



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	加工デュラルミン系合金の低温焼鈍或は復元処理に依る性能改善効果及びその機構（第1報）
Author(s)	幸田, 成康
Citation	Memoirs of the Faculty of Engineering, Hokkaido Imperial University, 7(2), 465-496
Issue Date	1944-06-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/37738
Type	departmental bulletin paper
File Information	7(2)_465-496.pdf



加工デュラルミン系合金の低温焼鈍 或は復元処理に依る性能改善効果及びその機構 (第1報)

北海道帝國大學工學部生産冶金工學研究室

幸 田 成 康

Sigeyasu Kôda: On the Low-temperature Annealing and the De-hardening Treatment of the Quenched and Cold-worked Duralumin Type Alloys. Part I.

I investigated next two points: (1) Condition of the heat-treatment which increases the mechanical properties (especially elongation) of the quenched and cold-worked duralumin type alloys and (2) its mechanism. This report is concerned with the former. Conclusions are that the optimum time of the heat-treatment (in min) at the temperature T (in absolute) is related the formula; $\frac{1}{T} = a + b \log t$ and the best condition is found at the lower temperature annealing than that already found.

目 次

I. 緒 言	465
II. デュラルミンに對する實驗	466
III. 24 S に對する實驗	476
IV. アルドライに對する實驗	482
V. 性能改善効果ある温度と時間の關係	486
VI. 加工デュラルミンに對する低温焼鈍の再實驗	488
VII. 焼入直後加工せる場合と焼入時後加工せる場合	491
VIII. 本方法の適用範圍	495
IX. 結 論	496

I. 緒 言

焼入後冷間加工を加へて抗張力を増大せしめたデュラルミンは、當然のことながら伸が非常に悪くなるが、これをある温度である時間加熱すると、抗張力は損はれず伸が2倍近くも改良される。著者は日本金屬學會の昭和16年度の春季大會に於て、かゝる事實が存在すること、並びにかゝることが可能な熱處理の温度及び時間は相當廣い範圍に亘つてゐることを簡単に指摘した。⁽¹⁾その後、この方法は成分の改良によらざる強力輕合金を得る一方法として注目された爲か、二三の人々により實際的な且つ興味ある實驗結果の發表を見た。⁽²⁾しかしこれ等の人々は工業的應用を急がれた爲、廣い範圍の温度・時間に對する吟味を行はず、

-
- (1) 内容一部は日本金屬學會誌第5卷(昭和16年)406に記載。その大會の時偶然にも神戸製鋼所三浦氏により、焼入後加工せる超デュラルミンに就きある熱處理を行ふと高性能のものを得ることが指摘された。その時三浦氏は熱處理條件を全然發表されなかつたが、これは後述の所謂復元處理による方法である。
- (2) 昭和16年以降の日本金屬學會大會に於て發表された。大會記録参照

單に (A) 150°C 1 時間位⁽³⁾ 及び (B) 220°C 乃至 225°C 數分といふ二種の熱處理條件を常に採用されてゐる。そして前者に對し“低溫焼鈍”後者に對し“復元處理”なる名稱を與へ、⁽⁴⁾ この二つの場合に就き伸の改善といふ形であらはれる性能改善効果を問題とされてゐる。依つて著者はこの現象を更に根本的に究めんが爲、次のことを問題として詳細な研究を行ふことにした。

第一、如何なる熱處理の溫度・時間でかゝる性能改善が行はれるか、熱處理溫度と熱處理時間の間に何か規則性は無いか。

第二、その機構。如何なる合金に於て可能か。

本報告に於ては先づ第一の問題を取扱ふこととする。

II. デュラルミンに對する實驗

(1) 試料.

(a) 組成. 第1表.

第 1 表 材料としたデュラルミンの化學組成

元 素	Cu	Mg	Mn	Fe	Si
%	4.11	0.49	0.44	0.30	0.27

(b) 製造工程. 焼入後の加工度を異にする線を得る目的で、線引途中の所定の線徑で加熱焼入し、直後⁽⁵⁾ 再び線引を續けて 2 mm に仕上げたもの 4 種を作つた。なほ比較のため 2 mm になつてから焼入したものをこれに加へた。(第 2 表)

第 2 表 デュラルミン試料の製造工程

試料記號	製 造 工 程	加工度
A	冷間線引 → 2.0 mm (510°C 1 時間加熱焼入、後充分常溫時效硬化せしむ)	0
B	→ 2.1 mm (同上焼入直後) 冷間線引 → 2.0 mm (常溫時效)	9
C	→ 2.4 mm (") → " " " " " "	31
D	→ 3.0 mm (") → " " " " " "	56
E	→ 3.5 mm (") → " " " " " "	67

(3) この處理による伸の回復に就いては、低加工度ではあるが次の文獻あり。田邊友次郎, 住友研究報告, (昭和 8 年), 624.

(4) この名稱はつまり加工したといふ側からみて前者に“低溫焼鈍”なる名を、又丁度熱處理條件が焼入常溫時效せるものの復元處理と一致するを以つて後者に“復元處理”なる名を與へられたのである。

(5) 都合上直後線引したが、後述する如く時效後線引しても現象のあらはれ方には差を見ない。

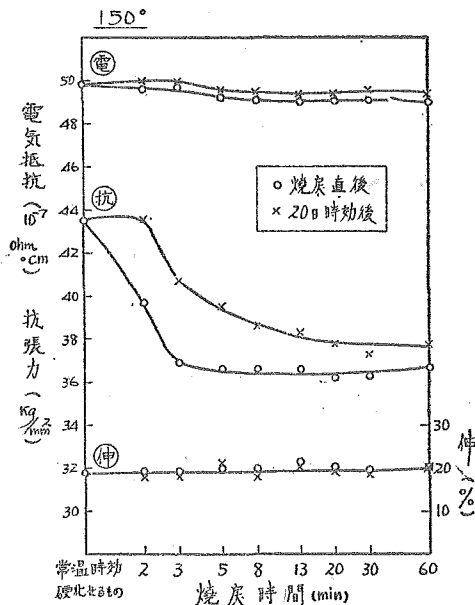
(c) 性能. 實驗は時效を考慮して製造後 1ヶ月以上経過してから行つた。その際の試料の性能は第1圖の如くであつた。(6)

(2) 實驗方法

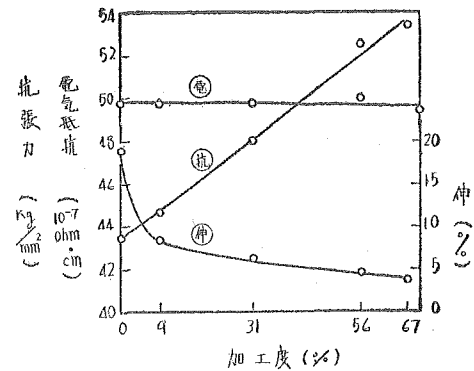
長さ 400 mm の試片を採取, それをそれぞれ 2~60 min., 150~250°C の所定温度になつた管状電気爐中に挿入加熱した後, 爐より引出して水冷し, 一部は直後に抗張試験(標點距離 200 mm)を, 一部は 20 日間 30°C の空氣恒溫槽中に放置後抗張試験及び電気抵抗試験を行つた。但し短時間の時には加熱時の時間のおくれを考へて試片 1 本宛加熱處理した。

(3) 實驗結果

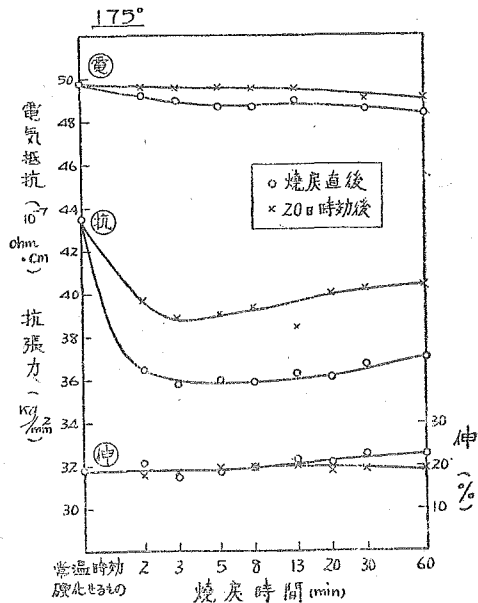
(a) 加工せざる場合. 2 mm に仕上後焼入時効せるものを, 上記温度に熱處理(焼戻)した時の結果を第2~6圖に挙げる。200°C, 5~13 min., 225°C, 3~8 min. 250°C, 2~5 min.



第2圖 常溫時効硬化せるデュラルミンを150°Cに焼戻處理せる場合。

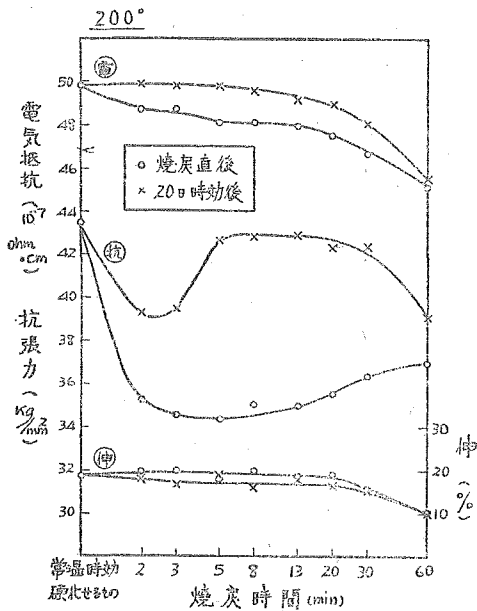


第1圖 加工度を異にする焼入加工デュラルミンの性能

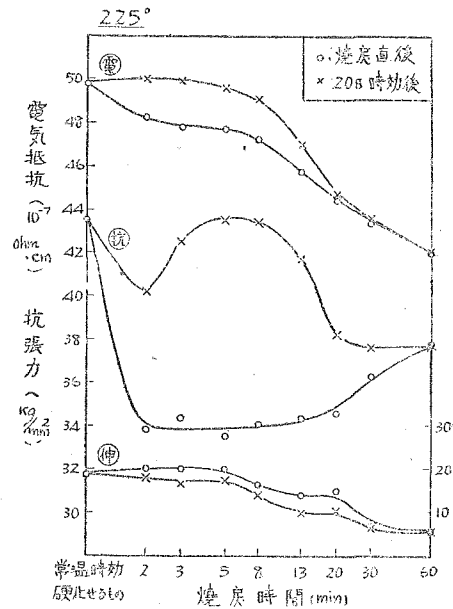


第3圖 同上 175°Cに焼戻處理せる場合。

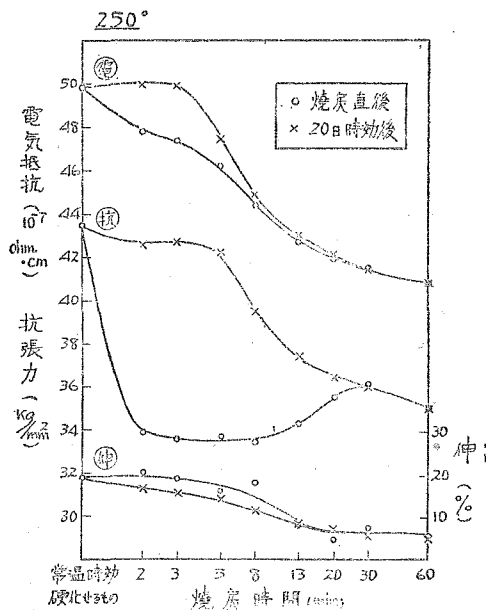
(6) 電気抵抗に殆ど變化が無いのが注目される。焼入直後加工した爲め, 加工硬化が常溫時効硬化をさまたげて, 加工硬化による電気抵抗増加とそれからの常溫時効硬化による電気抵抗増加との和が丁度焼入常溫時効硬化のみによる電気抵抗増加と等しくなつたのではあるまいか。



第4圖 同上 200°C に焼炭処理せる場合。



第5圖 同上 225°C に焼炭処理せる場合。



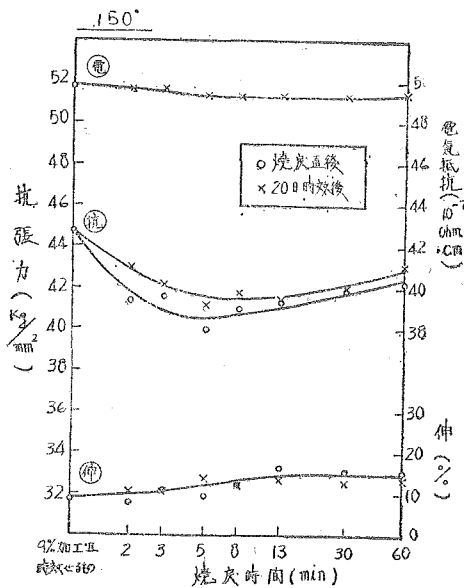
第6圖 同上 250°C に焼炭処理せる場合。

の焼炭處理に於て、顯著な復元現象が見受けられる。(圖の見方——記載の溫度に横軸の時間⁽⁷⁾だけ加熱即ち焼炭を行ひ、水冷直後測定した値が○印、それを 30°C に 20 日間時効せしめた後測つた値が×印、従つてこれ等二つを連ねる曲線の間隔が焼炭處理後の再時効硬化の量を示すわけである。)

