

鋁 筆 輕 合 金 史 (其 一)

アルミニウム合金の發達を回顧して

京大工學學部長 工學博士 西 村 秀 雄

—花盛りのきのふ、花散れるけふ—

アナトール・フランスの小説「花ざかりの頃」¹⁾を読むと、氣球乗ジョゼフ・ベルニエと云ふ氣の毒な運命の男のことが書かれている、それは飛行機の出来ていない頃のこと、一時は喝采を受けても直に忘れられるやうな、開拓者が屢々遭遇するはかない運命を物語っている。我が國の香具師幸吉なるものゝ話など當時は全く狂人の暴舉としか考へられていながつたに違ひない。しかし鳥を見て空に憧れ、自由に飛行する夢は廿世紀になつて現實となつた。1903年ライト兄弟によつて始めて飛行機が完成されてから、僅かに4~5年に過ぎぬ第一次の世界大戦では、飛行機は大きい役目をしていながつたが、今度の大戦は飛行機の戦争となつた。この進歩につれて輕合金が、花々しく飛行機の製作に登場して來たのであるが、その發達の歴史の跡を顧みると今昔の感に耐えない。殊に我が國の輕合金工業の工場は爆撃で破壊され、殘されたものも終戦と同時に、航空機材の製造に終止符が打たれ、その目標を家庭器物などの製造に轉換せざるを得なくなつたことは、ジョゼフ・ベルニエの運命のやうで、花やかであつた輕合金工業のことは、今は昔の思い出となつてしまつた。この變轉の歴史を、眼で見たまゝ、筆のまゝに、學術的な進歩から、航空機材進むの發展に及ぶ思い出を書くことにした、

—最初のアルミニウム合金状態圖—

アルミニウムの金屬としての歴史は、Wöhler と Oerstedによつて、始めて加里で還元された1827年の昔まで、遡らなければならないが、合金のことになると新しいことになる。

殊に工業用材料に關しては、最近30年位の間、著しい發達をしたのであるが、歴史を語るには基礎的研究から説かねばならない。アルミニウム合金に限らない近代的な合金の研究は、先づ状態圖の研究から始まつていると云へる。その二元合金状態圖については英國の Roberts-Austen, Heycock と Neville の名を思い出すが、Heycock と Neville によつて發表された二元合金状態圖を調べると、アルミニウムに關しては次のやうなものがある。

- Al-Sn J. Chem. Soc. 57 (1890) 385
- Al-Zn 同 上 71 (1897) 389
- Al-Cu Philos. Trans. Roy. Soc. 189 (1897) 67
- Al-Au 同 上 194 (1900) 201

これを見ると既に1890年頃から研究が始められているから半世紀の昔と云へる、これは1886年に Hall や Heroult が熔融塩電解でアルミニウムを製造する特許を得てから、餘り時が経っていない。アルミニウムが工業的に生産されるやうになり、その利用も考へ、當時は基礎的な研究を行つたものであらう。研究結果は今から見ると不完全なるものとは云ふても、未知の世界が始めて開かれたのであるから、學術上立派な成果と云へる。矢張、科學の傳統があつて、直にかゝる研究が行はれ得たものであつた。

—今世紀最初の研究—

またフランスでも研究が行はれているが、それには Gautier, Le Chatelier などの名が見られる。これ等の人々が Bull. Soc. Encour. Ind. nat. I (1896) に Al-Sn, Al-Zn, Al-Sb などの合金についての研究を發表し、それが纏められて Contribution a' l'etude des Alliaques として1901年に發行されている。

1) Vie en Fleur.



20世紀になつて米國では Campbell 及び Mathews, フランスでは Guillet, 獨逸で Tammann などの名が漸く見られるやうになつてゐる。Tammann 一派の人々の二元系状態圖の研究を主體に纏めて K. Bornevernn が Die bihären Metall-legierungen を 1909年に發行した。これはアルミニウム合金に関する記述は少いが、然し金屬工學の進歩を語るには、是非擧げなければならない著書の一つである。この頃から漸く合金の研究が盛になつて來た。

工業材料としての第一歩

一方に於て工業材料としてのアルミニウム合金の方面に目を向けてみる。先づアルミニウム

第 1 表 1890年代のアルミニウム地金分析表

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Al	88.35	92.969	96.253	92.00	92.5	96.16	94.7	97.20
Si	2.87	2.149	0.454	0.45	0.7	0.47	3.7	0.25
Fe	2.40	4.882	3.293	7.55	6.8	3.37	1.6	2.40
Cu	6.38	—	—	—	—	—	—	—
Pb	痕跡	—	—	—	—	—	—	—
Na	—	痕跡	痕跡	—	—	—	—	—

1909年に發行されている F. F. Law の Alloys and their Industrial Application を見ると、アルミニウム合金のことが可なり記載されて、研究の進んだことが窺はれる。例へば Shephard の研究による Al-Zn 系状態圖を示して、アルミニウムと亜鉛とは共晶合金を造りアルミニウムに亜鉛が50%固溶するとし、Zn 15%を含んだ合金は柔かで壓延が出来るが、Jena の Carl Zeiss で造つて Ziskon と稱した。また Zn の少い柔かい材料を Zisium と名づけている、など書いてある。

またフランスでは Al-Cu 系合金が海軍に採用されて、英國の Messrs. Yarrow & Co. で建造され、フランス海軍の水雷艇に用いられたが、その成分は Cu 6% を含んだもので、海水による腐蝕は別に考慮して防止されてある。Cu 3~5% を含む合金が、自動車工業にも使用

合金が何時頃から用いられたか。1896年米國ワシントンで發行されている W. P. Brannett の Metallic Alloys を繰いて見たが、アルミニウム青銅のことは書かれているが、アルミニウム合金の記述はない。しかしアルミニウム地金の分析が記されている。當時の市場になつた地金がどの程度のものであつたか興味があると思ふて、第1表に示すことにした。最高品位でも97%程度であつて、Fe 及び Si がかなり多く含まれている。I には Cu が多く含まれているが、その理由は明かでない。しかし Cu が主なる不純物と書かれているから、特に入れたものでなく、かやうな合金地金が出来たものと考へられる。

されることがあるとされ、當時の工業方面に、既に進出し出したことが見られるのである。

カーペンターとエドワーズの業績

注目すべきは Carpenter と Edwards 兩氏の、アルミニウム合金の研究から引用してある Al-Cu, Al-Mn 及び Al-Ni の各合金についての記述であるが、この Carpenter 及び Edwards の研究は、近代的な工業用輕合金の研究の先驅をなしたものである。就中 Al-Cu 系合金については砂型、金型、壓延、引抜したもの、機械的性質と、銅含有量との関係が示されている。壓延材並に冷間引抜材では、Cu 4% を含むものが最高の抗張力を與へられることが示されている。また砂鑄物を 450°C から徐冷並に焼入したものをも調べているが、時効硬化に關した現象は、認められていなかったものであら

1) Eighth Report Alloy Research Committee Inst. Mech. Eng.

ら、何等觸れるところがない。しかし、その後の輕合金の發展に資するところが多い示唆に富んだ研究と云へる。また Partinium といふ名稱の合金は、分析の結果 Cu 7.36%, Zn 1.67%, Si 1.14%, Fe 1.31% を含んでいるアルミニウム合金であると書かれているが、Fe と Si は恐らく地金中の不純物からであつたと思はれるから、Cu と Zn とを含んでいる合金を考へると、其の後鑄造合金として廣く用いられた No. 12 や L5 などの合金の先驅をなしたものと云へよう。

—自動車工業へ最初の應用—

Al-Mn 系合金について Mn 2~3% を含むものが當時自動車工業に用ひられ出したと書いてある。しかし Mn 10% 以下の合金が固溶體であるなど、誤つた記述があり、現在の進歩した状態から考へると、まだ金屬組織の研究が充分に進んでいなかつたことが窺はれる。一寸顯微鏡組織を調べて見れば、直に判明するやうな間違が記載されているのも興味を引く。

いづれにしても1910年頃までは、アルミニウム合金の工業用途は少く、研究時代であつたと云へよう。それが1908年に A. Wilm が銅、マグネシウムを含むアルミニウム合金の時効現象を發見し、1911年に Metallurgie に發表し、デュラルミンの基礎を造つたのであつた。これまではアルミニウム合金の搖籃時代と云へる。1910年と云ふと明治43年で、我が國では既にアルミニウムがかなり輸入され、食器具などに造られていたのであるが、合金に關してはまだ何等の研究もなされていなかつた時代である。

(以下次號)

