

朝日科新學新
9

ンミルラェヂ

著司一方曰大

30 七

著司一方日大

ンミルラユヂ

◇ 輯新學科 ◇

(9)

刊社聞新日朝

目次

一 飛行機とデュラルミン	一
二 デュラルミンの誕生	六
三 デュラルミンの成分と時効硬化	三三
四 超デュラルミン	三三
五 超々デュラルミン(ESD)	六六
六 デュラルミンの熔解と鑄造	三〇
七 デュラルミン板	三四
八 デュラルミン型材	三六
九 プロペラ	四三
十 デュラルミン鋳	四四
十一 デュラルミンの熱處理	五五

一 飛行機とデュラルミン

近代戦において、飛行機の持つ役割が如何に重大であるかといふことは、こゝに更めて述べる迄もなく、緒戦以來、陸に海に赫々たる戦果を挙げつゝある皇軍戦捷の詳報を一讀すれば、自ら明瞭な認識が得られるであらう。海戦の場合のもとより、陸戦の場合と雖も、飛行機の質と量とが、戦闘に決定的の影響を與へることは、もはや動かない事實となつてゐる。この故に、飛行機の質を向上せんとし、又多量にこれを製造せんとして、懸命な生産戦が續けられてゐるのである。

さて、飛行機の質の向上に對しては、設計上の問題、燃料の問題、その他各方面からの見方が必要ではあるが、飛行機を構成する材料の性能を向上させることも亦、極めて重要な事項であつて、少しでも強力にして軽量な材料が得られれば、それだけ搭載量を増加し得る許りでなく、速力、航續距離等をも増大し得ることは、自明の理であらう。

又量の問題に對しては、無論素材の多量生産が必要であり、素材の多量生産には、資源の開発が急務であるといふことは、一應の常識であるが、その他にも、多量生産に適する材料の研究、素材の加工、工作技術の改善等によつても、生産量を増強し得ることを忘るべきでない。

然らば、現代の飛行機構成用主材料は何であらうか。科學技術の粹を集めて建造せられる現代の飛行機には、極度の適材適所主義が採用せられてゐるから、使用材料の種類は頗る多岐に亙つてゐる。然しながら主體をなすものは輕合金中、こゝに述べようとするデュラルミンであり、これに鋼、銅合金、その他の金屬材料が配される。布、木材、可塑物のやうな非金屬材料も無論不可缺ではあるが、

第一表

合金名	使用量
デュラルミン	六八・二%
マグネシウム合金	二・八%
鋼	一四・五%
其他	一四・五%

使用量からいへば殆ど問題にならない。

第一表には、かつて長距離飛行記録を樹立した、航研長距離機機體構成用諸材料の重量を百分比をもつて示した。機體（胴體、翼、尾翼及び脚）の自重は二廂あまりであるが、本表には發動機、プロペラ、操縦系統、燃料等を含ん

でゐる。

表から明らかに、本機體の主構成材は、各種のデュラルミンであり、その使用量は機體全重量の三分の二にも達してゐる。勿論現行軍用飛行機においては、型式により、又使用目的に応じて、材料の使用配分は可成り相違するが、機體構成用主材料が、デュラルミンであることは動かない。

發動機構成用材料としても、やはり多量の輕合金が使用される。第二表には、外國における、代表的發動機の使用材料を、百分比をもつて示した。やはり輕合金が主材料となつてゐることに變りはないが、發動機の場合には、主として輕合金鑄物及び鍛造物が主體をなしてゐるから、デュラルミンと

第二表 外國における發動機の使用材料

合金名	星型空冷式	V型水冷式	H型空冷式
鐵合金	二四%	四八%	四八・一%
輕合金	五三・五%	四七%	四八・三%
非鐵合金	四%	四・七%	三・四%
非金屬屬	〇・五%	〇・三%	〇・二%

しての使用量はあまり多くはない。

これを要するに、デュラルミンは、現代の飛行機體構成用として、不可缺の材料である。従つてその性能を向上せしめることは、直接機體の性能を向

上させる因子となる許りでなく、これを多量に生産することが、飛行機の量の問題を解決する根本對策である。

幸にして、現在迄のところ、本邦航空機用各種デュラルミン材の性能は、敵國米英に比して、決して遜色がない許りか、これ等諸外國の追従を許さぬ独自の材料をも、多量に使用してゐるのである。

今次の戦闘開始以來わが荒鷲の猛威にあわてふためいて、急遽その使用材料を調査した敵國側が、あまりにも輕量にして強力な材料を使用してゐる點において、驚嘆したと聞く。蓋し痛快事ではあるが、決してこれをもつて満足することなく、やがて飛行機として飛翔することもあるであらう敵國の新材料に對して、常に監視の眼をゆるめることなく、常に一步を先んずるの覺悟を堅持しなければならぬ。

さて、航空機體構成用として、何故にデュラルミンが不可欠の材料となつてゐるのであらうか。一言にしていへば、強力にして輕量であるからである。航空機體構成用として必要な材料の強さとしては、引張強さ、壓縮強さ、剪斷強さ、彈性強度、挫屈強度、衝擊強度、疲勞強度等、種々なる性質が

要求せられるのであるが、簡単のために、同じ断面積の材料に、〇・一パーセントの永久伸を生ぜしめるに要する荷重をもつて、材料の強さを表はすものとし（耐力）これと各材料の比重との比（比耐力）を求めてみると、第三表が得られる。

第三表

材 料	耐 每平方 耗力	比 重	比 耐 力
特殊鋼（マンガン鋼）	一〇〇	七・八	一二・八
特殊鋼（クローム不銹鋼）	七〇	七・八	九・〇
超デュラルミン押出型材	三三	二・七五	一二・〇
超々デュラルミン押出型材	五〇	二・九	一七・三
マグネシウム合金	一五	一・八	八・三
木材合板（浸透壓縮）	八	〇・九六	八・三

ことが知られる。

假にデュラルミンの比耐力が、特殊鋼と同程度であるとしても、軽い材料を用ふる程、挫屈強度が高くなるといふ他の利点があるから、餘程強力な特殊鋼が生れない限り、デュラルミンの航空機材中

いづれも現用機體中、主として桁材として使用せられる最強力なもの同士の比較であるが、デュラルミンがこれ等の材料中、比耐力において、最も優秀である

に占める王座は、ゆるがないわけである。

二 デュラルミンの誕生

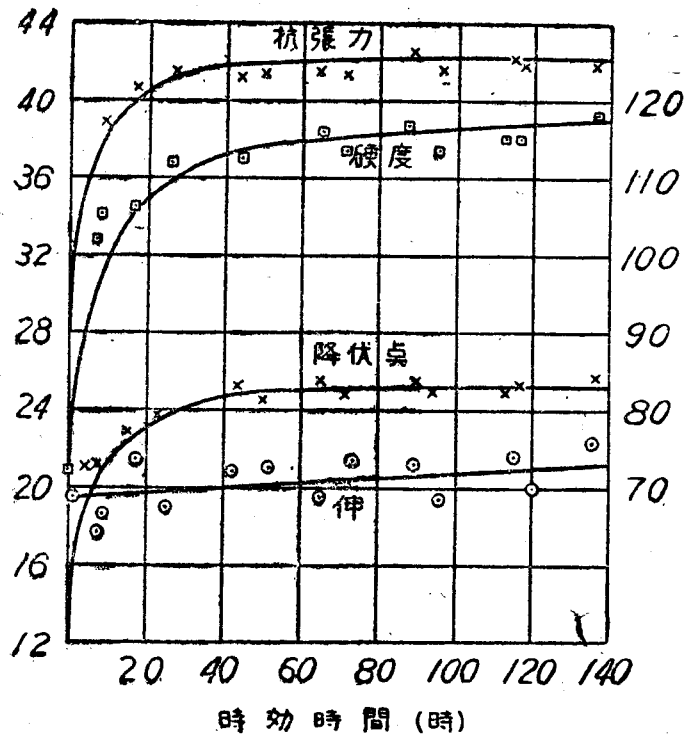
デュラルミンは、第一次歐洲大戰前、一九〇六年乃至一九一一年に互つて、盟邦獨逸の一技師、アルフレッド・ヴィルムの手に成つた合金で、その最初の組成は、銅約四パーセント、マグネシウム及び滿俺各々約〇・五パーセント前後、残りアルミニウムより成るものである。

この合金は、鑄造の儘ではさして強力ではないが、壓延、鍛造その他の所謂加工を施した後、五〇〇度附近に加熱、焼入れし室内に放置して置くと、數日間に互つて徐々に硬く、強くなつて來る特性を持つてゐる。この現象を、學術的には時効硬化現象と稱へてゐるが、航空機材として必要なデュラルミンの高性能は、殆どこの現象によつて得られるものと言つても、過言ではないのである。

第一圖には、上記デュラルミンを五〇〇度に約一時間加熱した後急冷し（焼入れ）室内に放置した

第一圖

デュラルミンの時効に伴ふ機械的性質の變化に
ビツカーフ硬度



る。しかも、その目方は、鋼の約三分の一、比重でいふと僅かに二・八に過ぎないから、軽きが上にも軽さを必要とする航空機材としては、誠に好適なわけである。

場合に、合金の機械的諸性質が時間と共に如何に變化するかを示してゐる。圖から明らかに焼入れ直後の合金の強度は抗張力二七 $\bar{\text{kg}}$ 每平方 $\bar{\text{cm}}$ 、降伏點一二 $\bar{\text{kg}}$ 每平方 $\bar{\text{cm}}$ 、硬度七〇程度に過ぎないが、時日と共に次第に硬化し、約一週間後には抗張力四〇 $\bar{\text{kg}}$ 每平方 $\bar{\text{cm}}$ 、降伏點二五 $\bar{\text{kg}}$ 每平方 $\bar{\text{cm}}$ 、硬度一二〇程度に達することが判る。しかも變形に對する能力を示す所の伸は、時効によつて殆ど低下せず、終始二〇パーセント前後を示してゐることは、實用上甚だ都合であつて、上記時

