

同時に2には經濟的見地からも國家を益することが極めて大きいので此の研究を成し遂げました自分の満足は之に過ぐるものは無いのであります。

焼戻硬化するアルミニウム合金の研究

田邊友次郎

ON THE TEMPER-HARDENING OF SOME ALUMINIUM

ALLOYS. By Tomojiro Tanabe, Kogakuhakushi.

The paper deals with the systematic, and extensive investigations into some temper-hardening aluminium alloys.

PART I. Changes of Mechanical, Physical and Chemical Properties by Cold Working and Heat Treatment.

I. Systematic studies in useful seven binary Al-alloys (Al-Cu, Al-Mg, Al-Si, Al-Zn, Al-Fe, Al-Ni and Al-Mn).

The changes in hardness, tensile strength and electric resistance by cold rolling, quenching and ageing were fully studied, mainly from the industrial point of view.

II. Al-Zn system.

The abstract only, full text in J. Inst. Met., Vol. 32, 1924, or J. Iron and Steel Inst., Japan, Vol. IX, No. 9, 1923.

III. Temper-hardening of Al-Cu, Al-Mg. (Al-Zn, Duralumin).

The nature of temper-hardening were investigated in various directions (thermal expansion, electric resistance, hardness and Stanton's impact test, etc.) and novel results obtained.

See also the present writer's paper in J. Inst. Iron and Steel Inst., Japan, Vol. XI, No. 6, 1925.

IV. Change of solubility of Al-Cu, Al-Mg and Duralumin in acids by heat treatment.

As regards the effect of heat treatment (annealing, quenching, ageing and tempering) on the solubility in acids, few results have been published. The author, therefore, investigated this line fully and systematically.

V. Temper-hardening of some $\alpha + \beta$ brasses.

With a view to making clear its nature and establishing the theory, the temper-hardening of $\alpha + \beta$ brasses was studied in extensive directions; hardness, tensile strength, electric resistance, specific gravity, solubility in acids, microstructure, etc.

VI. Theory of Temper- or Age-hardening.

From several results obtained, the author considered the temper- or age-hardening phenomenon to be clearly explained by the so-called "colloidal dispersion theory."

PART II: Wrought Aluminium Alloys, Their Properties being Improved by Heat Treatment (Especially by Tempering).

The author obtained some excellent wrought aluminium alloys by extensive studies. Of these, the following are typical ones.

I. C6-alloy (6% Cu), quenched at 550°C. and tempered at 150°C.

Tensile strength.....	40-45 kg/m.m. ²
Elastic limit.....	22-27 „
Elongation (50 m.m.).....	25-20 %
Contraction of area	30-18 %
Brinell hardness.....	95-120
Stanton's repeated impact No. (height of fall of hammer =1.1/2 in).....	900-1020
Nominal torsional strength	25-30 kg/mm ²
Impact tensile strength	0.3-0.35 kgm/mm ²
Izod vaule	10-11 cm. kg.

C6-alloy and duralumin are evenly matched in almost all properties, as shown above.

II. R-alloy (5-6% Cu, 0.5-1% Cr), quenched at 550°C. and tempered at 150°C.

Tensile strength.....	40-45 kg/mm ²
Elongation (50 m.m.).....	19-21 %
Brinell hardness.....	100-105
resistant to dilute sulphuric acid.	

III. MS-alloy (0.5-0.6% Mg, 0.9-2% Si).

	Quenched at 520-580°C, & tempered at 200°C.	Quenched at 520-580°C, aged & cold-worked.
Tensile strength	25-38	36-47
Elastic limit	20-31	31-41
Elongation (50 m.m.)	10-12	5-7
Brinell hardness	75-110	97-114
Specific electric resistance	3.2-3.5 × 10 ⁻⁶ ohms	—

IV. MC-alloy (1-2% Cu, 0.5-1% Mg), quenched at 520°C, aged and cold-worked, then subject to low temperature annealing.

Tensile strength.....	44-57 kg/mm ²
Elastic limit.....	38-45 „
Elongation (50 m.m.).....	7-9 %
Brinell hardness.....	112-140

目 次

序 論

第一篇 加工及熱處理による機械的・物理的並に化學的性質の變化

第一章 有用範圍に於ける七種二元アルミニウム合金の加工及熱處理

I 鑄造と壓延

II 軟化による機械的性質の變化

III 焼入及時效による機械的及物理的性質の

變化

(1) 焼入及時效による抗張力及伸張率の變化

(2) 焼入による硬度及電気抵抗の變化

IV 總 括

第二章 Al-Zn系合金の研究

I 緒 言

II 研究の概要

第三章 Al-Cu及Al-Mg合金(附Al-Zn合金及デ

ユラルミン) の焼戻による機械的及物理的性質の變化

I 焼戻に伴ふ硬度の變化

II 焼戻に伴ふ電気抵抗の變化

III 焼戻に伴ふ長さの變化

IV 焼戻に伴ふスタントン繰返し打撃數の變化

V 總括

第四章 熱處理によるアルミニウム Al-Cu 合金, Al-Mg 合金及デュラルミンの熔解度の變化

I 軟化によるアルミニウムの熔解度の變化

II Al-Cu 合金の熔解度

(1) 軟化焼入及焼戻による熔解度の變化

(2) 時効による熔解度の變化

(3) 總括

III Al-Mg 合金の熔解度

(1) 軟化による熔解度の變化

(2) 焼入及焼戻による熔解度の變化

(3) 時効による熔解度の變化

(4) 總括

IV デュラルミンの熔解度

第五章 眞鍮の焼戻硬化に關する二三の實驗

I 焼入及焼戻による硬度の變化

II 焼入及焼戻による抗張力及伸張率の變化

III 焼戻による顯微鏡組織の變化

IV 焼入及焼戻による電気抵抗の變化

V 焼入及焼戻による比重の變化

VI 焼入及焼戻による熔解度の變化

VII 總括

第六章 焼入及焼戻硬化の理論的考察

I 焼戻による諸性質の變化の説明

II 時効硬化又は焼戻硬化に關する諸説の大別と其等の檢證

III 微粒子析出と時効又は焼戻硬化

IV 總括

第二篇 熱處理殊に焼戻及加工を應用せる新合金

の研究

第一章 Al-Cu 合金(C6合金)

I 板材に就て

II 棒材に就て

(1) 抗張力試験

(2) 硬度試験

(3) スタントン繰返し打撃試験

(4) 捻力試験

(5) 衝撃抗張力試験

(6) アイゾット衝撃試験

(7) 高温度に於ける衝撃硬度試験

III 腐蝕試験

(1) 沸騰食鹽水中の試験

(2) 0.1% 硫酸中の試験

IV 總括

第二章 C6 合金に及ぼす他金屬の影響

I 焼入及焼戻による硬化

II 總括

第三章 Al-Cu-Cr 合金(R 合金)

I 組成と組織

II 軟化及焼入

III 焼戻

IV 腐蝕試験

V 總括

第四章 アルデュール系合金 (MS合金)

I アルデュールの性質

II 製造法の研究

(1) 第一製造法

(2) 第二製造法

III 腐蝕試験

IV 總括

第五章 Al-Mg-Cu 合金(MC 合金)

I 製造法と機械的性質

II 腐蝕試験

III 總括

第六章 結尾

序 論

最近自動車並に航空機工業の發達に伴ひ輕快にして強靱なるアルミニウム合金の需要の非常に高まりつつあるものは世界的趨勢であつて我國も亦其例に漏れず最近一ケ年のアルミニウムの消費量は實に年間約 5,000 噸に達する。勿論其大部分は食器或は導線に使用さるゝとしても輕合金用にも可成りに消費さるゝものと見なければならぬ。近頃は又艦船用として或は又紡績機用としてアルミニウム輕

合金が次第に用ひられる様になつた。

従つて各文明國に於けるアルミニウム輕合金に對する研究熱の勃興は著しいものがあり、デュラルミン及類似合金の硬化に關する理論的研究と相俟つて工業用アルミニウム輕合金の攻究發見は夥しい數に達してゐる。

然るに是等合金の基本ともなるべき工業用二元合金の系統的研究は多く斷片的であつて、殊に鍛鍊加工及熱處理による機械的、物理的並に化學的性質の變化の系統的並に組織的研究は至極少ない現状である。

依つて著者はこれらの缺陷を補ふと共に一面其研究を基礎として鍛鍊加工用新優秀合金の發見に努めやゝその目的を達するを得て本論文を完成したのであるが一部は既に發表したのものもある。

第 一 編

加工及熱處理による機械的物理的並に化學的性質の變化

第一章 有用範圍に於ける七種二元アルミニウム合金の加工及熱處理

加工可能の工業用アルミニウム合金系として擇んだのは次の七種で其有用範圍としての成分限度を與へた。

合金系	添加金屬の量	合金系	添加金屬の量
Al-Cu	15%以下	Al-Fe	5 "
Al-Mg	5 "	Al-Ni	5 "
Al-Si	15 "	Al-Mn	5 "
Al-Zn	25 "		

是等の合金の状態圖は既に多くの人々によつて研究されてゐる。次に其主なる必要なものを摘記する。

Al-Cu 系：—この系のアルミニウム側は Carpenter & Edwards,¹⁾ Merica, Waltenberg & Freeman,²⁾ Rosenhain, Archbutt & Hanson,³⁾ 大谷及逸見,⁴⁾ 田崎,⁵⁾ 等によつて研究されてゐる。これらの研究の一致しない點は重にアルミニウム中の銅の固體に於ける熔解度(次表参照)である。

研究者	熔 解 度
Carpenter & Edwards	共融點にて約 5 % Cu
Merica etc.	500°C にて 4 % Cu, 300°C にて 1 % Cu
Rosenhain etc.	540°C にて 5 % Cu, 200°C にて約 3 % Cu
大 谷	420°C 1.5 % Al ₂ Cu 460°C 2.6 % Al ₂ Cu 520 " 4.8 % "
田 崎	常溫にて約 1 % Cu (?)

以上の差違はアルミニウムの純度と軟化時間の長短によるものと思はれるが最近Dix & Richardson⁶⁾が非常に純度の高いアルミニウム(99.917-99.976% Al)を用ひて銅の熔解度を測定してゐる。その結

果は次の如し。

温度 °C	Cu%	温度 °C	Cu%
48	5.65	385	1.25
430	2.00	200	0.50

Al-Mg 系：—Boudonard (1901) Grube (1905) Eger (1913) Schirmeister (1914) Merica (1919) 等の状態図はあるけれども Hanson & Gayler⁷⁾ のものが現今最も完全なものと見られてゐる。これによるとマグネシウムは常温に於て約 10% 迄アルミニウム中にとけて固溶體をつくつてゐる故に今取扱はんとする 5% 迄のものは固溶體の範囲に屬してゐる。けれども工業用アルミニウムは常に 0.5% 内外の珪素を含みこれがマグネシウムと合して Mg_2Si なる化合物をつくつてゐる。故にこゝに云ふ Al-Mg 系は事實上 Al- Mg_2Si -Mg なる三元系に屬する。Hanson & Gayler によれば Al- Mg_2Si 系に於ける Mg_2Si のアルミニウムに對する溶解度は次の如くである。

温度 °C	Mg_2Si %
580	1.6
350	0.9
30	0.5

化合物 Mg_2Si をつくるに必要以上の過剰のマグネシウムは高温度に於ける Mg_2Si の溶解度を低下し又過剰の珪素は殆んど影響がない。

Al-Si 系：—この系は簡單なる共融合金をつくるもので Fraenkel,³⁾ Roberts,⁹⁾ Rosenhain etc.,³⁾ Rassow¹⁰⁾ Edwards & Archer¹¹⁾ 等によつてその状態図が定められ前二者は共融點を 9.5% Si, 577°C となし次者は 10.5% Si, 570°C 後者は夫々に 13.8% Si 及 11.6% Si, 577°C と報告してゐる。この合金系のあるものは鑄物合金 Silumin (或は Alpax) として有名である、こゝには鍛鍊加工用として論ずるのであるから知りたいのは珪素の固體に於けるアルミニウム中の溶解度である。諸家の結果を綜合すると次の如くなる。

研究者	溶解度(Si%)	研究者	溶解度
Rosenhain	570°C にて 1.5, 常温にて多少減ずる	大谷 ¹⁴⁾	570°C 1.45 460°" 0.90 360°" 0.55
Czochralski ¹²⁾	570°C にて 1% 以下		
Guillet ¹³⁾	570°C にて 0.7%		

Al-Fe 系：—Gwyer¹⁵⁾ Rosenhain³⁾ Kurnakow¹⁶⁾ 後藤,¹⁷⁾ 三島 等によつて研究されてゐる。Gwyer, に従へばアルミニウム側はアルミニウムと $FeAl_3$ との共融物をつくり其の共融晶は 649°C で熔融し殆んど純アルミニウムからなれるものゝ様である。Rosenhain は共融點を 648°C 2% Fe とした。後藤三島兩氏は大略 Rosenhain と一致した結果を出してゐる。 $FeAl_3$ は固體アルミニウム中には殆んど溶けず、Gwyer によれば 0.5% 或はそれ以下、Anderson¹⁸⁾ によれば 0.15% Fe 位と云ふ。

Al-Ni 系：—Gwyer¹⁵⁾ 後藤,¹⁹⁾ 三島の状態図がある。何れもアルミニウム中のニッケルの溶解度はき

められておないアルミニウムと NiAl_3 の共融點は 5.3%Ni, 630°C である。後者は前者の 550°C の水平線を否定してゐる。Anderson に従へば ¹⁸⁾ ツケルは 0.25 % アルミニウム中にとける。原田は ²⁰⁾ 562°C に水平線を認めツケルの熔解度を 0.3% としてゐる。

Al-Mn 系:—Hindrichs ²¹⁾ 後藤、三島によればアルミニウムと MnAl_3 の共融點は 3-4% Mn, 650°C である。マンガンの熔解度は 0.25% 以下らしい。原田は共融點を 1.5% 熔解度を 0.1% と報告してゐる。

Al-Zn 系:—第二章に詳説する。

次に二元合金の壓延に關しては Schirmeister ²²⁾ がアルミニウムに20種近くの金屬を添加した數十種の合金を鑄造し 25mm から出發して 1.3~1.5mm の板に仕上げてゐる。之等壓延された合金の抗張力は 9.5~37.6 kg/mm², 伸張率 6~41%, ブリネル硬度 26~124 である。これが各種アルミニウム二元合金の壓延可能度を系統的に研究した始めてのものである。原田氏は銅、珪素、²³⁾ ツケル、マンガン等9種の金屬を各少量宛(最高2%迄)アルミニウムに添加した合金線をつくり種々の性質を研究した。其他 Schulte ²⁴⁾ Rosenhain ³⁾ 等の斷片的な研究もある。

I 鑄造と壓延 製作した合金の組成は Table I に示すが如く7種の二元系に就き合計 53種である。

Table I.