壓延、板工協同懇親會

輕金屬ロール會及び輕金屬板製品協會は、10月の定例理事會を孰れも大阪に開くことになつたのを機とし、17日協同の懇親會を催した。參會者約50名、梅田から貸切のバス二臺で寶塚の奥山に向ひ、茸狩に興じた後、甲陽園「はり半」に引揚げ、晚餐を共にして、歡談した。

鍋、茶瓶等ツマミ、水筒栓
茶瓶、ミルクパン、杓子等握柄類
器物附屬木製品全般製作
在庫品豊富乞御照會

小林木材産業合名會社

大阪市阿倍野區桑津町一七五
(大鐵線河堀工下車東北一丁)
女子商業學校東側
電話天王寺 ⑦四〇五九番

輕金屬板製品

板東アルミニウム製作所

堺市大濱南町九九番地
電話堺一四六〇番

輕金屬鑄造器物國內向輸出向

杉田アルミニウム鑄造所

大阪市生野區猪飼野東一丁目三七
電話天王寺 ②二六五三番

「隨筆」 輕合金史 (其二)

アルミニウム合金の發達を顧みて

京大工學部長 工學博士 西村 秀雄

鋼の焼入硬化からヒント

鋼は焼入すると硬くなる。この現象は古くから知られていたもので、我が國では刀劍の製作に利用されていた。かかる焼入による鋼の硬化理論は1900年頃から研究が始められ、その第一歩として Fe-C 等の状態圖が Roberts-Austen, Osmond, などの實驗的研究と、Rooseboom の理論から、漸次明白にせられて來た。また Guillet は Cu-Sn 合金を熱處理して、機械的性質の變化などを調べ、多少硬化する合金のあることを認めた。アルミニウム合金が同様の熱處理によつて、性質を改善することが出来るならばと考へるのは、鋼の焼入硬化が大きな課題であつたその當時としては、先づ考へるべき問題であつた。

Wilm はドイツの技師であつた。1903年以來、Neubabelsberg の科學技術研究所⁽¹⁾で、アルミニウム合金でも、何か焼入して硬くなるものがないかと探究していたのであつた。偶々 Cu3.5% と Mg 0.5% を含む合金が、焼入すると時間の経過とともに、硬化して行くことを發見したのであつた。

—ウイルムの論文—

Wilm が1911年の Metallurgie⁽⁸⁾225頁に發表した論文を見ると、先づ炭素鋼を顯微鏡で調べると焼入で硬化すると云ふ變態が判明する。この鋼の硬化するのは炭素が含まれているためである。アルミニウムも加熱し焼入すると硬くなるが、それは炭素のためでなく、マグネシウムといふ元素のためである、と書き出しているから鋼の焼入からヒントを得たのは疑ひがない。

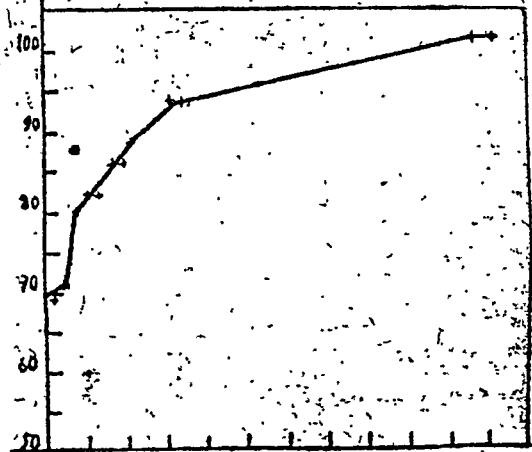
しかし顯微鏡組織からは、何等の決論も得られなかつたのである。唯30mm の長さの丸棒を焼入すると直後では 0.006mm だけ伸びて、數

日後にはそれはもとの長さに復したと記載している。本文は3頁で圖面が2頁といふ短いものであるが、アルミニウム合金の歴史に大きな役割を演じたものであるから、その論文中の主要な點をとりあけて見る。

アルミニウム合金の硬化は、鋼と異つて水冷直後に硬くならないで柔かであるが、數時間すると漸次硬化する。これはマグネシウム0.5%を含む合金に見られるが、銅が同時に存在すると著しく機械的性質が高いものとなる。このマグネシウム0.5%のみでアルミニウムが硬化すると云ふ事は Wilm の間違ひであつて、その後の研究から明かなやうに、アルミニウムはマグネシウムのみで硬化しない。銅が含まれたためであつて、地金の分析も、また試料の分析も示されていないから批判し得ないが、第1圖に示した硬化曲線は、恐らく銅を含んでいるものに就ての、研究結果を示したものであらうと想像する。

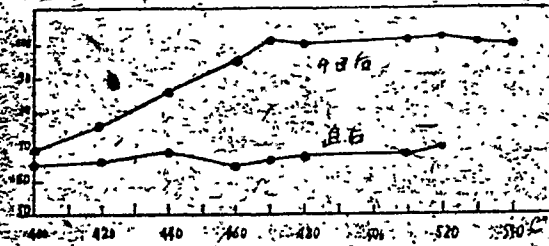
次にマグネシウムと銅を含むアルミニウム合金の鑄造材を顯微鏡で見ると、種々の黒い脈状組織を呈するが、約500°Cで焼入すると均一な組織となつて、それを數日後調べても變化がな

第 1 圖



(1) Zentralstelle für Wiss.-tech. Untersuchung

第 2 圖



い」と書いてある。この鑄造材が樹枝状の有核組織を呈し、加熱して焼入すると均一固溶体となることは明かで、硬化したのも組織に変化が認められなかつたことも、間違のない事實である。

—要領よき加工指針の記述—

アルミニウム及びその合金の高温加工は一般に400°Cで行ひ、アルミニウムはこの温度で鍛造、壓延など自由な形状に造られる。かかる材料を冷間で加工すると硬くなると同時に降伏点が高くなる。冷間加工をつとげるためには、やはり400°Cに熱する。冷間加工すると抗張力と硬度は高くなるが、伸は減じる。どんな壓延状態でも500°C加熱、水冷して、4日程放置すると硬化する。抗張力、硬度が増すが伸も亦得られる。この點は鋼と異るところであつて、焼入して硬化したものは、また冷間加工が出来ると、要領よく加工に関する指針を與へてある。焼入する温度と硬化の關係が第2圖のやうに示され400°Cでは焼入して常温で放置しても、餘り硬くならない。加工する途中で硬化を避けなければならぬやうな場合、例へば線に引くやうなときは、低い焼鈍温度を必要とするなど、其の後の研究で確認されていることが、既に明白に記述されている。

また水冷直後冷間壓延したものより、焼入して放置した後に壓延した方が硬くなる。150°Cまでの温度では機械性質に餘り影響はないが、200°C以上の温度では強度が著しく低くなるなど、簡単な記載ではあるが、デュラルミンに關して必要な事項が漏れなく述べられている。

他の元素の影響としてマンガとニッケルとが挙げられ、マンガンは硬さを増し、ニッケルは強靱性を與へるとしている。水銀にアルミニウムが接觸すると、アマルガムを造つて崩壊する

が、マンガが含まれると水銀に濡れないといふことなど、種々の觀點から研究してある。アルミニウムは水銀鹽には直に侵されて崩壊されることは、早く知られたことであるが、こんなことまで既に認めていたのは感心する。

—工業化した最初の工場—

このマグネシウムを含むアルミニウム合金はドイツでは Dülen の Dürener Metallwerken A.G. で Duralumin. の名稱で造られ、英國では Vickers Sec & Maxim により、オーストリー・ハンガリーの C. Knimír 伸銅工場でも工業化されている、と最後につけ加へている。

1903年から始めて、1911年に發表になるまでに、約8年間の研究であるから、未知の世界を手探りに研究して、ここに到達したものと思へるが、實用化されるまでの苦心の跡、はこの短い論文ではあるがその間の消息がよく窺知せられる。マグネシウムを含むために、焼入して硬化するものと云ふことは、間違つては居るが、當時のアルミニウムを地金の純度では、鐵が可なり多かつたと思ふから、銅のみを加へたのでは時効の現象が全く認められず、マグネシウムを加へて始めて硬化が生じたのであつたらう。或は珪素が不純物として含まれていたから、その影響なども考へられる。

いづれにしても、焼入して放置すると硬くなるアルミニウム合金を發見して、デュラルミンの基礎を造つたのである。しかしこの焼入して放置し、硬化する現象は、改善 (Veredlung) と云ふ言葉であらはずしては過ぎない。

—デュラルミン創造の

助手たちと發表せる雑誌—

この研究には材料試験には F. Jablonski, 熔解作業には H. Rochlitz の援助を得たことを記している。かやうな人々の力でアルミニウム合金の發展を見るに至つたのであるから、株の下の方持ちとして働いたこれ等の人も、忘れないやうにと特に擧げて置きたい。總て新しい發見や發明は、その始めは微々たるものであつても、漸次發展をなすものでなけ (22頁へ續く)

