

海水に對して耐蝕性なる新輕合金 クルミン(Chlmin)と既知輕合金との比較(1)

(日本鐵鋼協會 第6回講演大會講演)

飯 高 一 郎

A NEW ALUMINIUM LIGHT ALLOY "CHLUMIN". (Extremely Resistant to Corrosion by Sea Water)

By Ichirō Itaka.

SYNOPSIS. I. Aluminium light alloys are all very weak for sea water corrosion. Even Duralumin, the best rolling alloy, and Silumin, one of the best casting ones, are not good on this point. Some alloys are really noncorrodible but not used for their inferior mechanical properties and difficulties in casting, rolling or forging. A new alloy was invented in our laboratory 6 years ago, industrial researches were completed and the products are now used in some works. It was named "Chlumin" as it contains chromium, but a few per cent of magnesium and iron are also added.

2. Non-corrodibility. Castings of Chlumin and of an alloy of composition $Cu\ 8\%$, $Al\ 92\%$, the most common one, both made by metallic mould, were immersed in $5\% NaCl$ solution. After 4 years' immersion Chlumin gave only little deposit retaining even some luster, while, the other was severely corroded precipitating considerable mass of aluminium hydroxide. The machined surfaces of Chlumin and Silumin plates were exposed to air being sprayed by salt water every day. Many black spots appeared on Silumin but Chlumin remained bright. Specimens were next immersed in $5\% NaCl$ solution in separate bottles. The quantity of deposit and the weight decrease of specimen were measured after 40 days. Chlumin was a little better even than aluminium. Silumin, Y-alloy, Duralumin and all others containing Cu or Zn were attacked severely. Many test pieces of wire were immersed in $5\% NaCl$ solution and the solution was renewed at times to expose them to air for a day to accelerate the corrosion. Chlumin and aluminium wires, annealed or not, lose scarcely their strength by 7 months' immersion. The elongation decreases in some cases. While, Duralumin, variously heat-treated or not, loses both qualities rapidly. After 5 months the strength reduces to 80 to 20% of the original value and the elongation to 50 to 20%.

3. As a casting alloy. Chlumin is a little inferior to Y-alloy in strength and yield point but is superior to it in elongation and impact resistance. It is better than Silumin in every respect and is more easy to cast and safe to use as no special process (modification) is wanted on manufacturing. Any complex form can be cast resisting to severe water pressure test. Pistons of internal combustion engine and parts of electric motor have been used for more than a year with better result than Y-alloy.

4. As a rolling alloy. Wires of Chlumin were compared with those of aluminium and Duralumin being annealed at various temperatures. Duralumin aged after quenching from $510^{\circ}C$ into water is exceedingly good indeed when annealed at temperatures below 200° , but becomes worse than Chlumin at 300° . Besides, it may not be a safe process of manufacturing to quench an alloy of melting point of 626° from above 500° . It may be very difficult to heat a large article uniformly above 500° . A little overheating will set in local melting; and when the temperature is too low some parts must meet the worst heat-treatment. Heat on welding will spoil the good properties given by quenching and aging and it is often impossible in practice to quench the article again. Quenched Duralumin must be worked in a few hours as it hardens with time. This is a very inconvenient property and unduly treatment unavoidably some times applied in practice will spoil the material. Thus, Duralumin in actual use will not always have the best properties. Chlumin, on the other hand, needs no heat-treatment. Taking

these circumstances all into account it may be concluded that Chlumin is equal in mechanical properties with Duralumin. Thin plates, wires and articles of complex form are easily made by rolling, drawing and forging.

5. Conclusions. "Chlumin" has a small density of 2.71. In resistance to sea water corrosion it is superior to any known light alloys. In mechanical properties it ranks among the best. It is suitable both for casting and rolling materials. It can be cast easily, machined well and stands to severe water pressure test. As cast it has better mechanical properties than Silumin and Y-alloy and is more anti-corrosive. The product is safe as it needs not any special process (modification) on casting. As a rolling material it can be worked more easily than Duralumin, equals with it in mechanical properties and far surpasses it in corrosion. It needs no heat-treatment so is safe to use. It is twice as strong as commercial aluminium and resists better to sea water attack.

1. 緒言
2. 耐蝕性 腐蝕量—腐蝕試験法—腐蝕に依る機械的性質の變化—耐酸性
3. 鑄物として 機械的性質—鑄造性—シルミン Y 合金等との比較。
4. 壓延物として 機械的性質と燒鈍—デュラルミンとの比較—高溫度に於ける機械的性質—加工性—物理的性質
5. 結論
1. 緒言 アルミニウム及び其合金は新時代の金屬であつて、その重要さと使用量との増加する點に於て近代の材料中之に匹敵するものはあるまい。新しいだけに研究も未だ行届いて居ない。主なる缺點を擧ぐれば、熔融點の低い事と機械的性質の劣る事と化學變化を受け易い事との三つである。昔は價格の高い事も缺點とされたけれども、商品化された今日では最早さうでない。且將來益々安くなる傾向である。第1の缺點に就ては僅かの改良は出来るかも知れないが效果的改良は原理上不可能である。第2の缺點はデュラルミンの發明に依つて板、棒、線等の壓延物に於ては非常に改善されたがまだ不充分である。鑄物としては機械的性質の優秀のものは未だ發明されない。第3の缺點の中海水に對する防蝕は冶金學及び化學上

世界的の大問題であつて、特に海軍の噸數制限會議以來艦船の材料として可及的多量に使用せんとする目的の爲に著しく重要性を帯びて來た。余が數年前歐米見學の際にも至る所の研究所に於て力を注いで實驗しつゝあるを目撃した。それ等の結果は或は論文として或は商品として發表されつゝあるけれども、多くは鐵鋼の防蝕に於ける鍍金法に類して而も遠く及ばざるものである。適耐蝕性合金があつても機械的性質、鑄造性等に缺くる所がある。要するに海水に對して耐蝕性を持つ優秀の實用的輕合金は現今未だ發明されて居ないのである。茲に述べる新合金クルミン(クロミウム元素を含むアルミニウム合金であるからクルミンと命名した)は6年前吾研究所で發明されたもので、其の後實驗室の研究と工場で實地製造の研究とを完成し、一昨年から三菱諸會社で使用して居るのである。只今までの結果を見るに不錆性の點では他の如何なる輕合金にも防蝕法にも勝つて居る。機械的性質、加工、鑄造等も頗る良好である。鑄造用としてはシルミンや Y 合金その他に優り、壓延用としてはデュラルミンに匹敵し、而して耐蝕性は遙かに之を凌駕する。