No.	Al-Cu (C) Cu %	Al-Mg (G) Mg %	Al-Si (S) Si %	Al-Zn (Z) Zn %	Al-Fe (F) Fe %	Al-Ni (N) Ni %	Al-Mn (M) Mn %
1	0.50	0.28	1.23	0.90	1.10	0.96	0.90
2	1.15	0.56	1.50	1.90	2.22	2.12	2.02
3	1.53	0.92	1.67	3.73	3.11	2.77	2.92
4	1.97	1.83	2.66	6.21	4.10	4.05	4.00
5	3.99	3.61	4.06	7.61	5.05	4.63	4.60
6	6.00	5.00	7.04	9.96	—	—	—
7	7.97	—	9.46	11.70	—	—	—
8	10.20	—	11.28	13.86	—	—	—
9	12.02	—	12.90	15.88	—	—	—
10	14.36	—	—	17.46	—	—	—
11	—	—	—	20.02	—	—	—
12	—	—	—	21.26	—	—	—
13	—	—	—	23.54	—	—	—

各合金は純度 99% (鐵及珪素を各約 0.5% 含む) のアルミニウムを用ひ添加金屬と共に黒鉛坩堝中で熔融し 5 kg 宛の金型鑄物をつくつた。添加金屬は銅(電解銅) マグネシウム(98%) 亜鉛(99.9%) 及珪素(98%) は各單體としてツケル、マンガン及鐵は夫々 25%、20%、及 15% を含有するアルミニウムとの中間鑄物として添加した。

表面を削つた鑄物は厚さ約 15mm で之を適當の溫度に1時間宛加熱し熱壓延を以て 5mm の板とした。この一部分は切斷して硬度及電氣抵抗の測定用たらしめ殘部は適當の溫度に1時間軟化し常溫壓

延で1 mm 板とした。この厚さの減少率は約 80%である。熱壓延温度及軟化温度を次表に示す。

合金系	熱壓延温度 °C	軟化温度 °C
Al-Cu	450~500	350
Al-Mg	450	400
Al-Si	450	350
Al-Zn	400	400
Al-Fe	450~500	450
Al-Ni	500	500
Al-Mn	500	500

II 軟化による機械的性質の變化 常溫壓延によつて得た 1 mm 板を電氣爐中で各温度に 30分 宛加熱し空冷したものに就き、Mohr & Federhaff 社製 2,000 kg の抗張力試験機を用ひて抗張力試験を行つた。以下本論文を通じ別に断らない限り抗張力試験は全部同機を用ひたものである。試料の大いさは切斷面積約 12~13mm² 標點距離は 50mm である。

軟化温度と機械的性質との關係は一般に變態のない純金屬並に變態點なく熔解度の變化も亦ない固溶體及共融合金に於ては Fig.1(PL.1)の如く表はされ得る。

今この曲線を各範圍に分けて見ると次の如くなる。

i) 範圍 AB, A'B'——殆んど機械的性質及顯微鏡組織に變化はない。F' の如き異狀變化は鋼、 α 眞鍮、アルミニウム青銅及 Al-Mg 合金等に見らるゝこと²⁵⁾で最近杉浦博士によつて詳細研究された。Al-Mg に就ては著者も等しくこれを認めた。

ii) 範圍 BC, B'C'——再結晶の起る範圍で B はその開始點、C は其終點である。

iii) 範圍 CD, C'D'——新結晶の發達する區域である。

iv) 範圍 DE, D'E'——結晶が巨大になり過ぎて一般に機械的性質を損ずる區域で所謂燒過區域 (over annealing zone) である。

以上各系に就て其得た軟化曲線を調べて見よう。

1) 99% アルミニウム——軟化温度による機械的性質の變化は Table II 及 Fig. 2 (PL.1) にこれを示した。

Table II.

軟化温度 °C	抗張力 kg/mm ²	伸長率 %	軟化温度 °C	抗張力 kg/mm ²	伸長率 %
常溫	19.5	5.5	400	11.2	34.0
100	19.4	5.5	450	11.9	33.0
150	19.5	6.0	500	12.1	32.0
200	18.3	6.0	550	11.9	32.0
250	17.3	8.0	600	11.9	32.0
300	14.5	13.0	(燒入)		
350	10.9	35.5	500	12.4	32.0

200°C から軟化し始め 350°C で抗張力は極小に伸張率は極大に達する。350°C 以上で力が増し伸が減するのは含有されてゐる不純物が溶解して固溶體となるためである。常温加工したアルミニウムの軟化に関しては従來次の如き人々によつて研究されてゐる。即ち Brislee,²⁶⁾ Carpenter & Taverner,²⁷⁾ Carpenter & Elam,²⁸⁾ Anderson,²⁹⁾ Grard³⁰⁾ 及 Röhrig³¹⁾ 等。これらを綜合するに常温加工せるアルミニウムは再結晶は中々になし難く檢鏡では充分再結晶を起してゐないにも拘らず機械的性質は既に早く充分軟化されてゐるのである。

2) Al-Cu 系——含銅量 2% 以下でも後に述ぶるが如く焼戻効果はあるが其程度少く従つて軟化曲線に就ても格別云ふこともないがそれ以上の含銅合金は Al₂Cu が高温度になると溶解して固溶體となるので 350°C 以上では力が増し伸は不変となる。一例を Table III 及 Fig. 3 (PL. 1) に示した。こゝに取扱つた 14.36% Cu 合金迄は全部軟化開始は 200°C 終點は 350°C である。

Table III.

Al-Cu (C5, Cu=3.99%)

軟化温度 °C	抗張力 kg/mm ²	伸張率 %	軟化温度 °C	抗張力 kg/mm ²	伸張率 %
常温	30.0	4	300	21.7	10
100	29.2	5	350	16.9	24.5
150	28.3	5	400	18.9	23.5
200	28.0	6	450	20.9	23.5
250	27.2	7	500	23.5	24.0

3) Al-Mg 系——0.5—2% Mg 合金は軟化温度の高くなるにつれて軟化開始以前に力も伸も増加する異常變化をなし其極大は約 200°C に起る。軟化開始點 250°C 同終點 400°C。400°C 以上では Mg₂Si がとけて固溶體となるために力を増し伸は變化ない。2% Mg 以上は軟化の開始點及終點が漸次低下する。代表的のものとして M3 (0.92% Mg) 及 M5 (3.61% Mg) の實驗値を Table IV, 及 V Figs.495PL.1 に示した。

Table IV.

Al-Mg (G3, Mg=0.92%)

軟化温度 °C	抗張力 kg/mm ²	伸長率 %
常温	18.6	5
100	18.9	5
150	20.1	6
200	20.5	9.5
250	18.5	9
300	15.0	10.5
350	12.6	16
400	11.0	25
450	12.6	25.5

Table V.

Al-Mg (G5=3.61%)

軟化温度 °C	抗張力 kg/mm ²	伸長率 %
常温	29.6	4
100	29.2	5
150	28.4	6
200	28.0	7
250	26.8	9
300	25.2	14.5
350	22.8	24
400	23.0	25
450	23.3	24.5

500	23.6	25	500	22.9	25.5
550	23.2	24.5	550	22.9	26
580	23.2	24.5	580	23.0	25.5

Al-Si 系——すべての合金は 300°C から焼入効果あることを示してゐる。軟化開始 200°C, 終了 300°C, Table VI, 及 Fig. 6 (PL. 1) に一例を示した。

Table VI.

Al-Si (S4 Si=2.66%)

軟化温度 °C	抗張力 kg/mm ²	伸長率 %	軟化温度 °C	抗張力 kg/mm ²	伸長率 %
常温	22.2	5	0C	12.6	30
100	20.9	5	350	12.6	30
150	20.2	5	400	13.4	29.5
200	19.3	5	450	13.8	28
250	16.9	15	500	14.9	27
300	12.6	30	550	16.5	27

5) Al-Zn 系——この系は次章に述ぶるが如く約 18% Zn 迄は単一固溶體であるから其軟化曲線に何等異常點は認められないがそれ以上のものは常温に於て $\alpha + \gamma$ 組織であるから Table VII, Fig. 7 (PL. 1)に見らるゝ 250°C 以上の曲線は $\gamma \rightarrow \alpha + \gamma$ 反應に原づくものである。

Table VII.

Al-Zn (Z13, Zn=23.54%)

軟化温度 °C	抗張力 kg/mm ²	伸長率 %	軟化温度 °C	抗張力 kg/mm ²	伸長率 %
常温	46.7	10	300	36.7	16
100	46.1	10	350	38.6	15
150	40.2	10	400	37.0	16
200	29.2	14	450	36.5	15
250	27.6	25			

6) Al-Fe 系——この系は Al-Ni 系と殆んど同一で多少焼入効果があるけれどもその程度は低い。軟化は 200°C から始り 350°C で終る。

7) Al-Ni 系——こゝに試験したすべての合金は Table VIII, 及 Fig. 8(PL. 1)に見る如く 350°C 以上多少焼入効果がある様である。

Table VIII.

Al-Ni (N5, Ni=4.63%)

軟化温度 °C	抗張力 kg/mm ²	伸長率 %	軟化温度 °C	抗張力 kg/mm ²	伸長率 %
常温	24.5	4.5	350	15.3	28.5
100	23.6	5	400	15.8	26
150	22.8	5	450	16.9	25
200	22.0	6	500	17.3	25

250	21.3	9	550	17.7	24
300	15.3	29			

8) Al-Mn 系——軟化曲線の一例を Table IX, Fig. 9 (PL. I) に示した。この系は他の系に比し完全軟化圏の範囲が広い。又焼戻効果は全然認められない。

Table IX.

Al-Mn (M3, Mn=2.92%)

軟化温度 °C	抗張力 kg/mm ²	伸長率 %	軟化温度 °C	抗張力 kg/mm ²	伸長率 %
常温	18.3	5	350	14.9	11
100	17.3	5	400	14.2	17
150	17.0	5	450	13.0	22
200	16.8	5	500	12.4	26
250	16.5	7.5	550	12.4	28
300	16.1	8.5	600	13.0	28

以上を總括して各系の完全軟化圏 (complete annealing zone) を書くと Fig. 10 (PL. II) の如くなる。これによつて有用範囲に於けるアルミニウム二元合金の最有効軟化温度を定むれば次の如くなる。

合金系	軟化温度°C	合金系	軟化温度°C
Al-Cu	350	Al-Fe	300
Al-Mg	400	Al-Ni	350
Al-Si	300	Al-Mn	500
Al-Zn	250~300		

アルミニウム二元合金の完全軟化圏の系統的研究は著者の知る限りに於てこれ迄發表されてゐない。

III 焼戻及時効による機械的及物理的性質の變化 (1) 焼戻及時効による抗張力及伸長率の變化——

Al-Cu 及 Al-Mg 系合金の焼戻殊に時効による性質の變化に就ては杉浦博士⁽²⁵⁾の研究中に詳しいから時効に關しては之を省き只著者の必要とするもののみは第三章に於て之に觸れるであらう。

前節の軟化試験により Al-Mn 合金を除き何れも焼戻効果のあることを知つたので焼戻試験 (30分加熱して投水す) を行ひ7日以上常温時効の上抗張力試験を行つた。試料は厚さ 1mm の常温壓延板である。各系の焼戻温度は次表の如くである。

合金系	焼戻温度°C	合金系	焼戻温度°C
Al-Cu	500	Al-Si	500
Al-Mg	450	"	550
"	500	Al-Zn	500
"	580	Al-Fe	500
"	600	Al-Ni	500
Al-Si	400	Al-Mn	500

實驗値は Tables X-XVI に示し又各系の機械的性質と組成との關係は Figs. 11-17 (PLs. III-V) によつて明かであるがこれに關する吟味論評は次項と共になすであらう。

Table X.

Al-Cu 合金 (1 mm.)

No.	常溫壓延		軟化(350°C)		焼入(500°C)時效		500°C 加熱空冷	
	力 kg/mm ²	伸 %	力 kg/mm ²	伸 %	力 kg/mm ²	伸 %	力 kg/mm ²	伸 %
1	18.3	5	12.8	29	14.0	31	13.3	33.5
2	20.8	4	14.5	29	15.5	29	14.1	30
3	23.6	5	16.4	27.5	17.8	28	16.6	30
4	24.9	4	16.6	26.5	19.9	27	18.9	30.5
5	30.0	4	16.9	24.5	32.3	19	23.5	24
6	31.6	5	16.8	24	29.9	15	25.5	26
7	32.8	3	16.6	21.5	30.0	16	24.9	21
8	35.6	5	19.6	20	30.1	16	26.0	19
9	30.5	5	18.5	15	31.4	13	26.3	19
10	31.4	4	17.5	16	30.4	10	26.8	14

Table XI.

Al-Mg 合金 (1 mm.)