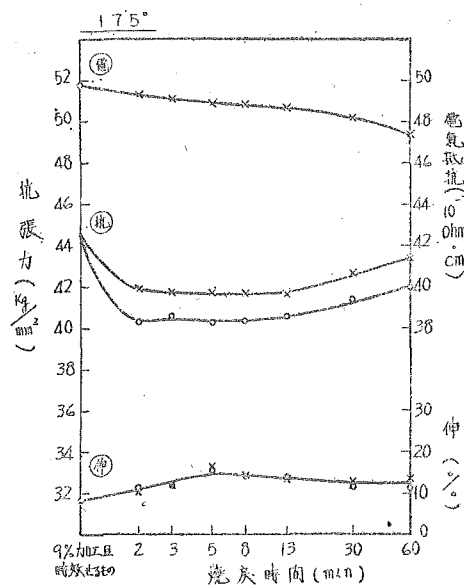
(b) 9% 加工の場合. 第 7~11 圖がその結果で、全般的に復元による軟化の程度が小さく、又一つの溫度に於ける復元による軟化及再時効を示す時間の範囲が狭くなつてゐる。同時に析出硬化の山が短時間側にづれてゐる。⁽⁸⁾ 尚こゝで注意されるのは、抗張試験結果の伸で、150°C では時間と共に良くなり、175°C では 5~13 min, 200°C

(7) スケールは對數目盛。

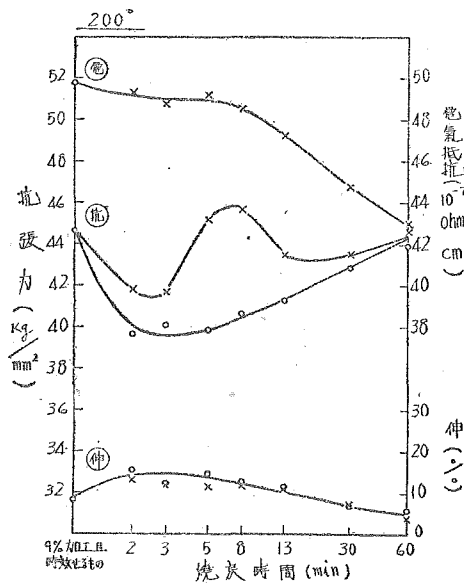
(8) 加工により析出が促進された。



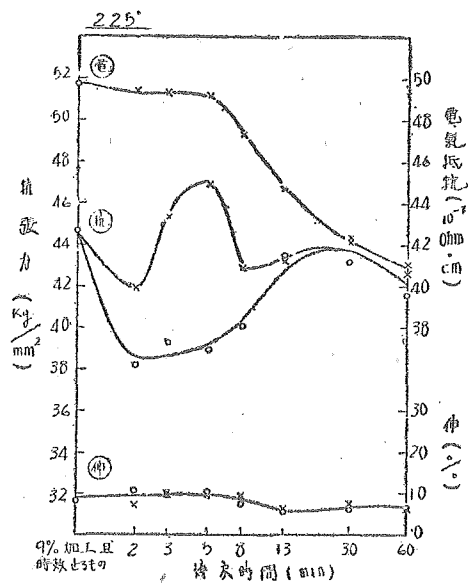
第7圖 焼入直後9%加工し且時効せしめたるデュラルミンを150°Cに焼戻處理せる場合。



第8圖 同上175°Cに焼戻處理せる場合。

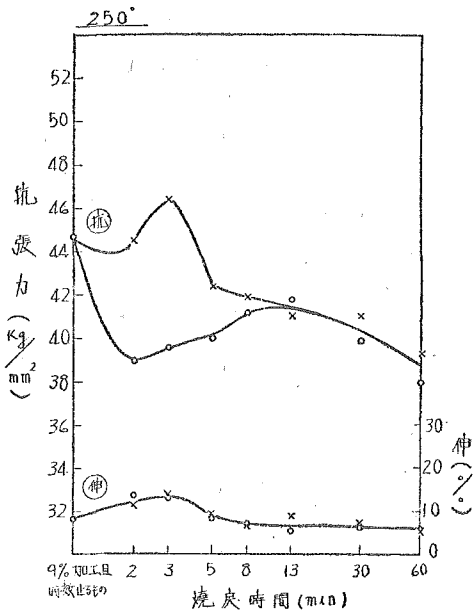


第9圖 同上200°Cに焼戻處理せる場合。

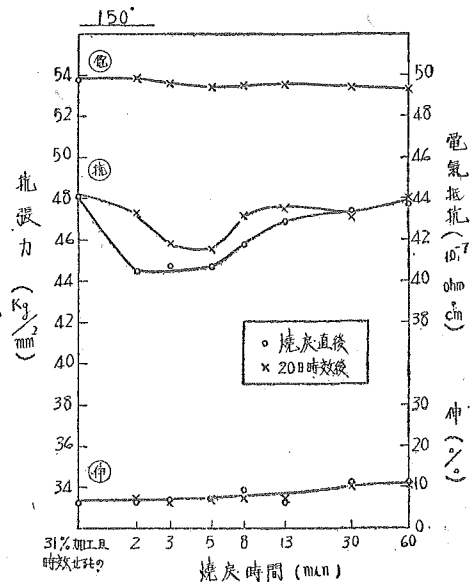


第10圖 同上225°Cに焼戻處理せる場合。

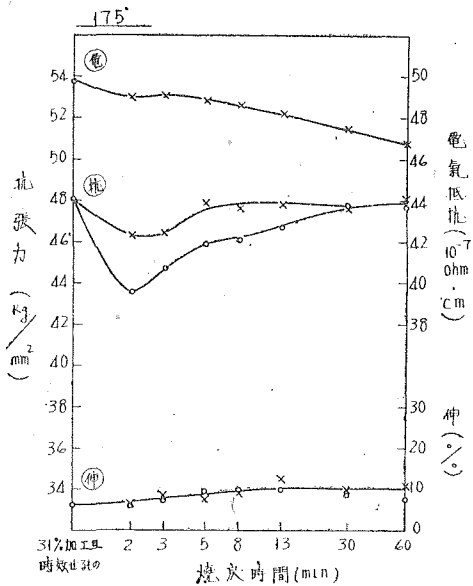
では2~5 min., 250°Cでは3 min. 位の處理により良くなつてゐることで、本研究で問題にせんとしてゐる効果があらはれてゐる。



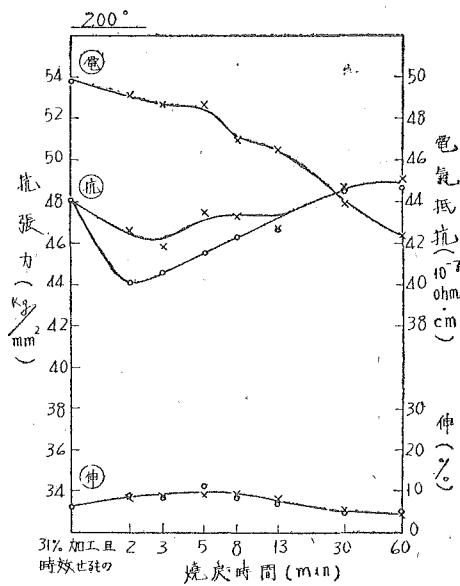
第 11 圖 同上 250°C に焼戻処理せる場合.



第 12 圖 焼入直後 31% 加工し且时效せしめたるデュラルミンを 150°C に焼戻処理せる場合.



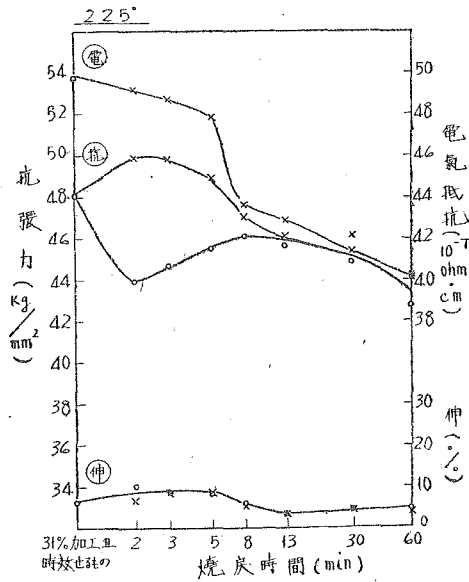
第 13 圖 同上 175°C に焼戻処理せる場合.



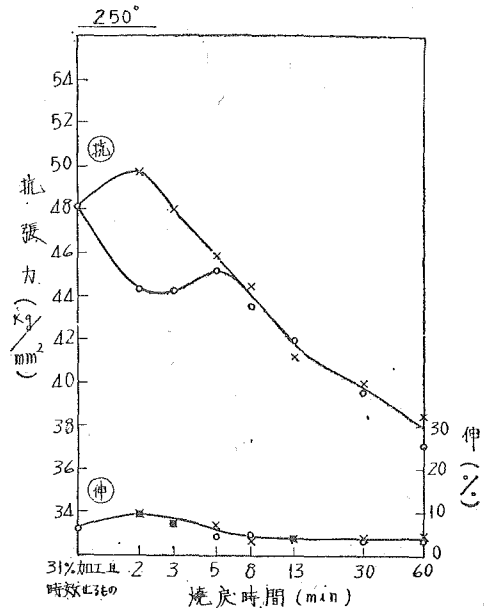
第 14 圖 同上 200°C に焼戻処理せる場合.

(c) 31% 加工の場合. 第 12~16 圖. 復元現象の表はれ方は 9% のもので見られた事が助

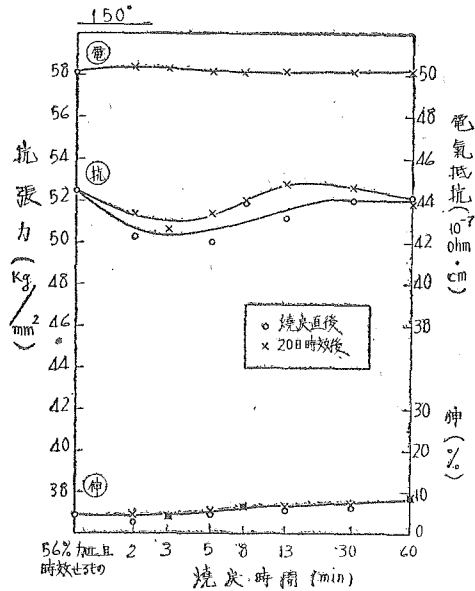
長されてゐる。性能上注目されるのは、第 15, 16 圖で見る様に、復元再時効後の抗張力が初めよりも増加してゐること、及び伸が 150~175°C の長時間、200°C の 3~8 min., 225°C



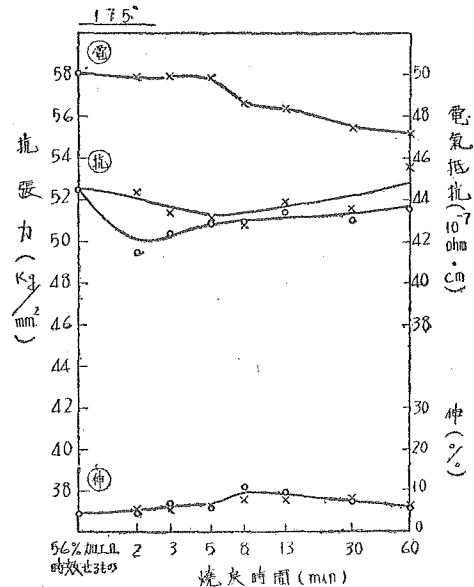
第 15 圖 同上 225°C に焼戻処理せる場合.



第 16 圖 同上 250°C に焼戻処理せる場合.



第 17 圖 焼戻直後 56%加工し且時効せしめたるデュラルミンを 150°C に焼戻処理せる場合.