洗面器	30糎	295 #	70.90	95.10	80.20	107.50	96.30	129.00	24.20	五、卸賣業者販賣價格の統制額は、荷造費込みの買主の最寄驛貨車積渡しの價格とする。
	32 #	320 #	76.90	103.60	86.90	117.10	104.30	140.60	26.70	
	34 #	385 #	92.70	122.40	104.80	138.40	125.80	166.10	29.70	
飯 蒸	18 #	320 #	103.90	140.40	117.50	158.70	141.00	190.50	36.50	六、この表の小賣業者販賣價格の統制額は、賣主の店先渡し價格とする。
	20 #	400 #	126.80	168.40	143.30	190.30	172.00	228.40	41.60	
	22 #	500 #	155.10	204.90	175.30	231.60	210.40	278.00	49.80	
	24 #	650 #	200.60	258.20	226.70	291.80	272.10	350.20	57.60	
	角型	770 #	315.90	415.60	357.00	469.70	428.40	563.70	99.70	
湯 沸	0.7立	110 #	78.30	93.80	88.50	106.00	106.20	127.20	15.50	七、この表の統制額は都道府縣價格査定委員會が、物價廳長官の定めたる基準によつて價格査定をなし、その交付する査定證紙を貼付したものの價格であつて、査定を受けないもの又は査定證紙の貼付されていないものの統制額は、この表の統制額の八割下げの價格とする。
	1.0 #	140 #	98.70	115.90	111.60	131.00	134.00	157.20	17.20	
	1.5 #	205 #	143.00	164.00	161.60	185.40	194.00	222.50	21.00	
	2.0 #	265 #	180.10	204.60	203.60	231.20	244.40	277.50	24.50	
	3.0 #	380 #	253.80	285.10	286.80	322.20	344.20	386.70	31.30	
	4.0 #	500 #	331.30	368.80	374.40	416.80	449.30	500.20	37.50	
	5.0 #	680 #	449.80	497.10	508.30	561.80	610.00	674.20	47.30	

- この表に掲げてあるアルマイト被膜加工とは、電解液に蔭酸又は稀硫酸を使用し、被膜の厚さ板製品14ミクロン以上、鑄物製品7ミクロン以上に陽極酸化被膜を施すものであつて、表面は高氣壓の水蒸氣で無孔性とし、研磨仕上げをなすものである。
- アルマイト加工業者被膜加工料は引取及び持ち込みの運搬費並びに荷造り費を含まないものである。

第二、價格査定物品と價格査定機關

- (一) 價格査定物品 二の告示において販賣價格を指定した物品
(二) 價格査定機關 都道府縣價格査定委員會

輕金屬標準釜統制價格 (23, 11, 6物價廳長官告示)

品 種	規 格		製造業者販賣價格		卸賣業者販賣價格		小賣業者販賣價格	
	寸 法	重 量	アルミニウム製	アルマイト製	アルミニウム製	アルマイト製	アルミニウム製	アルマイト製
標 準 釜	20糎	240瓦	84.30	114.30	95.30	129.20	114.40	155.00
	22	340	107.10	141.60	121.00	160.00	145.20	192.00
	24	1,130	128.80	169.90	145.50	192.00	174.60	230.40
	26	1,350	153.80	199.90	173.80	225.90	208.60	271.10
	28	1,600	182.30	236.00	206.00	265.70	247.20	320.00
	30	1,900	216.50	278.80	244.60	315.00	293.50	378.00

(註) この表に掲げてある規格にはアルミニウム以外の附屬品を除いたものについて左の公差があつてよい。
寸法 2% 重量又は容量 5%

(8頁より) ればならない。またその發展が花々しいものとなつても、その最初の發見が第一に重要な意義を持つものである。學術的に充分な裏付けは科學の進歩につれて容易に出来るが、かゝる發見をすることが先驅とならねばならない。劃期的な發見それ自身がその後につづく總ての基礎をなすものであるから Wilm の論文はその意味で重要さがある。Wilm は學者でなく、一介の技術者であつたから、學術的な記述をしていないところが、技術者らしくてよい。

Metallurgie と云ふ雑誌は、アーヘンの Borchers と Wüst の監修の下に、1904年から發行されていた冶金雜誌であつた。その後は Metall und Erz になつたものであるが、兎に角當時の金屬材料の發展に寄與したものである。1911年の Metallurgie には H. Schirmeister によつて、コバルトを含むアルミニウム合金のことが記載されているが、これは現在から見ると意義のないものであるから、唯かゝる研究があつたと記載するに留めたい。(以下次號)

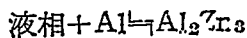
…… アルミニウム合金の發達を顧みて ……

京大工學部長 工學博士 西 村 秀 雄

第一次世界大戰は1914年に始まつて、1918年に終つている。戦争は各種の工業を動員し、科學の研究成果を利用して兵器の發達を促すものである。この第一次大戰の4ケ年間に於て、矢張金屬材料にも新しい進歩の原因を造つた。たゞ進歩の原因を造つたに過ぎなかつた。殊にアルミニウム合金には、花々しい發展はまだ認められていない。それは飛行機が進歩の初期にあつたことゝ、漸く自動車が大衆化し出した頃であつたから、輕合金を機械工業に全面的に用いるまでに至つていなかつたためである。

—ローゼンハインの貢獻—

しかしこの1914年以後の歴史を辿つて見ると先づ1914年に英國で W. Rosenhain が Introduction to Physical Metallurgy を出版している。Rosenhain は英國の Teddington にある National Physical Laboratory の冶金部長であつて、アルミニウム合金の發達に大きい貢獻をなした人であつた。これを見るとアルミニウム合金に關しては、Al-Zn 系合金の状態圖が可なり詳細に述べてある。それは Rosenhain と Archbutt とが J. Inst. Metals 6 (1911) 236 に發表したものを引用したのである。この状態圖は完成したものではないが、443°C で



の包晶反應が生じることを認め、この Al_2Zn_3 が 256°C で分解して二相組織となると書いてある。當時の研究としては、この程度しか明かになつていないのは止むを得ないが、兎に角、その後の研究の手がかりを與へたものである。その他デュラルミンに就て少しく觸れてあるに過ぎない。工業材料としてアルミニウム合金が未だ發展していなかつたことがわかるのである。

第一次大戰での飛行機の活躍は限られた範圍を出なかつたが、獨逸でセエペリン飛行船が建造され、活躍したことは、人のよく知るとこ

ろである。この飛行船にはアルミニウム合金が用いられていた。墜落した飛行船から採つたアルミニウム合金の、分析が發表されている。第(1)表がそれである。

表中の(1)はマグネシウムが分析されていないが、デュラルミンであらう。(2)と(3)とは純アルミニウムと見るべきで、(4)は亜鉛が約8%含まれたものであつて、既に述べた Zisium と稱した合金の種類であつたと思はれる。この系統の合金は、時期割れの現象のためその後使用されなくなつたが、今度の第二次大戰になつて、再び形を變へて現はれて來た。その出發點はこの頃にあつた譯である。

第 1 表

番 號	種 類	Al	Cu	Zn	Mn	Fe	Si	Sn
1	棒	殘分	4.16	—	0.62	0.42	0.52	—
2	プレース	〃	0.05	0.13	—	0.38	0.36	—
3	チャンネル	〃	0.7	9.1	0.45	0.43	0.49	0.15
4	アングル	〃	0.73	7.8	0.27	0.45	0.37	0.11

—メリカー派の業績—

デュラルミンに關しては Wilm の發表について記述したが、それ以外に Cohn が 1912年と1914年に、Elektrrotechnik u. Maschin. に發表している。その本文を見ることが出来ないことは遺憾であるが、常溫加工、焼鈍溫度などの影響を書いているのである。とにかく1919年までに、デュラルミンに關しては全く發表がなかつた。同年に至つて米國鑛山冶金學會 (A.I.M.E.) のフィラデルフィヤに開かれた講演會で、Merica 一派の人々によつて、デュラルミンに關する二論文の發表があつて、何れも米國標準局の刊行物に掲載され、1921年になつて A. I. M. E. の會誌にも發表された。これが契機となり、アルミニウム合金の研究も漸次盛になつて來たのであつて、Wilm の發表後の最も注目すべき論文であるから、その内容を説明したい。