効硬化後の諸性質は、ほど軟鋼の機械的性質に匹敵す

さて、かやうな合金が如何にして見出され、又時効などといふ不思議な現象が、どうして発見せられたか。その経緯を調べるためには、本合金の發明者、アルフレッド・ヴィルムの傳記を繙いてみるのが捷徑であると思ふ。ヴィルムは、昭和一三年夏、西獨逸の僻村、ザールベルグにおいて、六八歳の生涯を閉じたのであるが、當時の私の手帳には、その傳記が次のやうに記されてゐる。

「アルフレッド・ヴィルムは、一八六九年六月二五日、シレジヤのニーダーシエーレンドルフにおいて呱呱の聲をあげた。最初の専門教育は、ブレスロウの工業學校においてであるが、續いてベルリン工科大学に入學し、當時の鉛冶金の權威、ウエーレン教授に従つて、専心冶金學を修めた。卒業後カッセルに赴き、ペリノ博士の下で研究に従事したが、一八九三年ゲッチンゲン大學に轉じ、ローレンツ教授の助手として、眞摯な研究生活を送つてゐる。後年の彼の發明は、四年に互る當時の研究生活に負ふ所が多いやうである。

その後、デュッセルドルフに、次にエッセンに轉じたが、一九〇一年には、ノイパーベルスベルグにある中央科學工業研究所の冶金技師として赴任し、軍事工業に關する研究を擔當、主としてアルミ

ニウム輕合金の研究に従事し始めたのである。彼がデュラルミンの發明に成功したのは、實にこの研究所においてであり、入所以來、足掛け六年目、即ち一九〇六年の秋のことであつた。

ヴィルムが、デュラルミンの研究に着手した動機を調べてみると、決して輕量にして強力な航空機材を得んとしてはなかつたやうである。周知のやうに、獨逸は、銅資源に乏しい國であるから、藥莖に用ひる眞鍮類の多量生産には、常に困難を感じてゐた。そこでヴィルムは、資源的に豊富なアルミニウムに着目し、これをつて藥莖用の代用合金を見出さうとしたらしい。いづれにしてもヴィルムは、銅、マグネシウム、滿庵等の少量をアルミニウムに添加し、強力な鍛鍊用輕合金を得んとしてかなり系統的な實驗を試みたやうである。

然しながら、彼の造つた試料の或るものが、熱處理後、室内に放置して置くだけで、時日と共に刻々に硬化してゐようとは、想像だにもしてゐなかつたのである。彼は、主として調質の目的をもつてその試料に熱處理を施した後、引張試験機にかけて、その機械的性質を比較してゐたのである。或る日のこと、試料全部の試験を終了せずして歸宅し、翌週試験を續行したか、實驗結果に著しい不同の

ある事實に氣付き、遂にこの劃期的現象の發見に成功したものといはれてゐる。

一九〇九年三月二〇日、特許番號二四四五五號をもつて、獨逸の特許史を飾るこの歴史的發明は登録された。然しながらヴィルム自身は、この發明を特許化することに、最初反對したといはれてゐる。その眞意は明らかでないが、當時鋼以外の金屬材料に對して、熱處理を施すなどといふことは全く知られてゐなかつたのであるから、彼がもしこの合金の熱處理方法を、公表しなかつたら、彼の合金は、永く神祕なものとして、他の追従を許さなかつたに違ひない。最初にこの發明に注目したのは、デューレン市にある、デューレナー・メタルウエルケの技師長、ラスマス・ベック氏で、同氏はこの特許權の讓渡を受けて、この合金の製造を開始した。デュラルミンなる名稱は、デューレナー・メタルウエルケの社名に因んで、名附けられたものといはれてゐる。尤も一説には、この名稱はフランス語で、強いアルミニウムの意であるといふ者もある。

第一次歐洲大戰に際しても、ヴィルムは、軍事工業方面の研究部門において、相當の功績を残したのであるが、發明者世に容れられずの譬に洩れず、その生涯は概して不遇であつたやうである。大戰

終了と同時に、彼は卒然として専門の一切を放擲して、故郷に歸り、風光明媚なザールベルグの地をトして、永住の居を定めた。彼の後半生は、全く自然を友とする自適の生活に立ち歸つたのである。ベルリン工科大学は、一九二七年七月、彼に名譽博士の學位を贈つてゐる。」

かやうにしてデュラルミンは誕生したのであるが、この合金は、もともと藥莢代用材として發明されたものである。ところが眞鍮種絞り加工が容易でないために、發明の當初は、殆ど顧みられなかつたやうである。航空機材として最初に使用せられたのは、有名な獨逸の飛行船、ツエッペリン伯號においてであり、第一次歐洲大戰中、ロンドンにおいて墜されたその一機中には、相當多量のデュラルミンが使用せられてゐたのである。茲において、始めて航空機材としてのこの合金の價值が、廣く認識されるに至つたといはれる。

現在でも、デュラルミン、六〇一D、アヴィオナール、一七S等の名稱で、各國において廣く用ひられ、本邦においても、高力アルミニウム合金第一種、或ひはD²等の略稱で、ヴィルムの發明した組成と全く同一の合金が使用せられてゐる。

然るに十數年以前から、更に強力なデュラルミンを得ようとする研究が、各國において起り、その結果、現在では様々な變種が出現するに至つてゐる。これ等を超デュラルミンと總稱し、ヴィルムの普通デュラルミンと區別する。

第四表及び五表には、各種デュラルミンの組成と、およその機械的性質とを示した。以下これ等の合金を、少しく詳細に解剖してみることにする。

第四表 各種デュラルミンの成分

デュラルミンの種類	標準成分(パーセント)					
	銅	マグネシウム	滿	硅素	鐵	其他
デュラルミン 一七S	四	〇・五	〇・五	〇・三	〇・三	
超デュラルミン 二四S	四	一・五	〇・七	〇・二	〇・三	
超デュラルミンC一七S	四	〇・五	〇・五	一・二五	〇・三	
超デュラルミンRR五六	二	〇・七		一以下	一・〇	ニッケル・一
超デュラルミンDM三一	四	一・二	〇・二	〇・五	〇・三	
超々デュラルミンESD	二	一・五	〇・五	〇・二	〇・三	亜鉛・八

第五表 各種デュラルミンの標準性能

デュラルミンの種類	標準機械的性質	
	抗張力 每平方 延	伸 パーセント
デュラルミン 一七S	約 四〇	約 二〇
超デュラルミン 二四S	〃 四五	〃 一八
超デュラルミン C一七S	〃 四五	〃 一〇
超デュラルミン RR五六	〃 四五	〃 一五
超デュラルミン DM三一	〃 四八	〃 一五
超々デュラルミン ESD	〃 五五	〃 一〇

三 デュラルミンの成分と時効硬化

ヴィルムの普通デュラルミンの標準組成は、第四表に示した通りであるが、本邦航空評議員會規格によると、その組成範圍は、次のやうに定められてゐる。

銅 三・三乃至四・二パーセント

マグネシウム 〇・三乃至〇・七パーセント

滿 俺 〇・三乃至〇・七パーセント

硅 素 〇・五パーセント以下

鐵 〇・六パーセント以下

アルミニウム 殘部

この組成中、硅素及び鐵は、故意に添加するものではないが、アルミニウム地金中には、不純物として必ずこの程度の硅素と鐵とが含まれてゐるから、その混入は不可避なのである。

さて、デュラルミンはこのやうに、銅、マグネシウム、滿俺、硅素、鐵を含む複雑なアルミニウム合金であるが、これ等の成分中、どれが時効硬化現象を起させるために役立つものであり、又時効硬化などといふ奇妙な現象が、どうして起るのであらうか。これ等の問題は、主として第一次歐洲大戰後、各國の冶金學者或ひは物理學者の興味を中心となり、各方面から様々の研究が行はれてゐる。そ

の結果、現在では上記疑問に對する一應の解釋がつき、その副産物として、前節に述べた、所謂超ヂュラルミンと稱する一群の變種が、生れ出たのである。従つて各種ヂュラルミンの性能を記述するためには、先づ時効硬化現象に關する解釋と、これを起す原動力となる成分との關係を知つて置かねばならない。これが平易な説明は、相當の難事ではあるが、先づヂュラルミン中の個々の成分が、單獨にアルミニウム中に加へられた簡単な合金を採つて、逐次その性質を調べて行かう。

銅 ヴィルムのヂュラルミン中には、四パーセント程度の銅が加へられてゐる。アルミニウムは六六〇度で熔けるが、この中に銅を加へると、容易に熔け込んで合金する。凝固の後も、この程度の銅は、アルミニウムの結晶中に熔け込んでゐるから、如何に高倍率の顯微鏡で覗いてみても、銅の結晶はみられない。かやうな状態にあるものを、學問的には、固溶體をなしてゐると稱へる。繰り返していふが、四パーセント程度の銅を加へたアルミニウム合金は、凝固の直後、少くとも五〇〇度以上では、均一な固溶體となつてゐる。然るにこの合金を徐々に冷却すると、アルミニウム中に固溶してゐた銅は、次第に析出、分離してくるのである。このことは、丁度暖い濃厚な砂糖水、或ひは鹽水を冷

却すると、砂糖或ひは鹽の結晶が、晶出、分離してくると同様の現象である。尤もこの合金の場合には、固溶體から析出する銅は、純粹な銅の結晶ではなく、化學式 CuAl_2 に相當するアルミニウムと銅との化合物であることが、若干違つてゐる。

いづれにしても、五・七パーセント以下の銅を含むアルミニウム合金は、凝固の直後、高温では均一固溶體であるが、これを徐々に冷却すると、銅は CuAl_2 の形となつて析出するから、常溫では、殆ど銅を含まないアルミニウムと、 CuAl_2 の結晶とが、混り合つたものとなる。銅を含まないアルミニウムの結晶は、無論あまり強くはないから、この合金を徐々に冷却して、かやうな状態にする時、合金は最も軟弱になるのである。然しながらこの合金を五〇〇度以上に加熱して、前述の固溶體となし、これを水中に投入するなり、その他適當な方法で冷却すると、 CuAl_2 が析出する時間が與へられないから高温で安定な固溶體の状態を、その儘常溫に持ちきたすことができる。これが焼入れと呼ばれる操作で、焼入れにより、始めてアルミニウム中に銅の固溶した状態の合金が、常溫で得られる。かやうな状態にすると、徐冷した場合よりも幾分強く、硬くなるのである。