No.	常溫壓延		軟化(400°C)		焼入		時效	
	力 kg/mm ²	伸 %	力 kg/mm ²	伸 %	力 kg/mm ²	伸 %	力 kg/mm ²	伸 %
1	24.6	5.0	12.7	28	14.5	26.5	(17.2) 16.2	(27.0) 26.5
2	23.8	4.0	13.6	28	14.3	29	(19.7) 19.5	(27) 27
3	18.6	5.0	11.0	25	11.8	25.5	(17.3) 16.2	(22) 24
4	19.4	4.0	15.1	28	(14.4) 14.5	(24) 24	(16.5) 16.0	(26) 24
5	29.6	4.0	23.0	25	—	—	22.7	25
6	35.0	5.0	26.9	25	—	—	27.1	25

焼入時效

No.	(550°C)		(580°C)		(600°C)	
	力 kg/mm ²	伸 %	力 kg/mm ²	伸 %	力 kg/mm ²	伸 %
1	16.5	27.5	(17.3) 15.5	(26.5) 28	16.3	25
2	19.5	25	(19.8) 20.6	(30) 26	20.6	27
3	(19.5) —	(25) —	(20.9) 22.4	(25) 24	22.5	25
4	—	—	(21.2) 23.8	(25) 22	8.4	2

NB. () 内は空冷したもの

Table XII.

Al-Si 合金 (1 mm.)

No.	常温圧延		軟化 (300°C)		焼入時効					
	力 kg/mm ²	伸 %	力 kg/mm ²	伸 %	(400°C)		(500°C)		(550°C)	
					力 kg/mm ²	伸 %	力 kg/mm ²	伸 %	力 kg/mm ²	伸 %
1	20.5	5.5	11.2	35	11.2	32	14.5	29	15.6	30
2	20.7	6	11.2	35	13.0	31	15.2	28	15.8	28
3	21.3	6	11.1	31	12.8	32	14.4	28	15.4	28
4	22.2	5	12.6	34	13.2	29	15.5	29	17.0	26
5	23.1	5	13.4	31	14.3	29	16.4	22	18.5	25
6	26.0	4	14.4	29	15.6	27	18.0	22	20.1	21

Table XIII.

Al-Zn 合金 (1 mm.)

No.	常温圧延		軟化				焼入時効 (500°C)	
	力 kg/mm ²	伸 %	(300°C)		(250°C)		力 kg/mm ²	伸 %
			力 kg/mm ²	伸 %	力 kg/mm ²	伸 %		
1	17.9	5	11.2	29.5	—	—	11.3	32
2	18.5	5	11.8	29	—	—	11.9	32.5
3	20.2	4	11.9	28	—	—	11.9	32.5
4	20.8	6	12.6	28	—	—	12.8	33
5	23.9	7	15.6	31	—	—	15.9	31
6	27.6	6	16.9	32	—	—	16.1	30
7	32.4	8.5	21.9	31	—	—	22.1	29.5
8	34	10	22.5	29	—	—	23.7	27.5
9	39.4	8	26.6	21	—	—	26.8	23
10	40.4	7	28.9	23	—	—	28.7	23.5
11	41.5	11	32.3	23	32.9	24	35.3	15
12	44.9	11	36.2	21	32.0	26	37.5	12
13	46.7	10	36.7	16	30.9	25	40.5	13

Table XIV.

Al-Fe 合金 (1 mm.)

No.	常温圧延		軟化 (350°C)		焼入 (500°C) 時効	
	力 kg/mm ²	伸 %	力 kg/mm ²	伸 %	力 kg/mm ²	伸 %
1	16.7	5	11.3	30	13.3	28
2	17.8	5	12.1	33	13.8	30
3	18.6	4	12.6	25.5	13.9	24
4	17.3	4	12.0	24	13.9	23
5	19.2	2	12.3	21	13.7	22

Table XV.

Al-Ni 合金 (1 mm.)

No.	常溫壓延		軟化(30°C)		焼入(500°C)時效	
	力 kg/mm ²	伸 %	力 kg/mm ²	伸 %	力 kg/mm ²	伸 %
1	18.7	5	12.3	30.5	13.7	33
2	19.4	5	13.0	29.0	15.4	27
3	20.8	3	14.2	28.5	16.4	25
4	23.4	5	14.7	30.0	17.6	25
5	24.5	4.5	15.3	28.5	18.4	24

Table XVI.

Al-Mn 合金 (1 mm.)

No.	常溫壓延		軟化(500°C)		焼入(500°C)時效	
	力 kg/mm ²	伸 %	力 kg/mm ²	伸 %	力 kg/mm ²	伸 %
1	18.1	7	12.3	33	11.8	37
2	17.6	7	12.1	33	12.3	34
3	18.3	5	12.4	26	12.4	27
4	18.4	5	13.1	22	13.2	24
5	18.1	1.5	13.1	19	13.1	22

(2) 焼入による硬度及電気抵抗の變化——5mm の熱壓延板を各系合金の夫々の最有効軟化温度に2~6 時間加熱し徐冷したものから硬度試料と電気抵抗試料とを切りだした。前者は 2cm 角、後者は直径 3mm、長さ 15cm の棒である。これらの試料に就き軟化状態及 400—580°C の温度から焼入(當該温度に 1 時間保持後)直後の状態に於ける硬度及比電気抵抗を測定した。測定値は何れも 2 回乃至 3 回の平均をとつた。硬度はブリネル式で 10mm 球を用ひ 500kg の荷重を 30 秒與へた。又比電気抵抗は標點距離 10cm とし電流 5~10 amps.を流し Leeds & Northrup Co. 製 Potentiometer を使用して電壓を測定し型の如くにして計算した。

1) Al-Cu 系：比電気抵抗及硬度の實驗値は Tables XVII & XVIII に表示し組成との關係は Figs. 18 & 19 (Pl. VI) に示した。これらの値から 99% 純度のアルミニウムに対する CuAl₂ の溶解度を定むると大約次の如くなる。

温度 °C	Cu %
常溫	0.50
400	2.75
500	4.50

Table XVII.

Al-Cu 合金の比電気抵抗
(10⁻⁶ ohm, 20°C)

No.	軟化 350°C	焼 入 直 後		
		400°C	450°C	500°C
Al (99%)	2,900	—	—	2,895

1	3,020	3,030	3,075	2,128
2	3,120	3,154	3,220	3,300
3	3,140	3,340	3,380	3,495
4	3,090	3,380	3,460	3,610
5	3,175	3,485	3,810	4,180
6	3,295	3,465	3,820	4,360
7	3,310	3,560	3,842	4,410
8	3,490	3,570	3,905	4,515
9	3,525	3,660	3,980	4,625
10	3,685	3,785	4,040	4,670

Table XVIII.

Al-Cu 合金のブリネル硬度

No.	軟化 350°C	焼入直後		No.	軟化 350°C	焼入直後	
		400°C	500°C			400°C	500°C
Al(99%)	25.0	25.0	25.0	6	40.8	50.0	60.4
1	27.2	29.1	29.1	7	41.4	52.0	62.6
2	31.5	32.6	32.6	8	43.4	53.2	66.2
3	34.7	36.6	37.6	9	45.4	54.0	68.2
4	35.6	40.6	42.2	10	45.2	59.0	73.4
5	40.2	47.2	53.6				

焼入による硬化は CuAl_2 のアルミニウムに対する溶解度が温度の低下と共に減するに由る。即ち焼入によつて硬度及電気抵抗を増加し其量は焼入温度の高い程大である。又 500°C の焼入に於ては 2% 以上 4% Cu 迄は焼入効果は急増しそれ以上 15% 迄は増し方は殆んど不変である。尙 500°C から焼入し時効せしめたものゝ抗張力試験によるに焼入時効々果は 4% 迄漸次増しそれ以上は變らない。

2) Al-Mg 系 : 實驗値は Tables XIX & XX, Figs. 20 & 21 (Pl. VI) に示した。

Table XIX.

Al-Mg 合金の比電気抵抗
(10^{-6} ohm, 20°C)

No.	軟化 400°C	焼入直後		No.	軟化 400°C	焼入直後	
		500°C	580°C			500°C	580°C
1	3,135	3,464	3,470	4	3,420	3,600	4,050
2	3,263	3,570	3,700	5	4,455	4,395	—
3	3,000	3,410	3,890	6	4,965	4,856	—

Table XX.

Al-Mg 合金のブリネル硬度

No.	軟化 350°C	焼入直後		No.	軟化 350°C	焼入直後	
		500°C	580°C			500°C	580°C
1	28.1	33.0	33.4	4	34.7	36.8	42.2
2	29.0	34.8	36.2	5	49.8	49.6	—
3	25.9	33.2	36.7	6	58.2	58.0	—

硬度——電氣抵抗——及抗張力——組成曲線には 0.5% 及 1% Mg で夫々極大及極小を示し焼入効果の極大は 1% Mg に現はれてゐる。(Si = 0.5%, Mg = 0.91% で丁度 Mg_2Si をつくるに相當してゐる) 2% 迄は焼入効果がある。580°C 迄の焼入では温度の高い程焼入効果が大である。これは Mg_2Si の溶解度が温度と共に増すからであり 2% 以上で焼入効果がなくなるのは Mg_2Si をつくるに必要以上のマグネシウムのために Mg_2Si の溶解度を減ずるがためである。

この種合金の 1mm 位の厚さのものは焼入の際空冷でも 投水でも抗張力に及すその影響には大差ない。

3) Al-Si 系:—Tables XXI & XXII, Figs. 22 & 23 (PL.VIII) に示すが如く些少ではあるが何れの合金も焼入によつて電氣抵抗及硬度を増加する。

Table XXI.

Al-Si 合金の比電氣抵抗
(10^{-6} ohm, 20°C)

No.	軟化 300°C	焼入直後 500°C	No.	軟化 300°C	焼入直後 500°C
1	—	—	6	4.58	4.86
2	3.70	3.95	7	5.42	5.71
3	—	—	8	6.23	6.53
4	4.16	4.48	9	6.49	6.75
5	4.03	4.37			

Table XXII.

Al-Si 合金のブリネル硬度

No.	軟化 300°C	焼入直後 500°C	No.	軟化 300°C	焼入直後 500°C
2	29.0	32.3	5	33.5	37.5
4	32.2	35.5	6	38.0	45.0

4) Al-Zn 系:—約 18% Zn 以上は $\gamma \rightleftharpoons \alpha + \gamma$ なる反應のために焼入効果がある。(Tables XXIII & XXIV, Figs. 24 & 25 (PL. VII.))

Table XXIII.

Al-Zn 合金の比電氣抵抗
(10^{-6} ohm, 20°C)

No.	軟化 300°C	焼入直後 500°C	No.	軟化 300°C	焼入直後 500°C
1	2,970	3,013	8	4,455	4,440
2	3,070	3,075	9	4,665	4,665
3	3,282	3,300	10	4,880	4,890
4	3,465	3,500	11	4,995	5,190
5	3,650	3,680	12	4,910	5,230
6	3,865	3,910	13	4,890	5,345
7	4,035	4,100			

Table XXIV.

Al-Zn 合金のブリネル硬度

No.	軟化 300°C	焼入直後 500°C	No.	軟化 300°C	焼入直後 500°C
1	23.8	24.0	8	60.5	59.9
2	25.0	25.1	9	68.0	68.1
3	26.5	27.0	10	73.5	73.0
4	28.0	28.1	11	82.0	83.0
5	31.5	31.0	12	85.5	89.5
6	33.5	34.0	13	86.0	104.0
7	48.0	47.8			

5) Al-Fe 系:— Al₃Fe の溶解が温度の低下に伴ひ減少するので焼入効果を明かに認むることが出来る。(Tables XXV & XXVI, Figs. 26 & 27, PL. VIII)

Table XXV.

Al-Fe 合金の比電気抵抗

(10⁻⁶ ohm, 20°C)

No.	軟化 350°C	焼入直後 500°C	No.	軟化 350°C	焼入直後 500°C
1	2,978	3,070	4	3,375	3,400
2	3,160	3,240	5	3,500	3,640
3	3,250	3,361			

Table XXVI.

Al-Fe 合金のブリネル硬度

No.	軟化 350°C	焼入直後 500°C	No.	軟化 350°C	焼入直後 500°C
1	24.5	27.3	4	27.0	28.0
2	24.5	29.5	5	27.1	30.0
3	27.0	29.7			

6) Al-Ni 系:— Al-Fe 系と同様の結果を示す。(Tables XXVII & XXVIII, Figs. 28 & 29, PL. VIII)

Table XXVII.

Al-Ni 合金の比電気抵抗

(10⁻⁶ ohm, 20°C)

No.	軟化 300°C	焼入直後 500°C	No.	軟化 300°C	焼入直後 500°C
1	3,005	3,120	4	3,240	3,450
2	3,075	3,190	5	3,260	3,455
3	3,140	3,265			

Table XXVIII.

Al-Ni 合金のブリネル硬度

No.	軟化 300°C	焼入直後 500°C	No.	軟化 300°C	焼入直後 500°C
1	26.0	25.6	4	33.4	35.5
2	28.4	32.3	5	32.6	35.5
3	29.1	32.0			

7) Al-Mn 系:—Tables XXIX & XXX(Figs. 30 & 31, PL.VIII)に示すが如くこの系は全く焼入効果がない。故に Al, Mn の溶解度はたとへあるにしても温度に對して變化がないものと思はれる。

Table XXIX.

Al-Mn 合金の比電気抵抗
(10^{-6} ohm, 20°C)

No.	軟化 500°C	焼入直後 500°C	No.	軟化 500°C	焼入直後 500°C
1	3,385	3,460	4	4,430	4,510
2	3,932	3,970	5	4,620	4,650
3	4,110	4,150			

Table XXX.