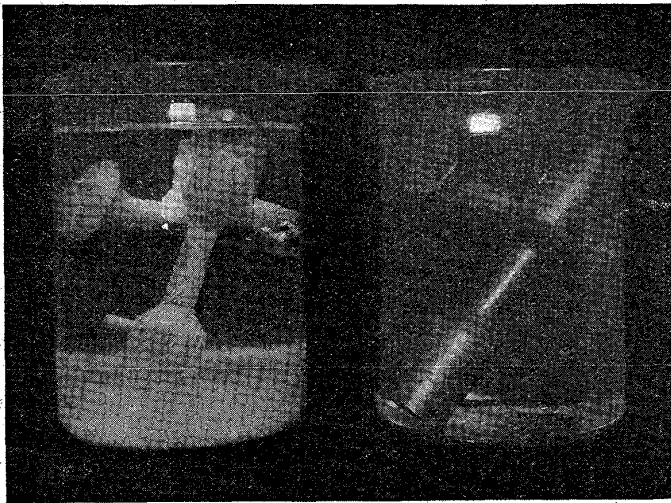
本文に引用の便宜上既知輕合金に第1表の如く番號を附した。

第 1 表 主要なる已知輕合金

1. シルミン	Si 11—13% Al 殘部	6. マグナリ ウム	Cu 0—2% Mg 2—30% Al 殘部
2. No. 12	Cu 8% Al 殘部	7.	市販純アルミ ニウム
3.	Cu 2% Zn 10—12.5% Al 殘部	8. チュラル ミン	Cu 3.5—4.5% Mg 0.4—0.7% Mn 0.0—0.6% Si 0.2—0.8% Al 殘部
4. Y 合金	Cu 4% Ni 2% Mg 1.5% Al 殘部	9. クルミン	Cr 0.2—2.0% Fe 0.3—2.5% Mg 0.5—3.0% Si 0.2—0.6% Al 殘部
5. KS- Seewasser	Mn 3—4% Sb 0.5—1.0% Mg 0.5—3% Al 殘部		

2. 耐蝕性 寫眞第 1 はクルミンと第 1 表の

寫眞第 1 クルミン Cu 8% Al 殘部

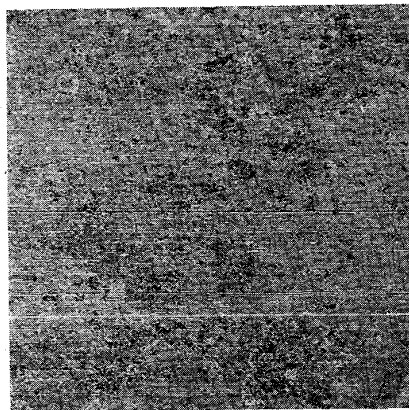
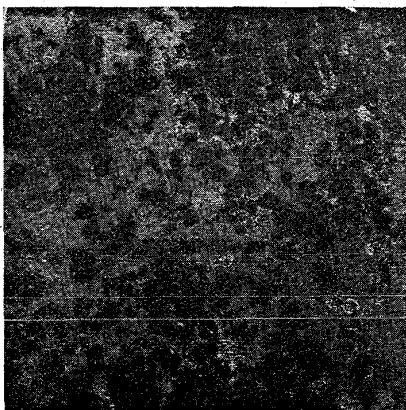


合金 2 との金型に鑄放した儘のものを 5% 食鹽水に浸漬して 4 年間實驗室内に放置した狀況を示す。合金 2 は水酸化アルミニウムの白色沈澱を多量に生成堆積して試片は甚しく腐蝕した。(3, 4, 8,

寫眞第 2

シルミン

クルミン



の銅又は亞鉛を含有する合金は皆 2 と同様なるべきは明らかであるが多くの人々の經驗は之を實證して居る。)クルミンの方は殆ど沈澱を生じない、試片は光澤を残す位である。寫眞第 2 はシルミン乃ち合金 1 とクルミンとの旋盤で仕上げた表面を毎日食鹽水で濕しては空氣中に曝す事 2 ヶ月に及びたるものゝ比較を示す。シルミンは黒色の斑紋を澤山生ずるけれ共クルミンにはかゝる事はなくして變色しない。其後 1 ヶ年以上經過しても結果は同じであつた。又造船所の海水に 1 年間浸漬(最初の半年は時々空氣中に出したがその方が腐蝕が少いから後には浸漬しきりにした。)しかるにクルミンはシルミンの半分きり沈澱を生じない。シルミンは表面が黒くなり、その黒い地の中に眞黒の斑紋が澤山生じたけれ共、クルミンは變色しない、斑紋も生じないで光澤が残つて居た。

次に海水又は食鹽水に沈漬した時生成する沈澱量と試片重量の減少とに就て述べよう。試片は何とも斷らないものは鑄造して作つたもので、壓延して板としたものは特に斷つてある。いづれも削つて直徑 5.00 長さ 20.0 mm に仕上げ、アルコールとエーテルとで洗つて用ひた。凡そ 30cc

の秤量瓶に 1 個宛入れ、數日毎に觀察して生じた沈澱の量を目分量で測り、純アルミニウム又はクルミンの沈澱量を單位 (10) として比較した、40 日後に試片を取り出し、よく洗つて乾燥し、重量の増減を測つた。液へは鹽化アンモニウムとアンモニアを加へて煮沸