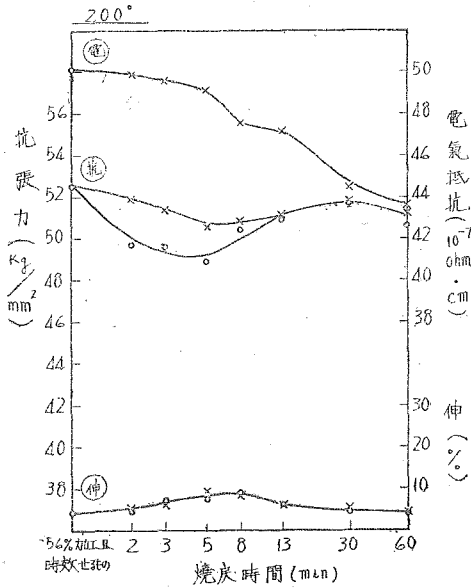


第 18 圖 同上 175°C に焼戻処理せる場合.

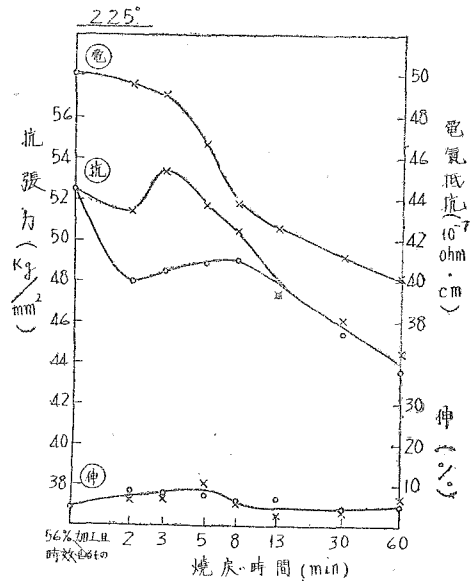
~250°C の短時間の熱処理で良くなつてゐることである。

なほ電気抵抗が孰れの熱処理に於ても漸減してゐる。

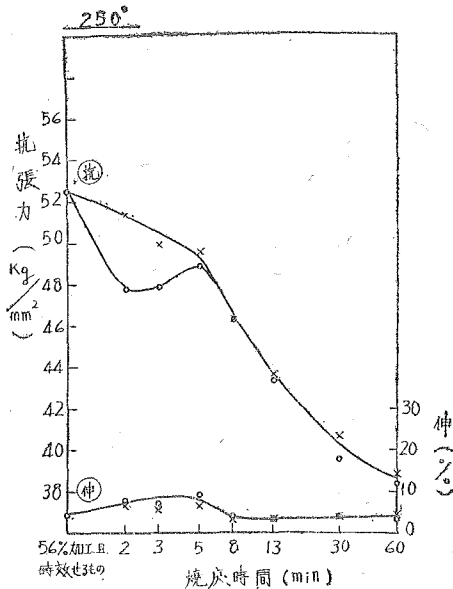
(d) 56%加工の場合、第17~21圖、前と同様の傾向。



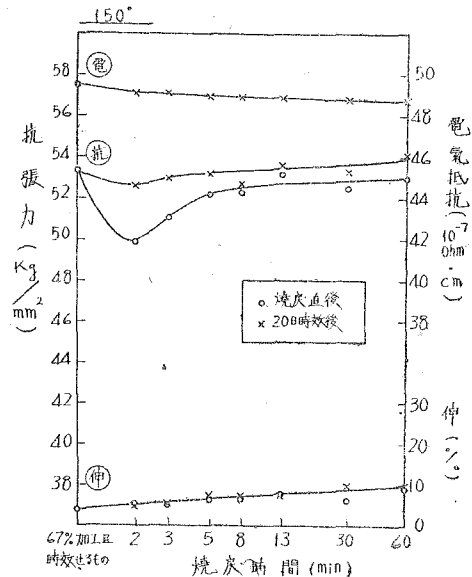
第19圖 同上 200°Cに焼戻処理せる場合。



第20圖 同上 225°Cに焼戻処理せる場合。



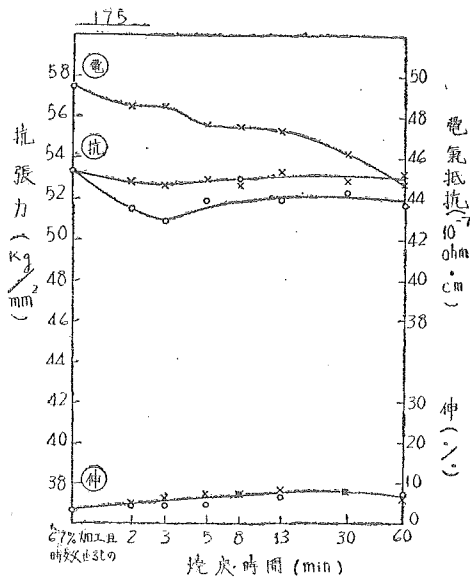
第21圖 同上 250°Cに焼戻処理せる場合。



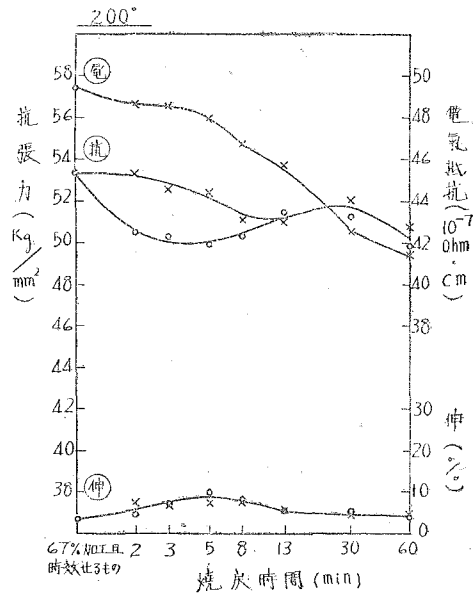
第22圖 焼入直後 67%加工し且時効せしめたるデュラルミンを 150°Cに焼戻処理せる場合。

(c) 67%加工の場合. 第22~26圖. 同様.

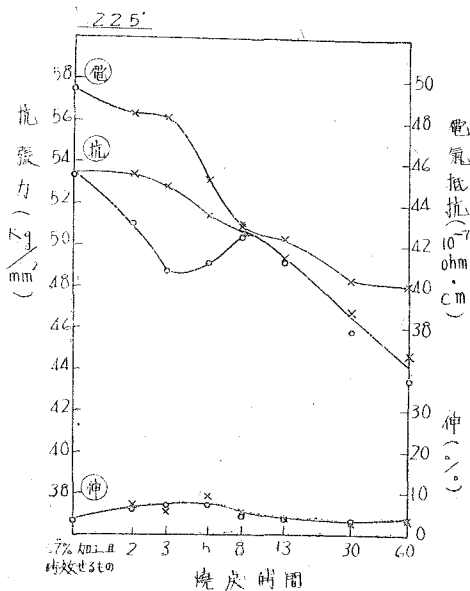
以上の如く孰れの場合に於ても, 焼入後加工したデュラルミンは, 相當廣い範圍の熱処理(焼戻處理とも焼鈍處理とも見られる)で, 抗張力が低下せず, 伸の良くなることが觀取され



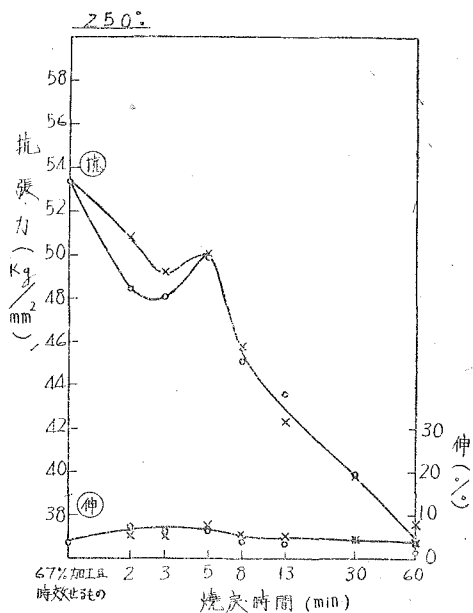
第23圖 175°Cに焼戻處理せる場合.



第24圖 同上 200°Cに焼戻處理せる場合.

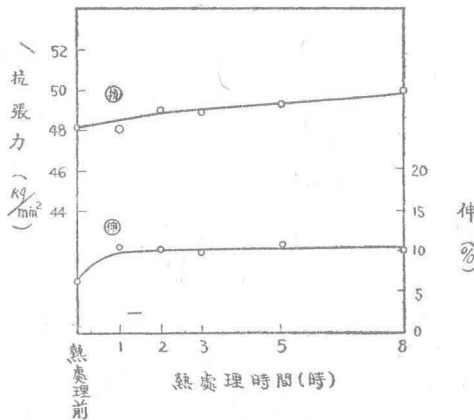


第25圖 同上 225°Cに焼戻處理せる場合.

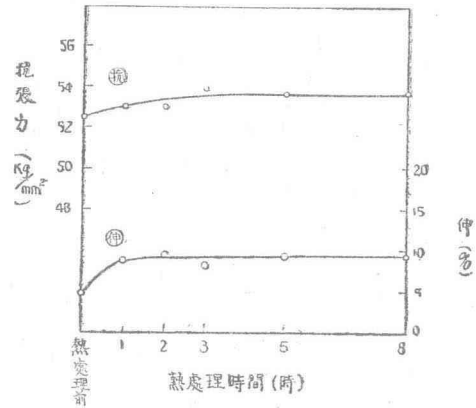


第26圖 同上 250°Cに焼戻處理せる場合.

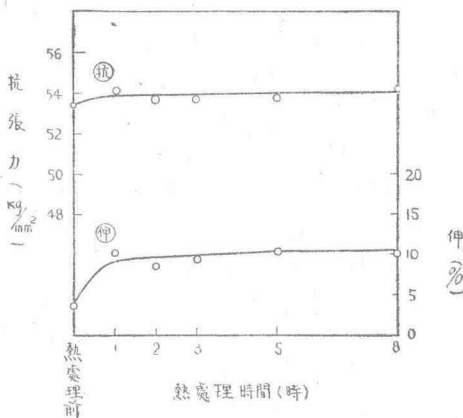
た。かゝる熱処理の内、上の実験結果から見ると 150°C 、1 時間が最も性能が良い。依つてこの時間を更に長くしてみた。その結果が第 27~29 圖で、これは熱処理後 20 日間放置後の性能であるが、結局 150°C では 1 乃至數時間位が最良の様である。



第 27 圖 加工度 31 % のデュラルミンの低温焼鈍効果

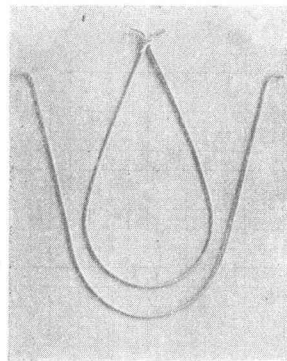


第 28 圖 加工度 56 % のデュラルミンの低温焼鈍効果



第 29 圖 加工度 67 % のデュラルミンの低温焼鈍効果

(f) 應力腐蝕性. 先に復元處理したデュラルミンは應力腐蝕に弱いといふことを述べた.⁽⁹⁾ 依つて加工したものに就き前と同じ方法即ち寫眞 1 の如く 300 mm の試片を直径



寫 眞 1

63 mm の丸棒に沿はせて曲げた後兩端を結び、3 % NaCl 水溶液に 1 日の内 7 時間浸漬し、残りの 17 時間は垂直に下げ自然乾燥せしめる乾濕法による實驗を行つた。第 3 表は加工せざる場合、第 4 表は加工せる場合で、56~67 % といふ強加工度の時には割れなくなるといふ興味ある結果を得た。加工が應力腐蝕性を改善してゐるわけで、これは加工により結晶粒

(9) 著者：日本金屬學會誌，第 5 卷 (昭和 16 年) 479。

第 3 表 焼入常溫時効硬化せるデュラルミンの應力腐蝕試験結果

温度 時間	150°C	175°C	200°C	225°C
2 分	割れず	割れず	割れず	9 日
3	"	"	22.5 日	6.5
5	"	11 日	3	3.5
8	37 日	2.5	2	5
13	33	3.5	2	3.5
30	4	2	1.5	3.5
60	4	2	1.5	7.5
處理せず	割れず			

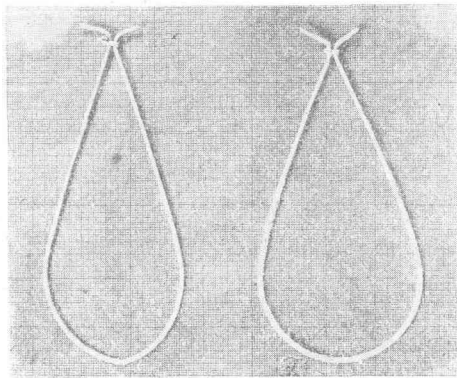
第 4 表 焼入後加工せるデュラルミンの應力腐蝕試験結果

試料	温度 時間	150°C	175°C	200°C	225°C
B (9%加工)	2 分	割れず	割れず	割れず	6 日
	3	"	"	5.5 日	12.5
	5	"	7 日	2	2.5
	8	"	5	3	2
	13	9.5 日	5	3	12.5
	30	7	2	8	割れず
	60	5.5	2	割れず	"
	處理せず	割れず			
C (31%加工)	2 分	割れず	割れず	割れず	割れず
	3	"	"	24.5 日	2 日
	5	"	9 日	4	2.5
	8	"	3.5	4.5	割れず
	13	"	13.5	8.5	"
	30	"	13	割れず	"
	60	6 日	21		"
	處理せず	割れず			