Al-Mn 合金のブリネル硬度

No.	軟化 500°C	焼入直後 500°C	No.	軟化 500°C	焼入直後 500°C
1	29.5	27.0	4	33.6	32.6
2	30.4	29.1	5	37.8	37.0
3	31.2	31.2			

IV 總括 本章を總括すれば次の如くである。

1) 有用範圍に於ける Al-Cu, Al-Mg, Al-Si, Al-Zn, Al-Fe, Al-Ni 及 Al-Mn の7系に就いて常溫壓延、軟化及焼入の及ぼす機械的及物理的性質の變化を系統的に研究した。

2) これを工業用アルミニウムに及ぼす7種金屬の影響といふ見地から見て本章の實驗値を一括圖示すれば Figs. 32—36 (PLs. IX—XIII) の如くなる。之等から概括的に次の諸項を認知し得る。

3) 抗張力及伸長率に就ては、軟化した状態では、銅及マグネシウムがアルミニウムを最も強くする。従つて伸の減少も大きい。次いでニッケル、珪素、マンガン、鐵、亞鉛の順序である。注目すべきは珪素の添加による伸長率の減少が最小なることである。アルミニウムはこゝに添加した何れの金屬によつても伸長率は低下せしめられる。

500°C から焼入し時効せしめた状態ではマグネシウム、銅がその影響が大きい。Figs. 32 & 33 を見ると彼のデュラルミンが何故に 4% Cu, 0.5% Mg を含有するかが略ぼ分明するのである。

又含マグネシウム合金殊に1%以上を含むものは焼入温度の上昇と共に著しく焼入時効々果を増すのである。“Y”合金(4% Cu, 1.6% Mg, 2% Ni)が高温度に焼入する程効果を擧ぐるのは主としてマグネシウム含有量の大きなるによるものと察せられる。

尚ここに特筆すべきは少量のマンガン、亜鉛、ニッケルを含むものを焼入時効したものは工業用アルミニウムを焼入時効したものよりも多少とも伸長率を増加することである。

4) 硬度に就ても大略前項の抗張力に相似のことを云ひ得る。

5) 比電気抵抗に就て見ると、軟化状態では珪素、マグネシウム及マンガンが最も抵抗を増加し、次いで鐵、亜鉛でニッケル及銅は増加の割合が略ぼ等しい。

焼入状態では珪素、マグネシウムが影響が大で銅も亦少なからぬ。

添加金属の重量百分率を原子百分率に換算して添加金属のアルミニウムの比電気抵抗に及ぼす影響を見ると Fig. 36 (Pl. XIII) に示すが如き結果となる。

即ち軟化状態に於ては大體マンガン、珪素、マグネシウム、鐵、亜鉛、銅及ニッケルの順に抵抗を増加せしめる。又 500°C からの焼入状態ではマグネシウム (0.5% Mg 迄)、マンガン、銅、珪素、ニッケル、鐵、亜鉛の順序となる。これらの結果は實用上大いに役立つものである。

6) 7種合金系の内焼入効果の少ない Al-Si, Al-Fe 及 Al-Ni は時効効果も亦殆どない。但し Al-Cu Al-Mg 及 Al-Zn 系の時効は後章に譲る。

第一章 文 献

1. Carpenter & Edwards: Eighth Report to the Alloys Research Committee, Inst. Mech. Engrs., Vol 72, 1907.
2. Merica, Waltenberg & Reeman: U.S. Bureau of Standards Sci. paper, No. 337, 1919.
3. Rosenhain, Archbutt & Hanson: Eleventh Report to the Alloys Research Committee, Inst. Mech. Engrs., 1921.
4. Ohtani & Hemmi: J. Soc. Chem. Ind., Japan, Vol. 24, pp. 1353-1368, 1922.
5. Tasaki: "Kinzoku no Kenkyû," Vol. 2, No. 5, 1925.
6. Dix & Richardson: Trans. Am. Inst. Min. Met. Eng., 1926, Advance copy (Feb.); Z. f. Metk., Bd. 18, S. 196, 1926.
7. Hanson & Gayler: J. Inst. Met., Vol. 26, 1921, pp. 321-355.
8. Fraenkel: Z. f. Anorg. Chem., Bd. 58, 1908, S. 154-158.
9. Roberts: J. Chem. Soc., Vol. 105, 1914, pp. 1383-1386.
10. Rassow: Z. f. Metk., Bd. 15, 1923, S. 106.
11. Edwards & Archer: Chem. & Met. Eng., Vol. 31, 1924, p. 504.
12. Czochralski: Z. Angew. Chem., Bd. 25, 1913, S. 494.
13. Guillet: Rev. de Mét., 1922, p. 303.
14. Ohtani: "Kinzoku no Kenkyû," Vol. 2, No. 2, 1925.
15. Gwyer: Z. f. Anorg. Chem., Bd. 57, 1908, S. 113-153.
16. Kurnakow: Rev. de Mét. 20° Anne, 1923, Extraits, pp. 66-74.
17. Goto & Mishima: J. Min. Inst., Japan, No. 474, 1924.

18. Anderson: *The Metallurgy of Aluminium & Aluminium Alloys*, 1925.
19. Goto & Mishima: *J. Min. Inst., Japan*, Vol. XLI, No. 477, 1925.
20. Harada: "Giyūzaidan Kaibo Gikwai Kenkyū Hōkoku, No. 19,
21. Hindrichs: *Z. f. anorg. Chem.*, Bd. 59, 1938, S. 441-448.
22. Schirmeister: *Stahl u. Eisen*, Bd. 35, 1915, S. 649-652; S. 873-877; S. 996-1000.
23. Harada: "Giyū Zaidan Kaibo Gikwai Kenkyū Hōkoku," NoS. 8, 14, & 17.
24. Schulte; *Metal Ind.*, London, Vol. 19, 1921, pp. 131-134.
25. Sugiura: *Studies in Duralumin and on the Hardening Effect of Quenching and Low Temperature Annealing on Some One Solid Solution Alloys*, 1925.
26. Brislee: *Trans. Faraday Soc.*, Vol. 12, 1917.
27. Carpenter and Taverner: *J. Inst. Met.*, Vol. 18, 1917, pp. 115-169.
28. Carpenter and Elas.: *J. Inst. Met.*, Vol. 25, 1921, pp. 321-355.
29. Anderson: *J. Inst. Met.*, Vol. 19, 1918, pp. 221-223; Vol. 20, 1918, pp. 203-220; *Chem. & Met. Eng.*, Vol. 18, 1918, pp. 523-527; *Iron Age*, Vol. 101, 1918, pp. 950-951; Vol. 102, 1918, pp. 148-149.
30. Grard: *Aluminum and Its Alloys*, 1922.
31. Roehrig: *Z. f. Metk.*, Bd. 16, 1924, S. 265.

PL I.

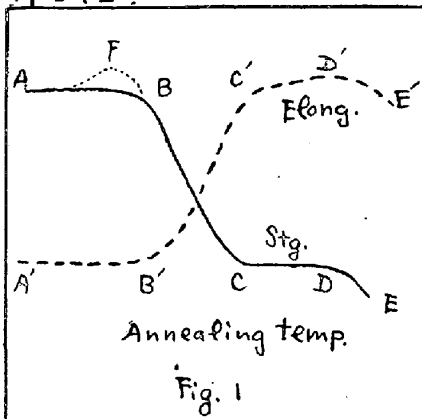


Fig. 1

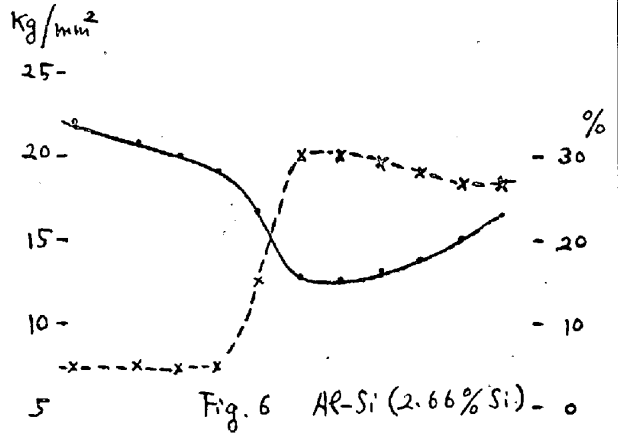


Fig. 6 Al-Si (2.66% Si)

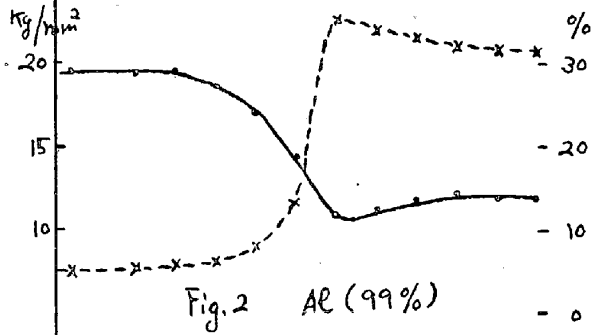


Fig. 2 Al (99%)

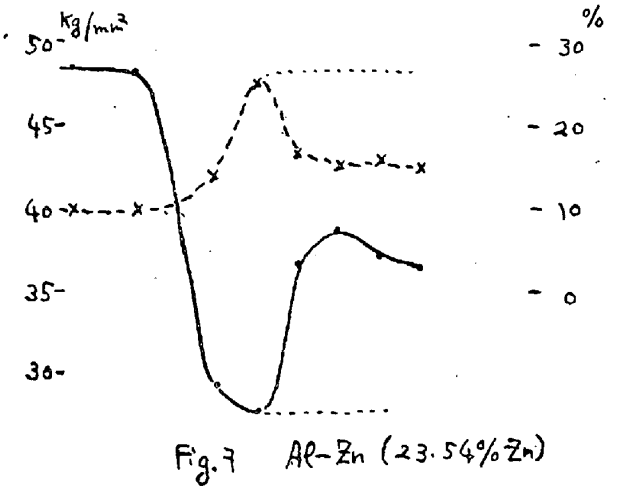


Fig. 7 Al-Zn (23.54% Zn)

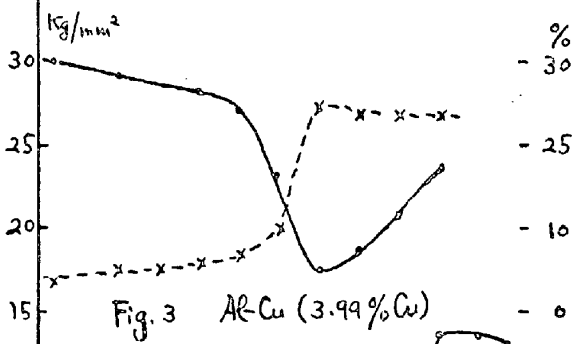


Fig. 3 Al-Cu (3.99% Cu)

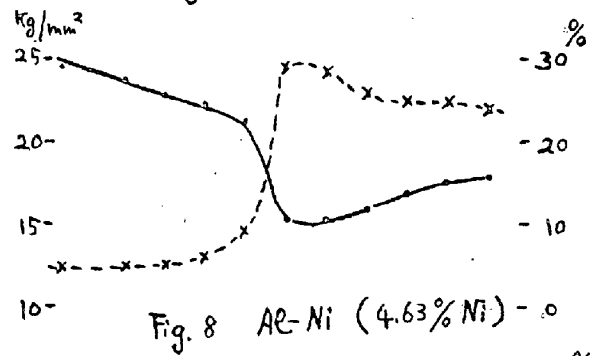


Fig. 8 Al-Ni (4.63% Ni)

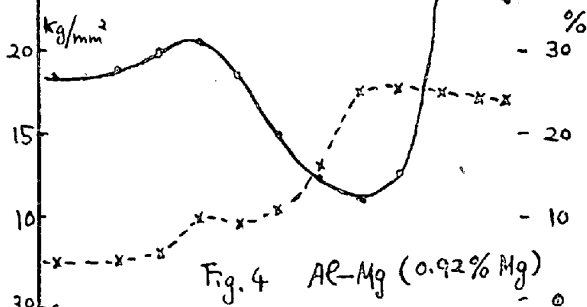


Fig. 4 Al-Mg (0.92% Mg)

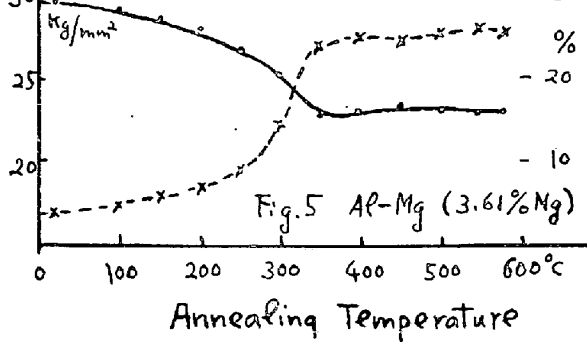


Fig. 5 Al-Mg (3.61% Mg)