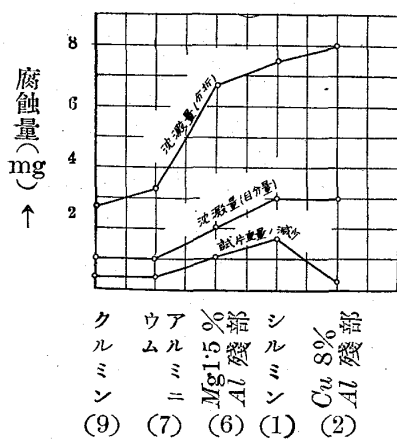
第 2 表 甲 食鹽水の腐蝕に依る沈澱量と試片重量の減少

合金	日數等	5 日後	10 日後	20 日後	30 日後	40 日後	最初の重量 (gr)	最後の重量 (gr)	重量の減少 (gr)	沈澱總量 (gr)
クルミン	(9)	試片は稍黒くなつた 10	10	8	試片は稍黒い 10	10	1.0645	1.0641	0.0004	0.0027
市販の純アルミニウム	(7)	稍黒くなる。少しく沈澱を生じた。その量を 10 とする。	沈澱は増したその量を 10 とする。	10	稍黒い 10	10	1.0597	1.0593	0.0004	0.0033
Mg 1.5% Al 殘部	(6)	相等に黒くなる。 10	10	12	稍黒い 14	20	1.0539	1.0523	0.0011	0.0067
シルミン	(1)	著しく黒くなる。 12	12	20	著しく黒い 20	30	1.0458	1.0441	0.0017	0.0075
Cu 8% Al 殘部	(2)	著しく黒くなる。 12	12	14	著しく黒い 30	30	1.1162	1.1159	0.0003	0.0080

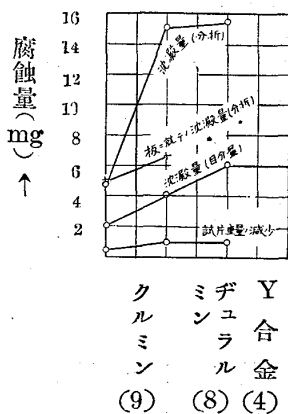
第 2 表 乙 海水の腐蝕作用

合金	日數等	5 日後	7 日後	16 日後	29 日後	40 日後	最初の重量 (gr)	最後の重量 (gr)	重量の減少 (gr)	沈澱總量 (gr)
クルミン	(9)	少しく沈澱を生じ、稍黒くなる	稍黒い沈澱を 10 とする		沈澱を 10 とする	稍黒いけれど光澤残りてよごれない	1.0630	1.0625	0.0005	0.0047
Y 合金	(4)	沈澱一番多、色も一番黒い	非常に黒くなる 20		30	非常に變色し表面粗くなり光澤消失す	1.0733	1.0723	0.0010	0.0155
デュラルミン	(8)	クルミンと同じ	非常に黒くなる沈澱は 15		20	Y 合金と同じ	1.0878	1.0870	0.0008	0.0152
クルミン板			少し黒くなる沈澱微量	沈澱を 10 とする		少し黒いけれど光澤残る 10 とする			0.0004	0.0049
デュラルミン板			クルミンと同じ	クルミンよりも黒い 10		表面は粗くなり、光澤消失す 20			0.0009	0.0056

第 1 圖 甲 食鹽水の腐蝕に依る沈澱量と試片重量の減少



第 1 圖 乙 海水の腐蝕作用



茲に一言したきは試片の減量に依る腐蝕試験法の甚だ頼み難い點に就てである。合金 2 は減量から見れば最も優秀であるべきだが實際には最も劣る事は外觀からも沈澱量からも前述の寫眞からも明かである。腐蝕しても重量が減るとは限らない。酸素が加はつて酸化物が附着すれば反つて増量する場合もある筈である。乃ち腐蝕は重量の増加と減少との互

し、生じた沈澱總量を乾燥後灼熱秤量した。その結果は第 2 表甲乙及び第 1 圖甲乙に示してある。

概觀するにクルミンは純アルミニウムに比較して幾分勝る位でシルミンとデュラルミンと Y 合金と合金 2 とは甚しく劣る。

に相反する二効果を招くものであるから重量を測つて腐蝕を比較する事は無意味である。又 1 gr 内外の試片に就て 1 mg 以下の増減を測るのであるから所謂補正項 (Correction term) を捉へて全量を云々するもので、實驗價値が至つて疑はし

い。之に反して沈澱は金屬が腐蝕されて溶液に移つた全量に相等するから、沈澱量は腐蝕程度に比例すると考へて差支ない。又測定する量も數 mg から cg に達するので、補正項の範圍を脱し實驗價値が充分である。第1圖を見れば目分量で定めた沈澱量は實測値と可なりよく比例する事が分る。故に腐蝕程度を比較するには寧ろ沈澱量を目測すれば大體間違ひはないのである。食鹽水に入れて煮沸して重量の増減を比較する方法も行はれるが、煮沸すれば空氣を遮斷するから實際の腐蝕と條件が著しく異なる。空氣は腐蝕の重大因子であつて全然これが存在しなければ決して腐蝕しないと云はれる位であるのに、之を遮斷するは失當である。又この際減量（又は増量）は天秤の感度以下の場合が多いからその結果は信用が出来ない。次に示すは 1 gr 内外の試片を 5% 食鹽水で 10 時

間煮沸した例である

合金	市販純アルミニウム	クルミン	Mg 15% Al 殘部	Cu 8% Al 殘部
減量(gr)	0.0004	0.0006	0.0008	0.0004

次には腐蝕に依つて抗張力並に伸長率が如何に遞減するかを實驗した。直徑 1 乃至 2 mm の針金を 5% 食鹽水又は海水に入れ、針金の上部まで液面以下に沈めて完全に浸し置き、數日又は 10 數日毎に液を取り替へると同時に 1 日程空氣に曝した。時々 3 本宛取り出して試験した。其結果は第 3 表と第 2 圖とに示してある、常に 3 本の平均値を採用した。