第一にデュラルミンの熱処理と組成といふ題目で発表されたものは、デュラルミンの時効といふものに對して、始めてその原因を明かにしたものであつた。

—デュラルミン時効最初の究明—

この研究では Cu 0.04~3.74%, Mg 0~3.5% を含む16種の試料を造つて、約 410°C で熱間壓延をして、冷間壓延をし、425°C で焼鈍してから再び冷間壓延をして、1.29mmの板とし、再び焼鈍して壓延し、0.8mmの板にした。かかる板を熱処理して、抗張試験とシヨール硬度の測定で機械性質を調べている。478°~525°C から焼入して、20°及び110°C で時効せしめて、抗張力が最高35~36Kg/mm²を得ている。抗張力がデュラルミンとしては低いが、これはマンガンを含まず、マグネシウムの含有量の組合せが適切でなかつたためであるが、最も時効によつて抗張力の増す割合が多いものとして、Cu 3.18%, Mg 0.46%, Fe 0.34%, Si 0.24%, Al 残分といふものであるから Cu が稍々

少い。

また Cu 3.74%, Mg 1.08%, Fe 0.52%, Si 0.30% と云ふ合金を用いて焼入温度、時効温度などの影響を調べてあるが、これは超デュラルミンに稍々近い成分のものである、加熱が520°C 以上になると気泡を生じ、酸化するが、520°C まででは焼入温度が高い程焼入してよく硬化することなど、デュラルミンに関する基礎的な問題を、いろいろと取扱つている。

Cu 3.22%, Mg 0.64%, Fe 0.39%, Si 0.27%, Al 残分の合金について、520°C から焼入して、焼入槽の温度と時効温度との影響を見ているが、これは焼入槽の温度と、時効温度とが同一にしているから、鋼のオーステンパーと同様な処理を試みたものであつて、鋼のオーステンパーはその後の研究で發達したものであるが、同様な試みが既にデュラルミンでは、早く行はれたのである。第2表にその結果を一部示した。また焼入槽の温度を變化して、時効を20°Cで行つたときの機械性質の變化は、第3表に示している。

第 2 表 (520°C焼入)

時効時間 (時)	20°C 焼入時効			100°C 焼入時効			150°C 時効			200°C 焼入時効		
	抗張力 kg/mm ²	伸 %	シヨール硬度	抗張力 kg/mm ²	伸 %	シヨール硬度	抗張力 kg/mm ²	伸 %	シヨール硬度	抗張力 kg/mm ²	伸 %	シヨール硬度
直后	24.6	28	13.5	29.2	27	20	30.3	23.5	23	30	20.5	23
1/2	24.5	24	16	—	—	—	35.7	22	31	35.2	14	41
1	27.2	24	18	33.3	24	27	34	18	31	35	12	41
2	26.2	20	19	33.6	21.5	27	35.3	23.5	34	37	11	42
3	—	—	—	—	—	—	34	18	31	36.4	10	45
19	33.3	25	27	36	21.5	30	—	—	—	—	—	—
48	33.7	18.5	30	36.1	22.5	30	—	—	—	—	—	—
96	35	22.5	31	—	—	—	—	—	—	—	—	—

第 3 表

時効時間 (時)	100°C 焼入 20°C 時効			150°C 焼入 20°C 時効			200°C 焼入 20°C 時効			230°C 焼入 20°C 時効		
	抗張力 kg/mm ²	伸 %	シヨール硬度	抗張力 kg/mm ²	伸 %	シヨール硬度	抗張力 kg/mm ²	伸 %	シヨール硬度	抗張力 kg/mm ²	伸 %	シヨール硬度
直后	29.3	27	20	30.3	23.5	23	30	20.5	23	29.3	23.5	24
1/2	—	—	—	—	—	—	34.5	15.5	39	31.8	21.5	25
1	32	21.5	25	31.2	26	25.5	35.3	14	39	30.9	22.5	25
2	31.2	23	24	30.7	27	23.5	35.2	16	37	31.4	—	25
3	—	—	—	—	—	—	34.4	16.5	37	—	—	—
19	31.3	24.5	25	—	—	—	34.2	16	37	—	—	—
48	32.8	25.5	26	—	—	—	34.4	16	—	—	—	—
96	32.9	22	26	36	20	31	—	—	—	36	25	30

—超デュラルミンへの示唆—

その他 Cu 3.74%, Mg 1.08%, Fe 0.52% Si 0.3%, Al 残分といふ合金を 515°C から焼入して、105~170°C に焼戻したときの機械性質を調べているが、そのうち 125°C で 14 日間時効したものが、抗張力 45Kg/mm²、伸 11% に達して、最高値を與へている。かゝる焼戻しの処理を施すことは實際困難であるが、とにかく成分は超デュラルミンに近く、また抗張力も 45Kg/mm² までに達し得ることが、既に判明している。この論文には別に注目されていなかったのであるが、超デュラルミンの發達した現象からは願ると、何かの示唆を含んだものと云へる。

また加熱、冷却による膨脹變化、電氣抵抗の變化をも測定して、300°C 附近に方向の變るのを認めている。

—析出効果説の基礎—

最も注目すべきは焼入して時効すると、硬化を生じる機構を論じている點である。これと關聯して Merica¹⁾ 其他の人々⁽⁴⁾ は、Al-Cu 系及び Al-Mg 系二元合金の Al 側の状態圖を検討して、その Al 固溶體の溶解度を決定した。これによるとアルミニウムに銅は、525°C で約 4.2% を固溶し、300°C ではそれが 1% 程度に減じる。またマグネシウムは 450°C で 12.5% を固溶し、300°C では 5.9% 以下となることを認めた。この状態圖を土臺に硬化の現象を説明して

いるのである。即ち Cu 3% を含むアルミニウム合金は、500°C で CuAl₂ を固溶しているが、徐々に冷却すると、CuAl₂ が固溶曲線の示すやうに析出する。かゝる状態では硬化の現象は認められない。

若しこの合金を 500°C から急冷すると、CuAl₂ の析出は一部又は全部阻止される。液態空気をを用い—180°C のやうな低温に保持すると、時効硬化を示さない。合金は平衡状態になつていないが、CuAl₂ の核の生成速度が小さいため、CuAl₂ が析出するに至らぬ。しかし 100°C 或は常温までこれを持つて來ると、分子の動きが大きくなつて、CuAl₂ が膠質状態の細粒として析出するやうになる。この析出が硬化の原因である。これが Merica が提出した時効の機構であつて、所謂析出硬化説の基礎をなしたものである。

これを證明するために、500°C から焼入した試料を時効せしめず、直に加熱して熱分析を行つている。250~275°C に熱の發生を認め、これは準安定状態から、安定状態となるために生じるもので、過飽和アルミニウム固溶體から、CuAl₂ の析出による化學反應以外に、かゝる熱の發生を考へることが出来ないといつてある。かゝる考へから析出硬化説が生れた。

この析出硬化説がもとになつて時効硬化の現象が研究されて來たから、時効硬化に關する理論の第一歩をこゝに劃した意味で、Merica の業績は大切なものである。(以下次號)

1) Merica, Waltenberg & Freeman. A.I.M.E. 64 (1921) 3

輕金屬板製品

株式會社 石田アルミニウム製作所

大阪市東淀川區山口町六七六番地
電話豊崎⑦二七三七番



アルミニウム湯沸鑄造
井本アルミニウム器具製作所

大阪市生野區中川町二ノ三七番地

析出硬化説の根據

Merica が始めて析出硬化の説を提唱したが、どんな根據によつたものか一應検討してみることが、その後の發展の歴史を述べるにも都合がよい。Merica の論文を再び緋いて見ることにする。デュラルミンの組織といふ項を見るとデュラルミンの壓延のまゝと、500°C 焼入して常溫時効をした試片の顯微鏡組織を調べて、Fe Al₃, CuAl₂ 及び Mg₂Si の存在を確認している。なお Al, Si, Fe からなる三元化合物を指摘して X 化合物と假に名付けている。この X のことは、アルミニウム地金に含まれることを別に研究したものであつて、この點も新発見であつた。

しかし熱處理によつて組織の變化は少く、壓延したまゝの材料を 500°C に加熱すると、アルミニウム固溶體の再結晶が生じる。その結晶粒は成長するが、焼入によつてこの生長が阻止される。粒子の大きさは 500°C に加熱時間で定まる。時効せしめるも、この粒の大きさに變化がない。

壓延のまゝで見られた Cu Al₂ は、500°C で加熱すると固溶されるが、Fe Al₃ は固溶しない。

若し時効中に Cu Al₂ が漸次析出すると假定するなら、顯微鏡組織に何等かの變化を認められねばならないが、Cu Al₂ の粒子が餘り小さいので見えない。

鐵鋼の焼入組織に見られるドロースタイトは α 鐵中に Fe₃C が膠質溶液となつているため腐蝕され易いと同じやうに、膠質粒子となつていたのでないかと考へ、500°C で焼入して、その直后と、130°C で處理したものを顯鏡しても差異がないから、極めて細粒として析出しているのであらうとした。また、この微粒が凝縮する力も小さいので、見ることが出来ないと考へている。この論文のみでなく、アルミニウ

