

デュラルミン

第一章 總 說

デュラルミンは 1903~1911 年に涉り、A. Wilm が發明した合金で、その名稱は獨逸 Düren 市の Dürener Metallwerke の名に因むものである。Wilm の最初のデュラルミンの組成は銅 3.5~4.5 %、マグネシウム 0.5~0.7 %、満俺 0.5~0.7%、残りアルミニウムであつて、500°附近に加熱焼入後常溫に放置すると硬化する所謂常溫時効性の合金であつて、同じ長さ同じ重さの試験片に就ての強弱を比較すると第1表の如くである。

第1表 各種材料の強度比重比

材 料 名	比重 g/cm ²	抗張力kg/mm ²	抗張力 / 比重
軟 鋼	7.8	40	5.1
アルミニウム	2.7	17	6.3
デュラルミン	2.8	40	14.3
超デュラルミン	2.8	45	16.0
マグネシウム	1.8	17.5	9.7
エレクトロン	1.8	35	19.4
特 殊 鋼	7.8	140	18.0

Wilm の發明したデュラルミンの組成は上記の通りで、この種の組成のものは現在でも廣く使用されてゐる。即ち我國に於ては高力アルミニウム合金第1種、又は D2 等の名稱が同一組成のものである。然るに航空機の異常な發達に伴ひ、更に優秀な構成材料が求められる様になつて來たため

に、各國共にこれが改良進歩を企圖し、更に優秀なデュラルミンが出現するに至つてゐる。超デュラルミン、DM 31 及び超々デュラルミン等がこれ等に屬するものである。

第2表は各種デュラルミンの標準組成及び性能を示すものである。表に示した各種デュラルミンに就て簡単な説明を加えよう。

第 2 表

合 金	標 準 組 成 %						機 械 的 性 質	
	銅	マグネシウム	満 俺	珪 素	鐵	亞鉛	抗張力 kg/mm ²	伸%
デュラルミン	4	0.5	0.5	0.3	0.3		~40	~20
超デュラルミン	4	1.5	0.7	0.2	0.3		~45	~18
C 17 S	4	0.5	0.5	1.25	0.3		~45	~10
DM 31	4	1.2	1.2	0.5	0.3		~48	~16
超々デュラルミン	2	1.5	0.5	0.2	0.3	8	~55	~10

(1) デュラルミン

デュラルミンの標準組成は第2表に示した通りであるが、組成範囲を廣くとると次の様になる。

銅	3.3~4.2%
マグネシウム	0.3~0.7%
満 俺	0.3~0.7%
珪 素	0.5% 以下
鐵	0.6% 以下

この合金は加工後 490~520°附近に加熱焼入し、常温に放置すると著しく硬化して抗張力 40kg/mm² 内外、降伏點 22kg/mm²、伸 20% 程度に達

する。

(2) 超デュラルミン

この合金は米國に於て發明されたもので、24S型デュラルミンと稱せられたものである。我國に於ては高力アルミニウム合金第二種に屬し、航空機材として多く使用されてゐる。その組成は次の如くである。

銅	3.8~4.8%
マグネシウム	1.2~1.8%
錳	0.4~1.0%
珪素	0.5%以下
鐵	0.6%以下

この合金も加工後 490~500°附近に加熱焼入し、常溫に放置すると著しく硬化して抗張力 45kg/mm² 内外、降伏點 25kg/mm²、伸 18%程度に達する。

(3) C 17 S

超デュラルミン同様に米國に於て發明された合金で、その特徴は珪素含有量の大きい點であつて、珪素を多量に含有するために常溫時効性に乏しく、焼戻時効を行はねばならぬ不便があるのと、加工性があまり良好でないために廣く用ひられてゐないし、我國に於ては殆んど使用されてゐない様である。