ところが前述のやうに、常温では銅はアルミニウム中に固溶せず、 CuAl_2 の形をとつて析出する方が安定である。そのために、焼入れを行つて一時固溶體の状態とすることができても、室内に放置して置く間に、銅が析出しようとする傾向が起り、固溶體内部に或る種の變化が起るのである。この變化の内容は、あまりに専門的に互るから省略するが、この變化のために、合金は徐々に硬く、強くなつてくるのである。即ちこの變化が、前述の時効硬化現象に相當する。

要するに、固體アルミニウムに對する銅の溶解度が、温度によつて變るといふ事實が、合金に熱處理効果を與へる根本原因となるもので、このために、焼入合金は、時効硬化現象を起すのである。

アルミニウムに銅だけを加へた合金でも、前述の理由によつて時効硬化する。従つてデュラルミンに加へられてゐる四パーセント程度の銅は、少くともデュラルミンに時効硬化現象を興へる一つの原動力となつてゐることは想像に難くない。

マグネシウム　マグネシウムもアルミニウムと固溶體をつくる。しかもその溶解度は、銅よりも大きく、四五〇度附近で約一五パーセント、常温附近でも三パーセント程度である。従つてデュラルミ

ン中に含まれてゐる一パーセント前後のマグネシウムは、常にアルミニウム中の結晶中に固溶して存在するから、これを加熱しても、冷却しても、アルミニウム—銅合金の場合のやうな、状態の變化は起らない。いひ換へれば、熱處理の効果が無いわけで、無論時効硬化現象などもみられない。

要するに、デュラルミン中のマグネシウムは、單獨では時効硬化を起させる要素とはなり得ない。然し銅と共存し、或ひは硅素と共存すると、種々なる化合物ができて、この化合物のアルミニウムに對する溶解度が、溫度によつて異なるやうになるために、始めて時効硬化に參與するに至るのである。このことに關しては、後述する。

滿俺 滿俺は、高温では一・八パーセント程度アルミニウム中に固溶するが、常温では殆ど固溶せず、 Al_3Mg なる化學式に相當する化合物となつて分離して存在する。従つてデュラルミン中に含まれる〇・五パーセント程度の滿俺でも、溫度により、溶解度の變化を生ずるから、熱處理効果はあるわけである。然しながらアルミニウム—滿俺合金は、常温では時効せず、熱處理効果も比較的僅少である。従つて滿俺は、デュラルミンに時効硬化性を與へる主要素とは考へられてゐない。

硅素 硅素も、滿庵と同様に、高温では約一・七パーセント、アルミニウム中に固溶するが、常温では殆ど固溶しない。従つて、アルミニウム—硅素合金も、熱処理効果は若干あるが、僅少である。又常温では、殆ど時効硬化しない。然しながらマグネシウムと共存すると、 Mg_2Si なる化合物ができ、この化合物ができると、時効現象を生ずるやうになる。化合物 Mg_2Si を形成するに必要なマグネシウムと硅素との割合は、マグネシウム一に對して、硅素〇・五八である。前述のやうに、デュラミン中の硅素は、特別に加へたものではなく、アルミニウム地金中の不純物として、不可避免的に含まれるものであるが、その量は、凡そ〇・三パーセント前後であるから、デュラミンに加へられる〇・五パーセント前後のマグネシウムは、丁度上記の化合物を形成するに必要な量となるわけである。

かやうな理論の未だ判明しない時代に、ヴィルムがよく、最適量のマグネシウムを加へることに成功したのは、偉大な功績であると同時に、彼の實驗が、如何に綿密、周到であつたかと窺へる。

鐵 アルミニウム中の鐵は、總べて $FeAl_3$ なる化合物として存在し、アルミニウム中には殆ど固

溶しない。従つて鐵は、決して時効硬化現象を與へる要素とはなり得ず、反對に、ヂュラルミンの時効硬化性を減退せしめる作用があることが知られてゐる。

以上を要約するに、ヂュラルミンの成分中、アルミニウムに單獨に加へて、時効硬化性を與へ得るものは、 CuAl_2 なる形の銅と、 Mg_2Si なるマグネシウム—硅素化合物の兩者だけである。従つてヂュラルミンに時効性を與へる成分としては、銅、マグネシウム、硅素の三つを考へればよく、満俺及び鐵は、これに參與しない許りか、鐵は却つて時効性を害するものである。

かやうに考へると、普通ヂュラルミンの組成は、次のやうに定めればよいことになる。

使用アルミニウム地金中に、例へば不純物として硅素〇・三パーセント、鐵〇・三パーセントが含まれてゐるとする。加ふべきマグネシウムの量は、この硅素を Mg_2Si とするに足れば十分であるから、その量は、前述のやうに約〇・五パーセントとなる。銅は、この合金の焼入温度、五〇〇度附近でほぼ完全に固溶體となる程度の量、即ち四パーセント前後でよく、これに少量の満俺を添加すれば

ヴィルムのデュラルミンができ上る。

デュラルミンの成分に關する科學的の解釋は、一應上記の説明によつて満足されたかに見えた。然るにその後、アルミニウムの電解精製方法が發達し、殆ど硅素、鐵等の不純物を含まない、品位九九・九九パーセントといふやうな、純度の高いアルミニウム地金の製造が可能になつてきた。そのため、硅素を全く含まないデュラルミンを試作することもできるやうになつたので、こゝに再びデュラルミンの成分に關する再檢討が開始された。その結果、意外なことには、デュラルミンの硬化要素としては、必ずしも Mg_2Si の存在を必要としない事實が明らかになつて來たのである。今日盛に使用されてゐる超デュラルミン、或ひは超々デュラルミンの出現は、上記科學檢討の賜に他ならない。

技術の進歩によつて、從來得られなかつた高純度の地金ができる、これに並行して様々な科學的研究が起り、こゝに新しい強力な合金が生れたわけで、科學技術の一體化を如實に示す好個の例として、興味深くみられる。

さて、かやうにして誕生した超デュラルミン、或ひは超々デュラルミンとは、如何なるものであら

うか。以下簡単にこれを解剖してみたいと思ふ。

四 超デュラルミン

超デュラルミンと呼ばれるものの中には、様々な組成のものがあり、各々一長一短があるが、いづれも時効後の抗張力四五疋_二每平方耗程度のものであるから、普通デュラルミンに比し、約五疋_二每平方耗程強くなつてゐる。本邦で採用されてゐるものは、第四表、第二欄に示したやうな組成を有し、高力アルミニウム合金第二種、或ひはSD等の略稱をもつて知られてゐる。

本邦航空評議員會の規格によれば、その組成範圍は、次のやうに定められてゐる。

銅	標準
三・八一四パーセント	四・二パーセント
マグネシウム	標準
一・二一一・八パーセント	一・五パーセント
滿	標準
俺	〇・七パーセント
〇・四一一〇パーセント	

硅素	○・五パーセント以下	標準	○・二パーセント
鐵	○・六パーセント以下	標準	○・二パーセント
アルミニウム	殘部		

この組成を一二頁に記した普通ヂュラルミンと比較すると、マグネシウムの添加量が約三倍近くになつてゐる點が著しい特徴である。不純物の硅素及び鐵に關しては、規格上は全く同様であるが、實はこの超ヂュラルミンには、極力硅素及び鐵を減少せしめる必要があり、極端にいへば、無硅素の方が良いのである。

何故にアルミニウムに單獨に加へては、時効性を待たないマグネシウムの量を増し、これと結合すべき硅素を減少せしめて、尙顯著な時効性を示すか、といふことは、學問的には極めて興味深いわけである。前節に述べた普通ヂュラルミンの硬化要素に對する解釋だけでは不十分となつて來るのである。

この問題に對しては、京都帝大西村教授の詳細な研究があつて、超ヂュラルミンの硬化要素は、普通ヂュラルミンとは異り、主としてアルミニウム—銅—マグネシウムの三元化合物であることが明らか

かにされた。

西村教授は、この化合物をSと命名され、その化學式は $Al_3Cu_7Mg_8$ に相當するとしたが、その後著者の研究によれば $Al_3Cu_7Mg_8$ が正しいのである。

つれにしても、ヴィルムの普通デュラルミンでは、 $CuAl_2$ 及び Mg_2Si なる二種の化合物が硬化要素として作用するのに反し、超デュラルミンでは、主としてS化合物及び $CuAl_2$ の両者が、硬化要素として役立つわけで、成分の僅少な差違により科學的には殆ど別個の合金となるのである。

さて、本邦において採用せられてゐる超デュラルミンは、上記のやうな、高マグネシウム、低硅素型の合金であるが、この他にも、第四表、第三欄以下に示したやうな數種の超デュラルミンがある。

第四表、第三欄の合金は、主として米國において發達した超デュラルミンで、C一七Sの記號をもつて呼ばれ、その特徴は、硅素含有量を増大せしめた點にある。

又第四欄の合金は、英國において發達したもので、RR五六合金と稱へられてゐる。嚴密にいふと

この合金にはニッケルを含むから、ヂュラルミンとはいへないが、假にニッケルを銅に加算して考へると、鐵含有量の高い特殊の超ヂュラルミンともみられる。かう考へると、この二つの超ヂュラルミンは、不純物含有量を増大せしめた點において、工業的に意義があるが、何分にも多量の鐵及び硅素を含むために、前節に述べた理由により、常溫では殆ど時効硬化を起さない。そのために、一五〇—二〇〇度に數十時間加熱して、人工的に時効を起させねばならない不便がある。しかもその加工性はあまり良好でない所から、廣く用ひられるに至らない。

