

Mg を主成分とする A.M-4.4 合金の機械的性質

太 田 友 彌

軽合金として優れた性質を有つ Al-Alloy の研究は、異常な發達をして、現在では航空機其他多方面に應用せらるゝに至つた。一方軽合金として、最近現はれて來たのは、Mg を主成分とするもので、Chemische Fabrik Greisheim 會社の專賣に係る Electron とか、Dow Chemical Co. 專賣の Dow Metal などが著名なもので、Al-alloy より比重は遙に少ではあるが、結局種々の缺點ある爲に其の研究も遅々として居る様である。

米國の American Magnesium Corporation では、既に古より此の方面に意を注ぎ種々研究を進めて居た結果、1924 年に 4% Al を含む Mg-Alloy に .4% Mn を加へると、比例限界が倍加し且又腐蝕に對してより安定な合金を製る事が出來たのである。其の上在來の Mg-Alloy が缺點として居た、鑄造、衝き出し、壓延の作業も可能になつた爲、斯會社は他の種類の Mg-Al 系合金の製造を控へ、此の .4% Mn を含む A.M-4.4 Alloy のみを主に製造する事にしたと言ふ位である。偶々此の Alloy を亞細亞アルミナム會社を通じて購入したので、井口教授指導の下に二三の機械的性質を調べたのである。以下その結果の報告である。

試験材料

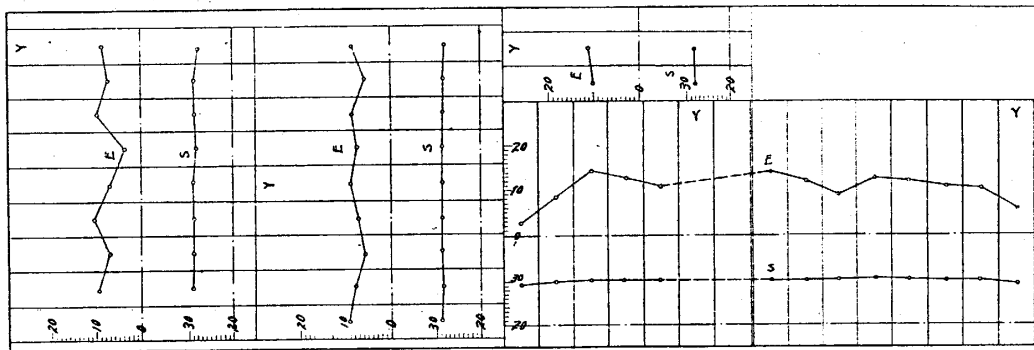
使用した材料の種類及寸法は第一表の如くである。

第 一 表

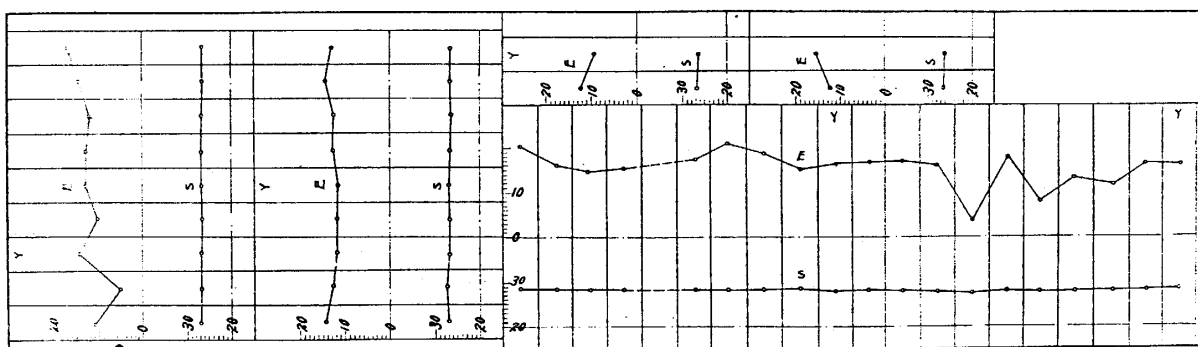
Sheet (Rolled).		Rod (Extruded).	
Thickness in mm.	BreadthxLength in mm.	Dia. in mm.	Length in Meter.
.41	305x914	23.4	1.52
.81	305x1067	19.1	1.83
1.63	305x534	15.9	2.59
2.05	305x407	12.7	2.59

