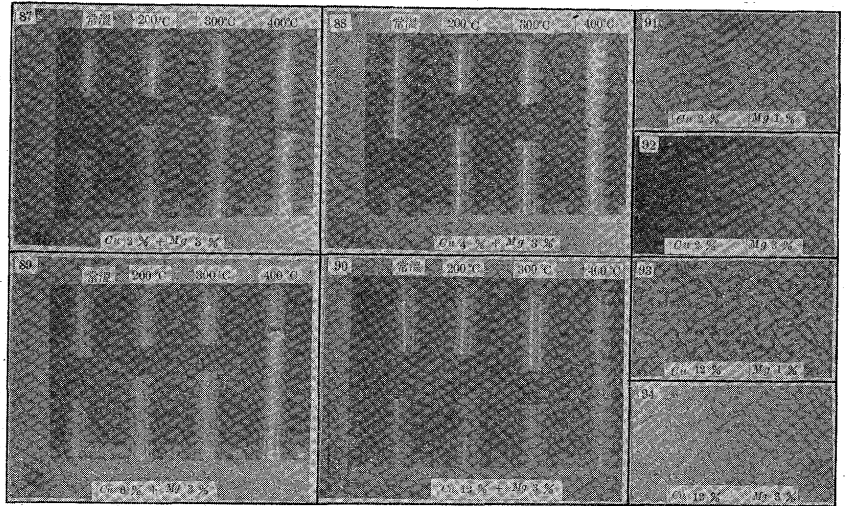
試験片の破斷状況を見るに  $Cu 2%$  系に於ても僅か  $Mg 1%$  の添加によつて表面皺を認めず、一般に  $200^{\circ}C$  迄は原狀の儘であるが僅かに微細な龜裂が認められるが  $300^{\circ}C$  より龜裂を増大し  $400^{\circ}C$  に於て一層甚しい。破斷面は稍粗にして灰色を呈し高温度に至れば凹凸を増す。 $Cu 4%$  系に於ては常温及び  $200^{\circ}C$  にては何等龜裂を認めないが  $300^{\circ}C$  に至れば微細なる龜裂を發生し  $400^{\circ}C$  に於ては甚しくなり、破斷面は  $Mg$  の増加と共に密になる傾向がある。 $Cu 6%$  系に於ては  $300^{\circ}C$  にて發生する龜裂は極めて少くなり破斷面は一層緻密になる様である。又  $Cu 12%$  系に於ては常温より  $300^{\circ}C$  迄は

全然龜裂を認めず  $400^{\circ}C$  にては龜裂發生著しく破斷面は  $Mg$  の量の多い程緻密である。寫眞 No. 87~90 は以上各系の適當なるものを示せるものである。

此の系合金の顯微鏡組織は寫眞 No.91~94 に示す如くである。Vogel 或は Gayler の状態圖から考ふれば上記

No. 87-94. (縮寫 1/2)