(4) DM 31

この合金は獨逸に於て現在採用されてゐる超デュラルミンで、組成上の特徴としてはマグネシウムの含有量は 24 S 型デュラルミンより比較的少

く、満俺を著しく増大せしめ、更に珪素を比較的多く含有せしてゐる。その性能は略々超デュラルミンに匹敵するが加工が超デュラルミンより稍々困難の様である。翻つてアルミニウム地金の純度の高いものを使用するのが超デュラルミンの建前であるが、この合金に於ては珪素の含有量は比較的多いから、鐵の含有量を或限定に保てば比較的珪素の多いアルミニウム地金を使用しても差支へない様に考へられる。然しながらこれ等の諸點に就ては詳細な研究を要する問題であらう。

(5) 超々チユラルミン

この合金は甚だ強力であるが、多量に亜鉛を含むために粒間腐蝕を受け易く、所謂時期割れの危険があつて長い間實用化されなかつたが、最近に至り少量の金屬元素（例へばクローム及び満俺）を添加することに依つて時期割れを防止すると共に、熱所理の改善等に依り押出型材として使用されるに至つた。最近の研究では次の如き組成のものが優秀であるとされてゐる。

銅	2 %
亜 鉛	8 %
マグネシウム	1.5%
満 俺	0.5%
ク ロ ー ム	0.2%

以上の組成のもので熱所理後抗張力 58 kg/mm^2 、降伏點 50 kg/mm^2 、伸5%程度の結果が得られてゐる。

第3表及び第4表に我國に於ける鍛鍊用アルミニウム合金の組成、熱處理及び機械的性質を總轄して附記する。

第3表 本邦鍛錬用アルミニウム合金の組成並に熱処理 (航空評議員會規格)

合金名	成分%						熱処理
	Cu	Mg	Mn	Si	Fe	其他	
高力アルミニウム合金第1種 (デラルミン)	3.3~4.2	0.3~0.7	0.3~0.7	<0.5	<0.6		焼入: 490~520°, 常温時効 焼鈍: ~420° 空冷
高力アルミニウム合金第2種 (超アエラルミン)	3.8~4.8	1.2~1.8	0.4~1.0	<0.5	<0.6		焼入: 490~500°, 常温時効 焼鈍: ~360° 空冷
高力アルミニウム合金第4種 (25 S)	4.0~5.0		0.5~1.2	0.5~1.2	<0.8		焼入: 510°~530° 焼戻: 120~160°, 12~24時間
高力アルミニウム合金第5種 (SD1, ヒロミン) (Duralumin F)	3.5~4.5	0.4~1.0	0.4~1.0	0.5~1.2	<0.6		焼入: 490°~520° 焼戻: 150°~180°, 6~24時間
高力アルミニウム合金第6種 (アルミンR合金) (A 51 S)		0.4~1.0	0.15~0.70	0.7~1.5	<0.6	MnハCrヲ以テ代用シ得	焼入: 530°~560° 焼戻: 150°~170°, 12~24時間
クラッド材用外板 (SA 3)		0.4~1.0	1.0~2.0	<0.5	<0.6		
耐熱アルミニウム合金第1種 (Y合金)	3.5~4.5	1.0~2.0		<0.7	<0.7	Ti<0.2 Ni=1.5~1.3	焼入: 490°~530°, 20°又: 100°時効 焼鈍: 350°~420° 空冷
耐熱アルミニウム合金第2種 (ミルトン) (32 S)	0.5~1.3	0.8~1.5		11.5 ~13.5	<0.7	Ni=0.5~1.3	焼入: 530° 焼戻: ~160°, ~20時間
耐蝕アルミニウム合金第1種 (3 S)			1.0~2.0	<0.5	<0.5		焼鈍: ~450° 空冷

ン
ニ
ル
ラ
ユ
サ
6

合 金 名	成 分 %						熱 處 理
	Cu	Mg	Mn	Si	Fe	其 他	
耐蝕アルミニウム 第2種 (4S) (SSA)	<0.2	0.8~1.5	0.8~1.5	<0.5	<0.5		焼鈍: ~150° 空冷
耐蝕アルミニウム合金第3種 (SA 2-A デュラールライタ ール) (Hy 7)		6.0~8.0	0.1~0.8	<0.5	<0.5	Mnハ Cr ヲ以 テ代用シ得	焼鈍: ~400° 空冷
アルミニウム合金鋹材 (軟質デュラルミン D 3) (A 17 S)	2.0~3.0	0.2~0.6	<0.2	<0.6	<0.6		焼入: 500°~520° 焼鈍: ~350° 空冷
アルミニウム合金鋹材 (耐蝕アルミ合金) (SA 2, Mg 5)		4.5~5.5		<0.5	<0.5		焼鈍: ~400° 空冷