會社の報告による化學成分は第二表に示してある。

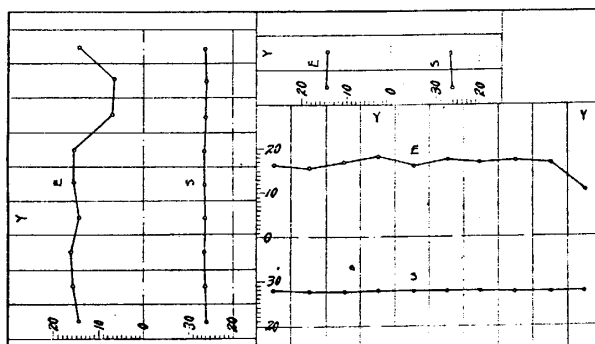
41 x 305 x 914.



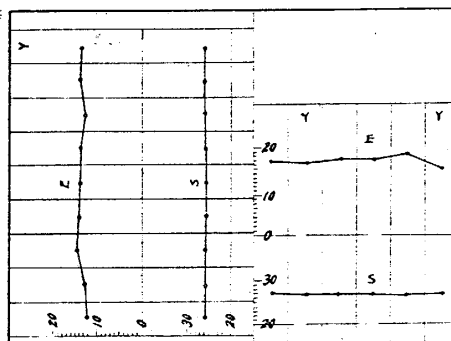
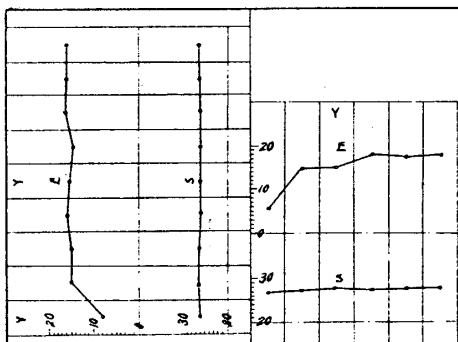
81 x 305 x 1067.



1.63 x 305 x 534



2.05 x 305 x 407.



第一圖

E. Elongation in %

S. Ultimate Strength in Kg./mm.²

第二表

Al	Mn	Mg
%	%	%
4	.4	Balance

即ち Al の A と Mn の M とを取りそれ等の % を示して、A.M-4.4 Alloy と名附けた様である。然乍ら念のため送品中の rod から三個の試料を作り、之を冶金部の堀口所員を煩はして正確なる分析をして頂いた結果、三試料の平均として、第三表の如き結果を得た。

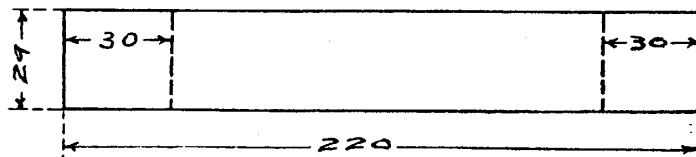
第三表

Al	Mn	Si	Mg	Cu
%	%	%	%	%
4.99	.45	.22	Balance	0

合金の抗張力と延伸率

Sheet: 一般に rolled sheet は roll の方向と、それに直角な眞横の方向とに對して、その性質を異にするを以て、第一圖の如く試験片を配置して、その抗張力及延伸率を調べた。

試験機は最大能力二噸のアムスラー會社製のもので、それに菱田博士考案の薄肉板の掴みを用ひた。ヤング率の測定には martens' mirror apparatus を用ひ、延伸率は標點距離 10 纏に就いて所謂折返しの法によつて計算した。断面收縮率に就いては、測定困難のため之を省いた。荷重をかける速度は、木材の如きものでは、その結果に影響する所頗る大であるが、金屬では極端に早くない限り影響無いものとして、大體全試片を通じて早過ぎぬ程度で試験した。試験片は第二圖の如く兩端 30 耗を掴ませ切斷したのである。