(1) A.I.M.E., 64 (1921) 3

ム及び銅とマグネシウムを含む輕合金の組織に關する論文に示されてある顯微鏡寫眞を見ると當時としては止むを得なかつたものであらうが完全に研磨されていない。そのためにも正確な判定が出来ていなかつたのであらう。析出相を認められないのは析出粒子が微細に過ぎて、膠質状態だとしたのは止むを得なかつた。X 分析の發達していなかつた當時として、この程度まで考へたことは賞讃したい。

またマグネシウムを含んで銅を含まないものは焼入して時効硬化を示さない。しかしマグネシウムを含まないでも銅を含むものは時効硬化をするが、マグネシウムと銅を同時に含むもの程、硬化しない。マグネシウムの影響は從つて第二次的のもので、Mg₂Si を造るために珪素が除かれて、硬化の効果が加はるものと考へている。しかしマグネシウムが多いとまた硬化の程度が少くなる。

その例として第 4 表を示している。

第 4 表 抗張力 Kg/mm² 抗張力の増加

Cu	Mg	焼鈍材	時効材	%
2.6	1.3	24.5	39	60
3.2	0.5	16.2	34.3	110

この表からマグネシウムがアルミニウムの基質を硬化せしめるが、そのため Cu Al₂ の析出の分散度に影響を與へて、かやうな結果となると説明している。これも、正鵠を得ていないのは、Cu と Mg との割合が適當でなかつたためであつて、この結果からかゝる結論に到達したのであつた。

メリカの結論

Merica の論文は、なお論議すべき問題に觸れているが、それは省略し、結論として與へられている點だけを擧げると一

デュラルミンは 250~520°C で急冷し、20~200°C で時効すると、硬さと靱性とは、少くとも時効溫度が低いと増すものである。その硬度

と靱性の値は焼入温度によつて異り、焼入温度が高く、Cu Al₂ の固溶することが多い程高い。520°C になると遊離の Cu Al₂ が共晶として熔融するから、この温度が焼入の最高温度となる。焼入温度は出来るだけこの温度に近く 510~515°C にすべきである。加熱時間は板ならば 10~20 分でよい。断面の大きいものならばそれ以上の時間が必要である。焼入は沸騰水が最も望ましい。時効温度は 100°C で 5~6 日間がよく、最高の強さと伸とが得られる。伸が低くとも高い比例限を望むなら、150°C で 2~4 日間時効する。

デュラルミンの成分としては、Cu 3~4.5%、Mg 0.4~1.0%、Mn 0~0.7%、Al 残分である。

鑄塊は 500°C で豫熱して Cu Al₂ を固溶せしめることが望まし。しかし壓延は約 450°C で行ふべきであつて、500°C で、行つてはならない。それは Mg₂ Si との共晶が 450°C であるから、一と云ふている。

この決論には多少誤りもあることは、その後の研究で訂正されているが、大體デュラルミンの製造に関する指針となつている點が多い。鑄塊の均質化處理を指摘しているところなど、その一つである。しかし 450°C で Mg₂ Si との共晶が生じるとしたのは誤であつて、これは系統的な研究が行はれてゐないためである。

兎に角未知の分野に始めてこれだけの仕事をして、その後の発展の素因を造つた點に、この研究が大きい意義を持つものであつて、時効硬化といふことは、現在でもまだ研究されているが、それは唯残された不明な點が繰返されているのに過ぎない。時効硬化の原因と機構に関しては、Merica がこゝに第一のエポックを造つたのである。

大正 8 年頃の我が學界

Merica が 1919 年にデュラルミンの時効硬化に関して、析出硬化説を發表した。これは大正 8 年になる。この時代の我が國の學界並に工業界の状態はどうであつたか、を顧みることにする。

大正 7 年は筆者が京都帝國大學を卒業した思ひ出の年であるが、歐洲に於ける第一次大戰がまだ終らず、我が國は好景氣に恵まれ、殊に鑛山及び金屬工業方面は盛に擴張され、採鑛冶金の學生は、卒業しないうちに會社から給與を受けていたといふ有様で、全く我が世の春を謳つていた。この好景氣の中に卒業した筆者は三菱鑛業會社に就職して、大井に新しく出來た鑛業研究所に勤務した。金屬材料に関する研究をすることになつたのであるが、當時安生活二氏が既にボーキサイトからアルミニウムの製鍊に関する研究を始めて居られた。その頃の研究が同氏をして、その後アルミニウム製鍊業界に活躍せられる基礎となつた譯である。大正 7 年の秋に、鐵道協會で本多光太郎博士が鐵鋼に関する研究を始めて發表された。その内容は鐵鋼の研究として印刷されている。この研究發表は夜に行はれたのであつたが、會場は立錐の餘地もない程に聴衆があふれた。磁氣分析を以て鐵鋼の研究に新しい分野を開かれ未知の世界が闡明されて來たやうに誰も感銘を深くした。その後これが契機となつて鐵鋼の研究をなす者は先づ東北の鐵鋼研究所の門を踏むといふ有様を呈した筆者も唯この講演を夢の如くに聞いて、研究するにも知識の不足を痛感した。

現在の我が學界と比較して、當時の我が金屬學界の有様は實に寂莫たるものであつた。東京帝國大學に俵國一博士、京都帝國大學に齋藤大吉博士、九州帝國大學に金子恭助博士があつて漸く金屬組織學として、僅かに金屬及び合金の組織を講じられていた。筆者が大學三年の三學期になり、漸く齋藤大吉博士からその講義を聞いたのであつた。主として Sauveur の *Metallography of Iron & Steel* と Gceren の *Einführung in die Metallographie* から採られてあつた。

近重教授と後藤教授

この年であつたと思ふが、京都帝國大學理學部の化學教室で、近重眞澄教授が Tammann の *Metallographie* を譯され金相學として出版せられた。その後京都では金屬組織學を金相

學と云ふやうになつた。

近重教授は Tammann に師事されたのであつたから、Tammann の熱分析に基いて既に 2~3 の状態圖の發表があつた。禪に造詣深く物安と號して詩を造られ、傍ら茶を武者小路千家について學ばれて退職後は全く専門の學を離れて終られた。漢鏡などの研究もあつて、趣味に徹しられた人である。中村精一郎氏といふ船成金からの寄附で建てられた教室が、現在の金相學教室であつて、宇野傳三博士、岩瀬慶三博士など、その門下生であつた。

また大阪高等工業學校の冶金科長に後藤正治博士があつて、コツコツとして勉強して居られた。Cu-Pb-Sb 三元系合金の研究をして、その業績にて學位を得られ、(1)間もなく東京帝國大學に轉じられた。同氏が大正7年には京都の講師としてアンチモンなどの製鍊を講じられたのを聞いた。専門學校では鐵冶金などを講じられて居つたと聞いてゐるが、同氏が金屬材料を専門に研究されるやうになつたのは、東大に轉じられてからであつた。

丸善に通ふ

こんな有様で、全く金屬學の黎明期であつたから、採鍊冶金教室にあつた僅か數冊の金相學に関する著書を、片端からむさぶるやうに讀んだが、卒業後は芝區田町にあつた曙成館といふ下宿から、丸善に通つて洋書をあさつた。そのとき見つけたのが、Gulliver の Metallic Alloys で、1919 年發行のものであつた。これは 1913 年の初版と、全く内容が異つていないことは、著者の序文で明白である。初學者のためには親切に書かれてあるため、合金の金相的な知識を得るに都合がよかつた。この書物を頼りに青銅などの組織を調べたりしたが、兎に角アルミニウム合金に手をつけたいと思つて努力してみたが、既述の程度のことしか明かでなかつたことと、指導を受けるべき人もなく、唯獨りで書物を讀みふけつたに過ぎなかつた。

我が最部の状態圖と試片

そのうち Rosenhain の書物から、Al-Zn 系合金を調べることに氣がついた。先づその状態圖を造つて水曜會誌(2)に發表した。この状態圖と同時に機械性質を調べるため金型鑄造材などの試片を造つたりした。そのときアルミニウム合金が時効するといふことを知つたので、亜鉛を含むアルミニウム合金をショーア硬度で調べると、焼入して時間の経過とともに、硬くなるらしいことを知つた。

これが大正8年の頃であつたかと思ふ。大正9年の夏に病み、靜養したが、將來のことを思つて鑄業研究所を辭職することにした。そのため研究は中絶してしまつた。

しかし著者のアルミニウム合金の研究の端緒は、既に大正8年頃からであつたことを思ひ出すのである。その頃我が國では、殆ど研究らしいものも行はれていなかつたと思ふている。當時の鑄業研究所の所長であつた島村金次郎氏は鑄山技術者であつて、かゝる方面には全く専門外の方であつたが、アルミニウム合金を研究するのは、將來のあることであると、激勵して頂いたことは、筆者の今日あることを思ひ浮べて、有難く思つている。