第四表、第五欄の合金は、現在獨逸において採用せられてゐる超ヂュラルミンで、DM三一合金と呼ばれてゐる。この合金の特徴は、表示のやうに、マグネシウム含有量を中位とし、滿俺を著しく増大せしめ、更に多少の硅素の存在を許してゐることで、その性能も優秀であり、然も顯著な常溫時効性があるのである。この合金の時効性に關する科學的の解釋は、現在迄の所不明であるといつてもよい。今日迄のヂュラルミンに關する研究の多くは、滿俺の存在を度外視して行はれてゐるので、ヂュラルミンに對する滿俺の影響は、殆ど判明してゐないのである。この點に關しては、今後の研究に待

たねばならない。

五 超々デュラルミン (ESD)

普通デュラルミンの強さは四〇呎毎平方耗の程度に過ぎないが、ヴィルムの發明後、約二〇年にして、超デュラルミンが生れ、その強さは約四五呎毎平方耗に向上した。

一方、航空機工業は、丁度この頃から飛躍的の發展をなし、優秀機は、凡て全金屬性に代りつゝあつた。そのために、少しでも強力にして輕量な材料を得んとする要求は、加速度的に増大し、各國の冶金學者は、擧つて強力デュラルミンの探究に没頭したのである。

當時、アルミニウム輕合金中、最強力なものとしては、デュラルミン系統の合金の他に、アルミニウムに亜鉛とマグネシウムとを加へた別個の系統の合金があることは、よく知られてゐた。この系統の合金を、英國ではE合金、獨逸では、ザンダー合金又はスクレロン等と呼んでゐたが、この系統の

合金には、次に述べるやうな致命的の缺陷があつて、殆ど實用にはならなかつたのである。

その缺點といふのは、この合金を力のかゝる部分に使用してゐると、突然に割れが入るといふ困つた現象が起るのである。この現象を、學問的には時候割れ、又は應力腐蝕と稱へてゐるが、いづれにしてもかやうな性質があつては、如何に強力であつても、到底安心して使ふことは出来ないわけである。

そこで、この合金の時候割れ性を、何とかして防がうとして、様々な研究が續けられてゐたのであるが、昭和一二年に至つて、凱歌は遂に本邦の研究陣に揚げられたのである。即ち、住友金屬工業伸銅所研究部の田邊、五十嵐兩博士並びに北原氏等は、この系統の合金に少量の滿俺並びにクロームを添加し、加ふるに適當な熱處理を施す時は、時候割れ性を完全に防止することが出來、然もその強度は五五珪／＼每平方耗以上、超ニユラルミンよりも更に約一〇匹程強い合金が得られることを發見した。この合金を同氏等は、超々ヂュラルミン、又はESDと命名したが、その組成並びに性能は、凡そ次の通りである。

成分

亜鉛	六・九パーセント	標準	八パーセント
銅	一・五—二・五パーセント	標準	二パーセント
マグネシウム	一・三—一・八パーセント	標準	一・五パーセント
満	〇・三—一パーセント	標準	〇・六パーセント
クロロム	〇・一—〇・四パーセント	標準	〇・二五パーセント
硅素	〇・六パーセント以下	標準	〇・二パーセント
鐵	〇・六パーセント以下	標準	〇・二パーセント
アルミニウム	殘部		

熱處理—四四〇度—四六〇度に加熱後水中に焼入れる。これを更に一一〇—一二三〇度に約二四時間加熱し、人工的に時効せしめる。

性能(棒材)

抗張力 五五疋每平方疋以上

耐力 四五瓦毎平方耗以上

伸 六一八パーセント以上

比重 二・九

因みにESDなる略稱は、E合金、ザンダー合金、デュラルミンの三者の長所を組合せたといふ意味で、各合金の頭字を取つて名付けられたものである。いづれにしても、極めて強力である所から、主として飛行機の桁材に使用せられ、わが新鋭機獨得の材料として、江南、江北の空に、次いでハワイにマライに、また遙かに南太平洋に、輝かしい勝利の記録をつくつたのである。

この合金の熱處理効果及び強力性は、如何なる成分によつて生ずるか、又微量の滿俺及びクロームの添加が、何故に時候割れ性を防止するか、といったやうな學問上の問題は、その後多くの學者によつて追究され、或る程度明らかになつてきてはゐるが、未だ完全に理論づけられる迄には至らない。こゝにこの問題の詳細を述べること、無意味ではないが、恐らく讀者には興味も少いことと思はれるから省略する。但しこの合金に、時効性を興へる主な硬化要素は、マグネシウムと亜鉛との化合物

MgZn₂であることを附記して置かう。

六 チュラルミンの熔解と鑄造

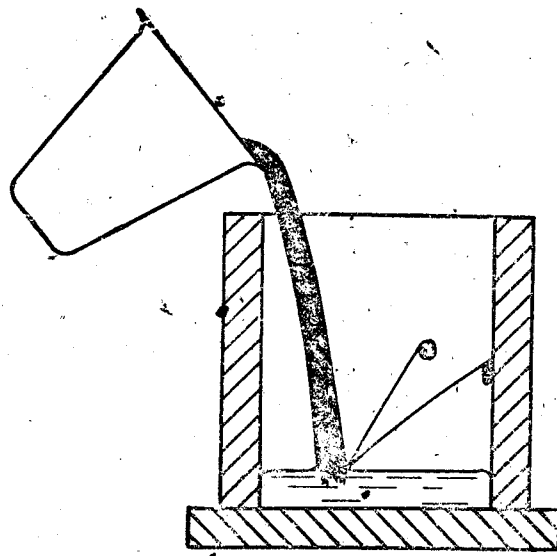
チュラルミンは鍛錬用合金であるから、先づ簡単な形の鑄塊に鑄造した後、壓延機を通して壓延するとか、押出機にかけて壓出するとか、或ひは鍛造して種々の形態を與へた後、熱處理を施して使用する。従つて壓延、押出、鍛造等の所謂加工技術さへ優秀であれば、優秀な製品が得られるやうに考へがちであるが、製品の良否を決定する因子の大半は、チュラルミンを如何にして熔解し、如何なる方法で鑄造したか、にあるといつても過言ではない。

このことは健全な母體なくしては健全な子女を得難いことと揆を一にするわけで、チュラルミン本來の高性能を發揮させるためには先づ健全な鑄塊を鑄造する方法を確立して置かなければならない。

チュラルミンの熔解には、普通反射爐、坩堝爐等が用ひられる。先づアルミニウムを熔解した後、

所要量の銅、滿俺、マグネシウム等を熔入させればよいのであるが、熔けたアルミニウムは爐材と

第二圖 靜止金型法



も反應して鐵や硅素を吸收する。又水分とも反應して水素ガスを吸收し容易に酸化もするから、酸化物、即ち滓も卷込まれる。従つて熔解に當つては、極力これらの混入を防ぐやうな注意がいる。鑄造の前には、是非とも熔湯を清淨にする操作が必要である。この目的の爲には、熔湯中に鹽素ガスを吹き込む方法が行はれ、これを鹽素處理と稱へてゐる。

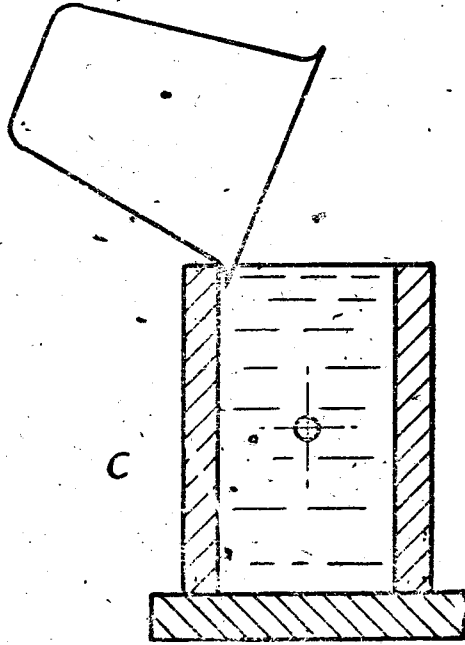
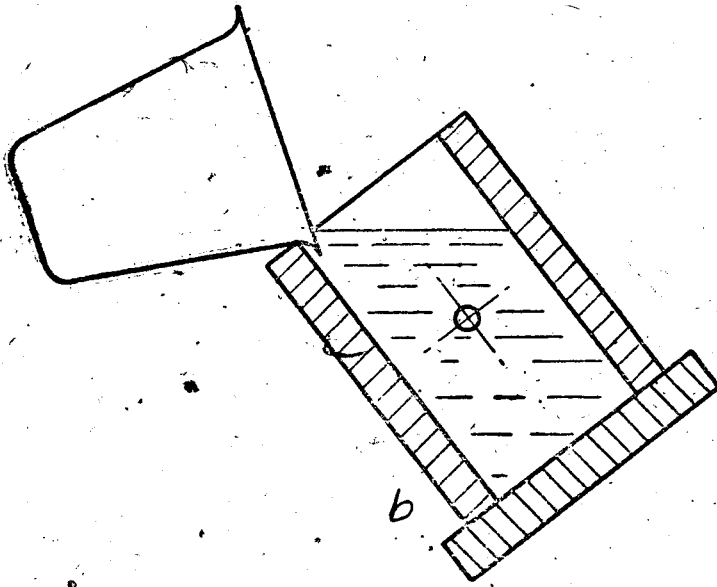
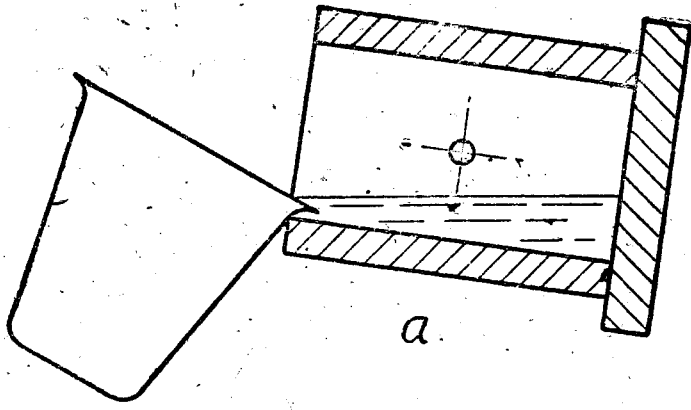
鹽素處理を行つて、清淨になつた熔湯は、四角や丸い切口を持つた簡単な形の鐵製の鑄型に注入して、鑄塊にされる。かういふと極めて簡単なやうに聞えるがこの場合にも、いろいろの問題が起きてくる。