第二圖 單位耗

Mg-Alloy は他の普通工業用金屬と異り、低温加工に依り strain harden する性質が大である故

に、試験片を截り出し、或は所要の寸法に仕上げる迄の操作に充分の注意を要す。その爲第一圖に示す如く、一枚の板に就いても縁の所が既に shear などの爲に、其の性質が變化して居るものとして、10mm~16mm を截り棄てる事にした。又各試験片にも幅に 2 耗の取代を附けて、shear なり saw によつて截り出し、次に filing に依つて所要の寸法に仕上げる事にした。故に先づ加工の効果は、少しも入つて居ないと考へられる。

試験結果。第一圖は各板の端に尺度を示して、抗張力と延伸率が板全面に就いて、如何様に分布して居るかを示す。ヤング率は板の各部に於て、不變と假定して、Y 印の付いて居るものゝみに就いて測定した。此れ等の結果の平均を取つて纏めると第四表を得。

第 四 表

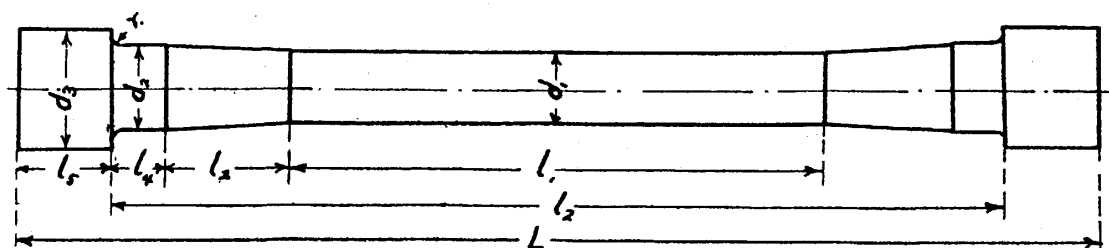
Thickness in mm.	Ultimate Strength Kg. per Sq. mm.		Elongation Per Cent.		Young's Modulus. Kg. per Sq. mm.	Limit of Pro- portionality. Kg. per Sq. mm.
	Across Direction of Rolling.	Along Direction of Rolling.	Across Direction of Rolling.	Along Direction of Rolling.		
.4	28.4	30.4	8.3	10.0	4260	7.2
.8	26.7	28.3	12.4	16.9	4310	5.6
1.6	26.3	27.9	13.5	15.9	4390	4.8
2.0	26.1	27.2	14.2	16.1	4450	4.0

此れを見ると、板の厚さの増すに従ひ抗張力は減り、延伸率は増す様である。此れは板の製作の時、厚いものより薄いものへと壓延して行く過程を考へると、薄い板の方が低温加工を受ける程度が大であるので、抗張力が増し延伸率の減るのは當然の事で、明かに壓延の効果を示して居るのである。亦第一圖を見て判る様に、抗張力は板全面に對して均一であるが、延伸率は可成散漫である。然し先づ縁とか中央の區別なしに、抗張力も延伸率も均一と見て差支へないと思ふ。

Round Rod (extruded): extrude したものと draw したものは、多少性質を異にすると考へられるが、今はその比較は論せず、只 extrude した rod の二三に就いて其の抗張力、延伸率及断面收縮率を調べた。試験片は端より番號順に取つて、sheet の場合と同様、加工の効果の入らぬ様仕上に充分注意した。試験機は Mohr und Federhaff 會社製のもので、最大能力二十噸であるが、試験片の大小に應じて最大荷重を二噸に減じて試験した組もある。ヤング率の測定は sheet の場合と全く同様であるが、延伸率は $l=10d$ なる関係の長さ に就いて折返しの方法で計算した。但し l は標點距離、 d は試験片の平行部分の直徑である。断面收縮率は inside micrometer を改造して測定した故に、在來の方法よりより正しい結果を得たと思ふ。各徑の rod に對する試験片の寸法は、實驗結果