D (56%加工)	2~60 分	割 れ ず	割 れ ず	割 れ ず	割 れ ず
	處理せず	割れず			
E (67%加工)	2~60 分	割 れ ず	割 れ ず	割 れ ず	割 れ ず
	處理せず	割れず			

備考；破斷までの日數を示す，小數點下は平均の結果出た數字

が小さくなつた爲，粒界腐蝕に基因する切込効果が却つて減少した爲であらう。寫眞2の左の試片は破斷せるものを示す。



↑ 寫 眞 2

III. 24S に對する實驗

(1) 試 料

(a) 組成，第5表

第 5 表 材料とした 24S の化學組成

元 素	Cu	Mg	Mn	Si	Fe
%	4.79	1.69	0.56	0.22	0.29

(b) 製造工程，焼入直後 9% 及び 31% 加工の 2mm 線を作つた。焼入溫度は 495°C. 加工性の悪い爲め強加工度のものを得ることが出来なかつた。

(c) 性能，實驗には矢張り製造後 1 ヶ月以上時効せしめてから使用した。その時の性能を第 6 表に示す。

第 6 表 焼入直後加工せる 24S の性能

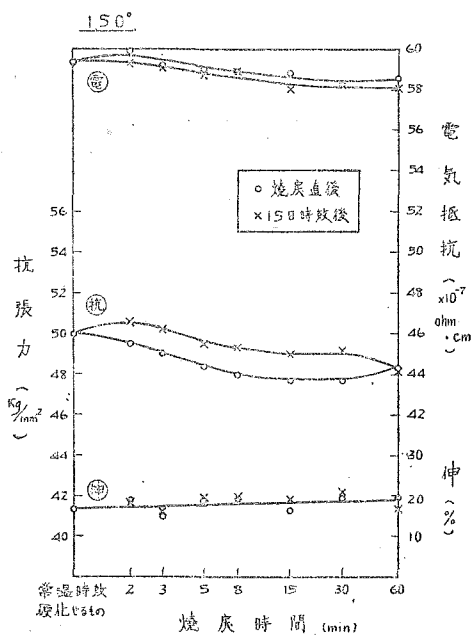
	抗 張 力 kg/mm ²	伸 % ; 200 mm	電 氣 抵 抗 10 ⁻⁷ ohm·cm ; 20°C
焼入時効硬化せるもの	50.0	16.9	59.4
焼入直後 9%加工し時効せるもの	52.8	10.0	57.7
" 31% "	59.5	4.1	58.4

(2) 実験方法

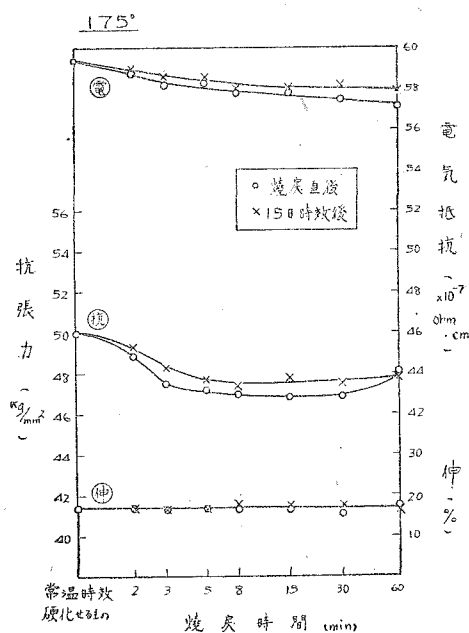
デュラルミンの時と同じ。たゞ時効後の性能は 30°C 15 日間放置後に測つた。又電気抵抗測定を熱処理直後にも行つた。

(3) 実験結果

(a) 加工せざる場合。第 30~34 圖⁽¹⁰⁾



第 30 圖 常温時効硬化せる 24S を 150°C に焼入処理せる場合。

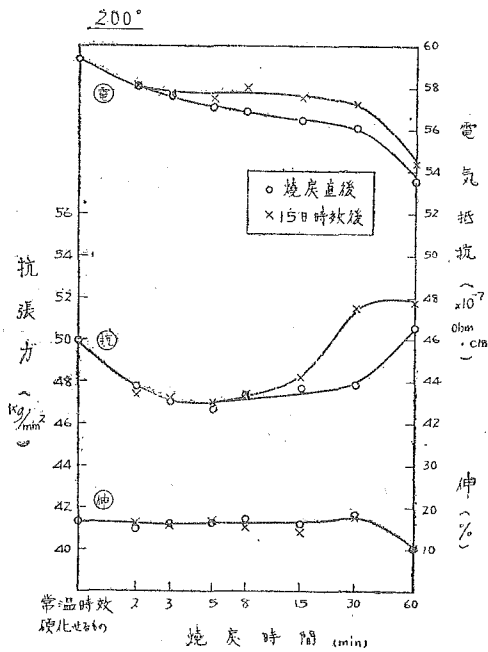


第 31 圖 同上 175°C に焼入処理せる場合。

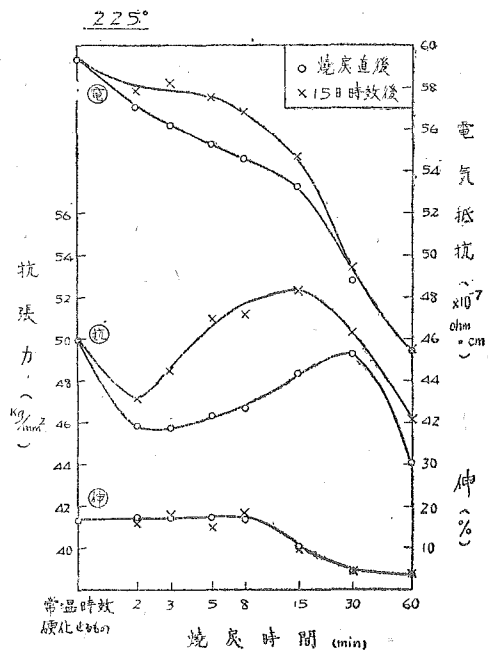
(b) 9%加工の場合。第 35~39 圖。

(c) 31%加工の場合。第 40~44 圖。矢張り劣化した仲がある温度と時間の範囲の熱処理で改良されてゐる。

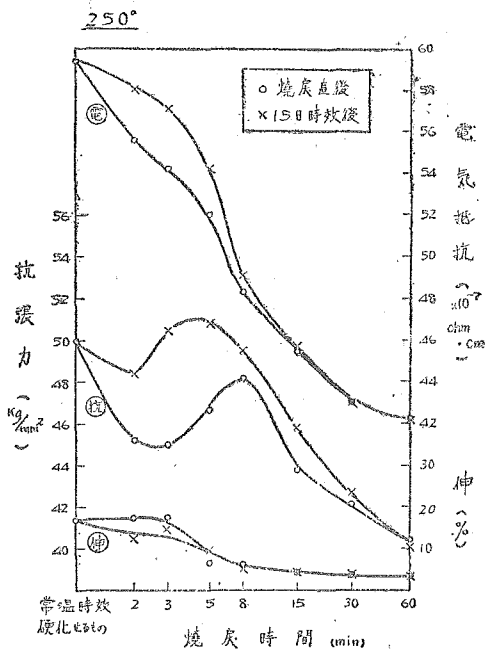
(10) 24S 合金の特長たる、軟化の後の再時効を最も良く示す個處が、丁度析出硬化の山の一步手前で析出硬化の山と相當重り合ふといふ現象が見られる。これは復元処理により組織の大部分が復元すると同時に組織一部が既に析出硬化を示す爲めであらう。



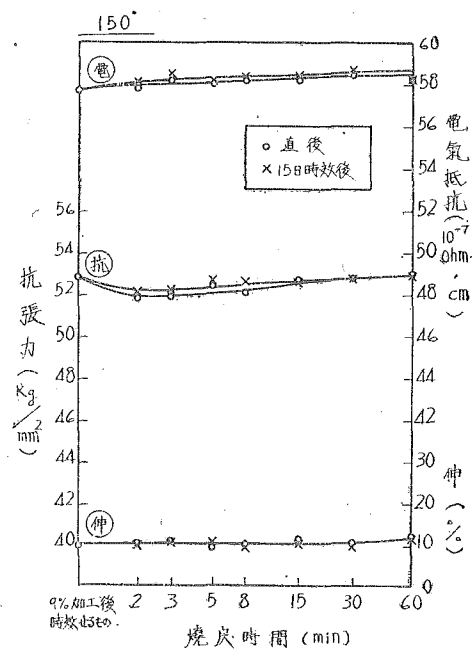
第 32 圖 同上 200°C に焼炭処理せる場合.



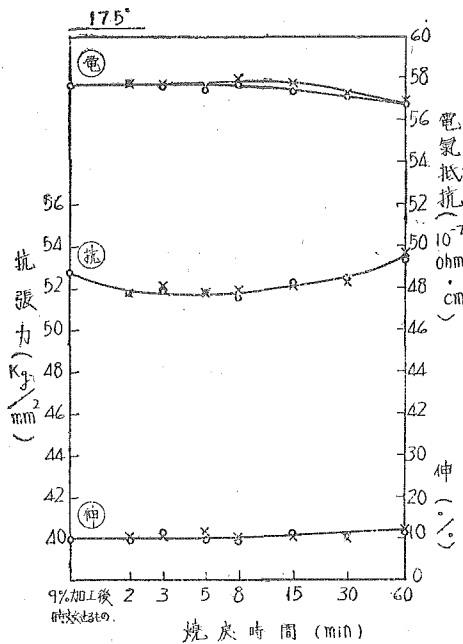
第 33 圖 同上 225°C に焼炭処理せる場合.



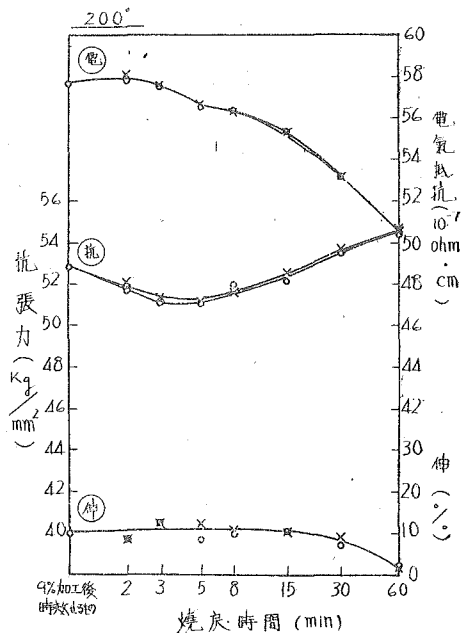
第 34 圖 同上 250°C に焼炭処理せる場合.



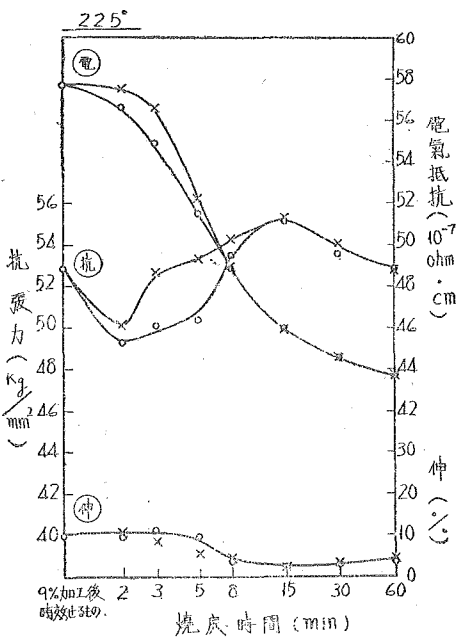
第 35 圖 焼入直後 9%加工し且時効せしめた 24S 合金を 150°C に焼炭処理せる場合.