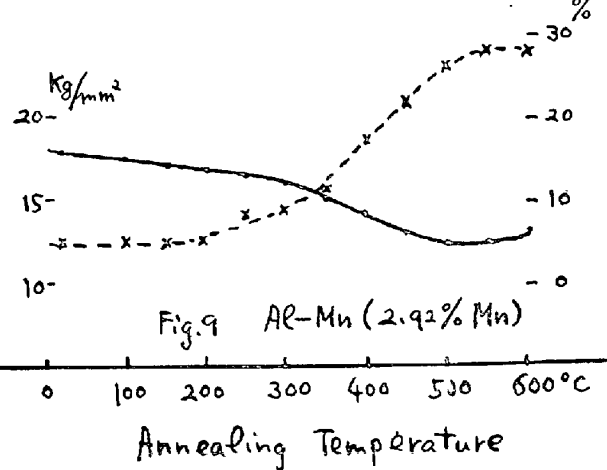


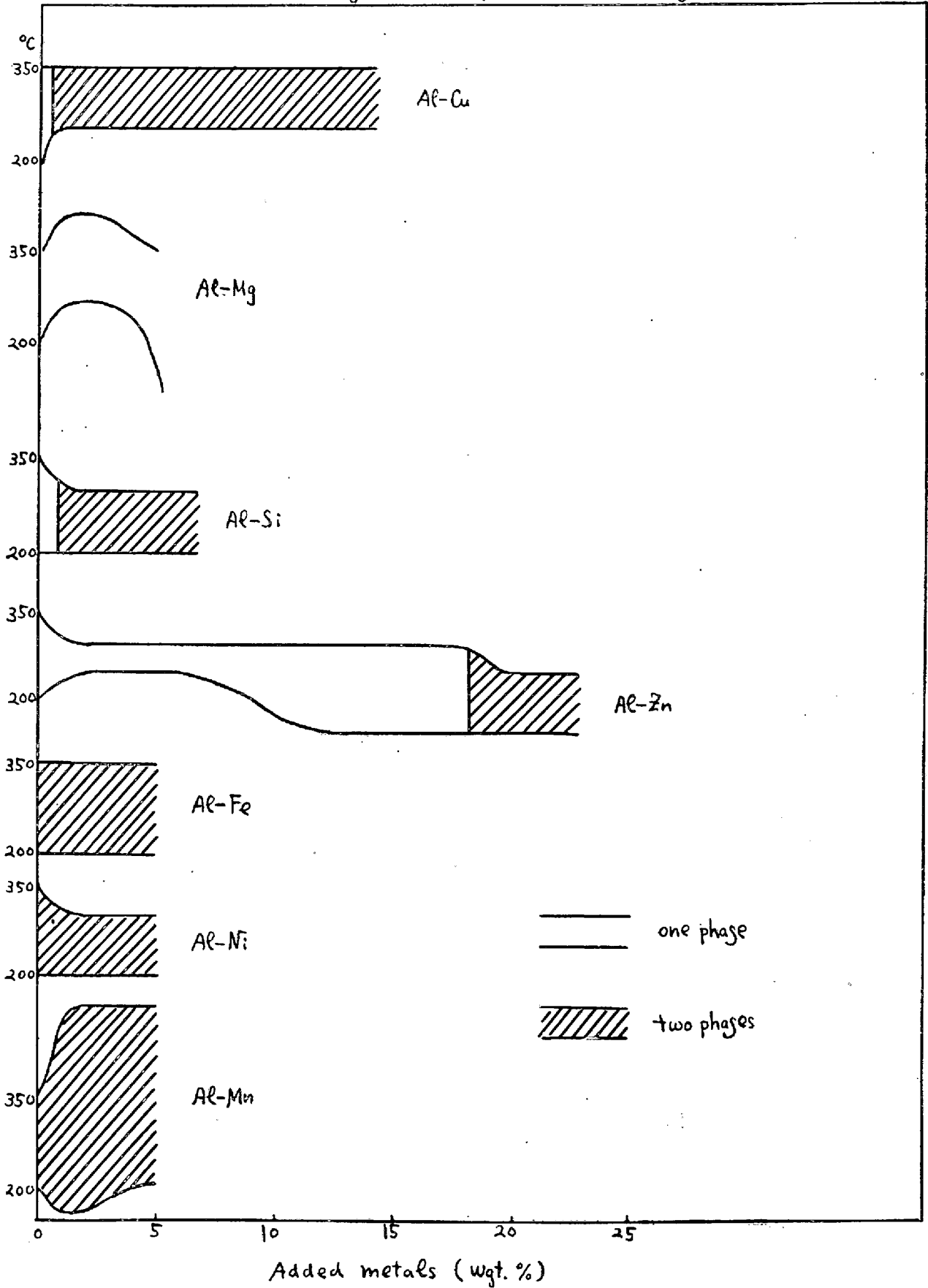
Fig. 9 Al-Mn (2.92% Mn)

Annealing Temperature

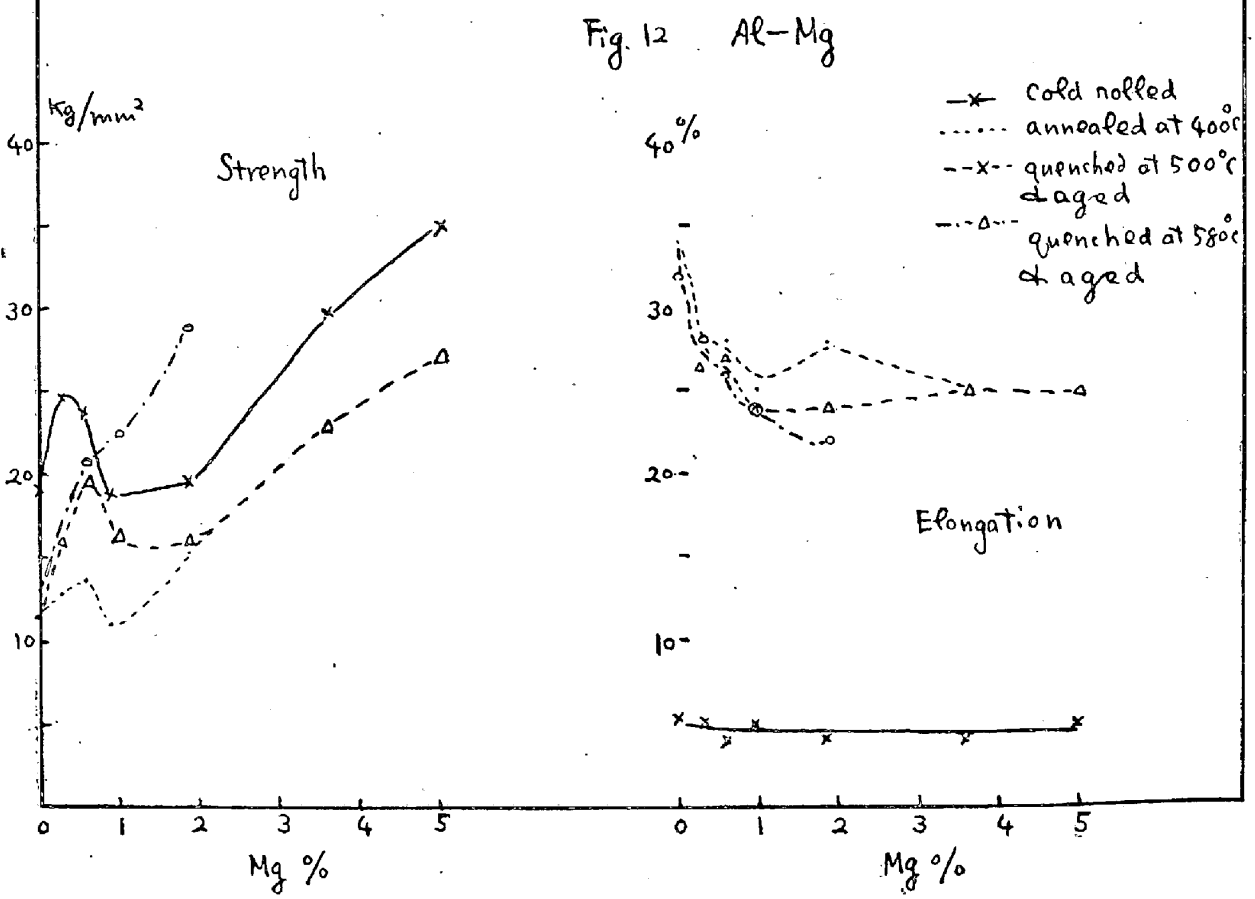
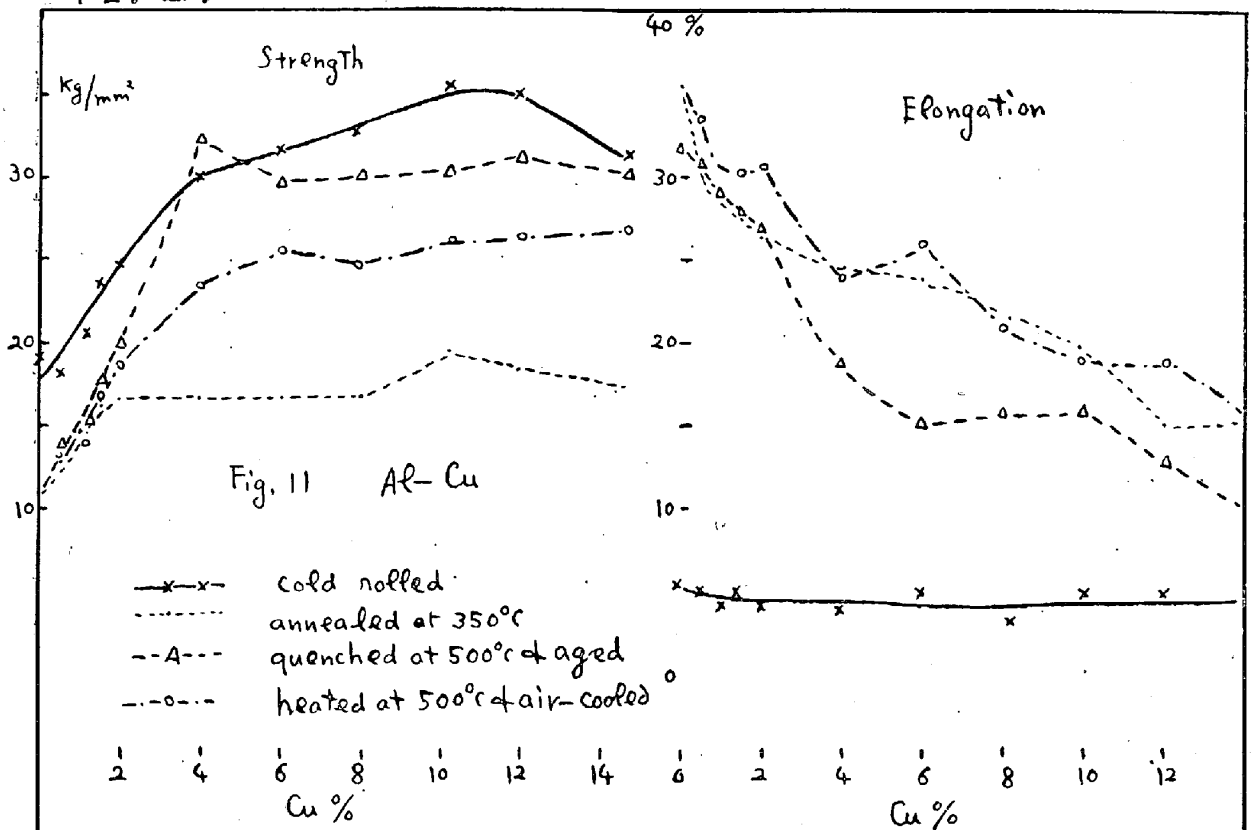
Annealing Temperature

PL. II.

Fig. 10 Complete Annealing Zone

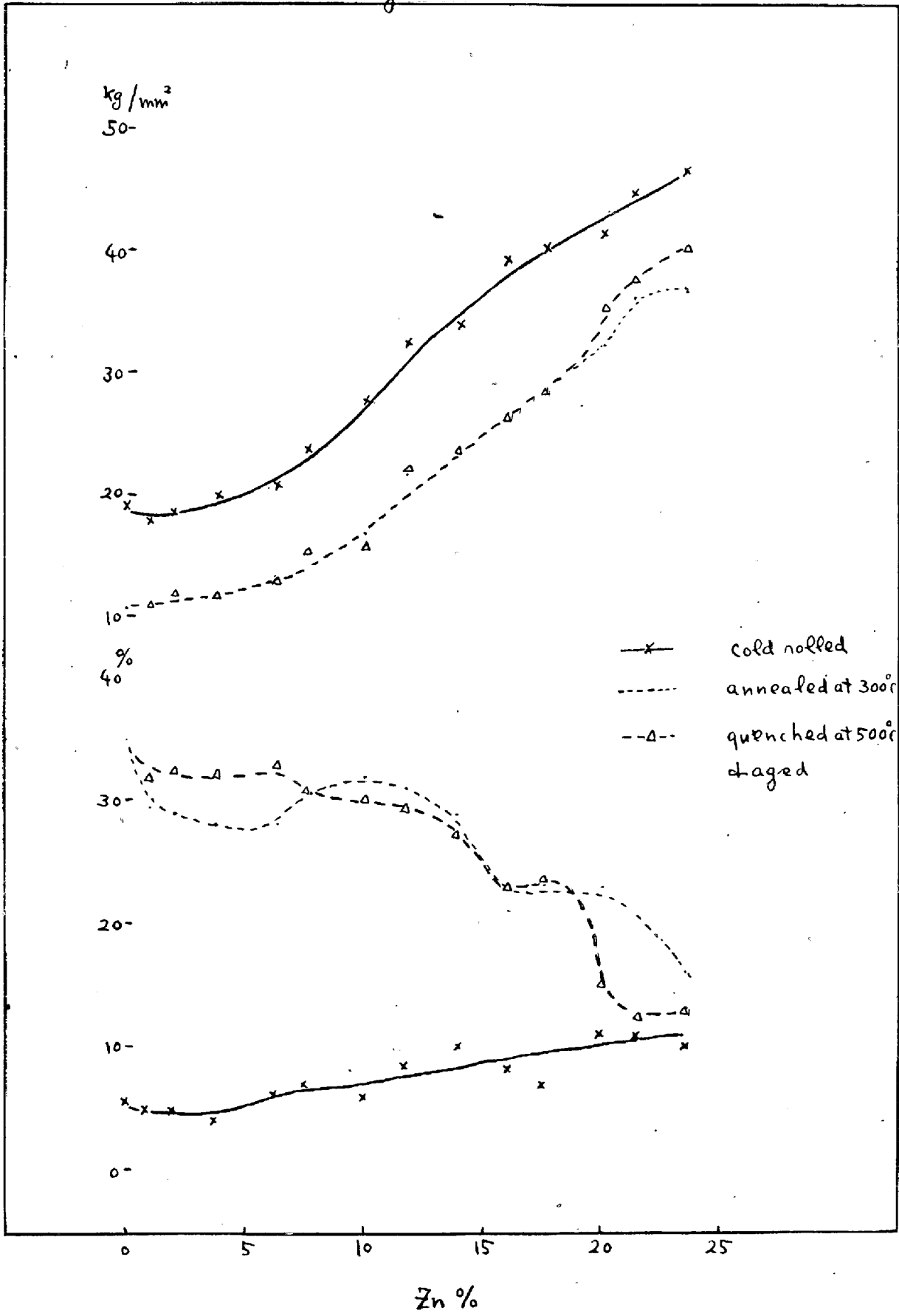


PL. III.