を comparable にする爲に、獨逸で行はれる端に螺旋を切らぬ所の proportionalstab の法式より定めた。

試験片の寸法及結果は、第三圖、第五表及第六表に示してある。



第三圖

第五表 單位耗

Dia. of Rod as Extruded	d_1	d_2	d_3	l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	L	r	No. of Pieces taken from One Rod.
23.4	12.5	16.5	22	138	220	29	12	17.5	255	2.75	5
19.1	10.0	13.0	17	110	170	20	10	15	200	2.75	9
15.9	7.5	10.0	13.5	84	134	17	8	12.5	159	1.50	15
12.7	5.0	7.0	12	60	94	10	7	10	114	1.50	20

實驗結果に就いて、(i) 徑 10 耗のもので、表面には何等異狀を認めなかつたが、試験後切斷面に slag flaw の様なものが現はれた。その爲か如何かは斷定を許されないが、抗張力も延伸率も低い値を示したものが二三あつた。(ii) 徑 5 耗のものを除き他の組は抗張力が rod の一端より他端に至るに従ひ次第に増減して居る様に考へられる。extrusion の際に衝き出された先の部分と後の部分の性質の相違かと思はれるが、此の僅かの試験にて判定を下すのは早計かもしれない。(iii) sheet の際には厚さの少なる程抗張力大で延伸率少なる結果を示したが、此の extruded rod では左様な傾向は窺へない。それは此の extruded rod が drawn rod の如く大徑のものより次第に小徑のものに draw するのと異り、23.4 耗~12.7 耗のものも只の一度で所要の徑のものに extrude したものであるから、其の加工の効果の程度は同じであらう。従つて抗張力及延伸率に變化無いのが眞實であらう。(iv) 又 rod が draw されたにせよ、extrude されたにせよ rod の表面近くと内部とは、其の機械的性質を異にして居ると考へられる。そこで今 rod as extruded を其の儘比例限界以下の荷重でヤング率を測定し、次に其の rod を skin と思はれる部分迄を旋盤で削つて或る徑に減じて、前同様ヤング率を測定した所兩者の値が精確に一致した。全く同様な考へで rod as extruded と rod

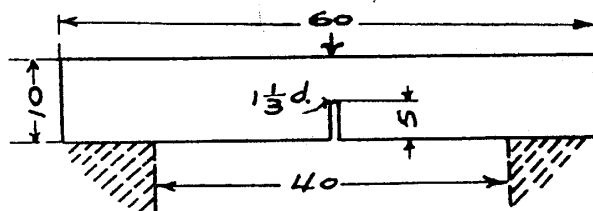
第六表 試験結果

No.	Gauge Length.	Dia.	Ultimate Strength.	Elongation.	Contraction of Area.	No.	Gauge Length.	Dia.	Ultimate Strength.	Elongation.	Contraction of Area.
	mm.		mm.	Kg./Sq. mm.	%		%		mm.	mm.	Kg./Sq. mm.
1	50	5.01	28.2	10.6	25.6	31*	75	7.50	26.8	15.1	21.1
2	50	5.01	28.4	11.0	29.0	32	75	7.51	26.9	14.6	20.1
3	50	5.01	28.4	11.4	25.4	33	75	7.51	26.7	17.5	21.3
4	50	5.02	28.1	11.8	25.8	34	75	7.52	26.7	11.5	17.6
5	50	4.99	28.2	—	—	35	75	7.51	—	—	—
6	50	5.01	28.2	11.0	30.4			Mean.	27.1	12.8	20.2
7	50	5.00	28.4	12.1	25.1	36	100	9.98	26.8	8.3	14.3
8	50	5.02	28.2	14.0	24.6	37*	100	10.0	27.0	—	12.3
9	50	5.01	28.0	13.2	23.6	38	100	10.0	27.6	—	17.7
10	50	5.01	28.1	13.5	26.7	39	100	10.0	27.6	11.4	23.9
11*	50	5.00	28.1	10.6	20.3	40*	100	9.99	27.7	12.0	27.6
12	50	5.00	28.1	10.2	21.4	41	100	10.0	28.0	12.2	7.3
13	50	5.01	28.0	9.7	13.1	42	100	10.0	28.3	12.2	24.5
14	50	4.78	—	—	—	43	100	10.0	28.2	12.3	24.3
15	50	5.01	28.3	12.7	18.8	44	100	9.97	28.2	12.8	24.1
16	50	5.01	28.1	13.8	22.8			Mean.	27.7	11.6	19.6
17	50	5.02	28.0	13.2	23.2	45	125	12.5	29.6	12.9	15.5
18	50	4.88	28.1	12.3	19.3	46	125	—	—	—	—
19	50	4.98	28.3	10.8	17.2	47*	125	12.5	29.6	14.3	17.2
20	50	5.01	28.1	13.6	21.0	48*	125	12.5	29.8	14.9	23.0
		Mean.	28.2	12.0	23.0	49	125	12.4	29.9	15.7	19.8
								Mean.	29.7	14.5	18.9
21	75	6.97	27.7	11.2	21.7	Remarks					
22	75	7.51	—	—	—	No.	Young's Modulus Kg./Mm. ²		Limit of Prop. Kg./Mm. ²		
23	75	7.51	27.2	11.8	21.4	11*	4390		8.4		
24	75	7.51	27.3	12.2	18.1	28*	4470		5.1		
25	75	7.51	27.3	11.0	18.4	31*	4580		—		
26	75	7.51	27.1	12.3	23.2	37*	4440		4.1		
27	75	7.50	26.9	11.6	19.5	40*	4660		4.6		
28*	75	7.51	—	—	—	47*	4100		6.4		
29	75	7.51	—	—	—	48*	4470		4.5		
30	75	7.51	—	—	—						