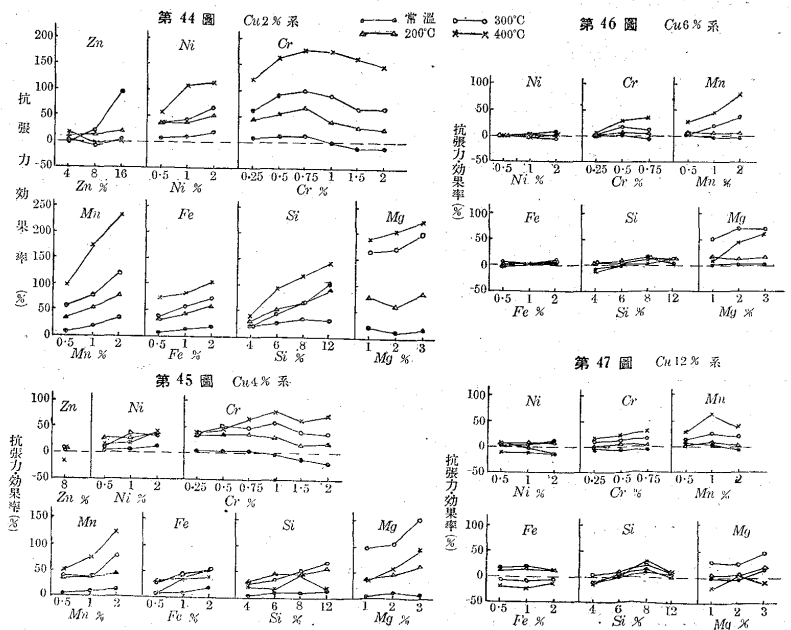
$Al-Cu-Mg$  合金 腐蝕剤ピクリン酸曹達  $\times 100$



の實驗の如き  $Mg$  の比較的少量なる場合は  $Al-Cu-Mg$  の solid solution と  $CuAl_2$  よりなる筈であるが、試験片の金型鑄込である爲に  $(Al-Cu-Mg)$  solid solution  $\alpha + CuAl_2 + (Al+Cu+Mg)$  ternary compound が出現し、之等の compound は  $Cu$  及び  $Mg$  量の増加と共に多くなつて居る。

VIII.  $Al-Cu+X$  三元系に於ける添加元素が抗張力に及す効果率の比較。  $Al-Cu$  二元合金に他の元素  $Zn$ ,

$Al+Cu+X$  三元系合金に於ける添加元素の含有量が各温度の抗張力に及ぼす効果率の比較



Ni, Cr, Mn, Fe, Si, 及び Mg を加へた場合、硬度、抗張力及び延伸率等が常温並びに高温度に於て如何に變化するかを述べたが、之等の効果を判然たらしむるために再び茲に抗張力に及す効果率の比較を試みる事にした。

第 44 圖~第 47 圖は Al-Cu 合金に添加されたる各元素の含有量によつて抗張力効果率に及す影響を表はしたもので、先づ Cu 2% 系では Zn は常温で而も含有量の

大なる場合に効果を現し、Ni は常温では効果率は少いが温度が高い程大になり、Cr も Ni と同様常温では効果少く尙含有量 0.75% より多くなると効果率は負数を示すが、温度が高くなるに従つて其の効果率は大きくなり Ni の場合より著しく Cr 0.75% に於て最高 170% の効果率を示して居る。Mn も亦常温に於て効果率は小であるが温度が高くなる程大となり Cr の場合と比べて劣らない。Fe は Ni の場合に類似したる傾向を示し、Si も稍之等の程度に同じく、Mg に至つては再び大となり常温に於ては前記同様其の効果率は少いが高温になると Cr 及び Mn の場合よりも著しい傾向を示して居る。即ち Zn は常温の効果率は其の含有量の

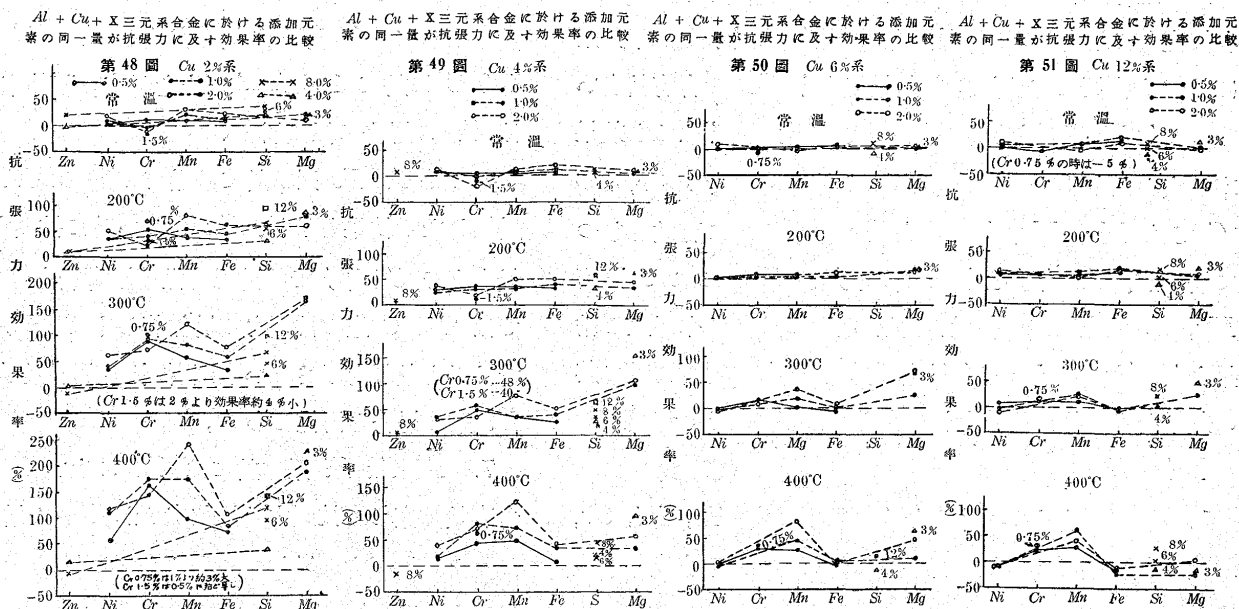
大なる場合に認められるが高温度では全く認められなくなり、之に反して Ni, Cr, Mn, Fe, Si, Mg 等は常温の効果率小であるが高温度に進むに従つて大となり就中 Cr, Mn 及び Mg は著しい。