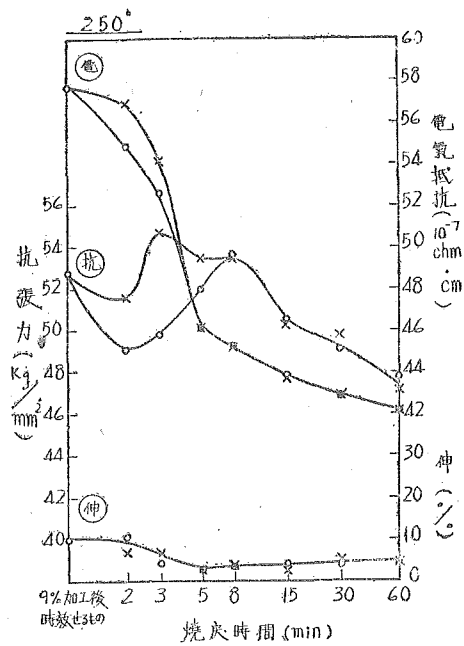
第 36 圖 同上 175°C に焼戻處理せる場合。



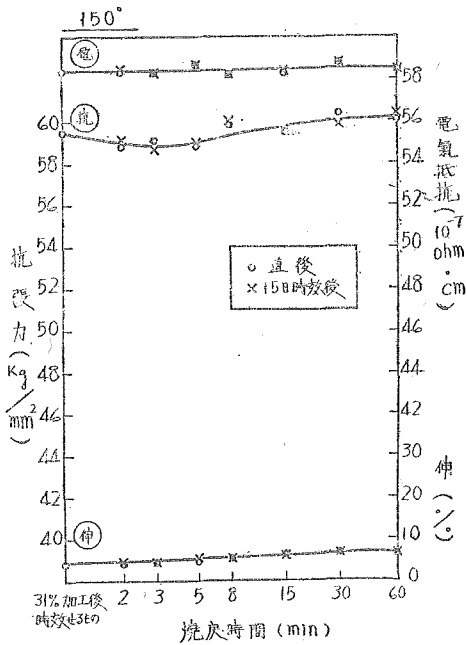
第 37 圖 同上 200°C に焼戻處理せる場合。



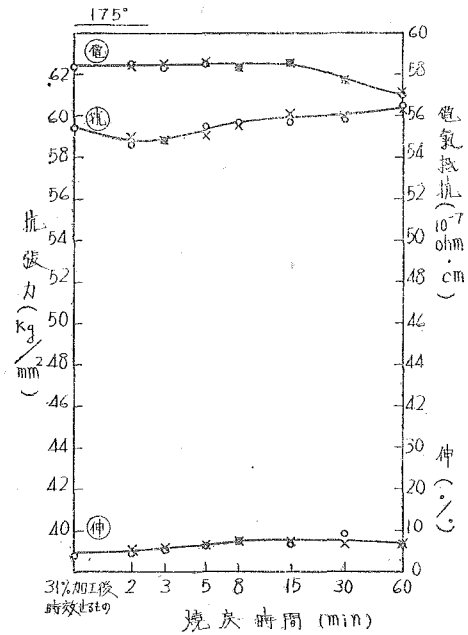
第 38 圖 同上 225°C に焼戻處理せる場合。



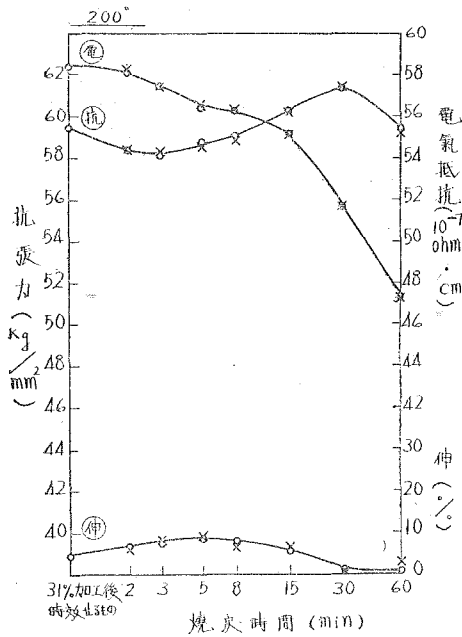
第 39 圖 同上 250°C に焼戻處理せる場合。



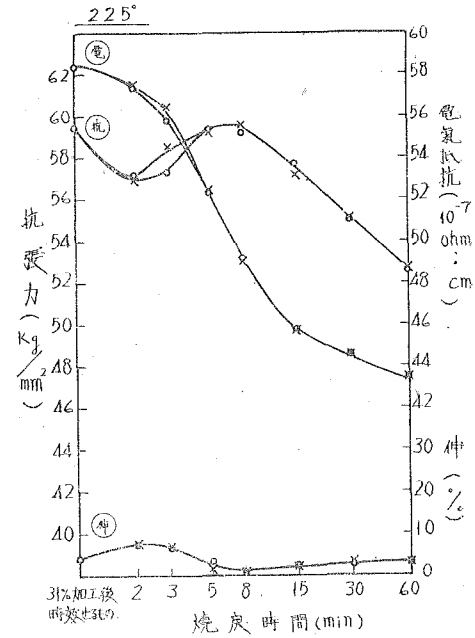
第 40 圖 焼入直後 31%加工し且時効せしめた 24S 合金を 150°C に焼戻処理せる場合。



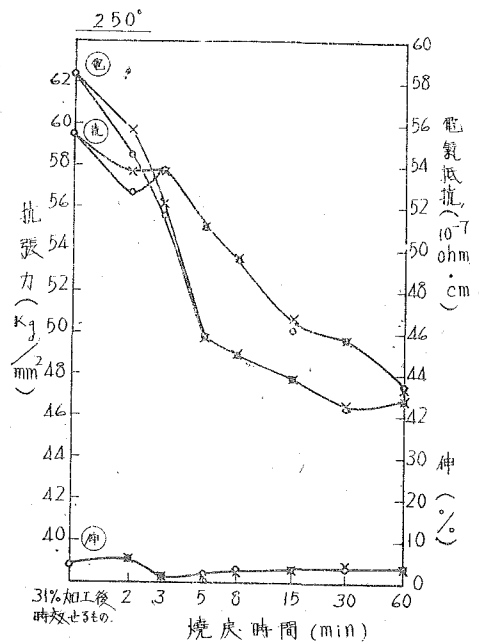
第 41 圖 同上 175°C に焼戻処理せる場合。



第 42 圖 同上 200°C に焼戻処理せる場合。



第 43 圖 同上 225°C に焼戻処理せる場合。



第44圖 同上 250°Cに焼戻処理せる場合。

(d) 應力腐蝕性. 第7,8表がその結果で, 弱加工度の爲め, デュラルミンに見られた様な明瞭な結果は見えないが, 幾分加工したものの方が良い様に思へる.

第7表 焼入常温時効硬化せる24Sの應力腐蝕試験結果

温度 時間	150°C	175°C	200°C	225°C	250°C
2分	割れず	6.5日	5日	4.5日	2.5日
3	"	4.5	4.5	3	2
5	"	5	3	4	4.5
8	6日	6	3.5	2.5	2.5
15	6	6	2	2.5	割れず
30	5.5	6.5	2	6.5	"
60	8	4	2	割れず	"
處理せず	割れず				

第 8 表 焼入後加工せる 24S の應力腐蝕試験結果

試 料	温 度	150°C	175°C	200°C	225°C	250°C
	時 間					
9 %加工	2 分	4 日	4 日	8 日	4 日	3 日
	3	6	3	2	3	11
	5	8	3	3.5	12	割 れ ず
	8	4	4.5	2	割 れ ず	"
	15	6.5	3	3	"	"
	30	4.5	3	5	"	"
	60	4	3	13	"	"
	處 理 せ ず	8 日				
31%加工	2 分	20 日	18 日	13 日	15.5 日	19.5 日
	3	7.5	19	2	13	割 れ ず
	5	6	6	1	27	"
	8	16.5	7	10	31	"
	15	12	13.5	20	割 れ ず	"
	30	21	10.5	30	"	"
	60	16	22	割 れ ず	"	"
	處 理 せ ず	20 日				

IV. アルドライに對する實驗

(1) 試 料

(a) 組成. 第 9 表

第 9 表 材料としたアルドライの化學組成

元 素	Mg	Si	Fe
%	0.50	0.47	0.25

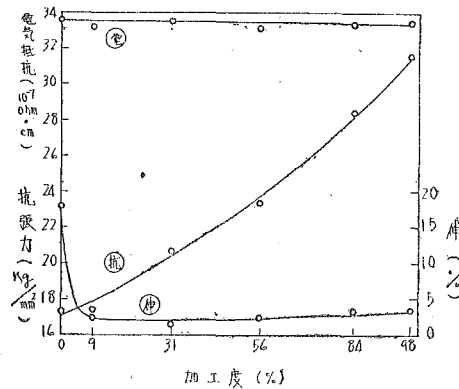
(b) 製造工程. デュラルミンに準じて, 第10表の如き製造工程で 2 mm の線を作つた. 但し本實驗には加工度 98 % のもののみを使用した.

(c) 性能. 加工度による性能の變化を第 45 圖に挙げる. アルドライでもデュラルミンの時に見られたと同様の, 抗張力の漸進的な増加, 伸の急激な減少, 電氣抵抗の不變なる事

第10表 アルドライ試料の製造工程

試記	料號	製 造 工 程	加 工 度 %
A		冷間線引 → 2.0 mm (530° 1 時間加熱焼入後充分常温時効硬化せしむ)	0
B		→ 2.1 mm (") 冷間線引 → 2.0mm(常温時効)	9
C		→ 2.4 mm (") " → " "	31
D		→ 3.0 mm (") " → " "	56
E		→ 5.0 mm (") " → " "	84
F		→ 12.0 mm (") " → " "	98

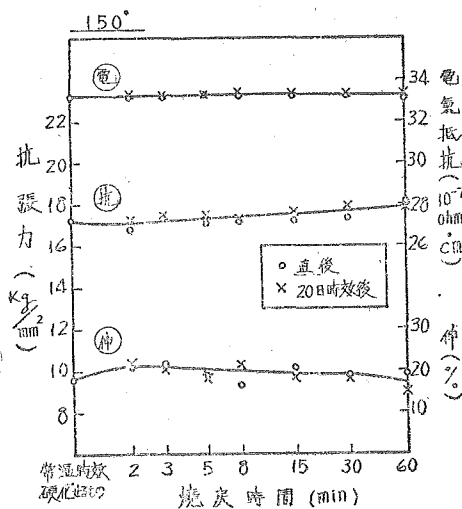
が見られる。



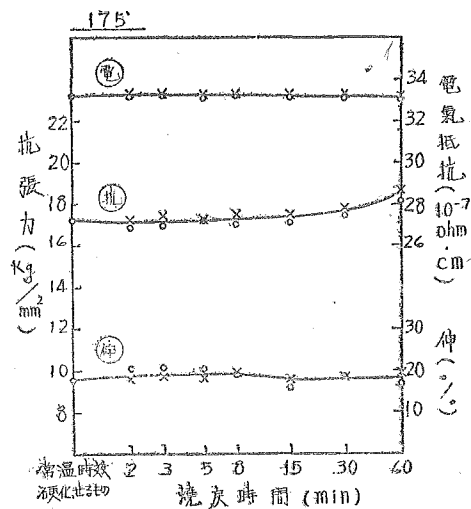
第45圖 焼入アルドライの加工に依る性能變化。

(2) 実験方法

同様故略す。



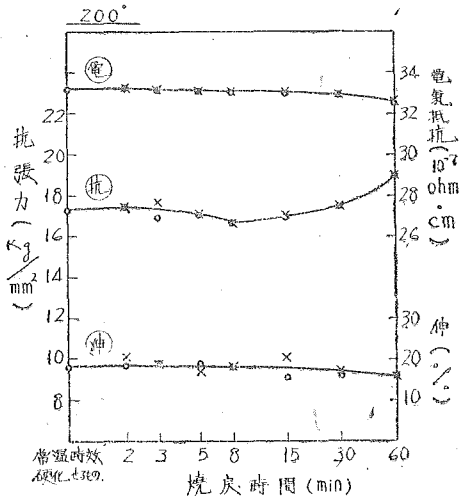
第46圖 常温時効硬化せるアルドライを150°Cに焼戻処理せる場合。



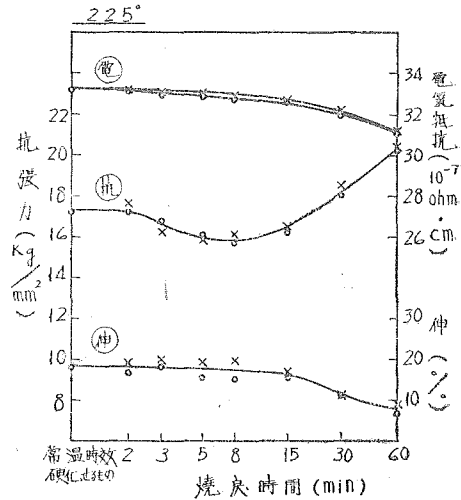
第47圖 同上175°Cの場合。

(3) 実験結果

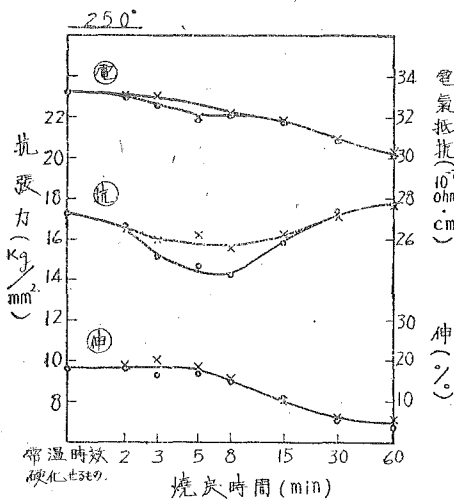
(a) 加工せざる場合. 第46~51圖.