turned の抗張力を比較しようと試みたが、前者は掴みの所で潰れて好結果が得られなかつた。又後述する衝撃試験によつても其れ等の間の相違は認められなかつた。之を要するに Rod は断面上均一の性質を有すと言ひ得られる。

衝撃に対する力

Mohr und Federhaff 會社製の 10 疋米 Charpy impact testing machine を用ひ、試験片は標準型で第四圖に示してある。



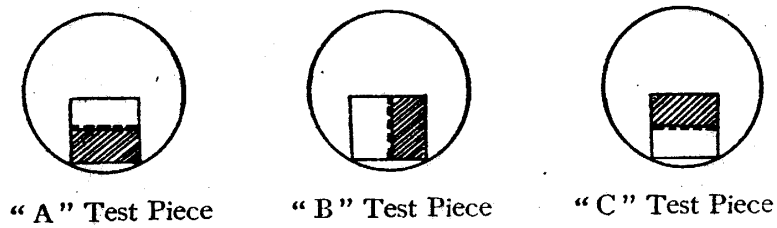
第四圖 單位耗

此の試験片は勿論 round rod の中心より截り出したものである。
試験結果は第七表の如くである。

第七表

Test Pieces taken from Rods of 15.9mm. Dia.		Test Pieces taken from Rods of 19.1mm. Dia.	
No.	Energy Absorbed in Fracture. Gr. Cm.	No.	Energy Absorbed in Fracture. Gr. Cm.
1	27.8	11	35.8
2	27.6	12	30.2
3	31.2	13	31.9
4	29.4	14	33.5
5	22.4	15	27.5
6	27.6	16	44.9
7	23.4	17	43.2
8	21.9	18	35.9
9	19.8	19	33.8
10	31.7	20	36.3
Mean.	26.3	Mean.	35.3

次に 377 頁に述べた様に skin 近くと内部との相違を衝撃試験で見出せるかといふ望を持つて、試験片の撰り方を第五圖の如くして見た。



第五圖

試験結果は第九表の通りである。

第九表

A		B		C	
No.	Energy Absorbed in Fracture. Gr. Cm.	No.	Energy Absorbed in Fracture. Gr. Cm.	No.	Energy Absorbed in Fracture. Gr. Cm.
1	29.7	2	23.8	3	31.7
8	27.5	4	27.5	11	41.6
9	31.7	5	25.7	13	31.8
10	31.6	6	37.5	17	33.1
16	29.4	7	27.6	18	26.0
20	31.1	12	31.6	19	29.1
		14	34.1		
		15	31.6		
Mean.	30.2	Mean.	29.9	Mean.	32.2