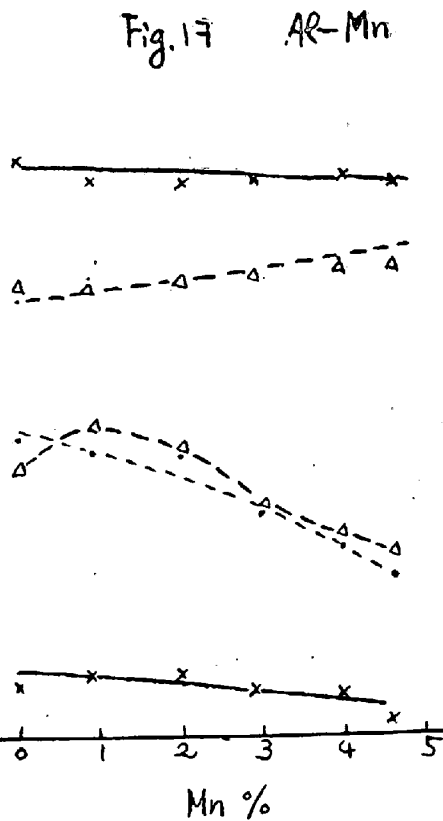
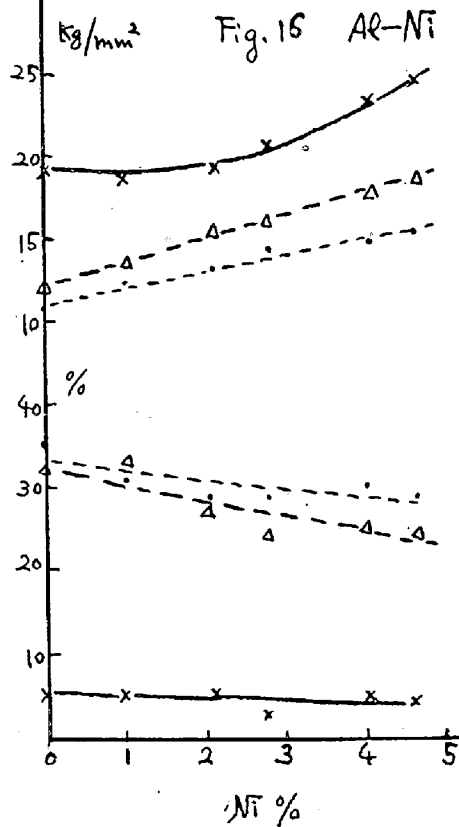
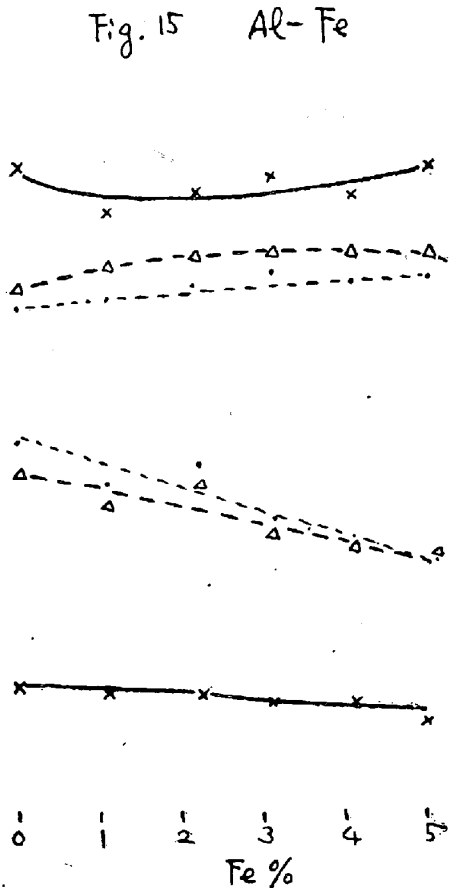
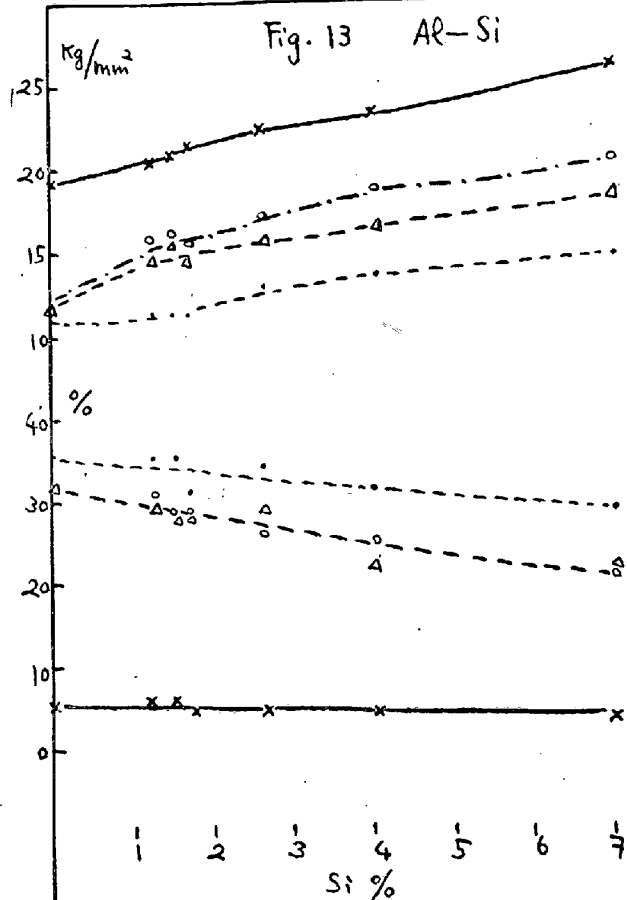


PL. IV.

Fig. 14 Al-Zn



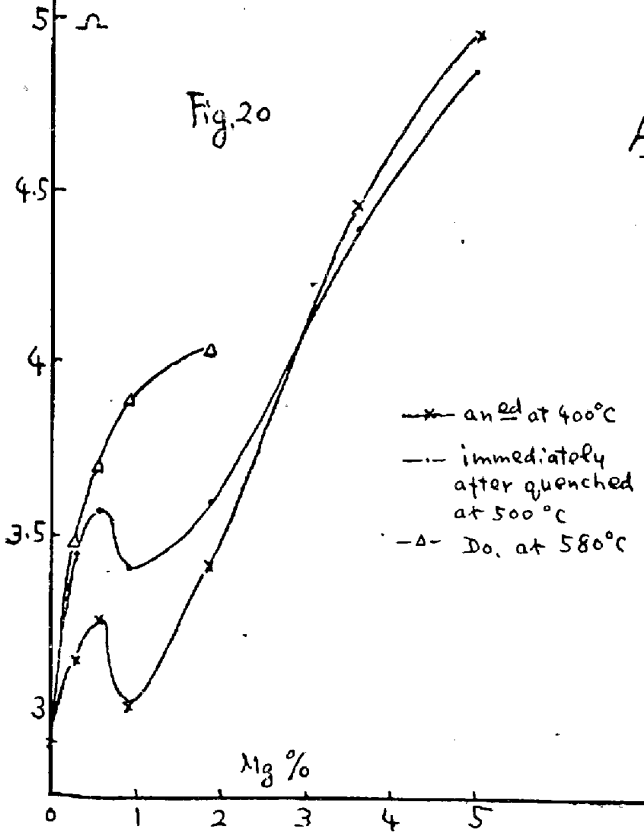
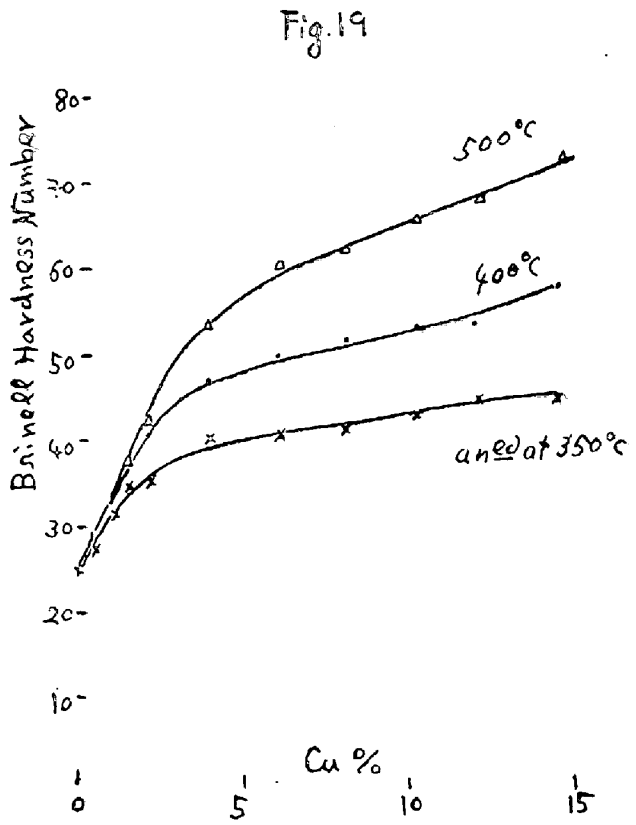
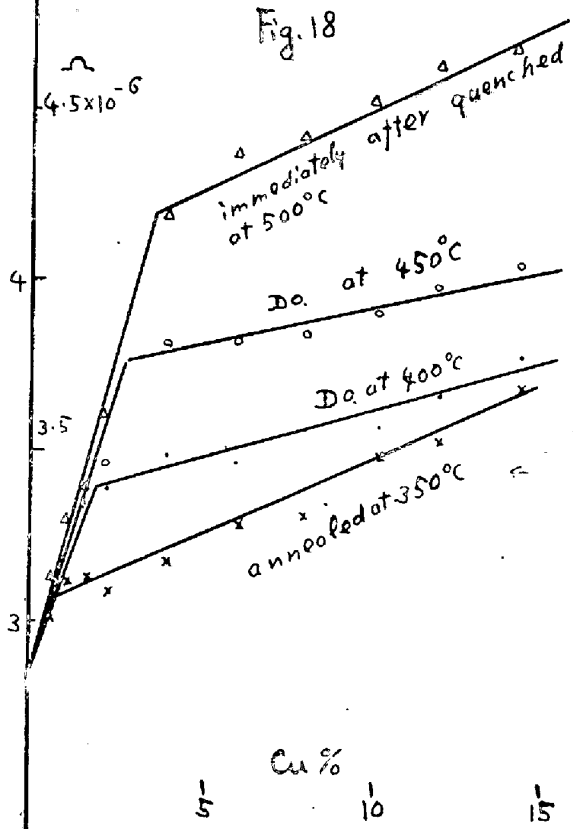
PL.V.



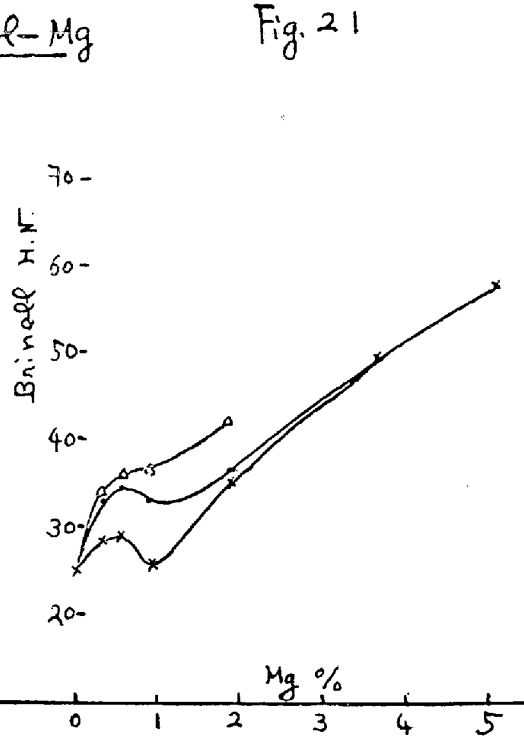
—x— Cold rolled
 annealed at 350°C
 ---Δ--- quenched at 500°C & aged

PL. VI.