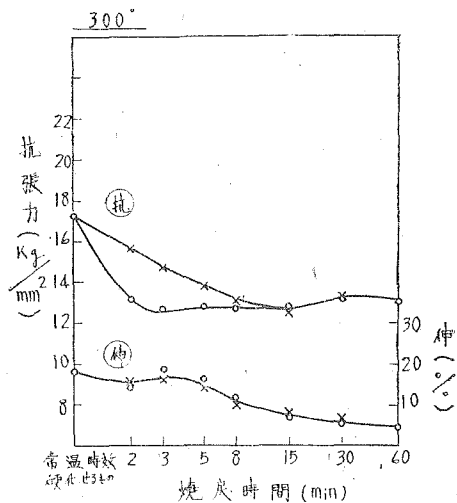
第48圖 同上 200°C の場合.



第49圖 同上 225°C の場合.

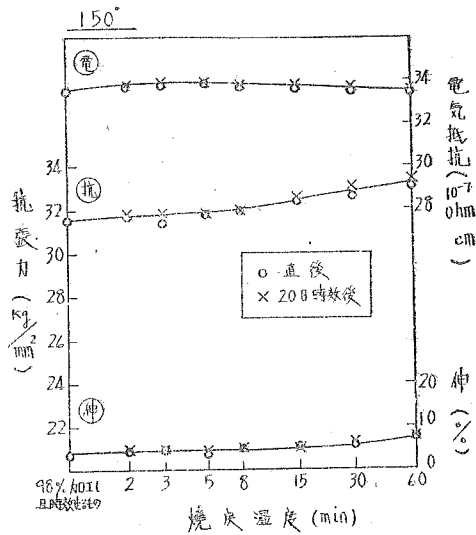


第50圖 同上 250°C の場合.

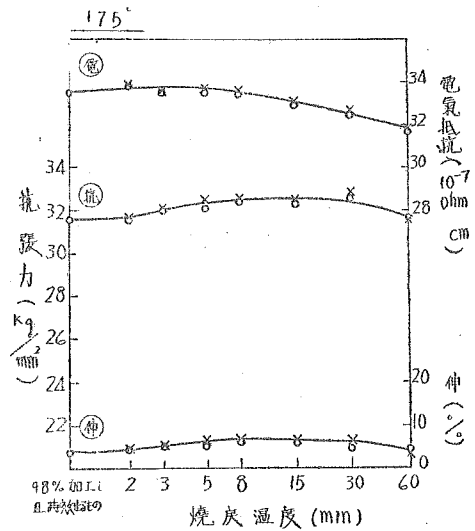


第51圖 同上 300°C の場合.

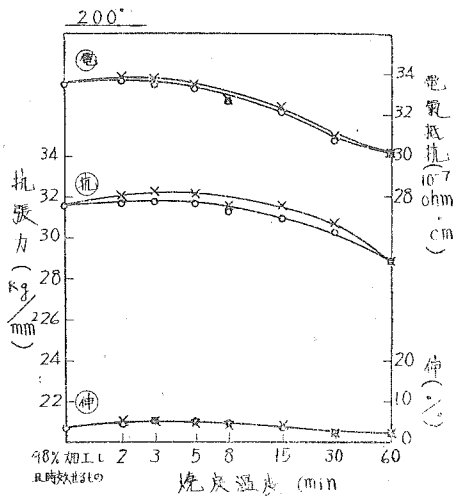
(b) 98%加工せる場合. 第52~56圖. 矢張りある範囲の熱処理で僅かではあるが伸の良くなるのが認められる.



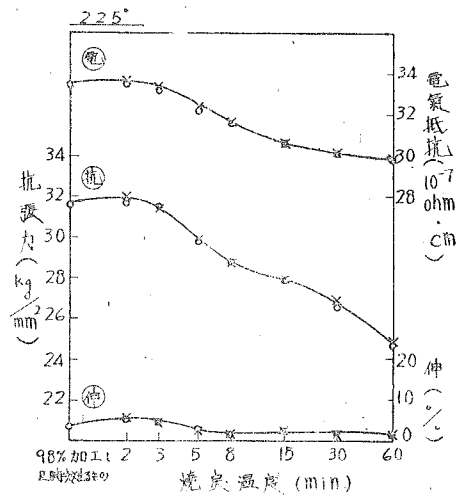
第 52 圖 焼入直後 98%加工し且時効せしめたアルドライを 150°C に焼戻処理せる場合。



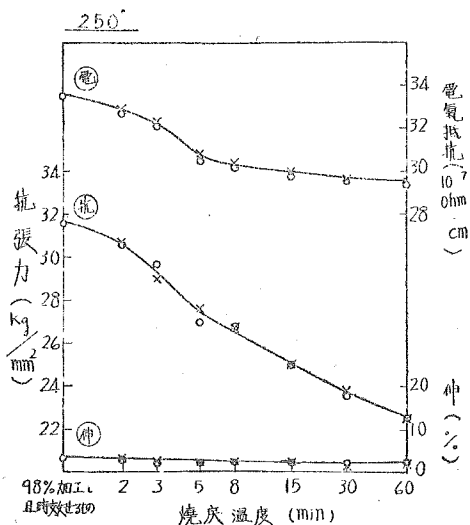
第 53 圖 同上 175°C に焼戻処理せる場合。



第 54 圖 同上 200°C に焼戻処理せる場合。

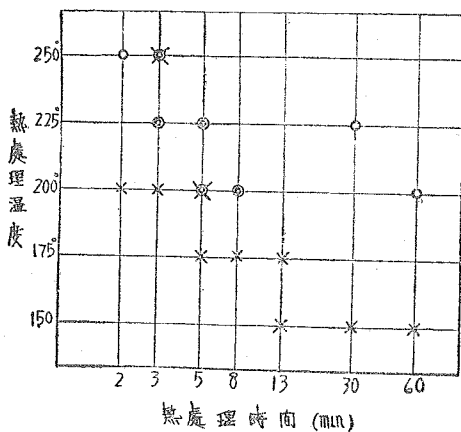


第 55 圖 同上 225°C に焼戻処理せる場合。



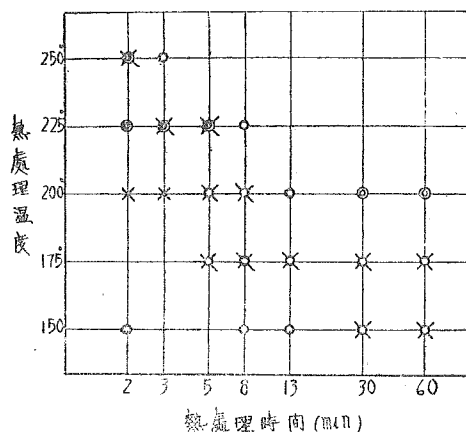
第 56 図 同上 250°C に焼戻処理せる場合。

理せざるもの以上に達するものを◎印, それよりも 1 kg/mm^2 低い範囲に入るものを○印で記入し, これに對し伸がある値以上に改良されたものを×印で記入してみた. 第 57~62 圖はその結果で, 第一に○印と×印の重なる場合の多いこと, 第二に×印の分布が大體一定の傾向を持つた曲線上にあることが明瞭に認められた.



第 57 図 加工度 9% のデュラルミンを焼戻した時の抗張力及び伸の分布

記號 ◎初めの抗張力 44.7 kg/mm^2 以上に達するもの.
○同上 1 kg/mm^2 以内.
×伸 13% 以上.

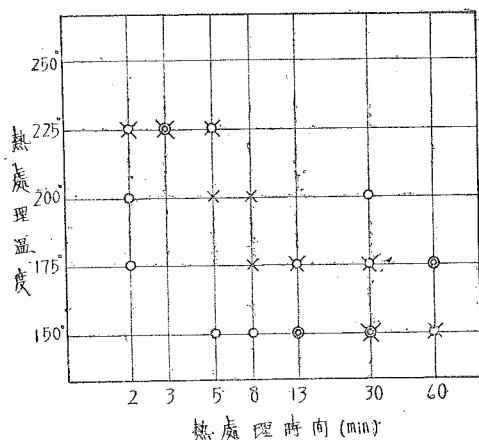


第 58 図 加工度 31% のデュラルミンを焼戻した時の抗張力及び伸の分布.

記號 ◎初めの抗張力 48.1 kg/mm^2 以上に達するもの.
○同上 1 kg/mm^2 以内.
×伸 9% 以上.

V. 改善効果ある温度と時間の関係

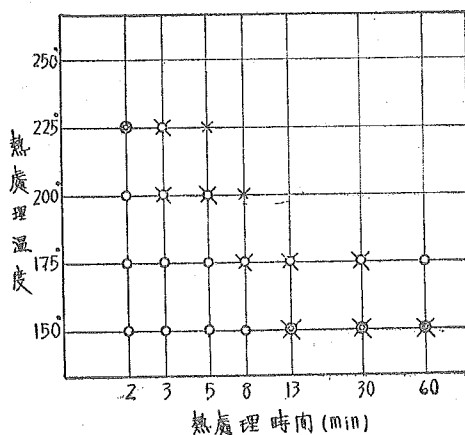
以上の如く孰れに於ても, 程度の差はあるが, 焼入後の加工によつて劣化した伸が改善される熱処理のあることを知つた. 而もその温度と時間は相當廣い範圍を有し, 所謂低温焼鈍なる 150°C の長時間のところから, 所謂復元處理なる $200\sim 225^\circ\text{C}$ の短時間のところへ連続的に續いてゐる. 依つて以上の實驗結果をもとに, 熱處理温度を縦軸に, 熱處理時間を横軸 (對數目盛) にとり, その中に, 熱處理し再時効した後の抗張力が初めの熱處



第 59 圖 加工度 56 % のデュラルミンを焼戻した時の抗張力及び伸の分布。

記號 ○初めの抗張力 52.5 kg/mm² 以上。

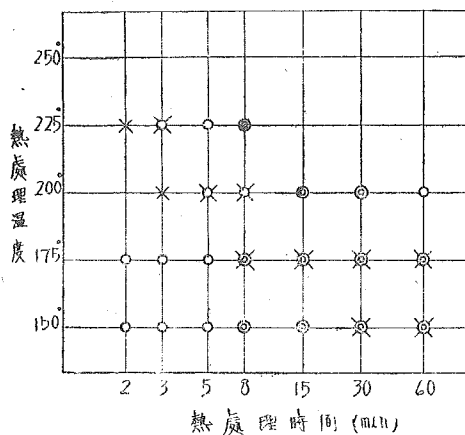
○同上 1 kg/mm² 以内
×伸 7.5 % 以上。



第 60 圖 加工度 67 % のデュラルミンを焼戻した時の抗張力及び伸の分布。

記號 ○初めの抗張力 53.4 kg/mm² 以上。

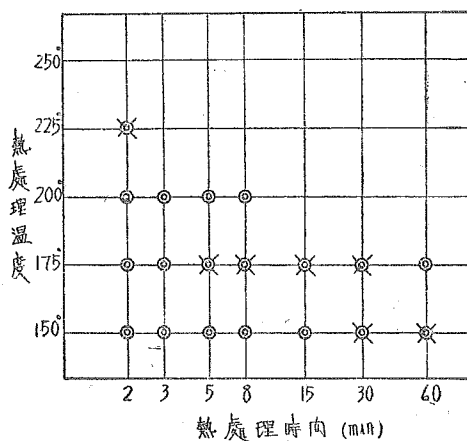
○同上 1 kg/mm² 以内
×伸 7.5 % 以上。



第 61 圖 加工度 31 % の 24S 合金を焼戻した時の抗張力及び伸の分布。

記號 ○初めの抗張力 59.5 kg/mm² 以上。

○同上 1 kg/mm² 以内
×伸 7 % 以上。



第 62 圖 加工度 98 % のアルドライを焼戻した時の抗張力及び伸の分布。

記號 ○初めの抗張力 31.6 kg/mm² 以上。

×伸。

それならばこれ等温度と時間とを關係付ける實驗式が得られるのではあるまいかと考へ、伸の良くなる時は大體抗張力も餘りもとと變らない場合が多い故、伸の改善される熱處理に