第九表より考へると、此の Alloy の衝撃に對する性質の斑の範圍内に於ては、A. B. C. の試片の間には何等の差異は無い。参考の爲各徑の rod に對してその衝撃に抵抗するエネルギーを較べると、

Dia. of Rod as Extruded mm.	Energy.
15.9	26.3
19.1	35.3
23.4	30.8

硬 さ

Mohr und Federhaff 會社製荷重 3000 磅の lever type testing machine と、Shore Instrument & MFG. Co. の scleroscope を用ひて硬度を測つた。試験片は便宜上圓柱 23mm×23mm を用ひ、shore の硬度數を求めたる後に、表面約一耗を file して Brinell test を行つた。Brinell No. は 5 耗及 10 耗球で、30 秒荷重を掛けて置いた後生じた窪みを、遊尺顯微鏡により互に直角な二方向に就いて測り、その平均を出し普通公式より計算した。その値は第十表に示してある。

第 十 表

No.	Load Kg.	Dia. of Ball mm.	Brinell No.	Shore No.
1	750	5	71.5	23.99
2	750	5	71.1	25.18
3	750	5	71.7	27.22
4	750	5	71.4	
5	750	5	71.8	
6	750		71.9	
7	300	10	65.0	
8	300	10	65.2	

腐蝕に對する抵抗力

腐蝕の問題は時日を要するものであつて、未だ充分なる報告を申述べる迄に至つて居ないが、今日迄に終つた二三の例に就いて述べると、徑 20 耗高さ 10 耗の試料を、栓を抜いた瓶詰の 5% 食鹽中に浸けて、實驗室の隅に放置した。642 時間後に取り出して、水沫をかけて白色の成生物を洗ひ去り、良く乾燥して重量を量つた處、其の重さの減りは 40.7% であつた。此の言ひ表し方は適當でないが已むを得ない。何故かと言ふに、寫眞 2 にて判る様に、此の Alloy は腐蝕の爲に甚しく有孔質となる。此の蝕された穴の徑が小で深い時には、内部に詰つてゐる腐蝕部分は、水沫は勿論

刷毛で擦つても除去する事が出来ない。従つて上述の 40.7% といふ値は、事實のものより小なる値であると思ふ。又空氣中に於ては、濕氣の存在に依つて短日月の間に表面に水酸化物の被膜を生じ、或る程度迄此の作用が進行すると停止して、其れ以上の腐蝕が起らない様である。寫眞 a, b, c は、

- a) sheet を其の儘何も塗らぬもの。
- b) sheet に假漆を塗りたるもの。
- c) sheet に機械油を塗りたるもの。

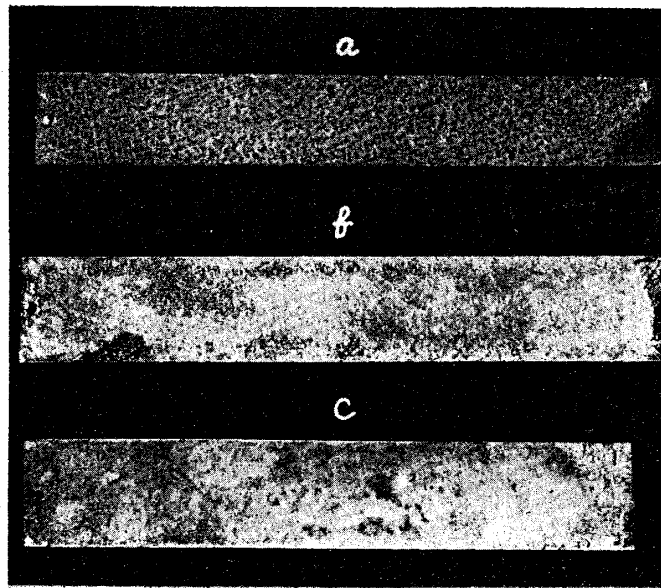
で、Bad condition の元にある機械工場の天井に約一年一ヶ月釣して置いたものである。寫眞 (a) の斑點状に見えるのが腐蝕の爲に生ぜる水酸化物の被膜である。(c) は少しも蝕された形跡なく、(b) よりも幾分結果が良好である。終りに此の合金が他の金屬と接觸して用ひられる時には、特に注意を要する。其れは此の合金が Mg を主成分とせるを以つて、工業上用ひられる大方の金屬に対して電氣的に陽となる故に、水或は濕氣などの存在により流電作用を起して容易に腐蝕するからである。比較の爲に Duralmin と Mg Alloy の腐蝕の有様を寫眞に並べ掲げた。