この結果を詳述すれば次の如くである。

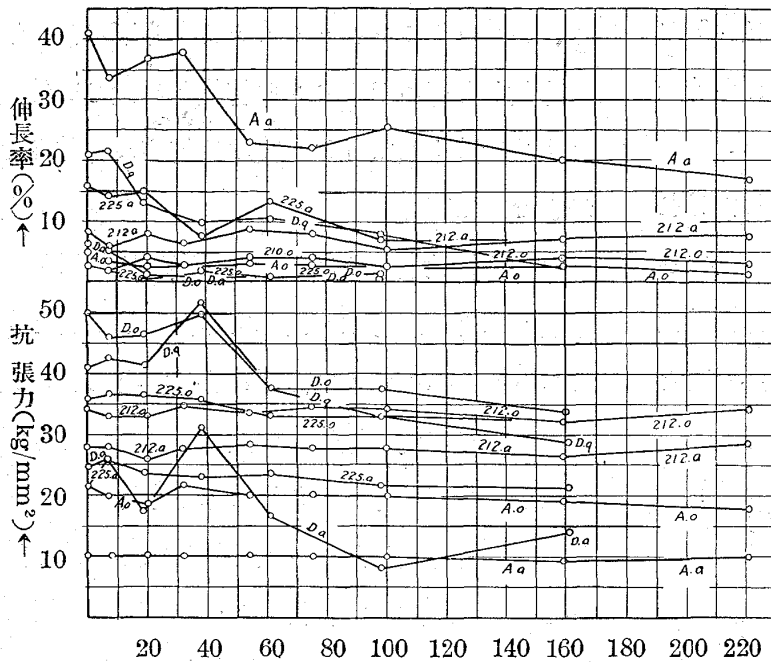
市販純アルミニウム線。

購求した儘で焼鈍しないもの。抗張力は極めて徐々に次第に減少するが、7 ヶ月餘經過しても凡そ 2 割弱くなるだけで先づ弱くならないと云へる

第 3 表 各種輕合金針金の食鹽水及び海水に依る腐蝕と機械的性質の遞減(全體を液中に浸漬した場合)
數字は抗張力 (kg/mm²) 括弧内は伸長率(%)を示す

合金	日數等	處 理	最初	7日後	20日後	32日後	54日後	75日後	100日後	159日後	221日後
市販純アルミニウム	同	燒鈍しないもの	21.5 (5.0)	19.7 (3.3)	18.3 (2.7)	21.6 (2.8)	19.8 (3.1)	20.1 (3.1)	19.7 (2.6)	18.9 (2.9)	17.7 (1.4)
		300°Cに1時間半燒鈍して緩冷したもの	10.1 (40.5)	10.1 (33.4)	10.1 (36.7)	9.9 (37.9)	9.9 (23.0)	9.7 (22.0)	9.7 (25.4)	9.1 (20.1)	10.0 (17.0)
クルミン 212	同	製線の儘で燒鈍しないもの	3.4 (4.3)	32.8 (2.3)	32.8 (4.0)	34.6 (3.0)	33.4 (4.0)	34.4 (4.1)	34.0 (2.7)	32.1 (4.0)	34.2 (3.2)
		300°Cに1時間半燒鈍して緩冷したもの	28.0 (8.0)	28.0 (5.8)	25.7 (7.7)	27.8 (6.2)	23.3 (8.6)	27.7 (7.9)	27.6 (5.3)	26.4 (7.1)	28.8 (7.8)
クルミン 225	同	製線の儘で燒鈍しないもの	35.8 (2.6)	36.6 (1.7)	36.3 (0.5)	35.7 (1.9)	33.1 (0.7)	33.2 (1.5)	33.2 (1.5)	32.0 (1.0)	32.0 (1.0)
		300°Cに1時間半燒鈍して緩冷したもの	20.9 (15.6)	25.6 (14.0)	23.5 (14.8)	22.9 (7.4)	23.3 (13.2)	21.4 (7.3)	21.4 (7.3)	21.5 (7.2)	21.5 (7.2)
	同	製線の儘で燒鈍しないもの	49.7 (2.4)	46.0 (2.9)	46.4 (1.1)	49.9 (0.5)	37.8 (0.5)	37.6 (1.5)	37.6 (1.5)	33.5 (0)	33.5 (0)
		300°Cに1時間半燒鈍して緩冷したもの	24.6 (6.1)	26.0 (5.1)	17.5 (1.2)	31.1 (0.9)	16.5 (1.1)	7.9 (0.3)	7.9 (0.3)	14.6 (0.3)	14.6 (0.3)
同	同	515°Cに10分間熱して焼入及び時効させたもの	40.9 (20.7)	42.5 (21.3)	41.5 (13.0)	51.9 (19.7)	37.6 (10.3)	33.5 (7.7)	28.7 (2.0)	28.7 (2.0)	

第 2 圖 各種輕合金針金の食鹽水及び海水に依る腐蝕と機械的性質の遞減 (全體を液中に浸漬した場合)



	→腐蝕日数	225.o	クルミン	225	製線した儘で焼鈍しないもの
A.o 市販純アルミニウム	焼鈍しないもの	225.a	同	同	焼鈍したもの
A. a 同	焼鈍したもの	D.o	デュラルミン	同	製線した儘で焼鈍しないもの
212. o クルミン	製線した儘で焼鈍しないもの	D.a	同	同	焼鈍したもの
212. a 同	焼鈍したもの	D.q	同	同	焼入れ及び時効させたもの

位である。伸長率は極めて徐々に減少する。300°C に 1 時間半焼鈍して緩冷したもの。7 ヶ月後にも弱くならない。伸長率は最初は非常に大きいけれ共順次に減少して 7 ヶ月後には半分以下になる。クルミン(212)の線。製線した儘で焼鈍しないもの。抗張力は 7 ヶ月餘浸漬しても弱くならない。伸長率も減少しないと云へる。300°C に 1 時間半焼鈍して緩冷したもの。抗張力も伸長率も 7 ヶ月餘の浸漬に依つて少しも減少しない。クルミン (225) の線。製線した儘で焼鈍しないもの。抗張力は最初 40

日程は減らない。5 ヶ月後には凡そ 1 割減少するが弱くならないと云へる位だ。伸長率は極めて徐々に減少する。300°C に 1 時間半焼鈍して緩冷したもの。抗張力は減少しない。伸張率は高低を経つゝ次第に徐々に減る。デュラルミン線。製線の儘で焼鈍しないもの。抗張力は最初の 40 日程は高低があるけれ共、其後は急激に弱くなり 5 ヶ月後には 3 割以上弱くなる。伸長率も次第に減少し遂に皆無となる。500°C に 1 時間半焼鈍して緩冷したもの。抗張力は最初の 40 日程は高低するけれ共、其後激減して 100 日後には凡そ 8 割を失ふ。伸長率も 20 日後はその 8 割以上を失ひて不良となる。515°C に 10 分間焼鈍して水中に焼入れ數日間時効させたもの。抗張力は最初 40 日程は高低するけれ共、其後急激に減つて 5 ヶ月後には凡そ 3 割弱くなる。伸長率も急激に減つて 5 ヶ月後には 9 割を失ふ。要するにアルミニウム線とクルミン線とは焼鈍してもしなくても 7 ヶ月餘も食鹽水に浸漬する事に依つて抗張力を殆んど減少しない。伸長率は多少減る場合もある。之に反してデュラルミン線は如何なる熱處理を施しても、又は施さなくても著しく抗張力と伸長率とを減少し、5 ヶ月後には強さの 3 割乃至 8 割を失ひ、伸長率も 9 割以上減