Cu 4% 系では之等の効果は一般に相當減少し且つ各曲線は不規則となり、從來高温度になる程効果率大なりし傾向が破られて、Cr 及び Mn は概して前の場合と同様であるが Ni, Fe, Si, Mg 等は 300°C に於て効果率の最大を呈する様に思はれる。

Cu 6% 系にては更に効果率は減少し Cr, Mn, Mg 等は尙相當の効果率を示すが、Ni, Fe, Si, 等は殆ど効果

率を有せざるに至る。

Cu 12% 系にては一層効果率の減少を示し何れの元素も一部効果率の負数を示し殊に Ni 及び Fe は甚しく、此の系にて効果良好なるは Mn で次に Mg にして何れも 50% を超過するものは少い。



Al-Cu 系合金に他の元素 1% 迄添加せる場合抗張力に及す効果の定性的比較

Cu%	温度 °C	各元素の効果率順位							總括的に見 たる順位
		1	2	3	4	5	6	7	
2	常温	Mn	Mg	Fe	Cr	Ni	—	—	4
	200	Mg	Cr	Mn	Fe	Ni	—	—	3
	300	Mg	Cr	Mn	Fe	Ni	—	—	1
	400	Mg	Cr	Mn	Ni	Fe	—	—	2
4	常温	Fe	Mn	Ni	Cr	Mg	—	—	4
	200	Fe	Mn	Cr	Mg	Ni	—	—	3
	300	Mg	Cr	Fe	Mn	Ni	—	—	1
	400	Cr	Mn	Fe	Mg	Ni	—	—	2
6	常温	Ni	Fe	Mn	Cr	Mg	—	—	4
	200	Mg	Mn	Cr	Fe	Ni	—	—	1
	300	Mg	Mn	Cr	Ni	Fe	—	—	3
	400	Mn	Cr	Mg	Fe	Ni	—	—	2
12	常温	Fe	Mn	Ni	Mg	—	—	—	4
	200	Fe	Mn	Ni	Mg	Cr	—	—	1
	300	Mg	Mn	Cr	Ni	—	—	—	3
	400	Mn	Cr	Ni	—	—	—	—	2

註：本表中——は順位を判然と決定し得ざる場合を示す。

斯くの如く *Al-Cu* 合金に他の元素 *Zn, Ni, Cr, Mn, Fe, Si, Mg* 等の何れかを添加する場合、*Cu* の含有量が少い間は其の効果大であるが *Cu* の含有量が増加するにつれて之等の元素の抗張力に及ぶ効果率は益々小となり却つて害となる場合を生ずる。

次に之等の各元素の同一含有量に對する効果率の比較を各溫度別に示すと第 48 圖～第 51 圖の如く、*Cu* 2% 系に於ては常溫にては何れも効果率少く *Cr* の含有量多いもの、如きは負數を示して居るが、溫度が高くなると効果率が大きくなり 300°C では *Mg* を第一とし次に *Cr*, 400°C では *Mn, Mg, Cr, Ni, Fe, Si* の順に有効となつて居るが、*Cu* 4% より *Cu* 12% に進むにつれて *Mn, Mg, Cr* の影響の良好なる事が明かに解る。今以上の結果より *Al-Cu* 合金に各元素 1% 迄添加の場合に就て其の効果を定性的に比較すれば表示の如くなる。

### IX. 總括

1. *Al-Cu* 合金を基本とし之に他の元素 *Zn, Ni, Cr, Mn, Fe, Si, Mg* を各別に添加したる三元系合金の高溫度試験を行つた。

2. *Al-Cu-Zn* 系に於ては *Zn* は常溫に於て其の量と共に著しく抗張力を増加せしむるが、高溫度にては *Zn* の量の如何に拘らず殆ど耐熱的效果を與へない。*Zn* の量が 8% 以上になると延伸率を減少する。