最も簡単な鑄塊の鑄造法は、第二圖に示したやうに、靜止金型に熔湯を注入するだけのことであるが、かやうな方法では、熔湯の飛沫ができ、熔湯の飛沫は空氣に觸れて、直ちに酸化するから、鑄塊

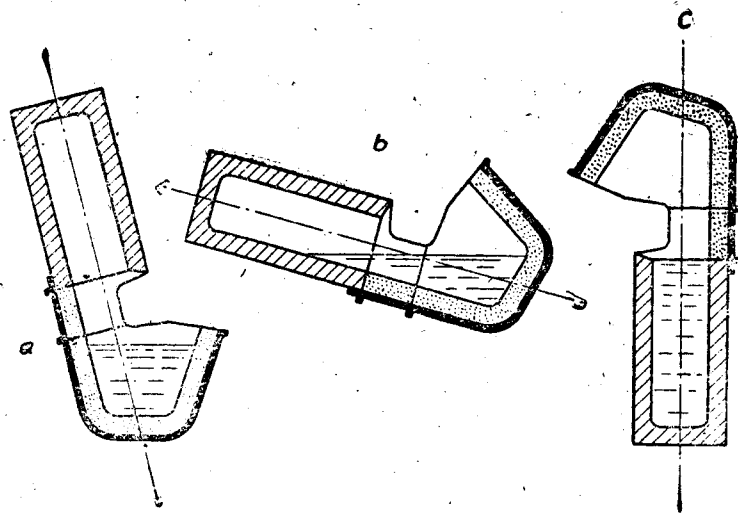
中には酸化物が巻込まれて面白くない。

このやうな缺點を避けるためには、第三圖及び第四圖に示したやうな考案もある。第三圖の方法は

第三圖 傾倒式金型法



第四圖 チュルビル法



金型を傾倒式とし、注湯と共に、金型を順次に起してゆく方法、第四圖はチュルビル法と稱へ、取鍋と金型とを一體として、同様の方法を行ふものである。

これ等の方法によつて、酸化物の卷込まれる心配だけは解消したけれども然し未だ成分の偏析といふ厄介な問題が片付かない。

元來銅を含むアルミニウム合金には、逆偏析といつて、冷たい鑄型に接觸して、最初に凝固した部分に、銅分が多くなる現象がある。例へば銅四パーセントを含むチュラルミンを、冷たい金型に鑄込んだとすると、外側の銅含有量は五パーセント位にも高まるに反し、一番後で凝固した中心部分の銅は、三パーセント以下

に下るのである。

このやうな不均一な鑄塊を加工しても、決して均質なチュラルミンは得られないから、何とかして

偏析のない、均一な鑄塊を造る工夫をしなければならぬ。その爲にも、いろいろな考案がある。わが國では、主として學術振興會第三六小委員會で、研究決定した方法が採用されてゐる。その方法は熔湯を別の鑄型に注入することなく、坩堝をその儘鑄型として、底部を順次水槽中に浸漬し、鑄塊を底部から順次上方に向つて、徐々に凝固させるのである。かうすると、熔湯は少しも攪拌動揺を受けないことがなく、凝固は底部からだけ進行するから、熔湯中のガスを上方に逃がすこともでき、氣泡、偏析等のない、健全な鑄塊ができる。

その他、連続鑄造法等といふやうな、手のこんだ方法もあるが、詳細は省略する。

デュラルミンのやうな高級な材料になると、一つの鑄塊を造るだけでも、これ程の工夫がいり、又これ等の方法を實行する爲には、細心の注意と、洗練された技術とを必要とするのである。

七 デュラルミン板

飛行機の翼、胴體の外張等には、厚さ一乃至數耗程度のヂュラルミン板が用ひられる。材質は、超ヂュラルミンが普通であるが、強度を要するところには、超々ヂュラルミン板も用ひられ、普通ヂュラルミンの板も一部使用される。

又合せ板といつて、ヂュラルミンの上に、腐蝕に強い合金を被せた物も用ひられる。

元來銅を含むアルミニウム合金は、強力ではあるが、腐蝕に弱い缺點がある。ヂュラルミンは、いづれも銅を含むから、腐蝕には弱く、従つて例へば水上機のやうな、海水乃至は鹽風に曝される機會のある機種に對しては、ヂュラルミンを裸の儘で使ふことは危険である。この場合には、先に述べた合せ板が用ひられる。

合せ板用外板には、アルミニウムにマグネシウムと滿庵とを加へた合金が用ひられるが、極く純度の高いアルミニウムを、その代りに用ひてゐる國もある。本邦評議員會規格によれば、合せ板用外板の組成は次の通りである。

マグネシウム ○四—一パーセント

滿 庵 一—二パーセント

硅 素 〇・五パーセント以下

鐵 〇・六パーセント以下

さて、これ等の板は如何にして造られるか。その製法を簡単に述べて置かう。

板用鑄塊は、先づ高温に長時間加熱して、均一化した後、熱い間に直に壓延機にかけて、所謂高温壓延を行ひ、厚さ一〇耗以下の荒延板とする。鑄塊の加熱の温度は四五〇度位であるが、超々デュラルミンでは四二〇度位、三〇〇度以下に下らない中に壓延を続ける。

合せ板の場合には、デュラルミンの鑄塊を耐蝕性合金の鑄塊の間に、丁度サンドウキツチのやうに挟んでから、延ばしてゆけばよいのである。この場合にも技術的にはいろいろの問題があるが、餘り専門的に互るから省略する。

荒延板は、次に常温で壓延し、所要の厚さの板に仕上げる。デュラルミンに限らず、すべての金属は常温で壓延その他の加工を加へると、次第に固く脆くなつて來るものである。その爲に、或る程度

迄壓延すると、加工を止め、合金を長時間加熱して、所謂焼鈍を行ひ、柔かくしたうへで、更に壓延を続ける必要がある。當温で壓延のできる限度は、デュラルミンでは約五〇パーセント、いひ換へると、初めの厚さの半分まで延びた位のところまでである。焼鈍の温度は、三四〇度乃至四〇〇度が適當で、六、七時間以上も熱して置かなければならない。従つて、一〇耗の荒延板を一耗の板まで仕上げするには、大變な手數があるのである。然もこの間に疵が出たり、割れたりすることもあるから、餘程技術がうまくない限り歩留はあまりよいものではない。多量生産の必要な今日、少しでも歩留を良くするための研究は、われ／＼技術者に與へられた大きな課題である。

さて、このやうにしてできた板は、後章に述べる熱處理を施し、熱處理で歪んだ部分は、矯正して始めて半製品となし、飛行機會社に送られる。では、かうしてできたデュラルミン板の性能は、一體どの位であらうか。本邦航空評議員會の規格では、第六表及び第七表のやうになつてゐる。

表示の性能は、厚さ凡そ〇・四乃至一〇耗程度の板に對してであり、加工後熱處理を施し、矯正後常温時効をさせた状態においてである。

第六表 高力アルミニウム合金板及び帯板

普通デュラルミン板	抗張力 每平方耗	耐力 每平方耗	伸 %
超デュラルミン板	三 八	二 三	一 五
超々デュラルミン板	四 四	二 八	一 五
超々々デュラルミン板	五 三	四 五	八

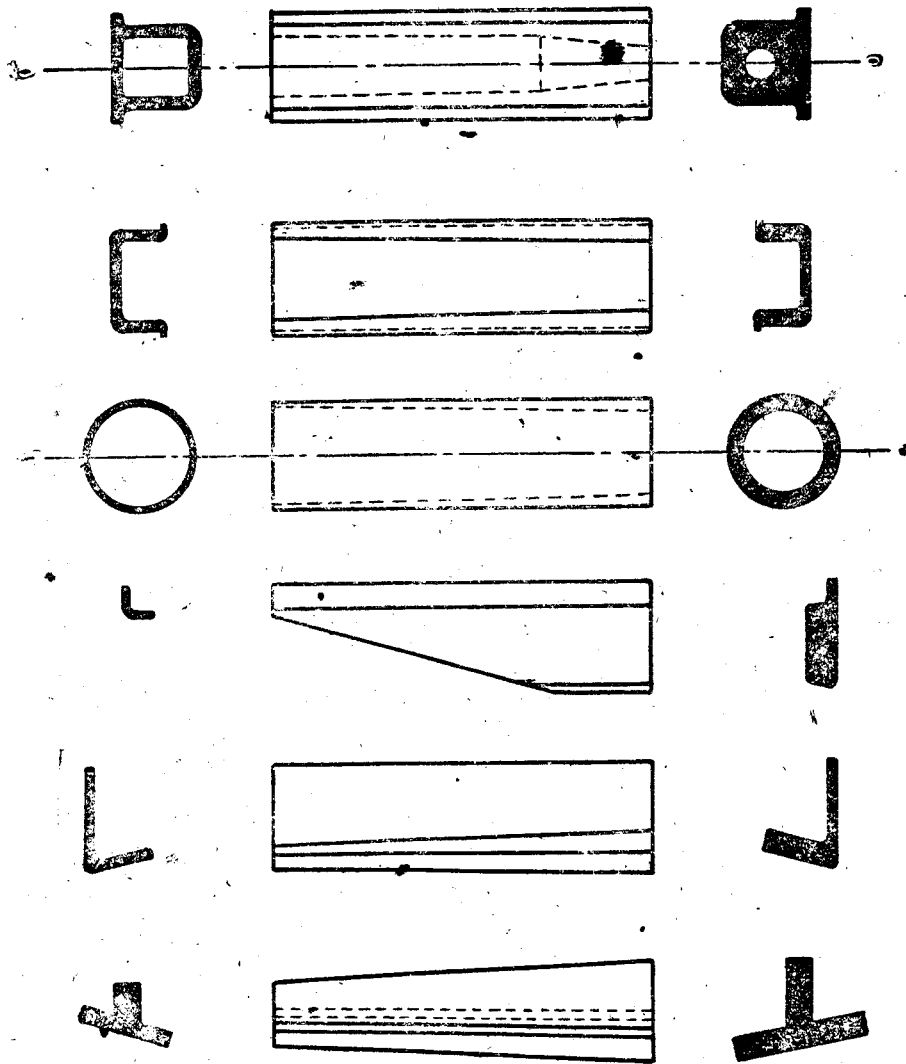
第七表 合せ高力アルミニウム合金板及び帯板

超デュラルミン合せ板	抗張力 每平方耗	耐力 每平方耗	伸 %
超々デュラルミン合せ板	四 三以上	二 七	一 五以上
		四 二	八 以上

八 デュラルミン型材

飛行機の骨組となる軽合金の桁材には、種々なる断面を有する、各種デュラルミンの型材が用ひら

第五圖 押出型材の數例



れる。第五圖には、押出型材の二三の例を示した。これらの型材は、壓延して造られる場合もあるが、本邦或ひは獨逸においては、専ら押出法と呼ばれる方法で製造される。

その方法は、ヂュラルミンの鑄塊を高温に加熱し、これを圓筒狀の鋼製容器に入れて、その一端を水壓ピストンをもつて壓縮し、他端に装置した所要形状の孔を有するダイスを通して、押出すのである。