日本に於けるアルミニウム及び合金の研究といふ面に於ては、全く語るべきものがなかつた時代であつたが、工業界も同様であつた。

かやうな時代に海外では、Merica の研究に端を發して、時効硬化の機構に關して論戰が盛に行はれた。

メリカに對するゼフリースの質疑

Merica の論文に對する討議を讀むと、先づ Zay Jeffries(3)が質問している。Merica が、析出した Cu₂Al₃ のある粒子の大きさで、強さや硬度が最大となるといふが、その理由として Cu₂Al₃ 分子の析出によつて、基質との結合力が最大となるといふことを肯定したうえで、次のやうに論じている

時効に伴ふ性質の變化は金屬内の分子變化であつて、それが液態空氣の低溫では生じない。

1) 日本鑄業會誌37 (1921) 815 2) 水曜會誌3 (大正9年—1920) 761, 3) 同氏は現在米國の G.E の副社長で米國科學者團の一人として來朝されて、親しく京都大學で講演を聞くことが出來た。

常温では緩かに、それより温度が高くなると速かに起る。この分子變化を Cu Al_2 の析出と粒子への凝集の2段に考へる。デュラルミンを 500°C から焼入ると過剰の Cu Al_2 が析出する。その一部は小粒として、一部は基質の粒子と粘着力との殆どない単一分子として、析出するであらう。これが焼入直後の機械性質の低い原因である。この析出した粒子が凝集して全體の結合力が増す。第一には Cu Al_2 分子で占められた部分では、基質の粒子が互に結合して強さを増し、次いで多くの Cu Al_2 が小粒子に凝集してそれ自身の強さを増す爲に時効が生じる。

常温では一部の Cu Al_2 が基質に溶解している餘分のものが、微粒として析出する。 Cu Al_2 の一つの粒子が結晶の核として作用して、基質中の Cu Al_2 を引き出して、境界では含まれる Cu Al_2 を少くする。このため Cu Al_2 が擴散で移動するが、境界では溶解度以下になる。これが最高の強さの状態である。恐らく Cu Al_2 と基質との間の境界は、アルミニウムに Cu Al_2 が非晶質熔液をなしているのでは

らう。

アメリカの良き答え

こんな考から時効の機構をなお論じている。この議論の根本には Cu Al_2 の分子がアルミニウムに溶解していると云ふ考へがあつて、現在の固熔體といふ概念からは遠いものであるがため、同氏の説明は了解に苦しむ點が多いが、その説明に Merica の意見を聞いている。

これに對して Merica は、熱力學それ自身は正確なものであるが、分子力學に関する指示には乏しいから、熱力學から之を明かにするといふ努力は無駄だ、最近の分子説も適當な説明を與へてくれないから、X線分析によつて固體構造を研究すると、光明をもたらずであらう、と返答しているが、Merica のこの言葉の如く熱力學から導かれていた状態圖は、かゝる平衡状態でない、變化の機構を論じるには無理であつて、現在でもなほその誤をくりかへしている人々があるが、Merica のこの名答に、同氏のボン・サンスに感心する。(つゞく)

西部ダイカスト工業協同組合

大阪市東區北久寶寺町二丁目五番地
(帝國銀行船場支店三階)
電話新町 〇一〇二二・二二三七

中部ダイカスト工業協同組合

名古屋市瑞穂區鹽入町二ノ七一番地
(名機製作所内)
電話瑞穂 〇一七四二一三・二八七二一三

東部ダイカスト工業協同組合

東京都中央區日本橋江戸橋三ノ七
電話日本橋 〇五二五一一五

假説に出發せるりり干渉説

科學の理論は、實證されて始めて意義が生じる。その實體をつかめないと之は一應假説をたて、進んで行く。現在では地球が球であると云うことは誰も不審に思はぬやうになつてゐるが、恐らく地球が丸いといふことを一般に信じるまでには、多くの臆説が生れたに違ひない。同様にアルミニウム合金の時効現象の説明も、とにかく Wilm の偶然の發見に出發して、始めは假説から進展したものであつた。

Zay Jeffries のりり干渉説がその一つであつた。既に書いたやうに 1920 年頃には Beilley の非晶質説によつて冷間加工した金屬の硬化が説かれていたが、この非晶質説はりり干渉説であつて、加工で出来るりり面に非晶質が生じてりりを妨げるため、變形し難くなるといふのであつた。この干渉説に關聯して同氏は非晶質と結晶質の強さ即ち結合力がある溫度で同一となる。その溫度を等結合力の溫度⁽¹⁾と呼んだ。この溫度以上では非晶質が弱く以下では強いといふ假説を立て、種々の溫度に於ける強度の變化などを、りり干渉の考へから説明している。

この考を敷衍して析出硬化に應用したものでその大要を述べたい。⁽²⁾即ち硬さとか強さとかいふものは永久變形に對する抵抗である。また金屬は結晶質で原子が格子をなして配列したものであつて或る結晶面は切斷の應力に弱い、若し外力がその特定の面で切斷するやうに作用すると破斷する。金屬では破斷するに至るまでにその結晶面にりりが生じる。要するに金屬が硬くなるのは、このりりが何かの原因で妨げられると考へた。

りりを妨げるもの

このりりを妨げるものは、りりによつて格

子配列を亂して生じた結晶質である。りり面には摩擦のために急速に熱が生じ、局部的に高温となつて生じた非晶質は、多少粘性を生じてりりの抵抗が減じ、熱の發生も減じて熱は傳導によつて直に放散し、非晶質が硬化してこゝにりりに抵抗をする。次には他の方向にりりを生じて同様の現象を繰り返すため、漸次硬化するのである。なほ多結晶からなる場合には結晶粒界にも非晶質が存在するから、りりが粒界で止まることになり、單結晶よりは弾性限、硬度、抗張力も高くなる。

Sykes がモリブデン線で試験した結果、次表のやうに多結晶ほど硬いから、上記の説は正しいと云ふのである。

第 5 表

	擴張力
單結晶	21.4kg/mm ²
結晶の平均直徑 2.9×10 ⁻⁴ cm	35.7 "
同 之 5.1×10 ⁻⁴ cm	67.2 "

變形機構と關聯せしむる硬化説

冷間加工で金屬が變形すると先づ結晶はりり面でりり、結晶が碎片にくだかれる。變形が進むとこの碎片が幾分廻轉運動をするだろう。それは粘界近くに於ては特に間違ひない。これで粒子の微細化が生じることとなる。加工度が著しく高い場合でも、粒子によつてはその碎片が同じやうな方向のまま残される。かやうに殆ど同じ方向の破片間のりりは双晶面で妨げられるが、それは粒界より強い。それは双晶面でりり面の方向が變ることから、説明されると考へた。

かやうに非晶質はりり面に生成する考へと變形機構とを關聯せしめて硬化を考へたのである。X線分析で纖維組織が出来ることなどは不明な時代であつて、唯りりが生じることが顯微

①Equicohesive Temperature ②Chem. & Metallurgical Eng.24 (1921)1057

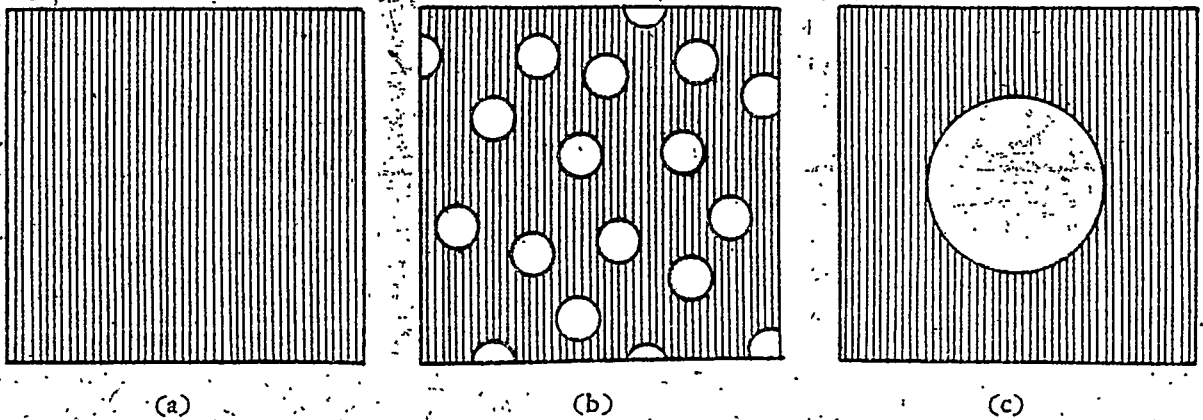
鏡で明かになつていた時代であつたから、非晶質の存在は要するに假説に過ぎなかつた。

