

焼戻硬化するアルミニウム合金の研究 (IV)

田邊友次郎

第二編

熱処理殊に焼戻を應用せる新合金の研究

本篇に報告せんとするものは第一篇に於て論じたる熱処理殊に焼戻作用を應用して鍛鍊加工用新優秀輕合金を製造せんとする研究である。主として二元合金であるが時に三元或は四元に亘る場合もある。

第一章 Al—Cu 合金 (C6 合金)

従來銅のみを含有する Al—Cu 合金は No. 12 (8%Cu) の如く鑄物用として用ひらるゝ以外には重要視せられてゐない。これは 500°C から焼戻し常溫時効せしめた 4% Cu 合金の板で抗張力 32.3 kg/mm², 伸長率 19% (第一篇第一章参照) を出ないからである。

近時含銅アルミニウム合金に珪素、クロム、マンガン等を加へ焼戻焼戻によつて其性質を改良した新合金が種々報告せられてゐる。

著者は銅のみを含有する合金を以て焼戻溫度を出来るだけ高めることと更に適當な溫度に焼戻することによつて少なくとも機械的性質の關する限りデュラルミンに劣らない合金を得てこれを C6 合金と命名し既に機械學會誌⁶⁹⁾に發表する處があつた。Archer & Jeffries⁷⁰⁾ は 3.95% Cu の板を以て焼戻焼戻を行ひ抗張力 33.8 kg/mm² 伸長率 20% を得てゐるがこれではデュラルミンに比すべくもないのである。

I 板材に就て

詳しくは著者の前記論文を参照することとして 1 mm 板(第一篇第一章に記載した 4—12%Cu 合金)に就て行つた結果を概括すれば次の如くである。

Al—Cu 合金は一般に 550°C から安全に焼戻することが出来て、しかも焼戻溫度を上昇せしめたがために Al₂Cu の溶解度を増大し従つて焼戻して得たものゝ力を非常に大ならしむることが出来る。次に焼戻したものを 150°C に焼戻を行ふと更に力及伸を改良することが出来る。中でも Cu=6%(C6) 合金が最良の結果を與へる。

各種熱処理を施した C6 合金の 1 mm 板の性質は次表の如くである。

Table LXI

熱 處 理	抗張力(kg/mm ²)	彈性限(3"/1,000) kg/mm ²	伸長率(50mm) (%)	ブリネル(2mm) 硬 度(20kg)
550°C から焼戻し常溫時効7日間	41.7	22.0	20.0	95
同上後150°Cに3時間焼戻	44.5	22.5	22.5	105

550°Cから焼入直後 150°Cに2時間焼戻 42.8 20.0 23.0 97

其後著者は C6 合金の常溫壓延板(2 mm)をとり 550°Cに1時間加熱投水し常溫時効7日の後100—500°Cの各溫度に1時間宛焼戻(投水)を行つた。其結果は Table LXII 及 Fig. 75 (PL. XX XI) の如くである。

Table LXII

焼戻溫度 °C	抗張力 kg/mm ²	伸長率 %	焼戻溫度 °C	抗張力 kg/mm ²	伸長率 %
焼入時効	38.5	19.5	300	34.4	10
100	38.6	22.0	350	27.3	16
150	39.3	23	400	21.9	27
200	40.1	22	450	25.0	25
250	36.3	11	500	35.0	20

備考: - 試料の切斷面積 = 38 mm² 標點距離 = 50 mm 數値は2回の平均を示す

更に 150°Cに長時間焼戻を行つた結果は次の如く 1 mm 板に劣らぬ優秀なものが得られた。

焼戻時間	抗張力 kg/mm ²	伸長率 %
6	41.7	22
30	43.8	22

II 棒材に就て

以上の試験結果によつて板材の C6 合金は抗張力及伸長率に於て優にデュラルミンに匹敵することを知つたので次に棒材によつて抗張力以外の諸種の機械的性質を試験した。

試料は含銅量 6.02% の C6 合金の棒狀鑄物 (直径 3 1/2") を熱壓延で 1" 丸棒及 1/2" 角棒としたものを用ひた。

(1) 抗張力試験——1" 丸棒を 550°Cに1—6時間加熱後同溫度から水中に焼入し1週間常溫時効の上抗張力試験を行つた。次に 550°Cに6時間加熱投水時効したものを 3—70時間 150°Cに焼戻を行つた。又 1/2" 角棒に就ても同様の實驗を行ひ其等の結果を一括して Table LXIII に掲げた。

Table LXIII

1" 丸棒の焼入試験					1" 丸棒の焼戻試験				
加熱時間 (時間)	抗張力 kg/mm ²	彈性限 (3"/1,000) kg/mm ²	伸長率 (50mm) %	斷面縮少 率 %	焼戻時間 (時間)	抗張力 kg/mm ²	彈性限 (3"/1,000) kg/mm ²	伸長率 (50mm) %	斷面縮少 率 %
1	30.5	13	28	44	3	38.0	20	25	37
2	31.7	14	26	47	6	38.7	21	26	36
3	31.7	14	28	43	12	39.7	21	26	36
6	33.0	14	26	47	32	40.5	22	24	30
					70	41.0	22	16	23