最後に上述の結果を一纏にして第十一表に示してある。

第 十 一 表

	Sheet.	Rod.
Ultimate Strength, in Kg. per Sq. mm.	30.4~27.2	28.2
Elongation, in Percent.	16.9~10	12.7
Contraction of Area, in Percent.	—	20.4
Young's Modulus, in Kg. per Sq. mm.	4350	4490
Limit of Proportionality, in Kg. per Sq. mm.	5.4	5.5
Brinell No. with Load 750 Kg. & 5 Mm. Ball.....	—	71.6
Shore No.	—	25.5
Energy Absorbed in Fracture, in Gr. Cm.	—	35.3~26.3

一年一ヶ月後の大氣中に於ける腐蝕状態



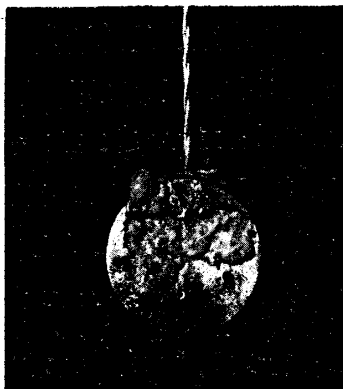
(3)

同じ物を更に浸けて642時間経過後の腐蝕状態



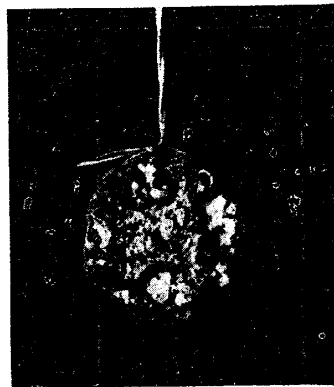
(6)

同上



(2)

白色成生物を小沫にて洗落せるもの



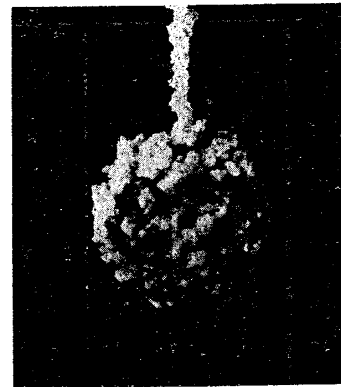
(5)

同上



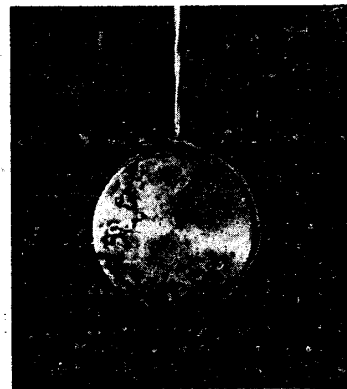
(1)

309時間後の腐蝕状態



(4)

309時間後の腐蝕状態



(マグネシウム合金)

(アルミニウム)

参考の爲購入の際會社の示した specification 及物理的性質を引用すれば次の如し。

“Maximam tensile strength of sheet and drawn rod 42,000 lbs. sq. in. (29.5 kg./mm.²) and that of extruded rod 35,000 lbs. sq. in. (24.6 kg./mm.²) and elongation of 15% as minimum gauge length 4”.”

Density.	1.767	Research Bureau Aluminium Co. of America
Melting Point.	650°C	”
Thermal Conductivity.	$K=0.17$	106~250°C $K = \frac{\text{Cal.}}{\text{sec. cm. } 1^\circ\text{C}}$
Electrical Specific Resistance	10.712×10^{-6} ohm-cm.	at 20°C (by Northrup)

其他、壓縮試験、剪斷試験及疲勞試験に就いては尙實驗中であつて未だ報告の運びに至つて居ない。

以 上