なほ同氏は固溶體の硬度を論じ、固溶體はその本質がまだ明確ではないが、恐らく結晶格子を餘り變化せしめないで、溶質原子が溶媒原子を置換したもので、成分金屬の原子分散と考へた。また當時中間の金屬間化合物が生じると、之にはこれが分子として固溶すると考へられているのを否定して、固溶體では原子的に溶解されているもので、分子状態では溶解しないと考へた。従つてアルミニウムと CuAl_2 が溶解する場合にも同様であるとした。これは正しい解釋であつた。

一般に異種の金屬原子間の方が、同種の原子間より原子間の張力が強く作用する。また、面では異なる大きさの原子が存在すると、より悪い。かやうな原因が重り合つて固溶體の硬度が増すのである。

また金屬間化合物の結晶構造は不明であるが、恐らく對稱性に乏しい結晶構造を持つたもので、變形し難く、従つて硬いが脆いものであると考へる。

第 3 圖



第 3 圖に書いたやうな模型を考へると(a)は単一な結晶である。これでは、面では自由に動くことが出来るが、若し(b)に示したやうにその中に硬い粒子が假に球状で分散されているとすると、面はそのため、ち切られる。どの面もこの小粒子に衝突しないで動くことは困難である。外力が加へられて、面によつて變形しやうとすると、この硬い粒子が楔の作用をなし、面が妨げられる。この結果が弾性限、硬度、

かやうな考を基礎として、デュラルミンの時効の機構を論じたのである。既述の Merica の論文を引用して、その論據とするところは、最高の硬度を與へる析出粒子の大きさがあつて、それより大きくても小さくても硬度はそれより低い。この考は、金屬に他の金屬が加へられ、溶液をなしている、之が最大の硬度となるといふ一般的な概念とは異なるもので、最高硬度を與へる分散度があつて、それを臨界分散度と云ふべきであるとし、Merica の假定に批判を加へている。

楔の作用

デュラルミンでは基地はアルミニウムであつて、それは靱性に富んでいるが比較的弱い。それに CuAl_2 が不連続的に小さい硬い粒子として含まれていると考へ、デュラルミンの強さを論じるには、先づ基質の強さを考へる必要がある。僅か數%しか含まれていない CuAl_2 が硬くても、それが全體の強度を支配するとは考へられないから、それを硬い小粒子が楔の作用をして……と説明したのが Jeffries の、面干渉説である。

抗張力としてあらはれる。若しこの小粒子が凝集して(c)のやうに大粒となると、この粒子の強さが増しても自由に動く部分が残されるから、それだけ強度は低くなる。楔として作用する粒子は均等に分布されている程強さが増すが、しかしその粒子の大きさに或る限度があるが、それがどの程度かは明かにしない。

硬さの定まる順序

①Key

固溶體では溶質が原子分散をなしている。これを迂り干渉説で考へると、迂りは純金属と同様に迂るが溶質原子が存在するところでは異種原子間の結合力が強いため、迂りに抵抗を生じることば恰も板を點熔接したやうである。従つて固溶體では純金属より硬い譯である。デュラルミンでは、銅を固溶したアルミニウム結晶自身が多少硬い上に、 CuAl_2 の結晶核が時効によつて生じ、それが楔の役目をする。その CuAl_2 が微粒ではあるが化合物として結晶形をなした所謂臨界分散度に於て、最も硬くなる。恐らく次のやうな順序で硬さが定まる。

第 6 表

1 原子直徑	固溶體	多少硬い
10 原子直徑	臨界分散度	最も硬い
1000 原子直徑	可視の最小粒子	幾分軟い

銅4.5%を含むデュラルミンに例をとつて見る。この合金は銅を2原子%を含むもので、一部は固溶するから CuAl_2 としては容積で最高5.4%を含むことになる。この合金を 500°C から焼入れると、ブリネル硬度80程度で時効すると140とならう。若し焼鈍すると約50となる。これでは CuAl_2 がかなり大きい粒子の状態となつている。

假にデュラルミンの結晶が、その迂り面に銅の原子を 2×10^8 だけ含むとして、時効中にそ

の75%が CuAl_2 として析出するものとする。この粒子の $2.5 \times 10^{-6}\text{cm}$ 程度に達したとして、迂り面は銅原子は 5×10^8 は各迂り面に残され、且つ $(35 \sim 40) \times 10^6$ 箇の CuAl_2 の粒子が楔として作用する計算となる。

セフリーズの學的功業

要するに固溶している銅原子は基質のアルミニウムの結晶の硬度を増し、それに加ふるに上の計算のやうな臨界分散と稱している程度の析出化合物の粒子が迂りを妨げて、硬化を示すものである。若しこの析出相が軟い場合には楔の作用をしないから、硬化はしないのではないかといふている。

同時に鋼を焼入して硬くなるのも生じたマルテンサイトが炭素を固溶したフェライト即ち α 相であつて、細い結晶であるためであると、詳細に論じていることも注目すべきものである。

以上はJeffriesの迂り干渉説の概要であるが、現在から見ると多くの訂正を要する点があるとしても、證明すべき手段が缺けていたのだから、假説から出發しているが多くの眞實を含んでいる。Mericaの發見に次いでJeffriesの迂り干渉説はその後の研究に多くの示唆を與へて呉れたもので、時効の析出硬化説の基礎をなしたものと云へる。(つづく)



營業品目
アルマイト厨房用品各種
アルマイト着色及アルマイト漆器
アルマイト加工・ネームプレート

理研電化工業株式會社

取締役社長 神田 博
専務取締役 水野 喜一郎
本社 静岡市曲金二丁目百(電話静岡4120~4123)
東京出張所 東京都中央区日本橋江戸橋2丁目8
帯幅ビル四階電話(日本橋)1853
名古屋出張所 名古屋市中區榮町一丁目十番地
東京海上ビル三階電話(本局)2676
大阪出張所 大阪市北區宗是町一番地
大阪ビル六階電話(土佐堀)1931

鍋、茶瓶等ツマミ、水筒 栓
茶瓶、ミルクパン、杓子等握柄類
器物附屬木製品全般製作
在庫品豊富乞御照會

小林木材産業合名會社

大阪市阿倍野區桑津町一七五
(大鐵線河堀口下車東北一丁)
女子商業學校東側
電話天王寺 四〇五九番

輕合金史 (其六)

(アルミニウム合金の發達を顧みて)

京大教授 工博 西村 秀 雄

人真似せぬフランス學徒

アルミニウムを語るにフランスは忘れられない。フランスでは Heroult が米國の Hall と同じ西曆1886年に熔融電解法の特許を得てアルミニウム製造に先鞭をつけたのみでなく、南佛からはボーキサイトが産出し、アルプスの水力電氣を利用してアルミニウムを製産しているから、輕合金とは縁が深い。

しかしデュラルミンが獨逸で生れたためか、フランスではこの方面に關して1920年頃まで餘り語るべき學術的な發表はない。元來フランス人は創意に富んだ國民であつて、近代的な發明とか發見に多くの名を残しているが、他の國で既に研究したことなどを、追従することを好まないのである。この點は我國と異つている。1927年と記憶してゐるが、巴里滯在中、Cournot(1)を La Conservatoire national des Art et Metiers に訪うて、復水器管材料に關して、フランスでは何處で研究しているかと尋ねたことがある。同氏からその問題は英國で研究しているから、特にフランスでは研究していないとの答を聞いた。これは一例であつて總て獨創を尊んでいるから、デュラルミンは獨逸に先鞭をつけられたためと思ふ。時効に關する研究は1920年頃には何等の發表を見ない。

Grard の研究態度

しかし全く關心がないと云ふ譯ではない。製造に關して必要な基礎的な調査は行つて、生産の指針としていたことは、1920年に發行された Grard の“アルミニウム及其合金”といふ著書を見ると明白である。(2)當時 Grard は砲兵中佐であつた。同氏は銅及び黃銅の常溫加工材が、焼鈍によつて再結晶が生じることを、始めて系統的に研究した人で、鹽化第二鐵の鹽酸

性溶液を銅合金の腐蝕に使用したのも同氏で、Grard 溶液と云はれるのもその爲である。其の後巴里郊外にあつた航空研究所(3)の所長であつた。

この著書を見るとアルミニウム及びアルミニウムを含む合金に關して、研究が詳細に行はれていることが知られる。そのうち強力輕合金の項を見ると、強力輕合金としては Al-Cu-Mg 系合金として