1/2" 角棒の焼入焼戻試験

熱處理 (時間)	抗張力 kg/mm ²	彈性限 (3"/1,000) kg/mm ²	伸長率 (50mm) %	斷面縮少 率 %	備考
焼入時効(550°C 6時間)	33.5	14	27	48	1吋丸棒の切斷面積 = 300 mm ² 1/2吋角棒 " " = 80 mm ²

熱処理	抗張力	弾性限	伸長率	断面縮少率
同上後150°Cに3時間焼戻	39.7	22	25	—
同上 70 時間	44.0	27	15	18

以上の実験結果によると熱圧延のみによる棒材に於ては焼入のみによつては6時間の加熱を用ひても抗張力 33 kg/mm² を得るに過ぎないが之を 150°C に長時間焼戻すことによつて。

抗張力 kg/mm ²	弾性限 kg/mm ²	伸長率 %	断面縮少率%
40—44	22—27	25—15	30—18

のものを得られる。

(2) 硬度試験——1" 丸棒から厚さ 1 cm の試料を切り出し焼入時効並に焼戻による硬度の變化を試験した。試験結果は Table LXIV の如く硬度は焼入後約 2 日間で最高に達しそれから殆んど變化はない。

Table LXIV

熱処理	550°Cに6時間加熱投水直后	焼 入 後 時 間									6日后150°Cに焼戻時間	
		7時間	18"	24"	36"	2日	3日	4日	5日	6日	6h	30h
ブリネル硬度 (10mm, 500kg)	70	75.5	79.4	80.5	81.5	81.6	82.0	81.5	82.0	81.7	97.6	120.0

(3) スタントン繰返し打撃試験——次に Stanton 打撃數に及ぼす焼戻の影響を見た。試料は 1/2" 角棒から切り出して所定の試験片をつくつた。熱処理は 550°C に 6 時間加熱し同温度から投水、充分時効せしめた上 100—500°C の各温度に 6 時間宛焼戻(投水)を行つた。

全試験を通じスタントン打撃試験機の錘の落下高は 1 1/2", 1 分間の打撃回數は 80 である。試験結果は Table LXV 及 Fig. 76 (PL. XXXI) に示した。數値は 2 回の平均値である。

Table LXV

Stanton 繰返し打撃試験

焼入時効 (550°C)	焼 戻 温 度 °C									
	100°C	150"	200"	250"	300"	350"	400"	450"	500"	
切斷迄の打撃數	695	666	1,020	730	404	298	262	246	292	374

Fig 76 に明かなる如く打撃數は 100°C の焼戻によつて多少減少し 150°C で極大に達しそれから次第に減少して 350—400°C で完全に軟化されて極小を示し更に温度が昇れば焼入の影響を受けて次第に打撃數を増加する。(400°C 以上のものは焼戻後 7 日後に試験した)

150°C に 6 時間焼戻したもの、打撃數は普通焼入時効せるデュラルミンのそれに殆んど等しい。

(4) 捻力試験——米國 Riehle 社製 70,000 cm. kg. の捻力試験機を用ひ 1" 丸棒から採つた試料に就き熱処理による捻力の變化を見た。結果は Table LXVI の如し。

Table LXVI

捻力試験

熱 處 理	Nominal Torsional Strength kg/mm ²	Angle of Twist per cm	備 考
550°C に 6 時間加熱投水時効	23.0	31°	試料直徑 = 18.28 mm (=d) 標點距離 = 130 cm T (twisting moment) = π/12 f _s · d ³ . f _s = ultimate intensity of shear stress 數直は 2 回の平均である
同上後 150°C に 30 時間焼戻	29.8	44.5°	

焼戻によつて捻力は増加しデュラルミンの捻力 30 kg/mm^2 (Düvener Metallwerke の實驗値) に殆んど等しくなる。

(5) 衝撃抗張力試験—— $1/2''$ 角棒から試料をとり (4) と同様の熱処理を施したものに就き Amsler 製 Universal Tap Machine を以て衝撃抗張力試験を行つた。其結果は Table LXVII の如くである。(數値は 2 回の平均値)

Table LXVII

衝撃抗張力試験

熱處理	衝撃抗張力 M.kg/mm ²	伸長率 %	断面縮少率 %	試料直徑 = 10.12 mm 標點距離 = $4\sqrt{A}$ (A = 斷面積) 錘の重量 = 20 kg 錘の落下高 = 3 m
焼入時効	0.367	27	50.5	
焼戻	0.291	24	29.5	

衝撃抗張力は焼戻によつて減少し、伸長率、断面縮少率も亦小となる。

(6) アイゾット衝撃試験——試験機は Avery 會社製 Izod 式打撃試験の標準型(30 kg.M) を用ひた。試料は $1''$ 丸棒から採り熱処理は捻力試験と同様。其結果は之を Table LXVIII に示した。