る。その有様は、丁度トコロテンを押し出すのに似てゐるが、トコロテンと違つて、デュラルミンは硬いから、容器やダイス等も十分大きく、しかも丈夫なものでなければならぬ。又押し出に要する力も、何千觔といふやうな程度のものが要る。従つてその機械は、非常に大げさなものとなり、一臺の製作費にも何百萬圓を要するのである。

さて、かうして押し出されたデュラルミンの型材を、熱處理すると、壓延、鍛造、その他の方法によつては到底得られないやうな、優秀な性能を有する材料となる。

例へば、超デュラルミンを例にとると、押し出の儘の状態では、抗張力三五觔、耐力二〇觔程度に過ぎないが、これを焼入れた後、常溫で時効させると、抗張力五五觔、耐力四〇觔位の優秀な材料となる。假に同じ材料を壓延で造つたとすると、同様に熱處理しても、抗張力は精々四五觔、耐力は二八觔程度にしかならない。

然らば押し出法を行ふと、デュラルミンは何故そんなに強くなるのであらうか。この問題に對しては最近いろ／＼の方面から、澤山の研究が行はれてゐるが、未だ科學的に明快な結論を下し得るまでに

は至らない。然し次に述べるやうな、面白い事實が指摘されてゐる。

即ち純粹のアルミニウムでは、押出法を行つても、別に強くはならない。又滿庵を含まないデュラルミンでやつてみても、押出の特性は現れない。従つてデュラルミン押出材の強力性は、滿庵を含むことと深い關係があるのであるが、その眞相は必ずしも明らかでない。

押出材を焼鈍すると、強力性は消えてしまふが、これを焼入れして時効させると、再び元の特性が出る。いひ換へると、押出材の特性は、熱處理した状態でだけ存在するが、焼鈍しても、特性の本質は消滅しない。押出材に壓延、鍛造その他の加工を施すと、今度はいくら熱處理しても、強くはならない。その他まだいろいろな事實が判つてゐるが、完全な解釋はつきかねる。

いづれにしても、押出型材が、最も強力であるといふことは、飛行機の骨組として使ふには、大變都合が良いわけで、特に超々デュラルミンの押出型材となると、抗張力六〇呎以上のものも容易に得られる。

本邦航空評議員會規格では、デュラルミン押出型材の性能は、次のやうに規定されてゐる。

第八表 デュラルミン押出型材の性能

デュラルミンの種類	抗張力 每平方 吋	耐力	伸%
普通デュラルミン	三六以上	二〇	一四以上
超デュラルミン	四三以上	二八	一二以上
超々デュラルミン	五八以上	五〇	五以上

表からわかるやうに、超々デュラルミンの押出型材は、抗張力も大きい、殊に耐力は、超デュラルミンの約二倍に近い。超々デュラルミンには、亜鉛が含まれてゐる爲に、比重は超デュラルミンよりもいくらか大きくはなるが、それにしても、耐力が著しく大であるから、この型材を用ひると、飛行機の骨組みは三分の二程度軽量で済む。敵國米英側の飛行機には、例へば有名なボーイングB一七、空の要塞にも、超デュラルミン級の型材しか使はれてゐない。これに對してわが國の飛行機には、専らこの強力な超々デュラルミンの型材が使はれてゐるから、その性能の優秀であることも、首肯し得るであらう。

九　プロペラ

飛行機の速度は日と共に増大しつゝある。これに伴つてプロペラ翅が、如何に高速で回轉しなければならぬかは、想像にかたくあるまい。高速で回轉する結果、自重に基づく遠心力だけでも極めて大きな荷重となるから、プロペラ翅の材料としては、先づできるだけ軽量で、而も強力であることが必須の條件である。その上に、發動機からくる強制振動のために疲労破壊を生ずる惧れがあるから、疲労耐力が十分に大きく、又振動を吸収する性質も、大きいことが望ましい。

このやうな苛酷な條件を完備した材料は、實在しないが、現在までの所、先づデュラルミン系合金をもつて満足しなければならぬ。

二十年程前までは、プロペラは全部木製であつたが、今日では木製のものは、練習機以外には殆ど見當らない。尤も最近では、硬化木材といつて、木材に特殊の處理を施した優秀な材料ができてゐるか

ら、將來は再び木製プロペラ時代がこないとは保證し得ない。

金屬製プロペラには、鋼製、アルミニウム合金製、及びマグネシウム合金製等がある。プロペラ用鋼材としては、軟鋼、及びクローム・モリブデン鋼が主として用ひられる。鋼製だと、比重の関係上、中空に造らねばならないから、翅の根元や尖端が、共振を起して疲労破壊を起し易い。これを防ぐことが困難であるから、一般には餘り歡迎されない。然し、アメリカの飛行機には、これを使つてゐるものもある。

マグネシウム合金は、比重が小さいので、プロペラ用材料としては大きな期待がかけられる。然しながら、腐蝕し易いのと、疲労破壊を起し易い缺點があるので、やはり餘り實用されてゐない。然し更に研究を續ければ、プロペラは、マグネシウム合金に限られるといふやうな時代も、くるかも知れない。

今日實用されてゐる金屬プロペラの大部分は、デュラルミン系統の合金である。鋳物では無論弱くて困るから鍛造してあの複雑な形を造るのである。その爲に同じデュラルミンの中でも、鍛造性のい

いような成分の合金が選ばれる。

普通デュラルミンや超デュラルミンでも、鍛造できないことはないが、かなり困難である。そこでマグネシウムを含まない一種のデュラルミンが、この目的の爲に使用されてゐる。デュラルミンの鍛造性は、マグネシウムを減らすと次第に良くなるからである。然しマグネシウムを除いただけでは、弱過ぎるから、銅を幾分増し、更にマンガン及び硅素をも加へて、これを補ふ。この合金をアルミニウム合金第四種と稱へ、その成分範囲は、次のやうになつてゐる。

銅 四―五パーセント

滿 俺 ○・五―一・二パーセント

硅 素 ○・五―一・二パーセント

鐵 ○・八パーセント以下

この合金は、マグネシウムを含まないから、常温時効性は少い。従つて焼入れ後、一二〇度乃至一六〇度に一晝夜位焼戻して強さを出す。

プロペラ翅の形を興へるには、鑄塊を先づ特殊の壓延機にかけて延ばし、次にプロペラ翅の雌型を彫刻した鋼製ダイスの間に挟んで、鍛造するのである。特殊の壓延機といふのはロールにプロペラの大體の型が刻んであつて、これに鑄塊をかまし、約一回轉すると、先づ大體の形が出来上る。次に上述した型入鍛造を行つて、精密な形體を興へるのである。鍛造温度は四五〇度附近で、やはり大きな水壓鍛造機を用ひねばならない。かうしてできたプロペラ素材は、機械仕上、最後に手仕上を行つて理論的に極めてむづかしい曲面を仕上げる。最後に防蝕の目的で、表面には陽極處理といつて、電氣化學的方法で被膜をつけ、更にラノリンその他の油で磨き上げる。

いふ迄もなく、プロペラは飛行機の心臓にも相當する重要な部分であるから、製品は一つ一つ綿密な試験を行ふ。X線で透視して内部缺陷の有無を調べることまでもやる。

出来上りのプロペラが、どの位の機械的性質を持たねばならないか。航空評議員會の規格では、次のやうに規定されてゐる。

抗 張 力 三八磅每平方耗以上

耐 力 二二磅
 伸 一五パーセント以上
 ブリネル硬度 九五以上

實際のプロペラを試験した結果の一例は、第九表に示した通りで、強さは部分によつても異り、また横と縦との方向によつても相違する。

第九表 鍛造プロペラの機械的性質

性 能	長さの方向			横の方向		
	ボス	翼の中央	翼の先	ボス	翼の中央	翼の先
抗張力 毎平方耗	四三	四二	四二	四二	三九	四〇
降伏點 毎平方耗	二九	二八	二八	三一	二九	二九
伸 パーセント	一五	一六	一六	七	八	九
衝擊値 毎米每平方厘	〇・八	二	二	〇・四	一	一

十 デュラルミン 鋳

デュラルミン板や、押出型材等を組合せて、飛行機の機體が出来上るのであるが、その接合方法には、鋳縮法が廣く行はれてゐる。従つて飛行機一基を仕上げるには、少く見積つても、一〇萬本位の鋳が必要であり、しかもその鋳が強くなくては、折角のデュラルミンの強さも、だいなしになつてしまふわけである。さうかといつて、餘りに強く、硬過ぎても、割れる惧れがあるばかりか、鋳を打つのに時間がかゝつて仕方がない。一機體に一〇萬本の鋳を打つものとして、一本の鋳打に要する時間を、一秒間だけ短縮することが出来たとすれば、一〇萬本では、二八時間の短縮となる。こゝに鋳材としてのむづかしい所があり、決して鋳一本といつて、馬鹿にはできないのである。