少する。デュラルミンを焼入れして時効させれば耐蝕性を増すと稱するけれ共、實驗の結果はそうでない。如何なる状態でもデュラルミンは40日目頃で一旦急に強くなるが其後再び急激に弱くなる。此の際伸長率は著しい變化を示さない。

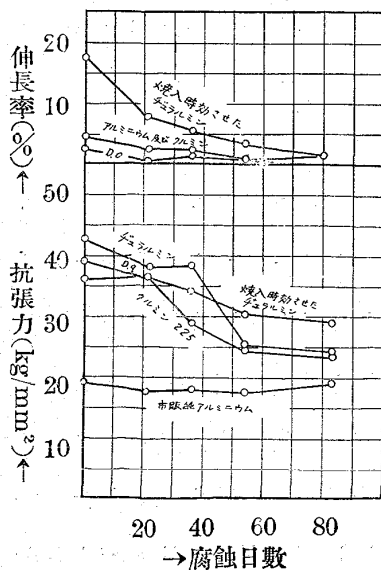
以上の實驗では針金を液中に全く浸したけれ共、腐蝕には空氣が絶えず存在する事が必要であるから次には下半部を海水に浸し、上半部だけは常に空氣中に出して實驗した。其結果は第4表と第3圖とに示した。

第4表 各種輕合金針金の海水に依る腐蝕と機械的性質の遞減(下半部だけを液中に浸して上半部は空氣中に出て居る場合)

合金	日數等處	最初	21日後	36日後	54日後	83日後
クルミン 225	製線の儘で焼鈍しないもの	35.8 (4.3)	36.6 (2.4)	28.7 (2.1)	24.4 (0.9)	23.3 (0.4)
	焼鈍しないもの	18.9 (4.2)	17.4 (2.1)	17.9 (2.1)	17.6 (1.2)	19.0 (1.6)
市販純アルミニウム	製線の儘で焼鈍しないもの	42.5 (2.4)	38.0 (0.2)	38.2 (1.3)	25.5 (0.8)	24.2 (0.1)
	5:10°Cに10分間熱して焼入及び時効させたもの	39.1 (17.0)	36.2 (7.7)	33.9 (5.5)	30.4 (3.4)	29.0 (1.5)

第3圖

各種輕合金針金の海水に依る腐蝕と機械的性質の遞減(下半部だけを液中に浸して上半部は空氣中に出て居る場合)



凡そ3ヶ月間の結果を見るに。アルミニウムは抗張力は減らないで伸長率だけが次第に減少する、デュラルミンはクルミンよりも不良だ。焼入れ時効したデュラルミンの特徴たる大きい伸長率は次第に減少して3ヶ月後には何等の優秀さをも示さざるに至る。

以上は皆試験であるが次には實地に使用した結果を述べよう。海水に對して耐蝕性を必要とするピストンに造つて用ひた。Y合金製とこれに完全に陽極酸化皮膜を施して防蝕したるものと(現今世界で最も優秀と認められて居る方法)クルミンとの3者を比較した。皮膜を施したものは摩擦の爲に直ちに剝離して駄目になつた。1年使用した結果はY合金製は著しく腐蝕したけれ共クルミンは遙かに良好であつた。

稀薄酸に對する抵抗を比較する場合には重量の減少が大きく、且腐蝕に依つて増量する事はないから、減量を秤量して腐蝕程度に比例すると見做し得るは勿論である。第5表に於ては液は0.5%液を用ひ、30分間煮沸して得た、減量(gr)を示してある。試片は凡そ1grで同一表面積のものを用ひた。

第5表 稀薄酸に對する抵抗
數字は試片の減量(gr)を示す

合金	硝酸	硫酸	鹽酸	醋酸
クルミン 212	0.0072	0.0092	0.0216	0.0005
市販純アルミニウム	0.0022	0.0022	0.0030	0.0000
シルミン(1)	0.0063	0.0056	0.0345	0.0004

シルミンだけはいづれの酸でも變色して黒くなる。純アルミニウムは常に最良で、クルミンは格別優秀でもない。

3. 鑄物として

従來の合金。現今鑄物合金として廣く用ひられるものは銅を含むもの(合金2)、銅と亜鉛を含むも

の(合金 3)、珪素を含むものゝ 3 つで、Y 合金 (合金 4) や KS-Seewasser (合金 5) も試験されて居る。2 と 3 とは最も一般に用ひられるけれども機械的性質は優秀でない。耐蝕性は一番劣る。只手慣れて居て作り易いと云ふだけである。シルミン (1) は機械的性質は幾分勝れ、鑄造も扱ひ慣れれば容易であるが、耐蝕性が良くない。又所謂組織改良操作 (Modification) に就ては疑問無しとは云はれない。要するに進歩發達の餘地は頗る廣い。Y 合金は強いと云ふだけで他の機械的性質が良くない。耐蝕性も劣る。KS-Seewasser 合金は最近獨逸で研究されて居り、耐蝕性は良い様であるが機械的性質が貧弱である。

機械的性質、輕合金の機械的性質は鑄造の條件に依つて相當著しい變化があるから可成的同一條件の下に鑄造して比較せねばならない。第 6 表中甲は金型を用ひて余等と同様に鑄造したと認められるものに就てのデータを集めてある。

次に余等の研究室で同一の金型を用ひて、全く

第 6 表 甲 各種鑄造用輕合金の機械的性質

合金	性質	抗張力 kg/mm ²	降伏點 kg/mm ²	伸長率 %	硬 度 ブ リ ネ ル 數	衝 撃 抵 抗 Izod kg-m	比 重
クルミン 218		17.5—22.0	10.5—11.0	15—5	60	0.9	2.71
市販純アルミニウム (7)		8.5—10.0	6.2—7.0	30—15	23—23	(1.2)	2.70
Mg 1.5% Al 殘部		17.4 (15.0)	(4.0)	15 (5)	—	(0.9)	2.63
シルミン (1)		17—22 (19.8)	8.0—9.5 (5.2)	15—5 (8—4)	62	0.8—1.0	2.66
Cu 8% Al 殘部 (2)		14—18 (13)	11.8—13.4 (5)	4—3 (2—1)	60	0.18—0.22	2.87
Cu 2.5% Zn 12.5% (3) Al 殘部		17.5—23.6 (16.1)	12.5—15.8 (4.3)	9—3	62 (55)	0.35—0.45	3.01
Y 合金 (4)		20—22	13—15.8	4—2 (0.3—0)	90	0.14 (0.042)	2.80
KS-Seewasser (5) (13)		(6.5)	(8—3)	(60)	—	—	—