Table LXVIII Izod 衝撃試験

熱處理	吸收勢力 (アイゾット値) cm.kg.
焼入時効	12.5
焼戻	10.0

焼戻によりアイゾット値はや
ゝ減少する

(7) 高温度に於ける衝撃硬度試験—— $1''$ 丸棒から採つた試料を 550°C に 6 時間加熱投水時効の上 150°C に 30 時間焼戻したもの、即ちブリネル硬度 120 のものを用ひて 400°C 迄の衝撃硬度試験を行つた。試験機及硬度の計算法は著者の前論文に記載したものと同様である。試料は所定温度に 30 分宛保ち然る後錘(1kg) を 200mm の高さから落下せしめた。試験結果は Table LXIX

及 Fig. 77 に示した如くである。

Table LXIX 衝撃硬度試験

	温 度 $^\circ\text{C}$							
	常 温	100	150	200	250	300	350	400
衝撃硬度	293.8	283.3	270.3	271.5	206.0	162.0	130.0	99.2

200°C 迄は硬度の減少は著しくない。

III 腐蝕試験

腐蝕試験用に供した C6 合金の試料は 2mm 板で大きさは $4 \times 8 \text{ cm}$ 、これと比較試験を行つたデュラルミンも同大で 2mm の當社製品である。

腐蝕液は同種の試料 2 枚に對し 1 立を用ひた。試料表面の處理其他すべて第一篇第四章の溶解度試験と同様である。

(1) 沸騰食鹽水中の試験——食鹽水の濃度は 3.5% で液を沸騰せしめ乍ら 1 日 5 時間宛試験した。5 時間の試験後は液中から試料を取り出し刷毛をかけて水洗しアルコール中で脱水し乾燥の上翌日の試験に供した。斯くすること 3 日即ち 15 時間毎に秤量し腐蝕液を新にして試験すること 24 日、總計 120 時間の試験を行つた。食鹽は純粹のものを用ひ、用水は水道水を使用した。又蒸發による液の減少は 30 分毎に水道水を以て補つた。

試料の種類は次の四種である。

1. C6 合金 (1, 2) 550°C に 1 時間加熱投水し充分常温で時効せしめたもの
2. 同上 (61, 62) 同上の熱処理後 150°C に 6 時間焼戻したもの
3. 同上 (301, 302) 同上 30 時間の焼戻を行つたもの
4. デュラルミン (D1, D2) 当社製品、焼入時効せるもの

以上試料の抗張力試験結果をあぐれば次の如し。

試料	抗張力 kg/mm ²	伸張率 (50mm)%
C6(1,2)	38.5	19.5
C6(61,62)	41.7	22.0
C6(301,302)	43.8	22.0
D1, D2	42.0	19.0

試験結果は Table LXX 及 Fig. 78 (PL. XXXI) に示すが如く時間の経過に伴ひ重量の損減を増加する。30 時間位迄は C6 の焼入せるもの及 30 時間焼戻せるものゝ方が 6 時間焼戻せるもの及デュラルミンよりも減量が少い。又 61, 62 と D1, D2, とは大略等しい減量を示し兩者とも表面が黒色光澤あるものとなるが、

他の二者は餘り黒くならない。更に時間が進むと 1, 2, 301, 302 の腐蝕程度が他の二者よりも甚しくなり減量が増加する。61, 62 之に次ぎ D1, D2, は最も減量が少い。又表面に出来る Pitting の多少も減量に正比例する。腐蝕試験後の試料を Photo 25 に示した。

Table LXX 沸騰食鹽水 (3.5%) 中の腐蝕試験 (減量 mg/cm²)

	處 理 時 間							
	15 ^h	30 ^h	45 ^h	60 ^h	75 ^h	90 ^h	105 ^h	120 ^h
	mg/cm ²							
No. 1, 2	0.01	0.09	0.25	0.48	0.73	1.92	1.14	1.45
61, 62	0.05	0.12	0.24	0.37	0.58	0.76	0.93	1.10
301, 302	0.00	0.10	0.27	0.42	0.75	0.97	0.15	1.42
D1, D2	0.05	0.13	0.22	0.30	0.40	0.50	0.64	0.70

(2) 0.1% 硫酸中の試験——濃度 0.1% の硫酸を用ひ 10 日目毎に秤量し液を新にした。試験温度は常温、期間 30 日。其結果は Table LXXI 及 Fig. 79 (PL. XXXI) の如く C6 (61,62) もデュラルミンも其減量に大差はない。

Table LXXI

0.1% 硫酸中の腐蝕試験 (減量 mg/cm²)

No.	10日	20日	30日
61	1.66	3.18	5.68
62	1.53	3.00	5.38
D1	1.76	3.20	5.88
D2	1.72	3.15	5.07

IV 總 括

1) C6 合金 (6%Cu の Al-Cu 合金) は其板材なる
と棒材なるを問はず適當の焼入及焼戻によつてデュラル
ミンに匹敵する抗張力及伸長率を有せしめ得る。