焼入ハ凡テ水冷

第4表 本邦鍛鍊用アルミニウム合金の機械的性質

(航空評議員會規格)

(機械的性質は製品の厚さ、大きさ等に依りて異なる)

(組成並に熱處理は第14表参照)

規格 番號	規格名	種別(名稱)	状態	耐力 ($<0.2\%$) kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸%	ブリネル 硬 度 (10-500) (-30)
94	高力アルミ ニウム合金 棒	第1種 (デュラ ルミン)	焼入常 温時効	22	$>30\sim38$	>14	
		第2種 (超デュラ ルミン)	同上	24~27	$>38\sim44$	>12	
95	高力アルミ ニウム合金 鍛造品	第1種 (デュラ ルミン)	焼入常 温時効	22	$>30\sim38$	>14	>90
		第2種 (超デュラ ルミン)	同上	22~26	$>36\sim42$	>10	>100
		第4種 (25 S)	焼入焼戻	22	$>35\sim38$	>14	>90
		第5種 (S. D. I.) (ヒキミン)	同上	35	$>41\sim43$	>8	>120
		第6種 (アルミン R合金)	同上		$>28\sim30$	>10	>80
96	アルミニウ ム合金プロ ペラ鍛造品	高力アルミ 合金第4種 (25 S)	焼入焼戻	22	>38	>15	>95
97	アルミニウ ム合金曲軸 室鍛造品	高力アルミ合 金第1種(デュ ラルミン)	焼鈍		>24	>10	>65
		高力アルミ合 金第6種(アル ミンR合金)	焼入焼戻		>28	>8	>30
98	高力アルミ ニウム合金 板及帯板	第1種 (デュラ ルミン)	焼入常温 時効後矯 正	21~22	$>36\sim38$	$>12\sim15$	
		第2種甲 (超デュラ ルミン)	壓延後 焼鈍		>25	>10	
		第2種乙 (同上)	焼入常 温時効 後矯正	27~28	$>42\sim44$	$>12\sim15$	
		第2種丙 (同上)	同上 後壓延	31~33	$>43\sim45$	$>8\sim12$	

評格 番 號	規 格 名	種 別(名 稱)	状 態	耐 力 ($>0.2\%$) kg/mm ²	抗 張 力 kg/mm ²	伸 %	ブ リ ネ ル 硬 度 (10-500) (-30)
99	合 せ 高 力 ア ル ミ ニ ウ ム 合 金 板 及 帶 板	第 2 種 甲 (超 デ ュ ラ ル ク ラ ッ ド)	壓 延 後 鈍 燒		<23	>10	
		第 2 種 乙 (同 上)	燒 入 常 溫 時 効 後 矯 正	27	>42~44	>12~15	
		第 2 種 丙 (同 上)	同 上 後 壓 延	31~32	>43~44	>10~12	
100	高 力 ア ル ミ ニ ウ ム 合 金 板 型 材	第 1 種 甲 (デ ュ ラ ル ミ ン)	燒 入 常 溫 時 効 後 矯 正	22	>38	>12~15	
		第 2 種 乙 (超 デ ュ ラ ル ミ ン)	同 上	26~27	>42~43	>11~14	
		第 2 種 丙 (同 上)	燒 入 常 溫 時 効 後 壓 延 成 形	31~33	>43~45	> 8	
101	合 せ 高 力 ア ル ミ ニ ウ ム 合 金 板 型 材	第 2 種 乙 (超 デ ュ ラ ル ク ラ ッ ド)	燒 入 常 溫 時 効 後 矯 正	25~26	>42	>11~14	
		第 2 種 丙 (同 上)	燒 入 常 溫 時 効 後 壓 延 成 形	31~32	>43~44	> 8	
102	高 力 ア ル ミ ニ ウ ム 合 金 押 出 型 材	第 1 種 (デ ュ ラ ル ミ ン)	燒 入 常 溫 時 効 矯 正	20	>34~36	>14	
		第 2 種 (超 デ ュ ラ ル ミ ン)	同 上	27~28	>40~48	>12	
103	高 力 ア ル ミ ニ ウ ム 合 金 管	第 1 種 (デ ュ ラ ル ミ ン)	燒 入 常 溫 時 効 矯 正				
		第 2 種 (超 デ ュ ラ ル ミ ン)	同 上	29~32	>43~44	> 9~10	
104	耐 熱 ア ル ミ ニ ウ ム 合 金 鍛 造 品 (主 として ピ ス ト ン)	第 1 種 甲 (Y 合 金)	燒 鈍		>22	> 5	>60
		第 1 種 乙 (同 上)	燒 入 時 効 又 ハ 焼 戻		>30	> 3	>90
		第 2 種 (シ ル ト ン 32 S)	燒 入 焼 戻		>35	> 2	>110
		第 2 種 乙 (4S, SSA)	軟 質		>16	>16	