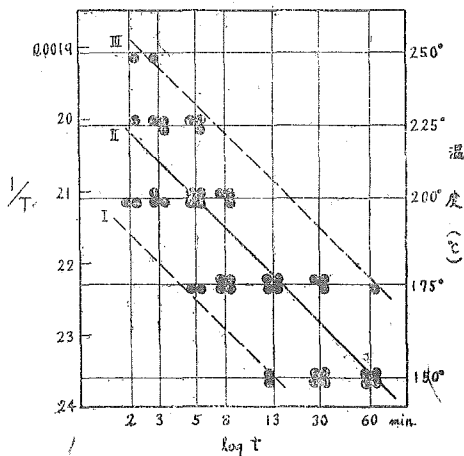
着目して、加工デュラルミンに對する四つの結果をもとに、實驗式の誘導を試みた。大體の傾向としては

$$T \propto \log t \quad (T: \text{熱處理溫度}, t: \text{熱處理時間})$$

である様であるが、この種の現象には

$$\frac{1}{T'} \propto \log t \quad (T': \text{絕對溫度で測つた熱處理溫度})$$

であらばされる場合多く、⁽¹¹⁾ 又曲線の傾向もこの方がよい様に思へるので、先づこの形になるものと假定した。そして $\log t$ を横軸に、縦軸に $1/T'$ をとり、その上に伸の改善される



第 63 圖 $\log t$ と $1/T'$ との関係曲線
記號 67 | 56 左の%加工せるもので伸
9 | 81 の改良せるものはその数
字の位置に●印を付す。

直線	I	$a=0.00210$	$b=0.000227$
"	II	$a=0.00195$	$b=0.000227$
"	III	$a=0.00183$	$b=0.000227$

これをもとに、中央 II の數値に依つて色々な溫度の時の適當な時間を求めると第 11 表を得る。

VI. 加工デュラルミンに對する低温焼鈍の再實驗

以上の如く焼入加工デュラルミンの實驗結果をもとにして求めた實驗式は、 150°C 以下に於ても長時間の熱處理を行ふと、性能が改善されることを豫想させる。依つて 160°C から 80°C までの範圍で焼入直後 94% の加工をしたデュラルミンに就き再實驗を試ることにした。

(11) 例へばデュラルミンの焼戻時效に關する Cohen, A. I. M. E. Metals Div., (1939), 95. の論文。或は加工硬化材の軟化又は再結晶の開始點についても同様の關係が成立つ。

點を●印で記入してみたところ第 63 圖を得た。(加工度による差異は實驗誤差の爲め認められなかつた故、それぞれの加工度に應じて所定の位置に●印を入れる事にした。第 57～60 圖の×印が●印に對應する。)圖の如く相當よい近似で $\frac{1}{T'}$ と $\log t$ とは直線關係になり、結局絕對溫度で表はした熱處理溫度 T と、熱處理時間 t とは

$$\frac{1}{T'} = a + b \log t$$

なる關係にある事を知つた。茲に a, b は常數で、第 63 圖の I, II, III に對し次の値をとる。

第 11 表 実験式から計算した色々の温度に於ける性能改善に有効なる熱処理時間

温 度	時 間	温 度	時 間	温 度	時 間
0°C	65 年	100°	1 日	160°	40 分
25°	3 年	120°	6 時間半	175°	17 分
50°	71 日	125°	5 時 間	200°	5 分
75°	7 日	140°	2 時 間	225°	2 分
80°	5 日	150°	1 時 間		

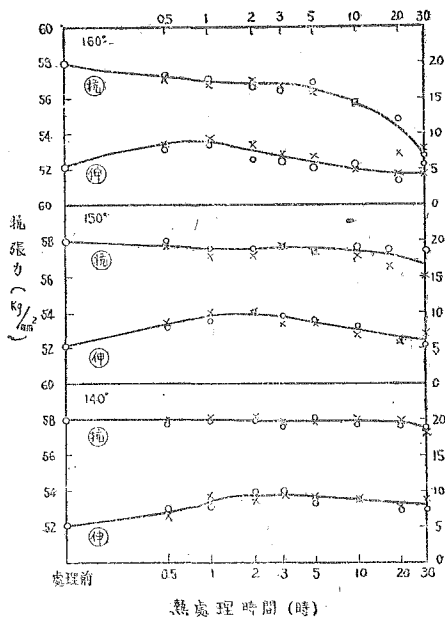
(1) 試 料

組成は同前(第1表). 製造工程は 8mm にて 510°C 1時間加熱焼入, 直後冷間線引して仕上げた 2mm 線. 常温放置3ヶ月の後実験に供した.

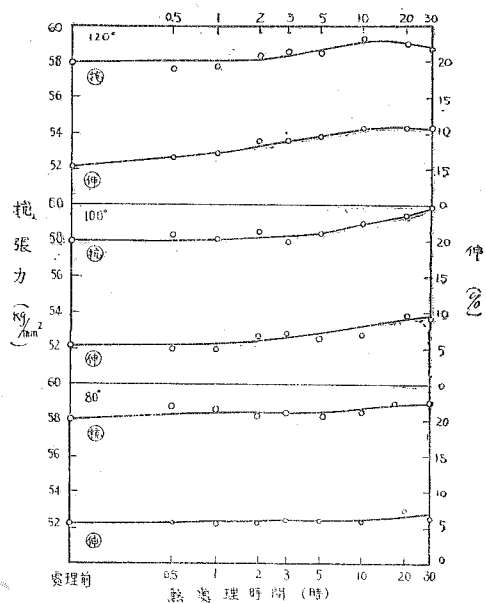
(2) 実 験 方 法

前と同じ. 低温焼鈍後の再時効硬化は加工したものでは極めて僅かではあるが, これを考慮し抗張試験は熱処理後 30°C の恒温空気槽中に1ヶ月或は2ヶ月放置後測定した.

(3) 実 験 結 果



第 64 図 焼入加工デュラルミンの低温焼鈍による抗張性能の變化 (○ 1ヶ月後測定 × 2ヶ月後測定)



第 65 図 焼入加工デュラルミンの低温焼鈍による抗張性能の變化 (1ヶ月後測定)

第 64~65 圖の如く、伸の良くなる個處が、160°C では 1 時間位、150°C では 1~2 時間、140°C では 2~3 時間、120°C では 10~30 時間、100°C では 20~30 時間或は 30 時間以上といふ結果になり、第 11 表の豫想と極めてよく一致する。(80°C の場合は後述) それに對し伸の良くなる個處に於ける抗張力は、160~150°C では稍々低下を示すが、140°C 變らず、120°C 以下では反つて増加してゐる。これから見ると、從來最良とされてゐた 150°C 1 時間から數時間の低温焼鈍が必ずしも最良ならず、もつと低い 120°C の 10~20 時間、100°C の 20~30 時間が好ましいことが知られる。

ところで 80°C の場合はどうか。30 時間迄は第 65 圖の如く抗張力、伸共上昇しつゝあるところで終つてゐる。一方第 9 表によれば 5 日の熱處理を要求してゐる。依つて 5 日及び 7 日の焼鈍を試みてみた。第 12 表はその結果で、豫想の如く伸の改善が認められた。

第 12 表 80° の低温焼鈍效果 (處理後 1 月後に測る)

熱 處 理 溫 度	時 間	抗 張 力	伸
		kg/mm ²	% ; 100 mm
處 理 せ ず		58.04	5.4
150°C	1 時 間	57.59	8.8
	2 時 間	57.57	9.9
120°C	10 時 間	59.23	10.6
	20 時 間	58.95	10.7
100°C	20 時 間	59.41	9.5
	30 時 間	59.89	9.2
80°C	5 日	59.98	8.5
	7 日	60.26	8.3

かくの如く大體こゝまでは實驗式よりの豫想が適申したわけであるが、更に低溫度ではどうか。第 11 表によれば 50°C では 71 日の焼鈍時間を要求してゐる。然し、同表のもとである實驗結果によれば低溫度では式で示されるよりももつと長時間側にずれる傾向を持つ故恐らく 100 日以上となるかも知れないし、ことによると實驗可能な範圍を脱してしまふかも知れない。それ以下の 25°C 或は 0°C では尙更のことである。⁽¹²⁾ 然し兎に角 80°C 位までは實驗式と大體一致し、又これによつて更によい低温焼鈍效果ある條件を求め得たことは、この式が相當の眞實さを持つものと考へられる。

(12) これ等の溫度に對する實驗は行はなかつたが、恐らく 50°あたりでは非常に長時間を要し、25° 又は 0° ではこの様な現象があらはれ得ないであらう。

VII. 焼入直後加工せる場合と焼入時効後加工せる場合

以上の實驗はすべて焼入直後加工せるデュラルミンに就いて行つた。依つて最後に焼入時効後加工せるものを作り實驗を試み、上述の結果を再検討することにした。比較の爲め、焼入のみにて加工せざるもの及び焼入直後加工せるものに就いてもこれと平行に再び實驗を行つた。

(1) 試料. 組成. 第 13 表

第 13 表 試 料 の 組 成

元 素	Cu	Mg	Mn	Si	Fe	Al
%	4.10	0.50	0.40	0.36	0.26	殘

製造工程. 第 14 表

第 14 表 試 料 の 製 造 工 程

試 料	製 造 工 程	加 工 度
a	→ 2mm (510°30 min 焼入, 常溫時効)	0 %
b	6mm (510°30 min 焼入) → 2mm (常溫時効)	89 %
c	6mm (510°30 min 焼入, 常溫時効 7 日) → 2mm	89 %

(2) 實 驗 方 法

熱處理溫度としては復元效果のあらはれる 200°C 及び 225°C と、低温焼鈍效果のあらはれる 150°C の三種を選び、熱處理時間としては 200°C と 225°C に對しては 2 min., 5 min., 13 min., 30 min., を、150°C に對しては 1/2 時間, 1 時間, 2 時間, 4 時間を選んだ。實驗は抗張試験と電氣抵抗試験に應力腐蝕試験を加へた。測定は直後, 30°C 7 日及び 20 日時効後の 3 回, 但し應力腐蝕試験は 20 日間時効せる試片に就いて行つた。熱處理爐として油浴を採用した外、既述の方法とすべて全く同じである。

(3) 試料性能. 第 15 表の如く機械的性能は直後加工と時効後加工とに大差は無いが、(稍々この方が抗張力大), 電氣抵抗には相當の差が見える。これは時効後加工のものでは、常溫時効による抵抗増加と加工による抵抗増加とが重り合つた爲めと考へれば當然豫想されるところである。⁽¹³⁾

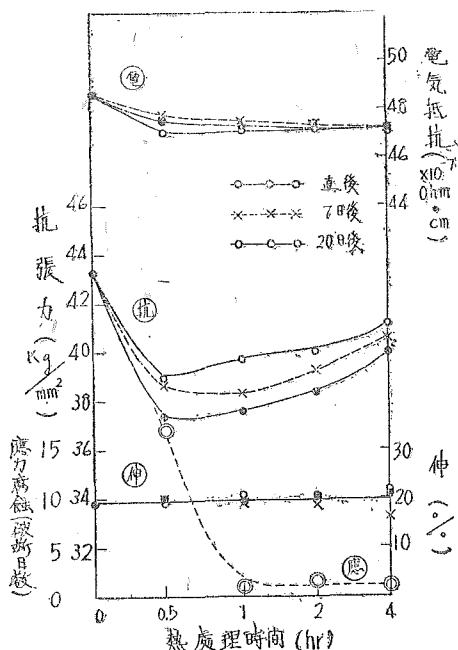
(13) 加工により時効現象特に常溫時効現象がどうなるかといふ問題に關しては更に實驗を重ねる豫定である。どうも焼入直後加工は常溫時効をさまたげるらしい。

第 15 表 試 料 の 性 能

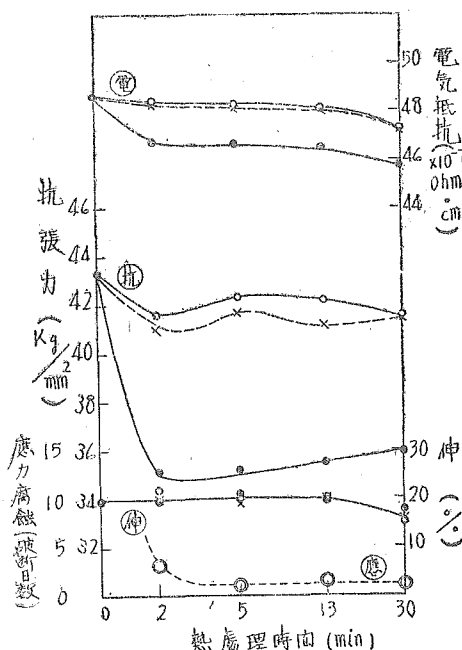
性 能	常 温 時 效 (a)	焼入直後加工 (b)	焼入時効後加工(c)
抗張力 kg/mm^2	43.37	55.90	56.68
伸 $\%$; 100mm	19.7	5.8	6.0
電気抵抗 $\times 10^{-7} \text{ ohm} \cdot \text{cm}$; 250mm	48.64	48.52	51.05
應力腐蝕, 割れ日数	割れず	割れず	割れず