2) C6 合金は焼戻によつて焼入時効したものよりも
硬度、抗張力、捻力、スタントン打撃數 (焼戻時間の長

きに過ぎない時は伸長率も) を増加する。そしてこれらの諸性質はデュラルミンの夫等に劣らない。

3) 但し焼戻によつてアイゾット値及衝擊抗張力を減ずる。

4) 高温度の衝擊硬度 (焼入、時効及焼戻せるものゝ) は 200°C 迄は殆んど變化ない。

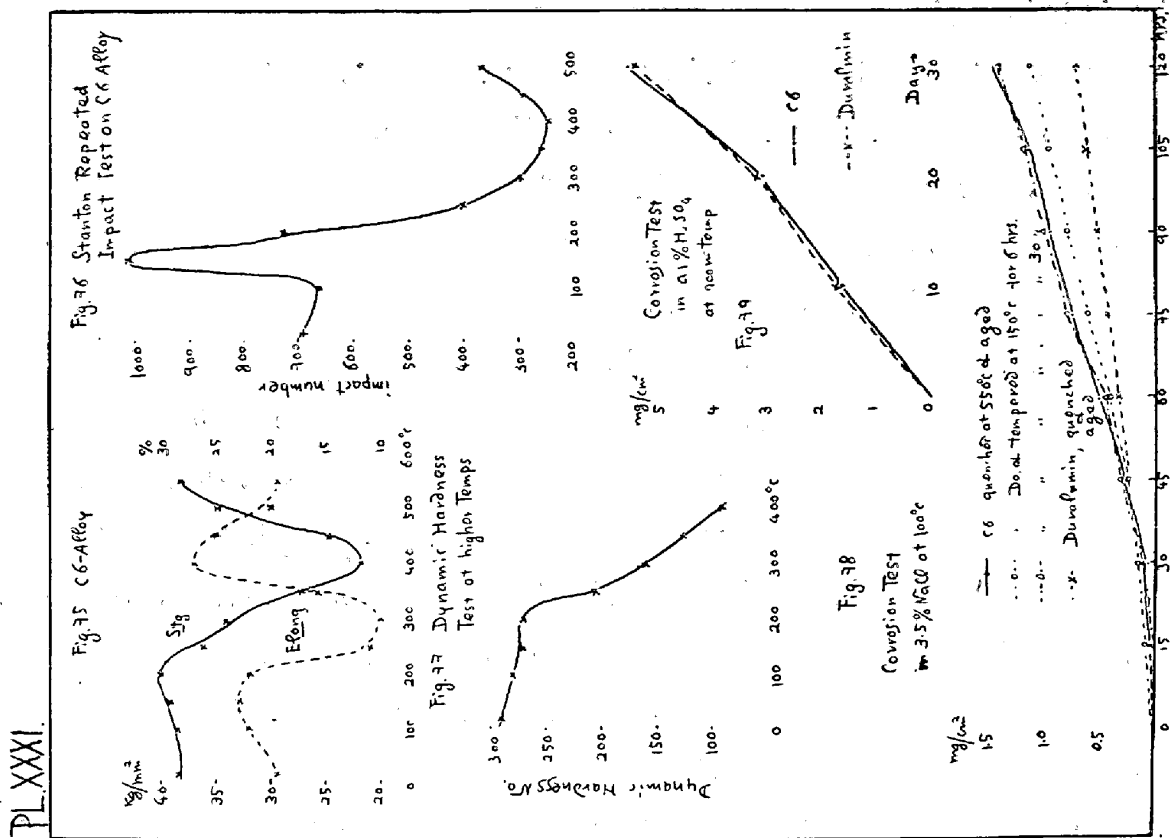
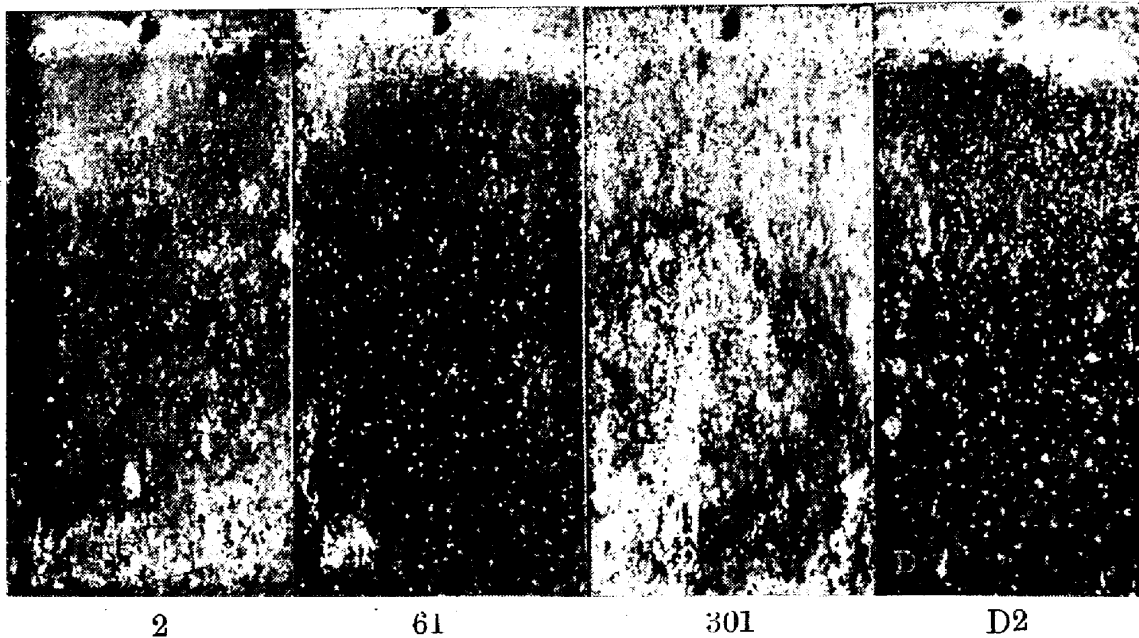


Photo. 25

C6—Alloy

Duralumin



Specimens of C6-Alloy and Duralumin, after corroded in boiling 3.5% NaCl. Solution for 120 hrs.