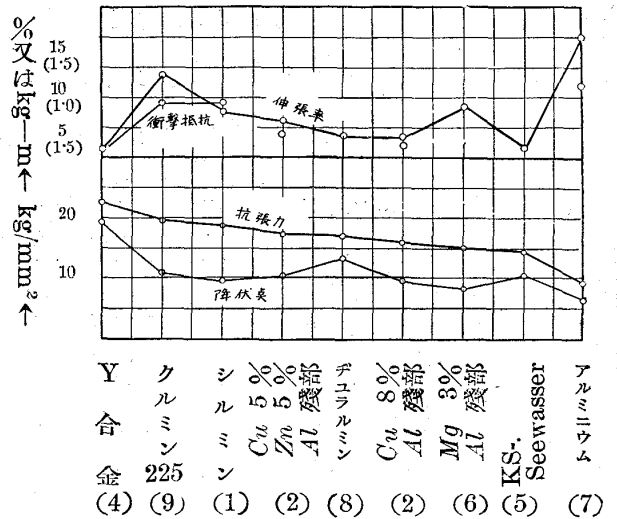
括弧内は信用程度稍劣るデータを示す

同様に鑄造した試片に就ての結果を挙げれば第 6 表乙の如くである。シルミンだけは工場の優秀技

第 6 表 乙 同一の金型で鑄造したものゝ比較

合金	性質	抗張力 kg/mm ²	降伏點 kg/mm ²	伸長率 %
Y 合金 (4)		22.6	19.2	1.4
クルミン 225		19.4	10.8	13.8
シルミン (1)		18.8	9.6	7.6
Zn 5% Cu 5% Al 殘部		17.2	10.4	5.9
デュラルミン (8)		16.9	13.3	4.1
Cu 8% Al 殘部 (2)		16.8	9.6	3.5
Mg 3% Al 殘部 (6)		15.0	8.4	8.5
KS-Seewasser (5)		14.5	10.4	1.7

第 4 圖 各種鑄造用輕合金の機械的性質 (同一の金型で鑄造したもの)



術者に依頼して金型で作つて貰つた所謂 Modify したものである。之等を抗張力の順に列べて機械的性質を比較すれば第 4 圖となる。

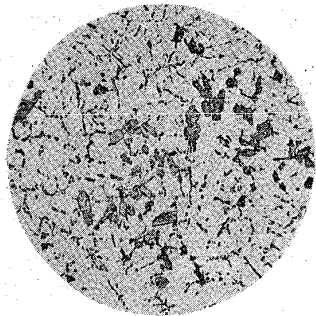
クルミンは Y 合金より少し弱いけれども伸長率と衝擊抵抗とに於て雲泥の差がある。シルミンに比較すれば總ての性質が勝れて居る。破砕面もより緻密である。且シルミンは鑄造の際に

Modification と云ふ特殊操作を施して始めて前述の如き良性質を附與するのであるが、實際作業の

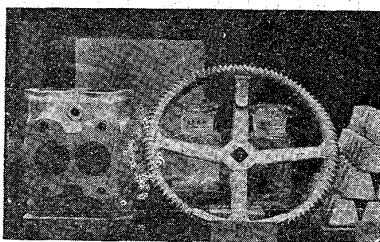
場合に此の操作が不完全であるとか、行き渡らない事があれば遙かに劣つた品物となる虞れがある。クルミンはかかる操作を要しないから全く安全である。他の合金は皆著しく劣る。デュラルミ

寫眞第 3

クルミンの組織 ($\times \frac{100}{2}$)



寫眞第 4 クルミン鑄物



ン
の如きも鑄造の儘では不良である。
鑄造性。顯微鏡的組織は寫眞第 3 の如く極めて簡単で、熱處理を施しても變化しない。従つて鑄造に際してシ
ルミンの様に特殊操作を必要としない。
鑄造操作は簡単で、完全である。最初は或は稍困難を覚えるかも知れないが直ちに要領を得て非常に容易となり、如何に複雑の形でも鑄造出来る。酷しい水壓試験にも耐え、仕上げ加工も良好である。寫眞第 4 は製品を示す。電動機のエンドブラケットは 1 年以上使用して居り、内燃機のピストンにも 1 年以上使つて居るが、結果は良好である。船の窓枠、ヴァルブ等も造つた。

4. 壓延物として 従來の合金。板、棒、線、管等としては純アルミニウムと

デュラルミンとが一般に使用されて居るから、クルミンを之等と比較しよう。マンガンを含んだ合金も試験されて居るが廣く行はれない。純アルミニウムは海水の腐蝕には堪えるけれ共強さが甚だしく不足である。デュラルミンは機械的性質は優秀であるけれ共、第 2 章に述べた様に耐蝕性が實に貧弱である。又焼入れと時効とで材質を良くする事は特徴ではあるけれ共、後に述べる如く實用上の安全さは如何であらうか。

機械的性質。市販のアルミニウム線と住友製のデュラルミン線と赤羽冶金株式會社製のクルミン線とを用ひ、皆同一の條件の下に試験した。針金の直徑は 1 乃至 2 mm である。其の結果は第 7 表に示してある。常に 3 本宛試験して平均を採つた。次に板に就て試験した。板は厚さ 3.0 mm のものを用ひ、2 枚宛試験した。アルミニウムとデュラルミンとは住友製、クルミンは赤羽冶金株式會社製で、デュラルミンは焼入れ時効したもの、他は壓延の儘で試験した。第 8 表にその結果を示