Al-Cu

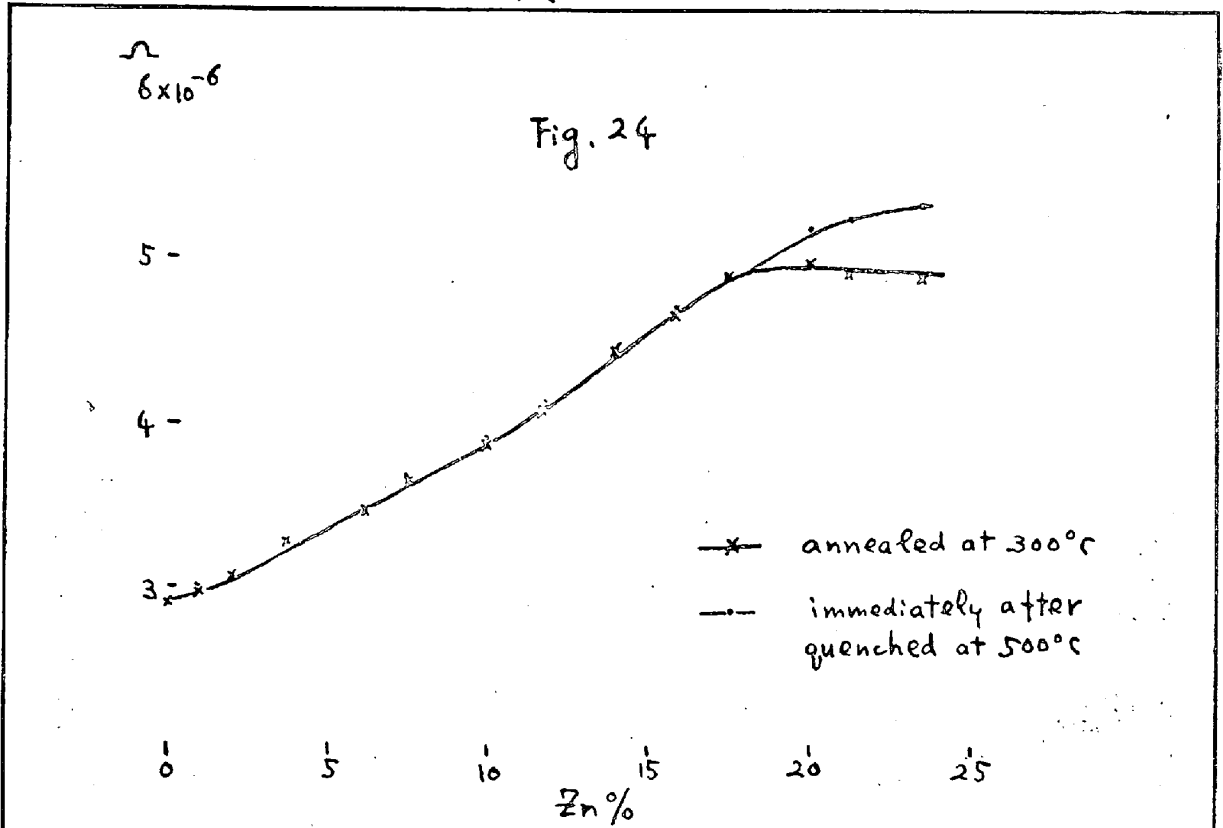


Al-Mg

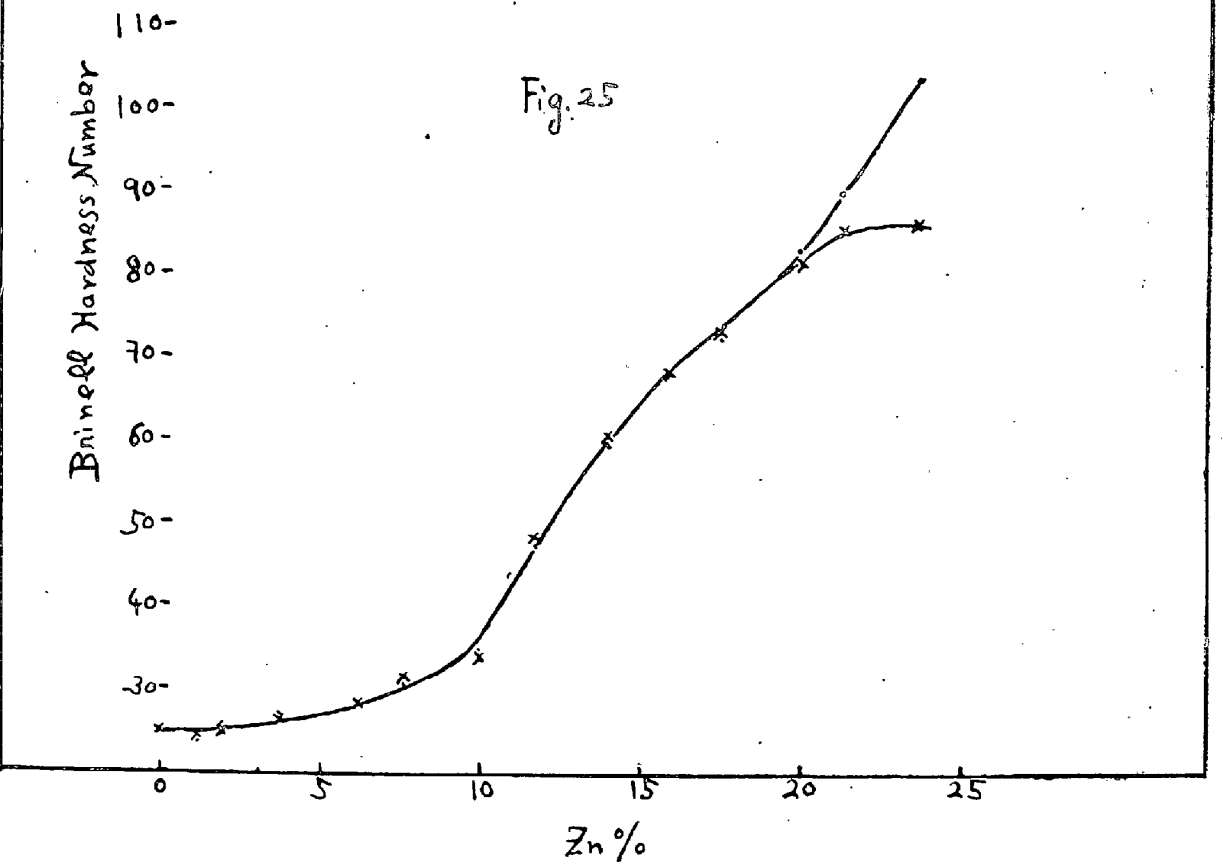


PL. VII.

Al-Zn

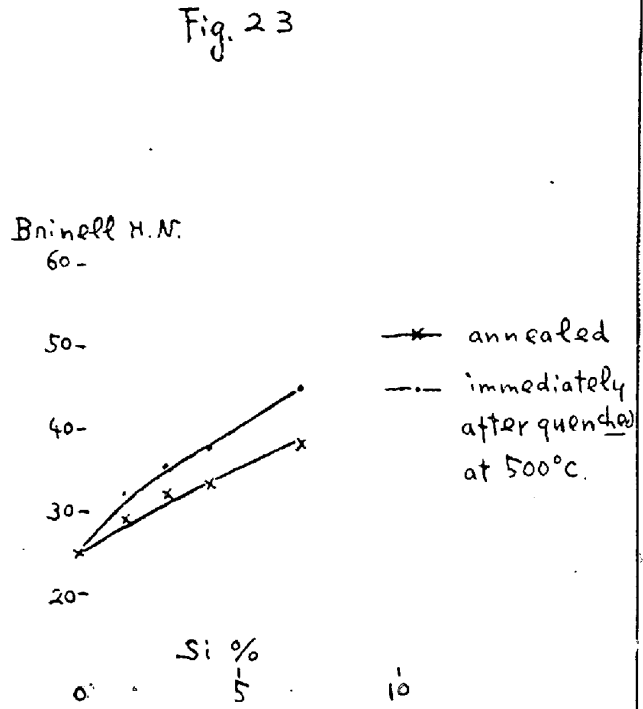
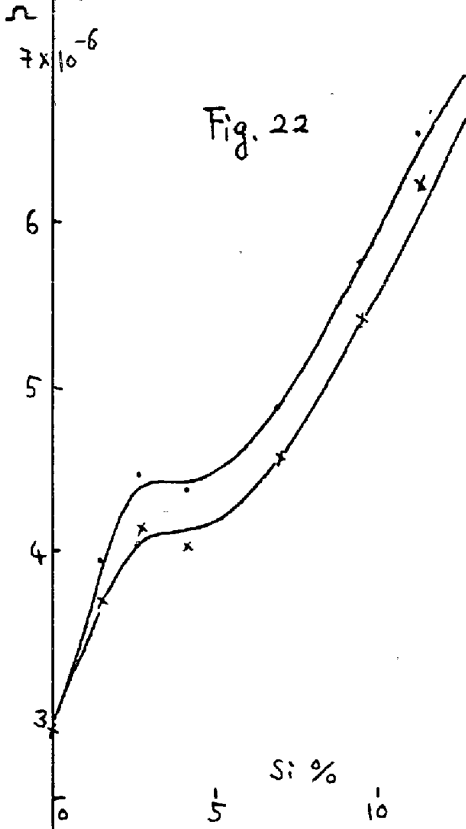


Annealing temperature

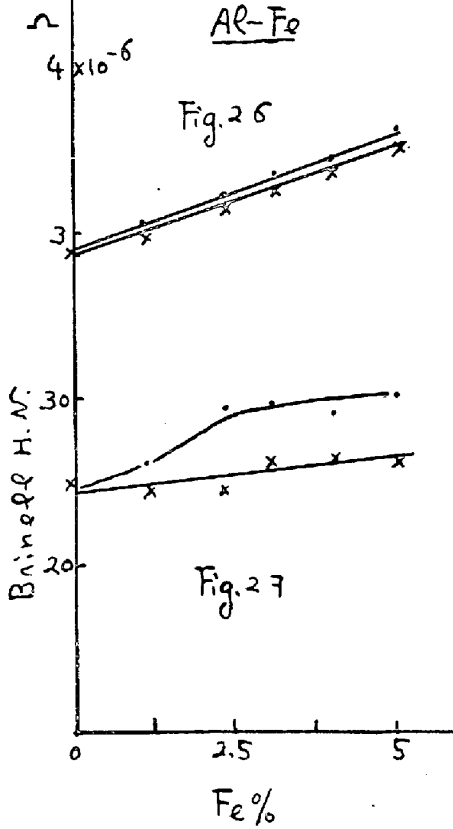


PL. VIII.