5) 沸騰食鹽水中に於ける腐蝕抵抗力はデュラルミンに劣り、稀硫酸中に於ける夫れは大差ない。

第一章 文 獻

69. Tanabe: J. Soc. Mechn. Engrs. Vol. 28, No. 102, 1925.

70 Archer & Jeffries: Iron Age, Vol. 115, p. 666, 1925.

第二章 C6合金に及す他金属の影響

本章には C6合金にマンガン、珪素、亜鉛、タングステン及ニッケルを夫々少量宛添加したるものに就き行つた試験の結果を述べる。

これらの添加金属の影響がアルミニウム中の Al_2Cu の高温度に於ける溶解度を増加する様に働けば焼入焼戻による性質の改良が可能な譯である。

試作した合金の組成は Table LXXII の如し。

Table LXXII

No.	Cu %	添加金属%
C6 M	6.22	Mn=0.58
" S	5.92	Si =0.82
" Z	6.05	Zn =0.84
" W	5.73	W =0.44
" N	6.20	Ni =0.99
C4 N	3.86	Ni =1.03

各合金は 1.5kg で金型に鑄造した。添加金属は何れも単體として熔融せしめた。金型鑄放しのもの、顯微鏡組織を Photo. 26—30 に示した。得た厚さ約 15mm の鑄物を熱壓延で 7mm となして軟化しそれから途中軟化することなしに常溫壓延で 2mm 板に仕上げた。

以下少しく以上の合金系の文献を調べて見よう。

Al-Cu-Mn 系のアルミニウム側は Rosenhain⁷¹⁾ 等によつて不完全に研究されてゐる許りである。併し各二元系から考へると Cu=2% 以上の三元系は「固溶體(Al + Cu) + Al_2Cu + $MnAl_3$ 」から成立してゐると思はれる。

Al-Cu-Si 系は未だ研究されたものがないが、これも各二元系から推考すればこゝに取扱つた様な組成では「固溶體 (Al+Cu+Si)+Cu Al_2 + Al-Si の共融晶」から成立する。

Al-Cu-Zn 系は Levi-Malvano & Marantonio⁷²⁾ 及 Rosenhain 一派³⁾ によつて研究されてゐるが Cu=6% Zn=1% では「固溶體 (Al+Cu+Zn)+ Al_2Cu 」から成立してゐる。

Al-Cu-W 系は從來研究されたものがない。多分こゝに取り扱つたものは「固溶體 (Al+Cu) + Al_2Cu + Al-W の共融晶」から成立してゐると想像される。

Al-Cu-Ni 系は Bingham & Houghton⁷³⁾、後藤三島兩氏¹⁹⁾ によつて研究され殊に前者はアルミニウム側を仔細に研究してゐる。これらの結果を綜合すると 0.25%Ni、1%Cu 以上では合金は「固溶體 (Al + Cu+Ni)+Cu Al_2 + $NiAl_3$ + T (三元の成分で $CuAl_2$ 及 $NiAl_3$ に分れ得る)」から成立してゐる。

從來焼戻を主として硬化の目的を達せんと試みた Al-Cu 系を元としてゐる合金の研究は Al-Cu-Mn 系に就ては Partevin & Le Chatelier⁷⁴⁾、Al-Cu-Si (Lautal) に就ては Meissner⁷⁵⁾ によつてなされた。又 Jeffries⁷⁶⁾ もこの方面に關し一文を公にしてゐる。尙本文執筆の際 Bingham が Al-Cu-Ni 系に就き焼入時効及焼戻を研究した論文を見た。

著者の研究はこれらと全く獨立に C6合金に他金属を添加することの有利なりや否やを検せんがために行はれたものなることを明記して置く。

I 焼入及焼戻による硬化

前記試料から抗張力及硬度試験片を切り出し 30 分宛 100—580°C の各温度に加熱し水中焼入を行った。硬度は投水直後と 1 週間時効後に、抗張力は時効後のみに測定した。これらの実験値 (2 回の平均) は Table LXXIII に示すが如くである。

C6N 合金は焼入時効及焼戻効果は他のものに比し非常に微弱で有望でないので実験を中止した。又 C4N に関しては以前著者の行つた実験があるので之を摘記すれば 580°C から焼入し常温時効の上 100°C に 300 時間焼戻すと次の如き機械的性質を有するに至る。

抗張力	38 kg/mm ²
弾性限(3"/1,000)	17 "
伸長率(50mm)	23 %
ブリネル硬度	97

兎に角 Al-Cu-Ni 合金はニッケルの添加によつて Al₂Cu の溶解度を高温度に於ても低温度に於ても同等に増加するので時効及焼戻硬化が少いのである。(前記 Bingham の論文参照のこと)

Table LXXIII.