評格 番號	規格名	種別(名稱)	狀 態	耐 力 (>0.2%) kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸%	ブリネル 硬 度 (10-500) (-30)
105	耐蝕アルミ ニウム合金 棒	第 2 種 乙 (同 上)	硬 質		>20	> 6	
		第 3 種 (Hy7)	硬 質		>30	>18	
106	耐蝕アルミ ニウム合金 鍛造品	第 3 種 (Hy7)	燒 鈍		>30	>18	>65
107	耐蝕アルミ ニウム合金 板	第 1 種 甲 (3S)	軟 質		>10	>18	
		第 1 種 乙 (3S)	硬 質		>14	> 5	
		第 3 種 甲 (SA2)	軟 質		>30	>18	
		第 3 種 乙 (SA2)	硬 質		>35	>10	
108	耐蝕アルミ ニウム合金 管	第 2 種 (4S, SSA)	燒 鈍		>15~16	>16~18	剪斷抗力 kg/mm ²
109	アルミニウ ム及其合金 鋳材及鋳	アルミニウム	(鋳) 製出の儘		>15	> 2	> 8
		高力アルミ合 金第1種(デ ユラルミン)	(鋳) 同 上		>38	>16	>26
		軟質アルミ 合 金 (A17S)	鋳)焼入 常溫時効		>26	>20	>18
		耐蝕アルミ 合 金 (SA2, Mg5)	(鋳) 製出の儘		>25	>25	>17