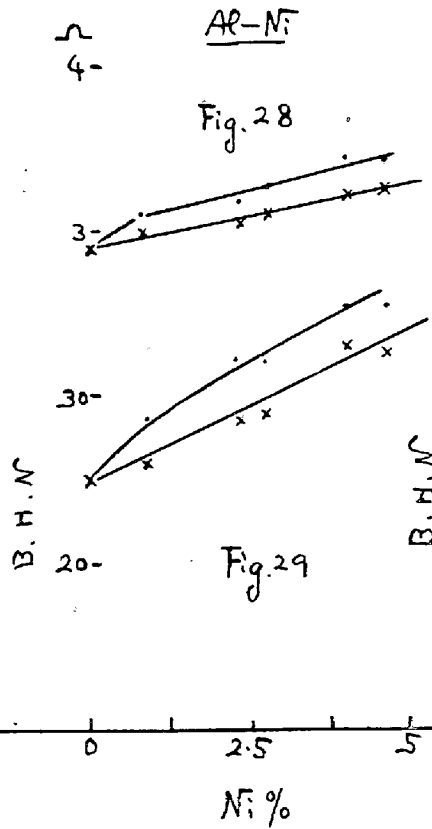
Al-Si



Al-Fe



Al-Ni



Al-Mn

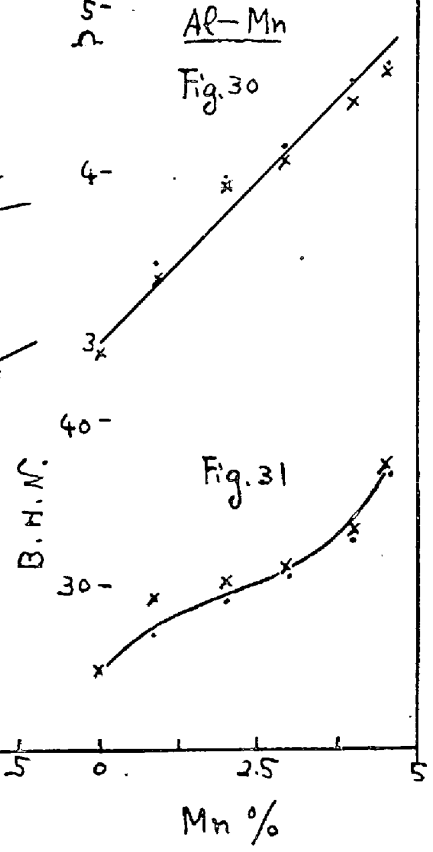


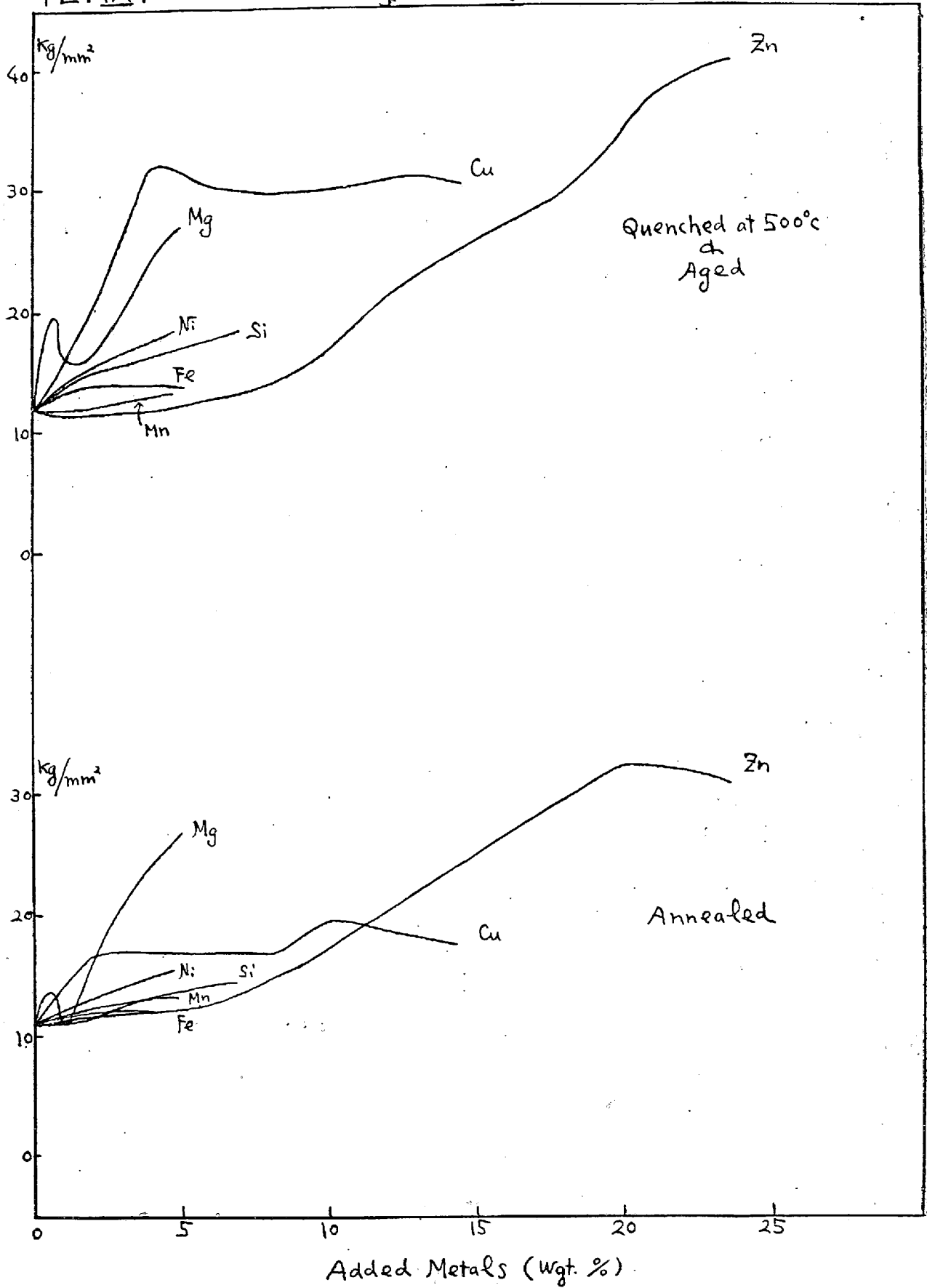
Fig. 27

Fig. 29

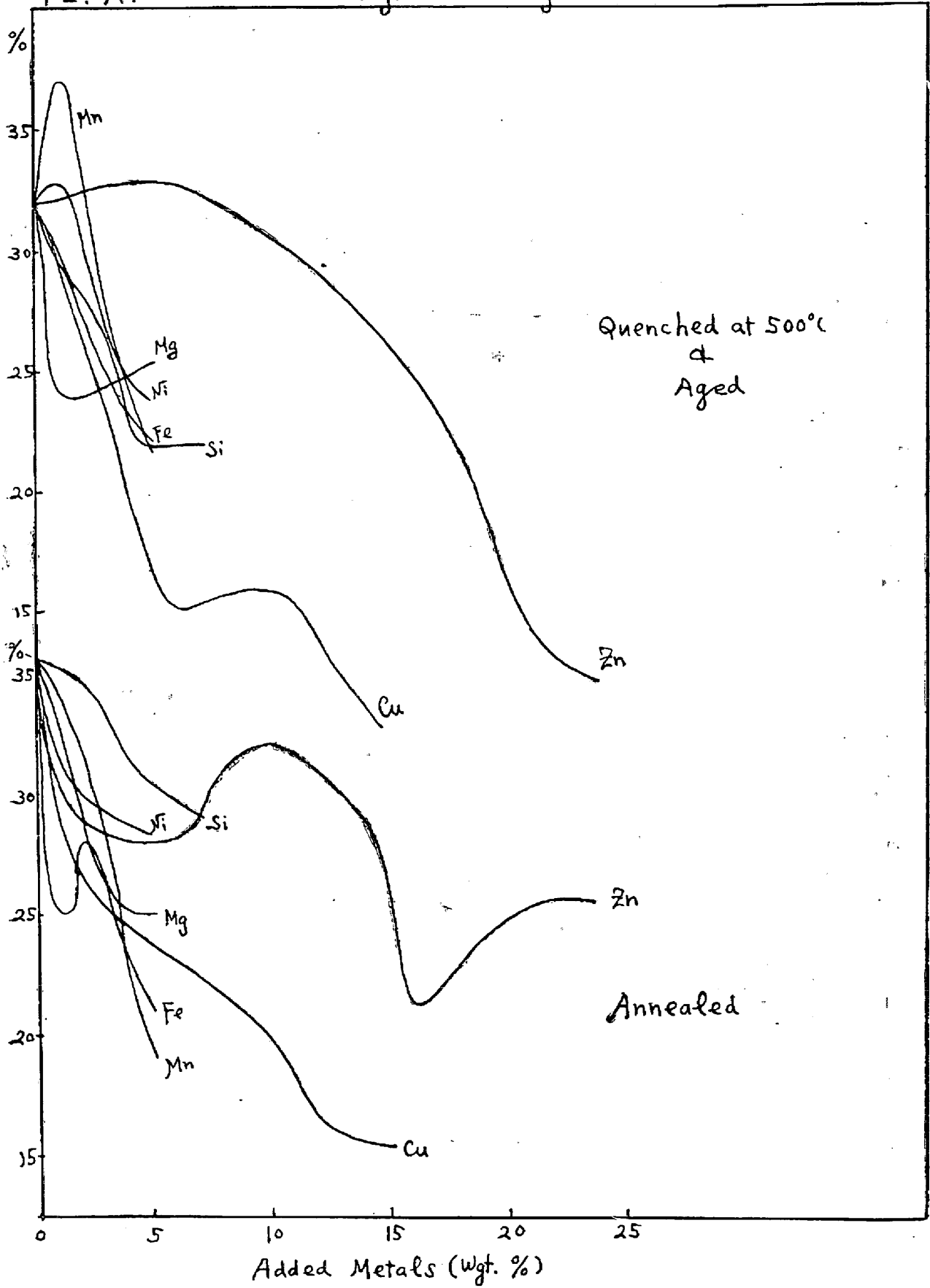
Fig. 31

PL. IX.

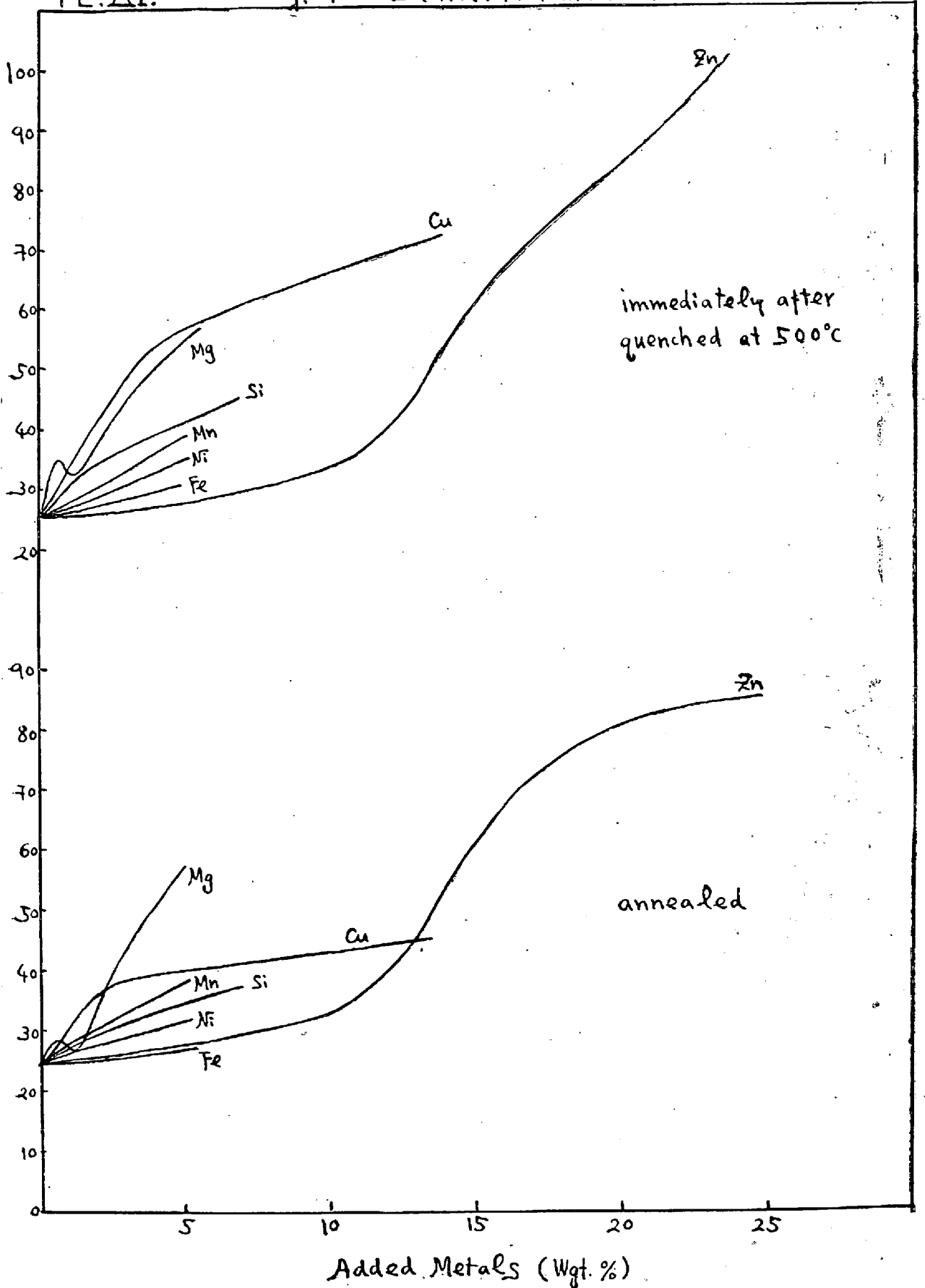
Fig.32 Tensile Strength



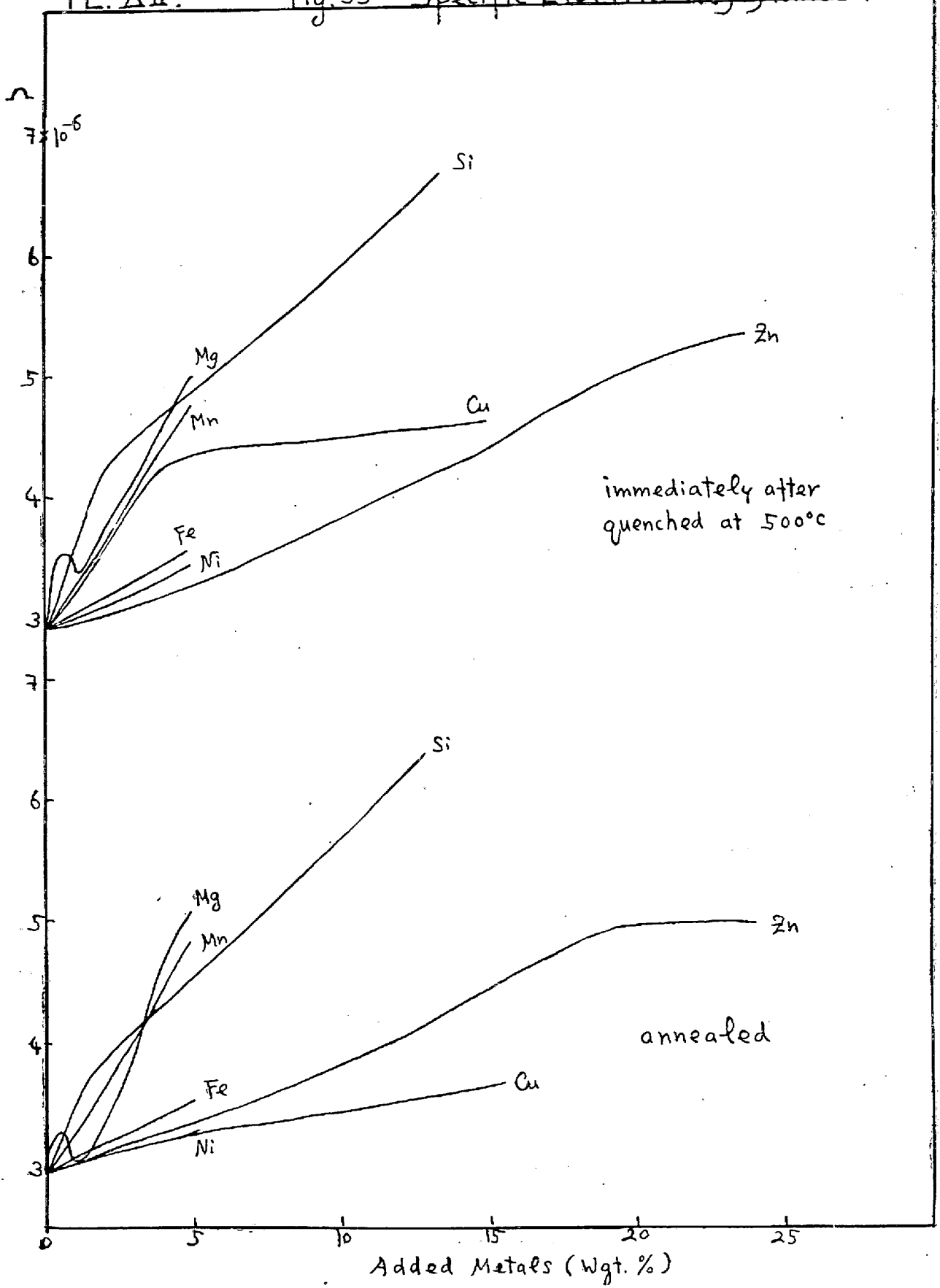
PL. X. Fig. 33 Elongation



PL. XI. Fig. 34 Brinell Hardness Number



PL. XII. Fig. 35 Specific Electric Resistance (I)



PL. XIII. Fig. 36. Specific Electric Resistance (II)