焼入温度 °C	C 6 M				C 6 S			
	ブリネル硬度		抗張力 kg/mm ²	伸長率 %	ブリネル硬度		抗張力 kg/mm ²	伸長率 %
	直後	時効			直後	時効		
常温	80	—	29.2	4	79.3	—	26.2	4
100	81	—	29.9	5	79.5	—	26.3	4
150	74	—	—	—	76.5	—	—	—
200	71.4	—	27.4	6	73.0	—	25.6	5.5
250	68	—	—	—	63.2	—	—	—
300	67.5	—	24.3	7	59.5	—	20.0	10.5
350	63.2	—	—	—	48.5	—	19.3	16.5
400	60	—	24.0	13	51.0	51.3	21.5	19
450	62.5	63	—	—	57.0	57.5	22.9	18
500	64.5	67	30.5	18	62.3	66.0	28.7	17
550	77	89.5	36.9	18	77.5	85.0	32.2	17
575	70	81	—	—	—	—	—	—
焼入温度 °C	C 6 Z				C 6 W			
	ブリネル硬度		抗張力 kg/mm ²	伸長率 %	ブリネル硬度		抗張力 kg/mm ²	伸長率 %
	直後	時効			直後	時効		
常温	75.8	—	26.3	5	73.0	—	27	4
100	73.5	—	26.1	5.5	71.5	—	27	5
150	71.3	—	—	—	75.0	—	—	—
200	62.5	—	22.8	6.5	64.0	—	23.8	6
250	41.0	—	—	—	66.0	—	—	—
300	40.7	—	15.9	19.5	53.5	—	19.8	11
350	47.0	48.0	16.7	20.5	44.0	—	18.1	17
400	49.5	53.0	19.3	21	47.0	49.0	19.6	18

Tables LXXIII & LXXIV を圖示すれば Figs. 80—83 (Pl.s. XXXII—XXXIII) の如くなる。

II 總 括

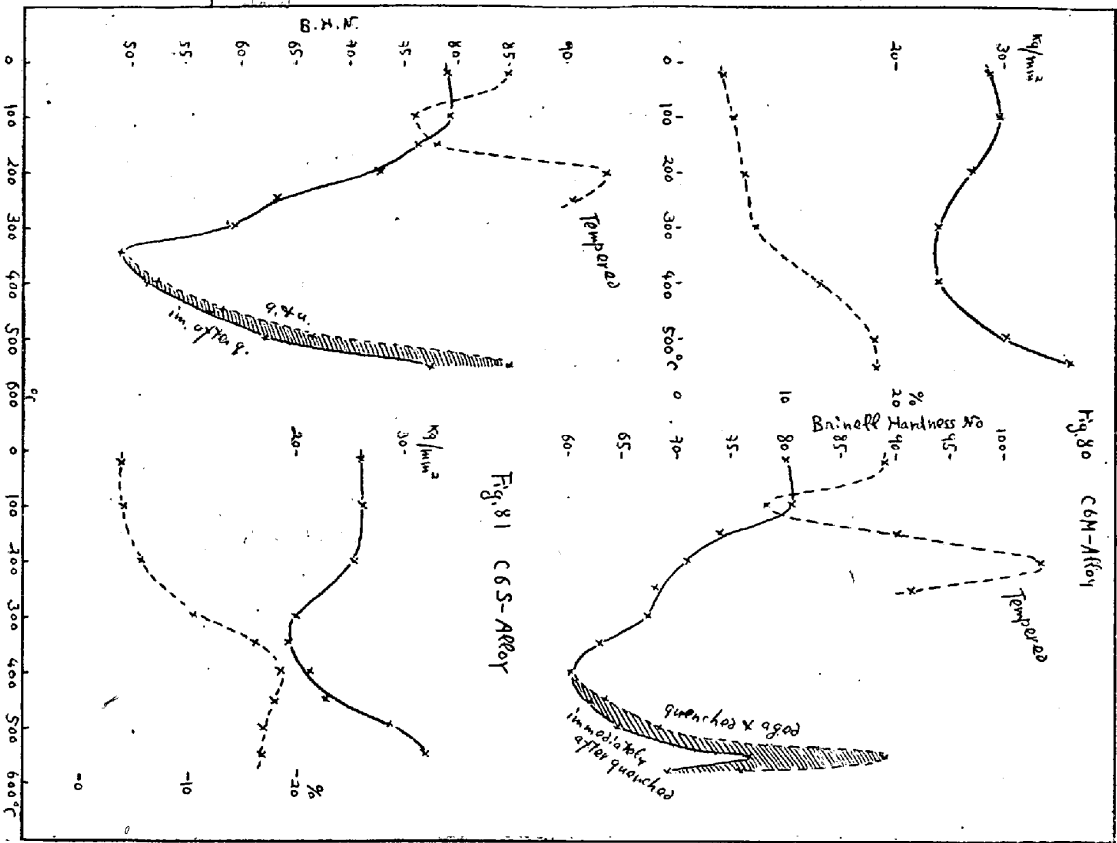
- 1) C6 合金に少量のマンガン、硅素、亜鉛及タングステンを添加したものを焼入焼戻を行ふと抗張力 39.3—41kg/mm²、伸長率 17—23.5% のものを得る。
- 2) これを前章 C6 合金の成績に比較すれば少なくとも抗張力試験の關する限り C6 合金には前記金屬を添加するの必要を認めない。殊にニッケルは甚しく C6 合金の性能を害する。