第二章 デュラルミンの熔解及び鑄造

(1) 脱 瓦 斯

一般に金属は加工する前に、熔解して加工し易い形に鑄造して加工を加える。デュラルミンの場合に於ても全く同様であつて、熔解→鑄造→加工の順に進むのである。

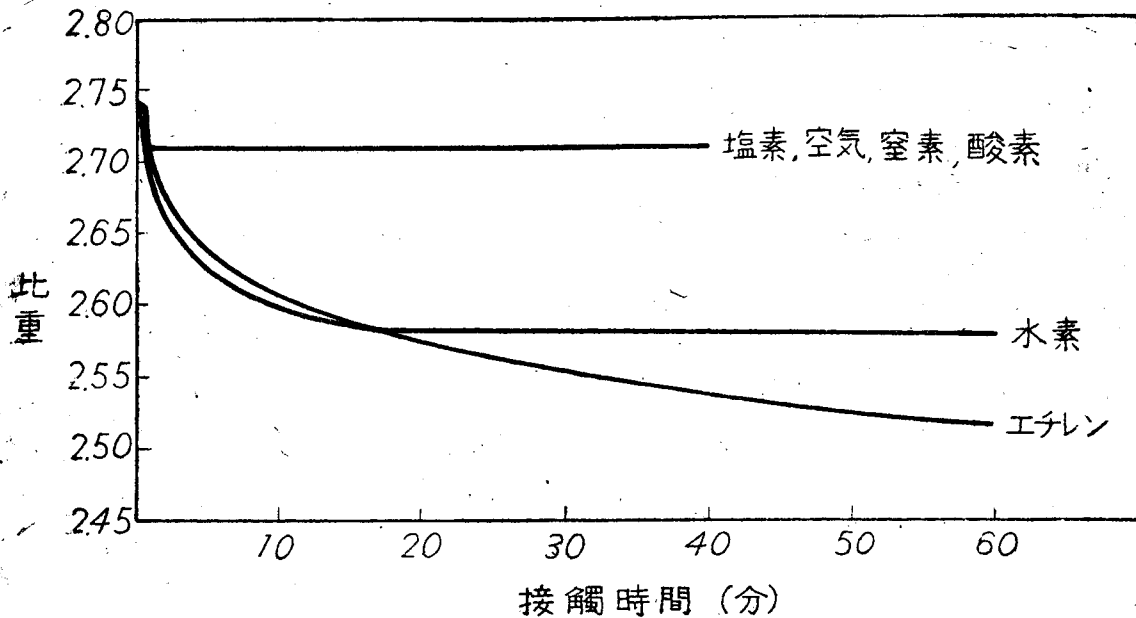
熔解には種々の型の熔解爐が使用されるが、熔解作業の立場から見て主要な条件の二、三を挙げると次の様である。

- (1) 迅速に熔解すること。
- (2) 温度の調節が容易で、且つ温度が一樣であること。
- (3) 爐内の動搖又は震動のないこと。
- (4) 爐内に吸収される有害な瓦斯のないこと。例へば真空中で熔解すれば理想的であるが、実際には技術上困難が多く実際には行はれてゐない。

現在以上の諸条件を完全に満足する様な熔解爐はないが、電熱式熔解爐は略々これ等の条件を満足せしめる様である。その他燃焼式坩堝爐及び反射爐等が使用され、これ等は何れもコークス、石炭、重油或は瓦斯等で加熱するのであるから、燃料から来る種々の有害な瓦斯の吸収を極限する必要がある。加熱方法は大切な問題であつて、水分（直接又は間接）が熔湯に接觸すると容易に分解して水素瓦斯と酸素瓦斯とになり水素瓦斯は熔湯の中に吸収され、これがピンホール及びフレの原因となることは良く知られてゐる。鑄塊中に出来る缺陷の原因は、熔湯が凝固する時の收縮に依

るス、凝固の際に発生するガス及び偏析等に基くものであるが、収縮に依るスとガスの発生に依る孔との區別は明瞭でないとしてある。

凝固する時に発生するガスは熔湯の中から来るもので、デュラルミン鑄塊の如く鑄型が簡單であるものに於ては、主として溶湯中に溶けたガスの発生が主要な因子をなすものである。水谷博士及び橋本氏⁽¹⁾の研究に依ると一酸化炭素、炭酸瓦斯、酸素瓦斯、乾燥した空氣、鹽素瓦斯及び亞硫酸瓦斯等は少くとも 800°迄は殆んど溶けない。又熔湯を 750°で各時間接觸せしめた時の結果は第 1 圖⁽¹⁾に示す如くで、鹽素瓦斯、乾燥した空氣、



第 1 圖 熔解アルミニウムに接觸する各瓦斯の影響 (750°)

窒素瓦斯及び酸素瓦斯は殆んど吸収されないが、水素瓦斯及びエチレン瓦斯の吸収は著しいことが判る。以上は純アルミニウムに對するこれ等瓦斯の溶解度であるが、デュラルミンの溶解に於ても略々同様なことが考へられる。一旦吸収された瓦斯は凝固の際に固體に溶け込むから、可及的に瓦斯を吸収せしめない様な溶解方法が講ぜられるわけである。従つて真空中で溶解鑄造するのが一番理想的であるが、この方法は實際問題としてむづ