3. *Al-Cu-Ni* 系に於ては常溫では *Ni* は含有量と共に抗張力を増加するが、溫度が上昇するに従つて *Cu* の少い場合には *Ni* は少量で既に良好なる効果を與へ *Cu* の増すに従つて *Ni* の効果は減少する。而して *Cu* 6% に於て *Ni* の影響最も少く *Cu* の量多くなると 200°C 迄は良好なる影響を與へるが高溫度では却つて悪い影響を與へる。

4. *Al-Cu-Cr* 系に於ては常溫に於ける *Cr* の影響は比較的著しくなく、*Cu* 4% 迄は *Cr* 0.5~0.75% が最も良好なる効果を與へるが *Cu* が増すに従ひ、*Cr* の少量と雖も却つて効果を失ふ。然るに溫度が上昇するに従つて *Cr* の効果は良好となり特に *Cu* の少い場合に於て著しく *Cu* が多くなつても有効である。一般に *Cu* 6% に於て *Cr* の作用は最も小で、*Cu* 12% に於ては *Ni* の場合と反對に溫度が 200°C 迄は殆ど効果ないが 300°C 及び 400°C に於て *Cr* の影響は良好となり抗張力は他の場合に比して大であるが、延伸率を減少せしむる事は *Ni* の場合よりも稍大である。

5. *Al-Cu-Mn* 系に於ては *Mn* は *Cu* の量の少い程常溫より高溫度に至る迄の抗張力増加の傾向著しく *Cu* 6% に於ては *Ni, Cr* 等の場合に於ける如く影響最も少いのであるが 300°C 及び 400°C に於て *Mn* 含有量に應じて相當良好なる効果を與へる。*Cu* 12% になると常溫に於ては *Mn* の少いものが良好であるが、高溫度になると必ずしも然らずして *Mn* 1% が最も有効で *Cr* の場合と同様に 400°C に於て 10 kg/mm<sup>2</sup> 以上を示す。延伸率に及ぶ影響は *Cr* の場合に似て居る。

6. *Al-Cu-Fe* 系に於ては殆ど *Al-Cu-Ni* 系の場合に酷似したる結果を示し、*Cu* の少い時に抗張力に及ぶ影響最も大で *Cu* 6% では前記同様に影響最も少く、*Cu* 12% では 200°C 迄の抗張力の増加著しく 300°C 及び 400°C では殆ど効果を示さない。延伸率の傾向も大體 *Al-Cu-Ni* 系の場合と同様である。

7. *Al-Cu-Si* 系に於ては *Cu* の少い 2% にては *Si* 含有量に應じて抗張力は増加するが *Cu* の増加と共に *Si* 量による抗張力の増加の傾向は小となり、*Cu* 6% に於て抗張力に及ぶ影響最も小で *Cu* 12% で再び影響は大となり 400°C で *Si* 8% の如きは成績最も良好で 10 kg/mm<sup>2</sup> を示す。一般に *Cu* 6% からは *Si* 含有量により却つて此の *Al-Cu* 合金の抗張力を常溫及び 200°C で悪くする。

8. *Al-Cu-Mg* 系に於ては 200°C 並びに 300°C に於ける抗張力の増加の傾向大で、*Cu* 2% 及び *Cu* 4% では各溫度に互つて總體的に良好なる影響を示すが *Cu* 6% では矢張り *Mg* の影響最も小さく現れる。而して *Cu* 12% では 300°C 迄少しも抗張力の減少を示さないが 400°C では抗張力の減少著しく 10 kg/mm<sup>2</sup> 附近に達するものはない。延伸率に及ぶ *Mg* の影響は特に著しく *Cu* の少いものは多少の延伸率を示すが、常溫にては 6~7% 以下で 300°C 迄は延伸率の變化殆どなく 300°C より 400°C に向つて延伸率は増加する。

9. *Al-Cu* 合金の抗張力の増加に及ぶ各元素の効果の影響を調べたが、二元系の場合に比して効果率は著しく減少する事を知つた。而して *Cu* の少い間は各元素の効果大で且つ比較容易であるが *Cu* の増加するにつれて其の効果次第に小となり比較困難となるものがある。一般に常溫に於ては効果率は最も小で高溫度になる程大となる傾向があるが *Cu* の含有量が増加するに従つて必ずしも溫度と共に此の傾向が平行するものではない。