第二章 文 獻

71. Rosenhain: Ninth Report to the Alloys Research Committee, 1910.
72. Levi-Malvano & Marantonio: Abst., J. Soc. Chem. Ind., Vol. 31, 1912, p. 494.
73. Bingham & Haughton: J. Inst. Met., Vol. 29, 1923.
74. Portevin & Le Chatelier: Rev. de Mét., 21^e Année, 1924, p. 233.
75. Meissner: Z. f. metallk., Bd. 17, 1925, S. 369.
76. Archer & Jeffries: Trans. Am. Inst. Min. & Met. Eng., Vol. 71, 1925, p. 828.
77. Bingham: J. Inst. Met., 1926, No. 2 (Advance copy.)

田邊友次郎「焼戻硬化するアルミニウム合金の研究」				田邊友次郎「焼戻硬化するアルミニウム合金の研究」			
(II) 中の正誤表				(III) 中の正誤表			
頁	行	正	誤	頁	行	正	誤
560	6	と題して	と題して	645	TableXLI	伸長率	延伸率
"	18	焼入	燃入	647	1	二合金	に合金
567	22	Goyler	Gayler	651	(下から)4	thermische	Thermische
568	9	焼入	燃入	"	(")1	α	π
				657	2	β相から	β相なら
				666	9	$v_{\beta} > v_{\gamma} > v_{\alpha}$	$v_{\beta} > v_{\gamma} > v_{\alpha}$
				667	3	抑々	柳々
				"	6	溶け入る	溶入る
				"	25	Jeffries	Teffris
				"	"	散亂度	散乳度

PLXXVII



PLXXVIII

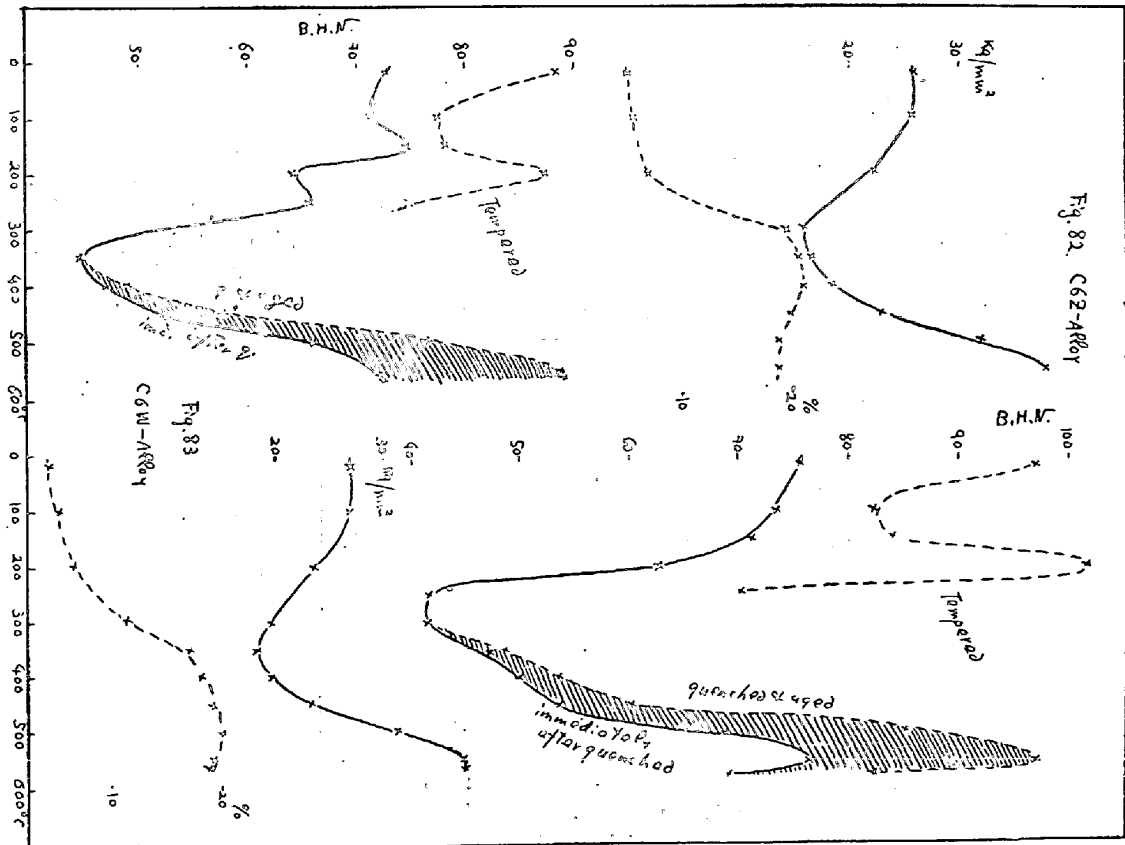
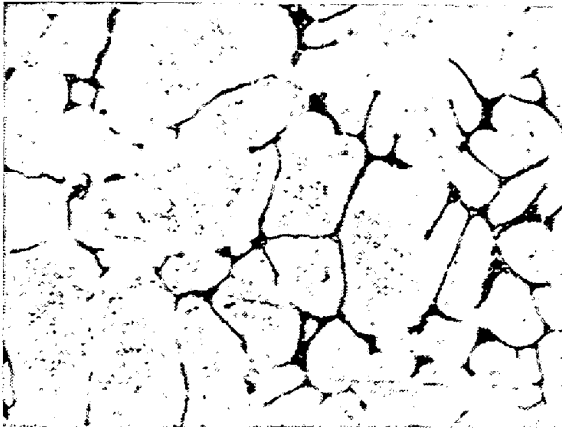