かしく少容量のものに就ての實驗結果はある。空氣中で溶解鑄造するのならば可及的に瓦斯を吸収せしめないこと、熔湯の溫度を必要以上に上げないことの二方法があるのみである。一旦溶解した瓦斯を追出す方法は、眞空中に取鍋を入れて壓力を下げて瓦斯の溶解度を減少せしめて脱瓦斯を行ふもので、一氣壓で 1cc. の瓦斯を吸収して居れば、水銀柱 8mm の低壓にすれば溶解度は約 1/10 となつて、大部分の瓦斯が除去出来るわけであるが、實際問題としては相當の困難を伴ふ。普通行はれる脱瓦斯の方法は鹽素瓦斯を用ひる方法で、熔湯中に鹽素瓦斯を吹込むもので、この原理⁽²⁾は次に述べる如くである。今 A 及び B なる二つ物質が共存する時、第三の物質 C を添加すると、C は A 及び B の兩方に溶け込む筈である。溶ける割合は C の A 及び B への溶解度の多少に關係するもので、C が A によく溶け、B には餘り溶けないとすれば C の大部分は A に行くことは容易に考へられる。水素瓦斯は熔融アルミニウムには量としては極めて僅かしか溶けてゐるに過ぎないが、鹽素瓦斯とは如何なる割合にも溶け合ふものである。従つて水素瓦斯を吸収してゐる熔融アルミニウム中に鹽素瓦斯を吸込むと水素瓦斯はより溶け易い鹽素瓦斯に移る。

一方鹽素瓦斯は熔融アルミニウムと化合して Al Cl_3 となるが、これも高温では氣體であるために脱瓦斯の作用をなすものである。前述の如く鹽素瓦斯の効果は著しいのであるが、電熱式反射爐に於ては、爐内で鹽素瓦斯處理を行ふことは禁物で、特に電熱線が露出してゐる場合は鹽素瓦斯に依つて腐蝕されて斷線する懼れがある。

最近脱瓦斯法として熔湯の内部自身に強い振動を起す方法が提案されてゐる。Th. Rummel 等⁽³⁾ は次の如き原理に依て脱瓦斯が行はれるものと考へた。即ち溶湯のある點に於ける磁場を $H \cos \omega t$ と考へ、誘導され

る電流密度を $j \cos \omega t$ とした場合に H_0 なる静磁場を加へると熔湯の單位體積に働く力は次式で表はせる。

$$K = (H_0 + H_0 \cos \omega t) j \cos \omega t \dots\dots\dots(1)$$

この式は次の如く書きかへられる。

$$K = j (H_0/2 + H_0 \cos \omega t + H_0/2 \cos 2\omega t) \dots\dots\dots(2)$$

但し H_0 : 磁場の強さ

t : 時間

ω : 振動數

(2) 式に於て第1項は攪拌作用を、第3項は 2ω の振動をなし何れも H_0 には無關係である。第2項は H_0 を加えたために起るもので ω の振動數を有するから、 H_0 を大きくすれば攪拌作用を激しくすることなく強力な振動を發生する。尙從來考へられてゐた様に振動數が脱瓦斯作用をなすものではなく、瓦斯の放出に作用するものは専ら振動エネルギーであつて、振動數は少くとも二次的のものであると云ふ見解を下してゐる。

次に再熔解に依るもので、これは熔解後そのまま凝固させ、再び加熱熔解すると凝固するときに遊離した瓦斯の一部は直ちに大氣中に放出され、残りの大部分の瓦斯も又再熔解するときに浮び上るものである。この方法は時間と經費を伴ふが實際に行はれ相當の効果を擧げてゐる。以上の様に脱瓦斯の方法として種々考へられてゐるが、要は鑄塊が凝固するときに遊離する瓦斯を鑄塊内に含有せしめないで、大氣中に放出せしめる様な鑄造方法を採用することが肝要なことである。鑄塊の良否はデュラルミン製造の全工程に影響を與へるものであるから、細心の注意が拂はれる。

(2) 熔 解 爐