Cu 3.5~4%
Mg 約 0.5%
Mn 0.5~1%
Al 及不純物 差

また Al-Cu-Zn-Mg 系合金として

Cu 2.5~3%
Zn 1.5~3%
Mg 0.5%
Mn 0.5~1%
Al 及び不純物 差

が標準のものと書かれてある。焼入して時効硬化するのはマグネシウム或はマグネシウムと亜鉛を含むためと説明されてある。前者はデュラルミンであるから問題はないが、後者に就てはこれ以上全く記述されていないから、恐らく使用されなかつたものと想像する。

デュラルミンに對する解説

デュラルミンの冷間加工率と機械性質或は冷間加工材の焼鈍溫度と機械性質との關係、焼入溫度、冷却速度、焼入後の再焼鈍、等による機械性質の變化などを圖示して、要領よく説明が與へられている。その主要な點を擧げて見る。

冷間加工材を焼鈍すると 350°C で抗張力並に隆伏點が最低となり、伸と衝擊値が最大となるから、軟化のための焼鈍は 350°C で行はねばならない。焼入して時効するには 475°C が最高の強度を與へる。第 1 表にその結果の總括した

①Guilletの女婿である ②1921年に英譯が英國で出版されている。 ③Service Technique et Industriel de L'Ererantique

ものを示した。

第 1 表

温度 °C	冷却速度	抗張力 Kg/mm ²	弾性限 Kg/mm ²	伸 %	衝撃値 Kg/cm ²
350	毎時100°C	20	6	20	6
〃	空冷	20	7	20	4~5
〃	水冷	20	9	15	3
475	毎時100°C	28	12	16	4
〃	空冷	32	18	18	4
〃	水冷	40	20	20	4

また1916~1918年の製品を1919年に調べて、時効の進行を確かめている。始め抗張力 $38 \pm 1 \text{ kg/mm}^2$ 、伸 $14.5 \pm 0.5\%$ のものが、1~3年の後には抗張力 $41 \pm 3 \text{ kg/mm}^2$ 、伸 $15 \sim 20\%$ となつて材料の劣化を認めないといふ結果となつている。これから既に佛蘭西では1916年にはデュラルミンの工業製品を造つていたもので、その頃から生産に必要な研究を行つていたことが明白に示されている。また1914年頃から研究が始められたことは Guillet によつても記されている。(1)

基礎実験と生産化への努力

かやうに、時効の機構等の理論を論じるより先づ、必要な基礎実験をなして生産化に努力していることが序文に書かれている。この研究を数箇所の国立研究所が共同して行つてゐることとは我が國で特に學ぶべき點ではなからうか。

また P. Chevenard (Commentry-Fourchambault 會社技師) に熱膨脹測定を依頼しデュラルミンの測定結果から何等變態點のやうなものは發見せぬと結論してある。これは研究が不充分なためであつたからだが、Chevenard は膨脹測定に先鞭をつけた人であつて、本多式熱膨脹計も Chevenard に負ふところが多い。何れデュラルミンの膨脹測定に觸れなければならぬから Chevenard 式膨脹計のことを書く必要がある。

Grard の著書にはアルミニウム青銅に関して記述されているが、そのうちに膨脹曲線が多く示されてある。

Chevenard を訪ねて

フランスは元來金屬の膨脹測定に關して Gu

illaumé がアンバーのやうな線膨脹係數の材料を發見したり、Le Chatelier-Broniewski の膨脹計などによつて、先鞭をつけているが、Chevenard の示差膨脹計の發明で金屬材料の膨脹變化が明確にされた。殊に鐵鋼の變態現象が一層明白にされた。同氏の示差膨脹計は1917年に Revue de Metallurgie (610) に始めて發表されているが、それを見ると主として特殊鋼の變態を測定している。その後なお改良された型の發表があり、輕合金についても多少研究結果が發表されている。

同氏は Imphy の製鋼工場の實驗室で専ら同氏の發案になる膨脹計を以て靜かに研究をつとめつゝ、傍ら St. Etienne の工業専門學校に教鞭を採つていた人である。その後の佛蘭西の狀態が不明なため遺憾ながら現在の消息は知らない。

Imphy といふと Nevers から支線に乗り換へ一驛目である。全くの田舎で工場以外何もないといふところであつた。

同氏を訪ふて歸途同氏に自動車で Nevers の驛まで送つて貰つた。驛前のホテルの屋根裏に近い室に一泊したことを思い出しながら、戦争のため我が國と同じく苦しい途を辿つてゐるフランスの學者達に遠く思を馳せざるを得ない。

權威者 Guillet

餘談はとにかく佛蘭西の金屬學界を語ると Guillet のことは忘れてはならない。同氏の輕合金に關する業績は兎に角として、佛蘭西の金屬學界全般に於ける第一人者として指導的立場にあつて仕事をしてゐた、立派な冶金學者である。同氏が1920年に發表した“アルミニウム合金の燒入の研究”と題した論文を見ると、デュラルミンの機械性質の測定と二、三の簡單なる實驗をなしているに過ぎない。

そのうち 505°C で燒入し加工した試料と、銅とのカプルの起電力を加熱しつゝ測定して 250°C に異常變化が生じることを認めている。その説明のために既述の Merica 其の他の人々の發表を引用してあるから、理論的な問題には深く研究を進めていなかつたことが窺はれる。

佛蘭西の學者の研究態度に關しては書きたいことが多いが、横道にそれるのでそれは別の機會にしたい。

序に Grard 氏の著書に記載されてある鑄造合金に一寸觸れて置く。その頃まで、現在のやうな鑄造材としての標準的なものが出来ていなかったが、アルミニウム合金の鑄造は歴史が古く、1900年頃にもどらねばならないから、これは改めて書くこととするが、佛蘭西は航空機にも米國とともに先驅をなしているから、航空機關にアルミニウム合金を使う關係で、早く發達していたものと思ふ。

Grard の鑄物文献

Grard の著書には Al-Cu 系合金として先づ Cu4%、8% 及び 12% の合金が擧げられている。何れも高温硬度が測定せられていることに注意したい。恐らくピストンのやうに加熱せられるやうな部分に使用する目的で調べられたと考へられる。就中 Cu 8% の合金はその後 No.1、2 として米國で盛に用ひられ一般用途の鑄造合金である。この合金の機械性質の一例が示されて砂型試片で抗張力 11kg/mm²、伸0.7%、金型鑄造試片で抗張力 12.3kg/mm²、伸0.7%と與べられているが、金型試片の抗張力が稍々低いのは技術が低かつたか、試片の採り方が不完全

であつたかでないかと想像される。

次に Al-Cu-Zn 系合金として Zn12~13%、Cu3% Al 残分の合金が書かれてある。その後英國で L5、獨逸では獨逸式合金など稱された鑄造材で、我が國でも用ひられたものであるから、これも何れ更めて記述することにして、Al-Cu-Sn-Ni 系合金で次のやうな分析成分が示されていることを注目したい。

Al	84.33%	Ni	0.86%
Cu	10.14%	Fe	0.48%
Sn	3.20%	Si	0.27%

砂型試片では抗張力 13kg/mm²、伸1%、金型試片で 12.6kg/mm²、伸 0.5%として金型試片の方が抗張力が低い結果を示されている。ピストンに用ひられたものであると記憶しているがその後かやうな合金は用ひられなくなつた。如何なる特色を利用したものか知らないが筆者はその後錫が如何なる形で含まれるかが疑問であつたから、Al-Ni-Sn 系の形態圖を一寸調べたが、Sn は固溶することなく含まれることを明かにした。従つてピストンのやうに高温に加熱せられる部分には、錫の含まれることは望ましくないと云へる。恐らくそんな理由であらうが錫を加へた合金は軸受用として最近になつて注目されて來たことは別として、この合金は全く顧られないで過したものである。(以下次號)



營業品目
 アルマイト 厨房用品 各種
 アルマイト 着色及アルマイト 漆器
 アルマイト 加工・ネームプレート

理研電化工業株式會社

取締役社長 神田 博
 専務取締役 水野 喜一郎

本社 静岡市曲金二丁目百(電話静岡4120~4123)
 東京出張所 東京都中央区日本橋江戸橋2丁目8
 帝帽ビル四階電話(日本橋)1853
 名古屋出張所 名古屋市中區榮町一丁目十番地
 東京海上ビル三階電話(本局)2676
 大阪出張所 大阪市北區宗是町一番地
 大阪ビル六階電話(土佐堀)1931

鍋、茶瓶等 ツマミ、水筒、栓
 茶瓶、ミルクパン、杓子等握柄類
 器物附屬木製品全般製作
 在庫品豊富乞御照會

小林木材産業合名會社

大阪市阿倍野區桑津町一七五
 (大鐵線河堀口下車東北一丁)
 (女子商業學校東側)
 電話天王寺 ㊦ 四〇五九番