第 7 表 各種輕合金針金の機械的性質

括弧内は著者の結果ではない。信用ある著書から轉載したものである

合金	性質	處理	抗張力 kg/mm ²	降伏點 kg/mm ²	伸長率 %	比重
市販純アルミニウム	燒鈍しないもの		21.5 (17.4—39.5)	(11—23.5)	5.0 (7.0—0)	2.70
同	300°C に 10 分間 燒鈍、空氣中冷却、 數日後試験す		10.1 (10.6)	(4.3)	4.5 (3.5)	同
デュラルミン	燒鈍しないもの		42.5 (41—51)	(38—45.5)	1.0 (15—0)	2.80
同	300°C 10 分間燒鈍 空氣中冷却數日後 試験す		31.0 (25—31.5)	(14—4)	(8—12.5)	同
クルミン 225	燒鈍しないもの		41.0	—	2.2	2.71
同	300°C 10 分間燒鈍 空氣中冷却、數日後 試験す		27.8	—	12.3	同
クルミン 212	燒鈍しないもの		34.0	—	4.3	同
同	300°C 10 分間燒鈍 空氣中冷却、數日後 試験す		27.5	—	7.0	同

第 8 表 各種輕合金板の機械的性質

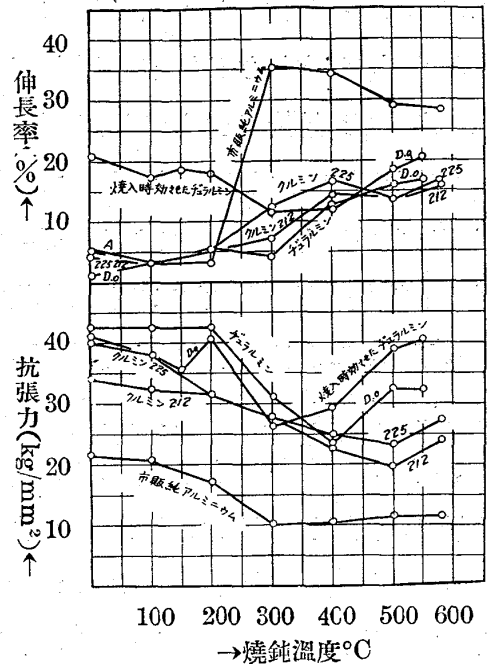
合金	性質	處理	抗張力 kg/mm ²	降伏點 kg/mm ²	伸長率 %
市販純アルミニウム		壓延の儘	13.7	11.6	9.0
デュラルミン		焼入れ、時効を施したもの	41.5	25.8	14.4
クルミン 225		壓延の儘	26.1	23.8	4.6

してある。

焼鈍温度の影響。機械的性質に及ぼす焼鈍温度の影響は第 9 表と第 5 圖とに示してある。3 本宛試験して平均を採つた。各温度に 10 分間焼鈍して空气中で冷却したから可なり焼入れされて居る。冷却後數日間放置して時効のあるものはその結果が完全に現はれて了つてから試験した。只製線した儘のデュラルミンを焼鈍する場合のみは、冷却後 20 分間以内に試験したから時効は未だ餘り現はれて居ない筈である。

先づ製線した儘のものを比較しよう。クルミンは常にアルミニウムの 2 倍の強さを持つ。伸長率は 200°C 焼鈍までは互に等しく、300°C 以上になればアルミニウムの伸長率は急激に増すから、クルミンは之に及ばないけれ共猶充分の大きさを持つて居るクルミンはデュラルミンより少し弱いけれ共、300°C 乃至 400°C 附近に焼鈍すればクルミンの方が反つて少し強い。伸長率はクルミンが

第 5 圖 各種輕合金針金の焼鈍温度と機械的性質



少し勝る。

デュラルミンを 500°C から水中に焼入れして 2 日間以上時効させたものは 200°C 焼鈍までは強さも伸長率も大きくて甚だ良好であるが、300°C 邊では兩性質共クルミンが稍勝つて居る。又 620°C 内外の熔融點を持つ合金を 500°C 以上から焼入れする操作は實際上安全なりや否や。特に大きな品物を 500 乃至 530°C と云ふ狭い温度範圍に加熱する事は技術上及び職工の能力上相當に困

第 9 表 各種輕合金針金の焼鈍温度と機械的性質

數字は抗張力 (kg/mm²) 括弧内は伸長率(%)を示す

合金	焼鈍温度	焼鈍しないもの	100°C	200°C	300°C	400°C	500°C	550°C	580°C	
市販純アルミニウム線		21.5	20.5	16.9	10.1	10.4	11.4	—	11.4	
		(5.0)	(3.0)	(3.3)	(35.3)	(34.2)	(29.1)	—	(28.3)	
クルミン 225		41.0	38.1	31.5	27.8	25.0	23.3	—	27.3	
		(2.2)	(2.9)	(5.5)	(12.3)	(16.4)	(13.6)	—	(16.4)	
同	212	34.0	32.3	31.5	27.5	22.7	19.6	—	24.0	
		(4.3)	(3.7)	(4.8)	(7.0)	(14.3)	(14.0)	—	(15.7)	
デュラルミン (製線の儘)		42.5	42.5	42.5	31.0	23.6	32.3	32.5	冷却後 20 分時効の出ない内に試験した	
		(1.0)	(3.0)	(5.6)	(4.0)	(12.8)	(16.0)	(16.8)		
同	(510°C に 10 分間焼鈍、焼入れ、5 日間時効)	40.9	38.0	150° 35.5	40.6	26.3	29.4	38.8	40.5	冷却後時効を出して試験した
		(20.7)	(17.1)	(18.5)	(17.7)	(11.5)	(12.0)	(18.5)	(20.5)	

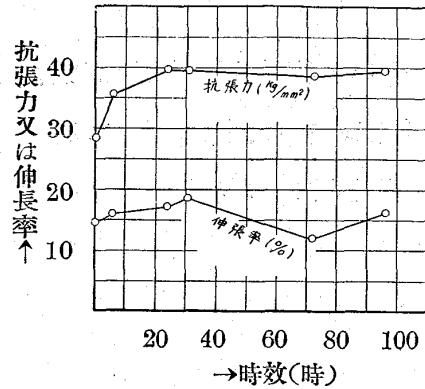
難なるべく、少しく高きに失すれば局部的熔融を惹起して救ふ可らざる結果となり、反對に低きに失すれば第5圖に示す如き不良なる温度範圍に墮ちる虞れがある。又熔接等を行へばその附近は焼鈍されて弱くなるが、之を再び焼入れして時効させる事は出来ない場合も多いであらう。デュラルミンは焼入れ後數時間以内に加工せねば時効の爲に硬化して了ふ。これは實際作業上非常に不便の事でどうしても無理をするから材料を傷つける危険がある。要するに實際使用の状態にあるデュラルミンは最良の性質を發揮して居ないと見做さざるを得ない。如何なる程度をデュラルミンの機械的性質として設計すべきかは問題である。然らば何故にかくの如き種々の困難がデュラルミンに附隨するかと云へば、其原因は熔融點の極めて低い合金に對して焼入れ操作を施すと云ふ根本的の點に伏在するのである。又鑄造した儘ではデュラルミンはクルミンに及ばない事は第6表に依つて明かである。かくの如く元來餘り良好でない材料を壓延、焼入れ、時効して優秀の材料とするのであるから、これ等の操作不十分の場合には甚だ劣等の材料となる虞れがある。又デュラルミンは伸長率が極めて少ない結果として加工が非常に困難であるから種々の缺陷を生じ易い。以上述べた所の凡そ5つの事情を考慮に加ふる時は、結局クルミンは機械的性質に於てデュラルミンに匹敵すると考へて差支なからう。