備考 應力腐蝕は 30 日間施行せる結果

(4) 實驗結果. 第 66~68 圖は, 加工しない焼入常温時効しただけのデュラルミンで,



第 66 圖 常温時効硬化せるデュラルミンを 150°C にて熱處理せる場合。

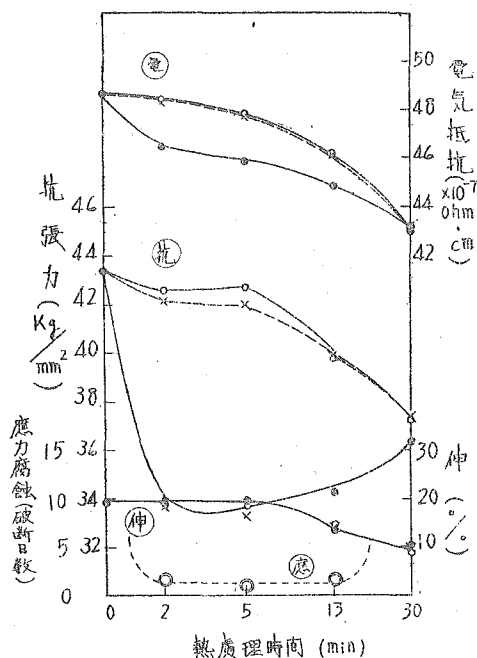


第 67 圖 同上デュラルミンを 200°C にて熱處理せる場合。

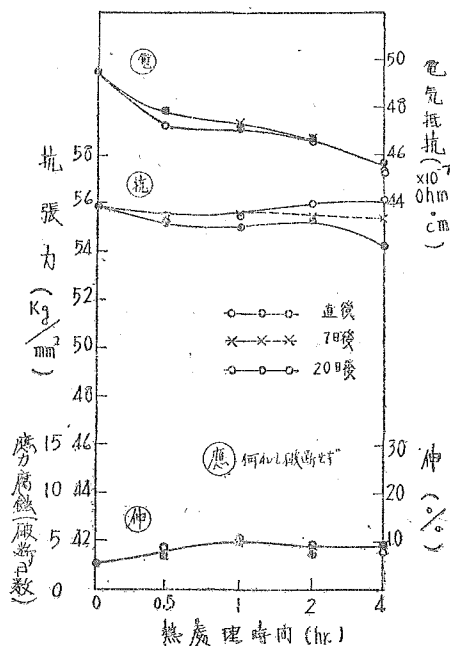
150°C で弱い復元軟化, 200°C と 225°C では盛な復元とそれからの再時効が認められ, 又應力腐蝕は一般に甚だ悪い。

第 69~71 圖は焼入直後加工の場合, 第 72~74 圖は時効硬化後加工せる場合. 兩方を比較するに特筆すべき差は認められない. 双方共に 150°C 長時間の處理で伸が良くなり, 又 200°C 2 min. 位の處理でも伸が良くなつてゐる. 又應力腐蝕も兩者共に良くなつてゐる。

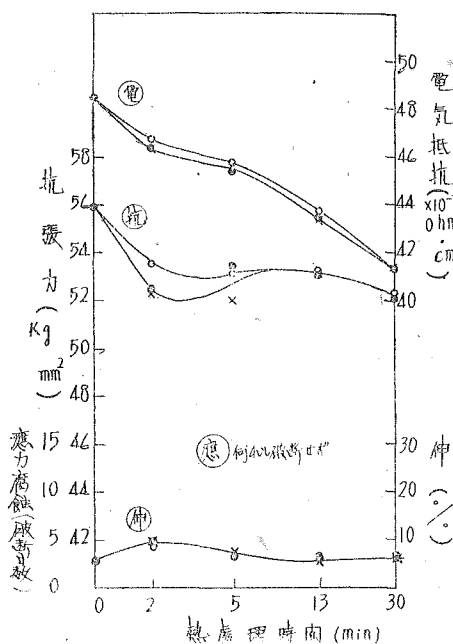
更に低い低温焼鈍に對する結果は第 16 表の如く, 先の實驗式の豫想と一致し, 80°C 7 日の如きは非常に良い性能を示してゐる. 又焼入直後加工と焼入時効後加工との間に效果上差



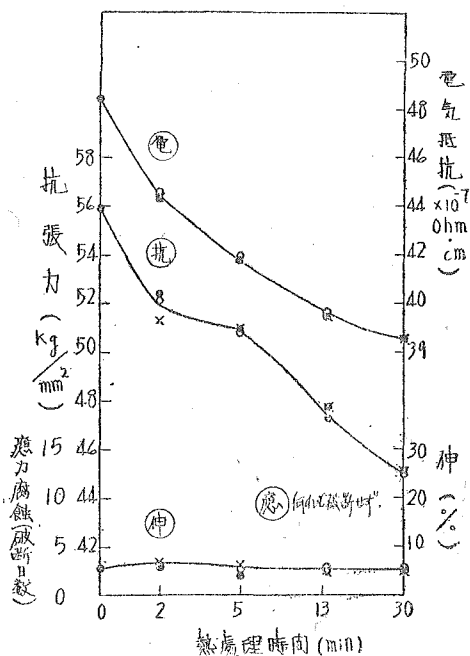
第68圖 同上デュラルミンを225°Cにて熱処理せる場合。



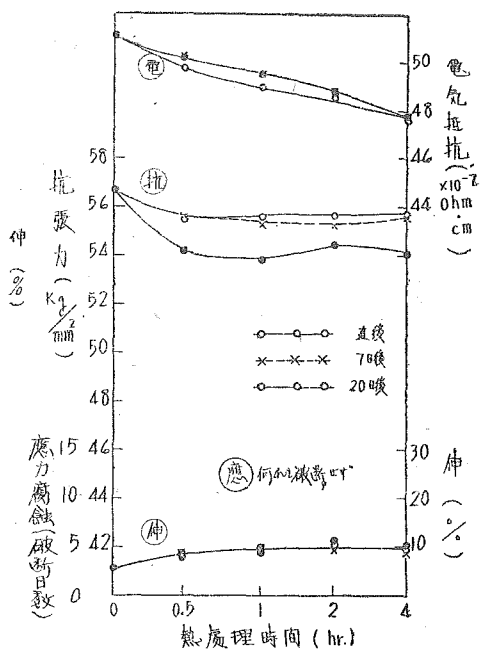
第69圖 焼入直後89%加工し後時効硬化せるデュラルミンを150°Cにて熱処理せる場合。



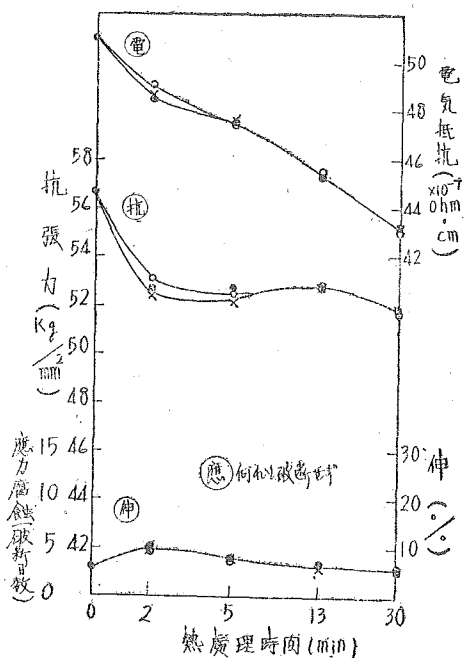
第70圖 同上デュラルミンを200°Cにて熱処理せる場合。



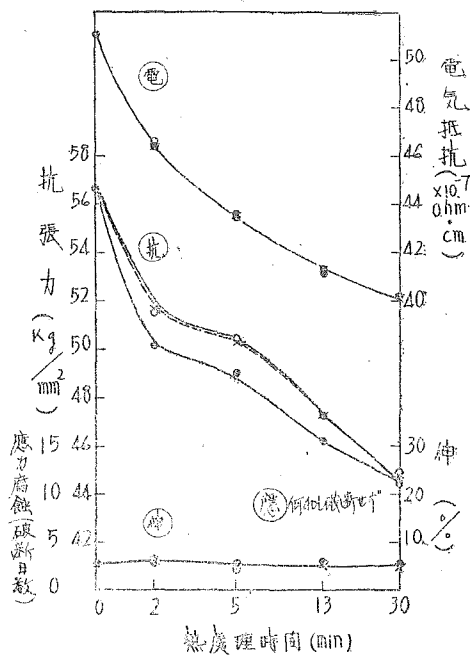
第71圖 同上デュラルミンを225°Cにて熱処理せる場合。



第 72 圖 焼入後時効硬化せる後 89 %加工せるデュラルミンを 150°Cにて熱処理せる場合.



第 73 圖 同上デュラルミンを 200°Cにて熱処理せる場合.



第 74 圖 同上デュラルミンを 225°Cにて熱処理せる場合.

異は無い、結局直後加工でも、時効後加工したものでも、性能改善效果には變りが無い。

第 16 表 デュラルミン試料 b 及び c の低温焼鈍效果

熱 處 理	焼 入 直 後 加 工 (b)		焼 入 時 効 後 加 工 (c)	
	抗 張 力	伸	抗 張 力	伸
	kg/mm ²	% ; 100 mm	kg/mm ²	% ; 100 mm
200°C 2 分 直後	52.48	9.6	52.68	10.1
" 7 日 後	52.34	10.0	52.45	9.4
150°C 1 時間 直後	55.05	11.0	53.83	9.0
" 7 日 後	55.60	10.2	55.28	10.1
120°C 20 時間 直後	57.11	9.4	56.97	11.2
" 7 日 後	57.53	10.6	56.88	10.2
100°C 30 時間 直後	57.41	11.4	57.64	10.3
" 7 日 後	57.94	10.7	58.40	10.6
80°C 7 日 後	58.69	9.4	58.32	10.7
" 7 日 後	58.88	10.0	58.46	11.2
熱 處 理 前	55.90	5.8	56.68	6.0

VIII. 本 方 法 の 適 用 範 圍

以上實驗はすべて加工上の都合より線材に就いて行つたが、勿論板材に就いても同様の效果は可能である。(14)

又デュラルミンを主として取扱つたが、報告前半に見た如く 24 S やアルドライに於ても同様の效果が期待出来る。結論を言へば本效果は常溫時効能を有する合金のすべてに對し可能である様である。(15)

加工を加へて強力にする時期は焼入直後でも常溫時効後でもかまはない。いづれでもその後の改善效果には變りが無い。

かかる效果ある熱處理溫度は、時間さへ適當に選べば相當廣い範圍にわたつて可能であるが、所謂復元處理よりも低温焼鈍が良く、中でも 120°C, 10~20 時間, 100°C, 20~30 時間が最もよい。

(14) 板材の方が線材の時より稍伸がよく出る。又板材に適用した方が實用價值がある。

(15) 詳細は第 2 報

IX. 結 論

(1) 焼入直後加工したデュラルミン, 24 S, アルドライは, ある温度, ある時間の熱処理により, 加工によつて失つた伸を, 抗張力を減ぜずに回復する.

(2) かゝる改善効果を示す熱処理の温度と時間の関係を, 主としてデュラルミンの 150°~250°C の実験結果の検討から求めたところ次式になつた.

$$\frac{1}{T} = a + b \log t$$

茲に T は絶対温度で測つた熱処理温度, t は min で測つた熱処理時間. a, b は常數で大體 $a=0.00195$, $b=0.000227$.

(3) この式をもとに更に低温度に於けるかゝる効果をデュラルミンに就き實驗したところ, 80°C 迄はこの實驗式の豫想通りの熱処理條件に於て改善効果のあらはれるのを確め得, 最良の熱処理條件として 120°C, 10~20 時間, 100°C, 20~30 時間を得ることが出来た.

(4) 最後にデュラルミンの常溫時効後加工したものに就き實驗を試みたところ, 矢張り同様の効果があり, その温度時間は焼入直後加工したものと變らないことを知つた.

(5) 機構に就いては第2報で述べるが, 以上の結果から見て, 低溫焼鈍による性能改善効果と復元處理による性能改善効果とはその機構同一なる可きことが考へられる.