軍艦や船舶などは、最近では全然鋳を使はずに、全部熔接して接合してゐることは、周知の通りである。讀者の中には、飛行機も、鋳などを使はずに、熔接してしまへばよからうといふやうな意見も

あるであらうが、さう簡単には片附かない。

デュラルミン系合金の優秀な性能は、既に説明したやうに、加工後、五〇〇度附近から焼入れし、常温で時効させて、始めて得られるのである。従つて熔接のやうな、高温に加熱しなければならぬ方法を採用すれば、材料が焼鈍されて、軟化してしまふから駄目である。同じ理由で、高温で鋳締めすることも許されない。

鋼類だと、熱間鋳締といつて、鋳を豫め赤熱し、温度の高い、柔かい状態で打つことができる。この場合には、鋳打後、鋳は自然に冷却して収縮するから、接合部は十分に締まる。従つて熱間で鋳締したものは、板と板との摩擦に大きな力を持たせることができるために、鋳自身の力は、大して強くなくても良いのである。

上述の理由で、デュラルミンの鋳締は、冷間で行ふより仕方がない。その結果、鋳自身が強くなくてはならないことになる。然しながら餘り強い材料を選べば、既に述べたやうに、鋳打に時間がかかるばかりでなく、割れる惧れがあつて面白くない。ところが幸ひなことには、デュラルミンには時効

硬化現象があつて、焼入れ直後は比較的軟く、時間が経過しなければ硬くならないから、焼入れ直後の極く軟質の状態では打すればよいわけである。

このために、デュラルミン鋳材としては、焼入れ直後はできるだけ軟質であり、時効後は、十分な強さを持つやうな材料が望ましい。この他にも、焼入れ直後の時効硬化速度が遅く、初め、ある時間例へば、数時間の間は、全然硬化しないやうな合金があれば、尙更都合が良いのであるが、このことに就いては後述する。

現在航空評議員會規格に規定されてゐる鋳は、第十一表に示したやうな組成を持ち、その性能は第十一表のやうに規定されてゐる。

第十表

種 別	銅	マグネシウム	滿 俺	硅 素	鐵
高力アルミニウム合金 第一種鋳材及び鋳	三・三—四・二〇	三—〇・七	〇・三—〇・七	<〇・五	<〇・六
軟質アルミニウム合金 鋳材及び鋳	二・〇—三・〇	〇・二—〇・六	>〇・二	>〇・六	>〇・六

耐蝕アルミニウム合金
鋅材及び鋅

四・五—五・五

>〇・五

>〇・五

第十一表

種別	状態	抗張力 每平方尺	伸長率 パーセント	剪断力 每平方尺
高力アルミニウム合金 第一種鋅材及び鋅	製出ノ儘 (鋅)	三八以上	一六以上	二六以上
軟質アルミニウム合金 鋅材及び鋅	焼入常温時効 (鋅)	二六以上	二〇以上	一八以上
耐蝕アルミニウム合金 鋅材及び鋅	製出ノ儘 (鋅)	二五以上	二五以上	一七以上

第一種鋅材は、普通デュラルミンで、板、棒、型材にするものと少しも變らない。然し第二欄目の軟質鋅は、第一種に比べると銅、マグネシウム及び滿庵の量が低くなつてゐる。その爲に、無論軟質ではあるが、鋅打後の強さも、それに應じて低いことをまぬかれない。第三欄の耐蝕鋅は、アルミニウム—マグネシウム系であるから、耐蝕性はよいが、熱處理効果は殆どなく、従つて餘り強力ではな

50

前述のやうに、デュラルミン鋳は、焼入れ直後の最も軟質な状態において鋳締を行ふのが理想であるが、何十萬本の鋳を、使用直前に一本一本焼入れするなどと言ふ繁雜なことはできない。そこで實際作業では、相當數の鋳を同時に焼入れし、これを順次に打つてゆくのである。これに要する時効がかりに一時間かゝるものとしても、第一圖に見るやうに、この間デュラルミンは、相當に硬化するものであるから、時間の経過と共に、鋳打能率は下つてくる。かやうな能率低下を避ける爲に、冷蔵庫を使用し、焼入れ鋳を零度乃至零下一〇度位に保持して置く方法も考案されてゐる。デュラルミンの時効硬化速度は、零度以下では、極めて緩慢であるから、これも一つの方法ではあるが、やはり手数を要することはまぬかれない。できれば、一、三〇度の室内放置して置いても、數時間硬くならぬやうな鋳材が得られれば、理想的である。このやうな都合のよい、デュラルミンが果してあるかどうか。最近いろいろの研究が進められた結果、ほど理想に近いものが得られてゐる。この種鋳材を遅効鋳と呼んでゐる。

獨逸ハインケル飛行機會社の考案に係る遅効鋳の組成を示すと、次の通りで、室溫を二五度とする

と、約一時間の時効停止期があり、鋳締後の剪断力は、二五瓦毎平方耗程度である。

銅 二パーセント

マグネシウム 二パーセント

滿 俺 〇・五パーセント

硅 素 〇・八パーセント

最近住友金屬工業伸銅所の中田兵次君は、遅効鋳に関する廣汎な研究を發表してゐるが、その結果によれば、デュラルミンの組成中、銅を減少せしめることが、遅効現象に最も効果的であるやうである。上記ハインケル遅効鋳の組成は、この點を狙つたものであるが、銅を減少させるだけでは、十分の力が出ない。その爲に、マグネシウムを増して、強度を補つてゐる。それにしても、普通デュラルミン鋳と比べて、若干弱いのが缺點である。

中田君の研究によると、ハインケル鋳材中の、滿俺を増すことによつて、遅効現象は一層顯著となり、而も強さをも増大する。そこで成分を適當に選ぶと、時効停止期四時間、時効後の剪断力二八瓦

程度のものもできる。

最近著者は、デュラルミン中に、錫とマグネシウムとを加へると、一層時効停止期が長くなることを見出し、室温二五度で、八時間くらゐ硬くならない鋳もできるやうになつてきたが、その詳細は省略する。

實戦の場合には、飛行機を現地で修理する必要が度々起る。現地に鋳を運ぶことは容易であるが、適当な爐がなければ、焼入れすることができないから意味がない。このやうな場合には、工場で豫め焼入れし、これを魔法瓶に詰めて冷凍し、現地に運んでから打つのも一つの方法である。然しこれもなかく面倒であるから、硬化した鋳を、簡単に現地で軟化する方法があれば、それに越したことはないわけである。

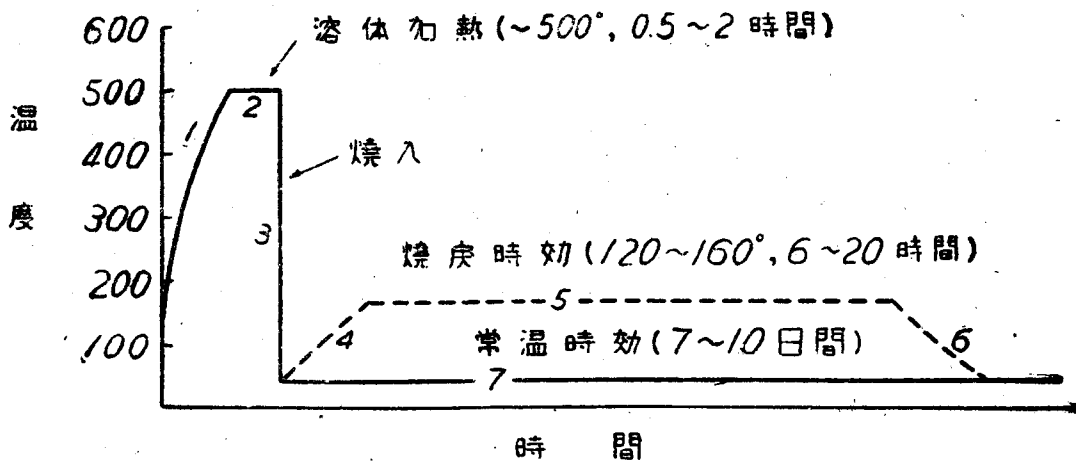
いづれ次章で詳述するが、最近デュラルミンには、復元と呼ばれる現象があつて、時効硬化した合金を、一八〇度乃至二五〇度附近の、比較的低い温度に短時間加熱すると、軟化し、ほゞ焼入れ直後の硬さに復歸することが明らかになつてきた。この状態にあるものを室温中に放置して置くと、再び

時効を起して、やがて数日の後には、再び元の硬化状態にかへる。

この處理は、温度も低く、さう嚴密な一定温度を必要としないから、現地でこれを行ふことも、さして難事ではない。學術上の現象の發見が、多年の宿題であつた鋳材の隨時軟化を解決したわけで、基礎科學の研究も、戦時下であるからといつて、決してゆるがせにしてはならないことが判る。

十一　デュラルミンの熱處理

デュラルミンの優秀な性能は、加工に續く熱處理によつて始めて發揮しうることは、既にしばしば繰返した。又デュラルミンの時効硬化現象は何故に起るか、といふことに就いても、既に第三章で説明した通りである。これを要するに、デュラルミンの時効硬化現象は、アルミニウムに對する CuAl_2 、 Al_2Cu 、 Mg_2Si 、 Mg_2Zn 等の温度による熔解度の變化によつて起る。従つて、デュラルミンに時効硬化現象を起させようとするには、合金を先づ高温度に加熱して、上記化合物を可及的多量に、ア



第六圖 チュラルミンの熱処理説明圖

ルミニウム中に固溶せしめる操作が必要である。この目的の爲に合金を加熱する操作を、固溶體化熱処理と稱へてゐる。かうして溶體化が完了すれば、次に合金を急冷して、化合物の析出を阻止する操作が必要である。この操作が焼入れと呼ばれる。

普通チュラルミン又は超チュラルミンの場合には、焼入れ後常溫に一週間も放置して置けば自然と硬化が完了する。超々チュラルミンも、常溫時効によつて相當に硬化するけれども、最大の性能を發揮させる爲には、焼入れ後、一三〇度附近に一晝夜位加熱してやる必要がある。この操作を、人工時効又は焼戻時効と稱へてゐる。第六圖には、以上の三操作を説明的に示して置いた。