デュラルミンの時効は第10表と第6圖とに示してある。針金を515°Cに10分間加熱して水中に焼入れしたものを室内に放置して時々試験した。

第10表 デュラルミン線の時効

時効期間	焼入れ前	20分	6時間	1日	31時間	3日	4日
性質							
抗張力 (kg/mm ²)	42.5	28.3	35.5	39.4	39.6	38.5	39.6
伸長率 (%)	1.0	14.5	15.8	17.0	18.5	11.9	16.2

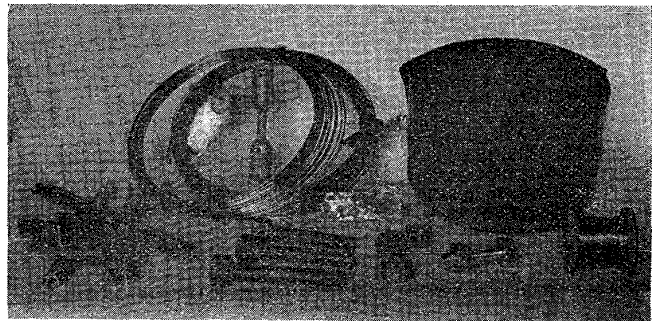
第6圖 デュラルミン線の時効



高温度に於ける機械的性質。前記の各種針金を用ひて高温度に於ける機械的性質を測定したる結果は第11表と第7圖とに示した。

加工性。壓延して板となす事は容易で、0.2mm位の薄板も製作出来た。引伸して棒、線とする事も容易で、30番の細線も一度の失敗なく作れた。鍛錬して複雑の形を作る事も甚だ容易だ。一般の加工がデュラルミンよりも遙かに仕易い。寫眞第5は製品を示す。

寫眞第5 クルミン壓延物



物理的性質。前述した以外の物理的性質を一括して第12表に示す。

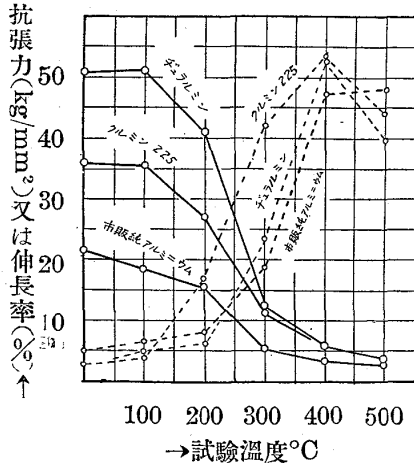
第 11 表 各種輕合金針金の高温度に於ける機械的性質
数字は抗張力 (kg/mm²) 括弧内は伸長率(%)を示す

合金	温度	常温	100°	200°	300°	400°	500°
市販純アルミニウム線 (製線の儘)		21.5 (5.0)	18.3 (6.5)	15.3 (8.1)	5.3 (18.7)	3.3 (47.0)	2.8 (48.1)
	クルミン 225 (製線の儘)	35.8 (2.6)	35.4 (3.9)	27.0 (16.5)	11.2 (42.0)	6.1 (53.4)	3.8 (44.1)
デュラルミン (製線の儘)		50.7 (2.4)	51.2 (5.0)	41.1 (6.2)	12.4 (23.4)	6.4 (52.7)	4.2 (39.5)

第 12 表 各種輕合金の物理的性質

合金	性質	凝固温度(°C)	線膨脹係數 (50-350°)	電氣比抵抗
市販純アルミニウム	(7)	657	0.2440 × 10 ⁻⁴	2.94 × 10 ⁻⁶
クルミン	(9)	625	0.2412	5.40 製線の儘 480 焼入時効 5.20
デュラルミン	(8)	625	0.2500	—
シルミン	(1)	565	0.2173	—
Y 合金	(4)	622	0.2377	—
Cu 8% Al 殘部	(2)	631	0.2473	—

第 7 圖 各種輕合金針金の高温度に於ける機械的性質



5. 結論 新輕合金クルミンの比重は純アル

ミニウムと殆んど等しく 2.71 である。海水に對する耐蝕性に純アルミニウムにも優り、總ての他

の輕合金に比較すれば雲泥の差がある。機械的性質はデュラルミンにも匹敵し得べく、輕合金中最も優秀の部に屬する。鑄物でも壓延物にも適當する材料である。鑄物としては鑄造、水壓、加工良好にして、機械的性質も Y 合金並にシルミンに勝る位である。特に

海水に腐蝕される箇所に使用すれば、シルミン及び銅又は亜鉛を含む從來の總ての合金の缺點を除去し得る。シルミンと異り、鑄造に際して特殊の操作を施す必要が無いから製品の安全度がよい。

壓延物としては板、線、棒等の製造極めて容易にしてデュラルミン及び純アルミニウムの代用品となし得られる。デュラルミンより稍弱いけれども、種々の事情を考慮に加ふる時は機械的性質に於ても匹敵すると見做し得べく、耐蝕性は遙かに良好である。熱處理の必要が無いから製品の安全度勝り、加工も遙かに容易である。純アルミニウムの 2 倍の強さを持ち、耐蝕性も稍之に優る。

終りに臨んで本研究の實驗を擔當したる菅沼茂技師、實地製作を援助せられたる三菱航空機株式會社名古屋製作所、三菱造船株式會社長崎兵器製作所並に赤羽冶金株式會社に感謝の意を表す。

昭和 6 年 4 月 22 日

三菱造船株式會社研究所に於て稿