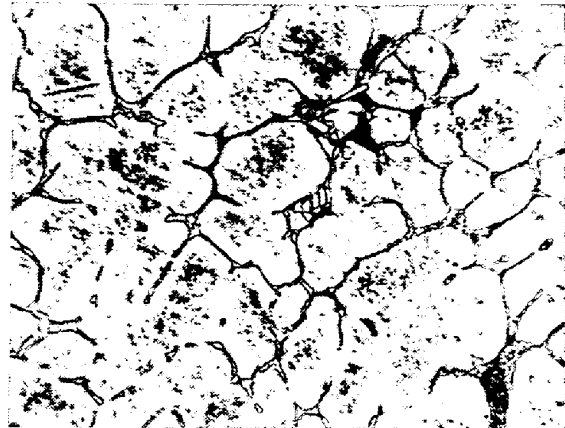
Photo. 26



× 200

C6M (6.22%Cu, 0.58% Mn)
 (etched with hot 20% HNO₃)
 as cast

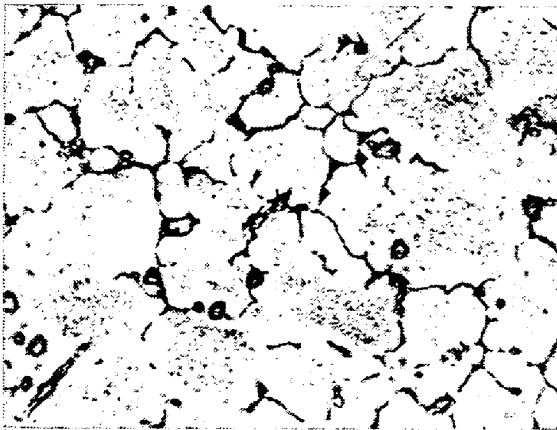
Photo. 27



× 200

C6S (5.92%Cu, 0.82%Si)
 (etched with 10% NaOH)
 as cast

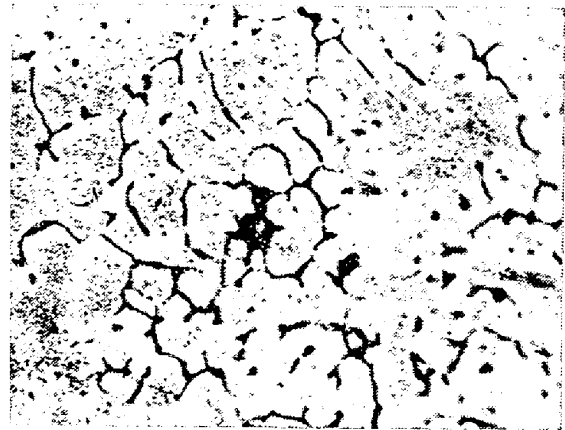
Photo. 28



× 200

C6Z (6.05%Cu, 0.84%Zn)
 (etched with 20% HNO₂)
 as cast

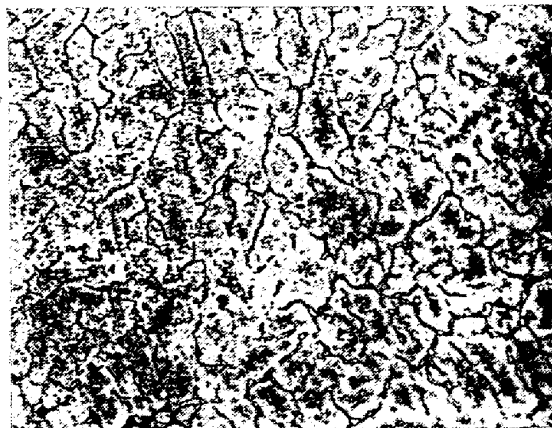
Photo. 29



× 200

C6W (5.73%Cu, 0.44%W)
 (etched with 20% HNO₃)
 as cast

Photo. 30



× 200

C6N (6.20%Cu, 0.99%Ni)
 (etched with 10% NaOH)
 as cast