固溶體化熱処理

チュラルミン中の諸成分は、溫度が高い程、多量にアルミニウ

ム中に固溶する。従つて固溶體化溫度は、高い程良いのであるが、餘りに高くすると、組織が粗くなる許りでなく、變形する惧れもあつて面白くない。そこで各種ヂュラルミンに對しては、經驗上最も適當な固溶體化溫度があるのである。即ち普通ヂュラルミンでは、この溫度は五一〇度、超ヂュラルミンでは五〇〇度、超々ヂュラルミンでは四五〇度位である。

次に固溶體化には、どの位の時間が必要であらうか。この問題は、學問的には極めて複雑であるが先づ三〇分乃至一時間の程度で十分とされてゐる。

ヂュラルミンの熱處理溫度は、極めて嚴格で、一〇度以上の溫度差があつては、良いものはできない。従つて熱處理の爐には、熱風を循環するやうな特別な装置がいり、或ひは鹽浴といつて、五〇〇度附近で液體になる鹽類の中で、加熱しなければならぬ。この目的の爲には、硝酸ソーダと硝酸加里の混合鹽が用ひられる。

焼入れ

焼入れは、急冷するのが目的であるから、一番簡單なのは、水の中へ抛り込めばよい。然し急冷の

爲に、曲つたり割れたりする恐れのある場合には、油の中に浸漬してもよく、ヂュラルミンの薄板ならば、空氣中で冷す程度でも相當に焼が入れる。鋼の焼入れの場合には昔から「湯加減」といつて焼入れする水の溫度を、嚴重に吟味する必要があるが、ヂュラルミンに對しては、水の溫度などは殆ど問題にならない。

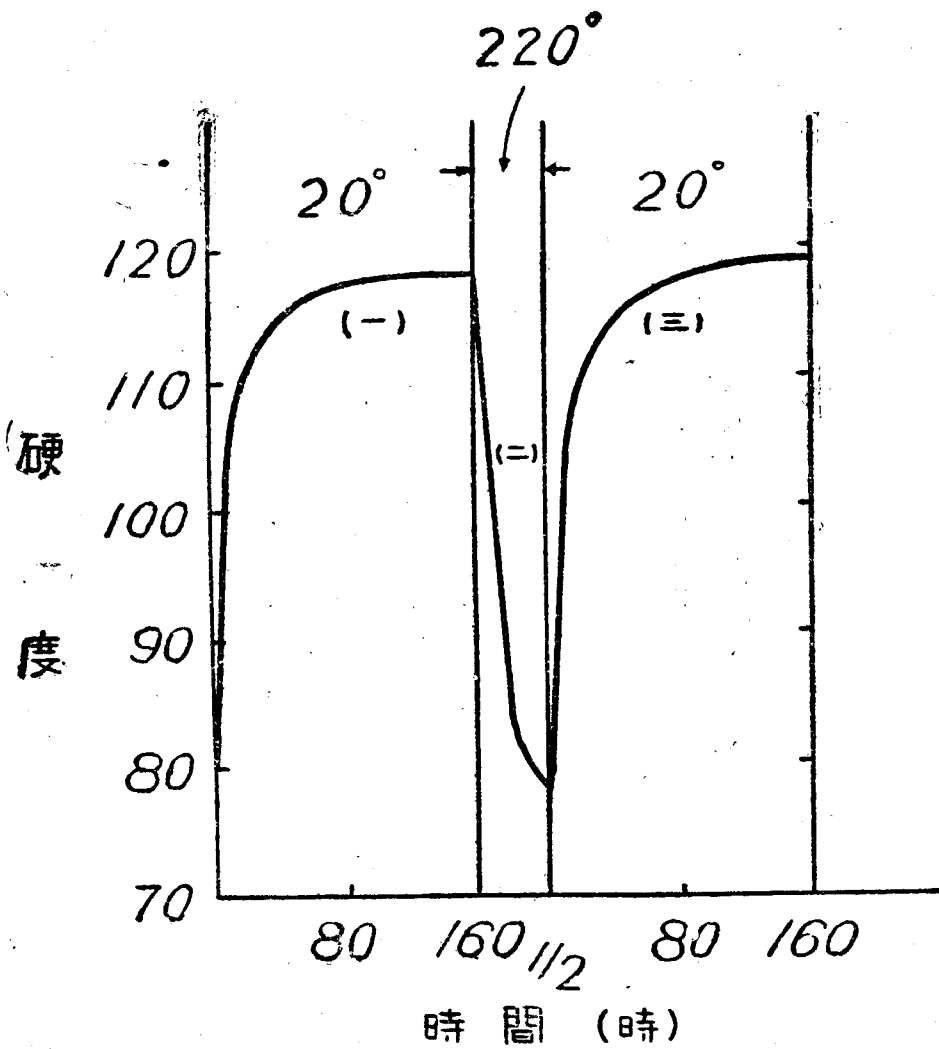
時効

普通ヂュラルミンや超ヂュラルミンのやうに、常溫に放置するだけで、硬化する物に對しては、問題は無いが、焼戻時効を行はなければならぬ合金に對しては、焼戻の溫度と時間とが問題になる。

例へば、超々ヂュラルミンの最適の焼戻溫度は、二二〇度乃至一三〇度であるが、無論これ以外の溫度でも、時効硬化しないことはない。然しこの合金を、一〇〇度附近で焼戻時効を行ふと、時効割れの現象が起き易くなる。僅か二、三〇度の相違ではあるが、輕視するわけにはいかないのである。

復元現象

ヂュラルミンを焼入れ後室内に放置して置くと、約一週間位で最高強度の狀態に達し、その後は、



數ヶ月或は數年経つても、性質は別に變化しない。ところが、前章に述べたやうに、これを二〇〇度附近に數分間加熱して置くと、顯著な軟化を生じほと焼入れ直後の硬度に復歸する。この現象を復元と稱へ、最近漸く學者の注目を惹くに至つた現象である。

第七圖には、時効並びに復元に伴ふヂュラルミンの硬度變化を説明的に圖解した。

圖において曲線(一)は、焼入れ後

常溫時効によつて合金の硬くなる有様を示す。曲線(一)は、これを二二〇度に加熱した場合の硬度變化で、一〇分乃至三〇分の加熱により焼入れ直後の硬さに戻ることを示してゐる。この状態が復元で復元状態にあるものは、曲線(二)に示したやうに、室溫中で再び時効硬化現象を呈する。

これを要するに、復元とは、時効硬化した合金を、低い溫度に加熱することにより恰も焼入れ直後の状態、即ち固溶體化した状態に復歸するかに見える現象である。二〇〇度附近に更に長時間加熱して置けば、焼戻時効が起るから、逆に硬くなつてくる。硬くなる前に、一遍軟くなるといふことが、學問的には不思議であつて、何故軟くなるか、物理學者や冶金學者は、興味をもつてその理由を追求めてゐるのである。これ等研究の結果をこゝで述べても、讀者諸君には恐らく興味もあるまいから省略するが、この現象を、工業的に應用した一例は、前章の鋳材の隨時軟化である。又時効硬化と加工と復元の三つの處理を、巧みに組合すと、強さ六〇砵位の超デュラルミンの板を製造することも可能であるが、その詳細は省略しよう。

本書執筆者

大日方一司

大正十五年 東大工學部冶金科卒

昭和二年 旅順工大助教授

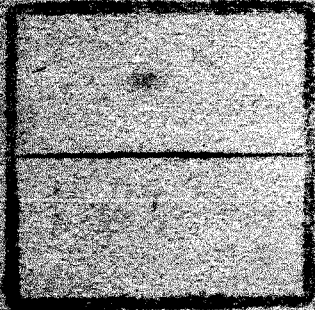
昭和六年—八年 獨逸國伯林、カイザーウイエルヘルム

金屬研究所

昭和九年 旅順工大教授、工學博士

昭和十五年 東北帝大教授

著書「X線金相學」「時効硬化」等



昭和十九年七月五日再版印刷
昭和十九年七月十日再版發行

チヨラルミン

●定價三十錢

東京都麹町區有樂町二丁目三番地
株式會社 朝日新聞社

編輯兼發行
兼印刷者

山 本 地 榮

東京都麹町區有樂町二丁目三番地

印刷所

株式會社 朝日新聞社

不許複製

○一〇六一〇五認承會版出

(部 萬 一)

發行所

株式會社 朝日新聞社

日本出版會々員登錄一〇一五〇三

東京都神田區淡路町二丁目九番地

配給元

日本出版配給株式會社

朝日科學新輯 9
チユラミルン
大日一方司著



國民一般

朝日新聞社

定價・三〇

昭和十九年
推
日本出版會

日本出版會推薦之辭

本書ハ航空機材トシテノチユラルミンノ平易ナ解説書デアアル。朝日科學新輯中ノ第九冊目トシテ出版サレタモノデアツテ、時局ニ即應シテ一般人ガ必然的ニ興味ヲ持ツ箇々ノ題目ヲ取上ゲテ平易ナ敘述ニヨリ科學知識ヲ普及スルトイフコノ新輯ノ目的ニハ全クヨク當嵌ツタ本デア

ル。文章モ流暢デ繪モマタ鮮明デアリ、チユラルミン誕生ノ歴史ナドモ一般人ヲ引キツケルニ足ルモノデアアル。タゞ慾ヲ言ヘバ工業常識ノ不足ナ一般人ニ對シ、モウ少シ圖面ニヨル説明ヲ加ヘテ欲シイト思フ。例ヘバ飛行機ヤ發動機ノドノ部分ニチユラルミンガ使ハレテキルカラ示ス圖トカ合セ板ノ大體ノ寸法、鋸ノ形ナドノ記載ハ蛇足デハナカラウ。シカシ兎ニ角コレダケノ内容ヲ小冊子ニ盛ツタ著者ノ努力ハ相當ニ評價サレテヨイト思フ。敢テ江湖ニ推薦スル次第デアアル。