

# 強靱耐蝕性鍛錬アルミニウム青銅の研究 (第2~3報)

(日本鐵鋼協會第 22~23 回講演大會講演 昭和 14, 10.~15, 4.)

小磯五郎\*・楠本健次\*・矢田益夫\*

## ON SOME CORROSION-RESISTANT WROUGHT ALUMINIUM ALLOY WITH HIGH STRENGTH. II-III REPORT.

Goro Koiso, Kenji Kusumoto and Masuo Yata.

**SYNOPSIS:**—Effects of the addition of *Ni, Fe, Mn, Zn, Cd, Co, Cr, Sb, Ti* and *W* on the mechanical and chemical properties of two-phase aluminium-bronzes was examined. It was confirmed that nickel is not necessarily indispensable element to improve the properties of the two-phase aluminium-bronze, since the presence of nickel in excess of 2% raised the proof stress and hardness, but decreased the ductility remarkably and imparted an almost negligible effect on the corrosion-resistance.

As the result of the study on *Cu-Al-Fe-Mn* series alloys, a new alloy "HB-5" was developed, the properties of which are as follows:

- (1) Chemical composition: *Al* 10.5; *Fe* 4; *Mn* 4; *Zn* 1max.; *Cr* 0.5% max.; *Cu* balance.
- (2) Physical properties: Specific gravity 7.28; coefficient of thermal expansion (20~200°C.) 1.91 × 10<sup>-5</sup>; Young's modulus 11,360 kg/mm<sup>2</sup>; electrical conductivity (*Cu* 100%) 5.5%.
- (3) Mechanical properties:

	Yield Point (0.2%) kg/mm <sup>2</sup>	Tensile Strength kg/mm <sup>2</sup>	Elongation (50mm) %	Brinell Hardness (10/1,000)	Charpy Im- pact Energy kg/cm <sup>2</sup>	Fatigue Limit (10 <sup>7</sup> ) kg/mm <sup>2</sup>
Rolled or extruded rod (d12-100mm.)(Heat treated)	55~107	88~117	15~5	200~275	2.5~0.7	27.0
Rolled sheet(1.5mm thick.) (Heat treated)	58.5	95.0	10.0	—	—	—
Chill cast bar. (As cast)	27.0	91.3	13.0	180	—	—

Effects of quenching and tempering treatment on the hardness, Charpy Impact value, tensile properties, microstructure and X-ray interference ring of extruded aluminum bronze rods (*Al* 10.5% and 11.7%) were also examined. It was concluded that the hardening or softening of the two-phase aluminium-bronze is due to the separation of  $\alpha$  from  $\beta$ , or to the decomposition of  $\beta$  into  $\alpha+\delta$ , or to combination of both changes. It should be noted, however, that the mechanical properties of these alloys with approximately eutectoid composition varies to a considerable extent with a minor variation in the aluminum content, rate of cooling, the mass of specimen, etc. The difficulties encountered with the commercial heat treatment of these alloys are presumably due to the abovementioned evidences.

### I. 緒 言

第1報に於ては世界各國にて現在實用されつゝあるアルミニウム青銅の一般性狀と、吾々が今日迄必要に應じて試験し來た斷片的な研究成果とを一括取纏めて記述したが、既報の如く現在代表的に優秀と認めらるゝアルミニウム青銅には、何れも數%の *Ni* が含まれ、これを含有しないものは僅に鑄物用として使用されてゐるに過ぎない。然るにこの *Ni* の添加がアルミニウム青銅に對して果して如何なる効果を附與するものか、實驗的に之れを明らかにした文獻が殆ど見當らない。仍て筆者等はアルミニウム青銅の諸性能に及ぼす *Ni* の影響を検討したる結果 *Ni* を全然添

加することなしに、之れを含むものに何等遜色なき特殊アルミニウム青銅 "HB-5" 合金を得たるを以て、本報には主としてアルミニウム青銅に及ぼす *Ni* 其他の添加金屬の影響及特殊アルミニウム青銅 "HB-5" の諸性能を報告し、尙アルミニウム青銅の熱處理による機械的性質の變化と、之れを X 線的に考察せる結果とを併述して一と先づ本題に關する報告を終結することとする。

### II. アルミニウム青銅に及ぼす添加金屬の影響

1. *Ni, Fe, Mn, 及 Zn* の影響 古くから *Ni* は *Fe, Mn* と同様、アルミニウム青銅の結晶粒粗大化を防ぎ、同時にその強度を増し又 570°C 附近に起る共析反

\* 住友伸銅所

應を抑制して、鑄造の際に起り勝ちなる“自己焼鈍”の現象を防止する等と云はれてゐるが、實驗的に之れを明らかにした文獻は甚だ少い。

吾等が 9~11% Al·Cu 合金に對する Ni, Fe, Mn, Zn の影響を試験せる結果を要約すれば次の如くである (第 1~2 表及第 1~4 圖参照)。

- ① Ni はアルミニウム青銅の強度、特に降伏點を増すが伸を減ずる、
- ② Mn は靱性を増すが強度には殆ど影響しない。
- ③ Fe, Zn は Ni に次いで強度を増す。而して Fe は靱性を害すること極めて僅少であるが Zn は Ni と同程度に伸を減ずる。
- ④ Ni の添加は常溫に於ける耐鹽酸性を著しく低下する。
- ⑤ 少量の Zn は耐酸性及耐海水性を良好ならしむ。
- ⑥ 結晶粒微細化には Fe が最も有効で 2% 以上の Ni も稍効果を認める。

即ち以上の結果を綜合して考察するに、アルミニウム青

銅に對する Ni の添加は絶體的に必要なものではなく、適當量の Fe, Zn に依て強度と耐蝕性とを附與し、又 Mn の添加によつて靱性を改善するならば敢て Ni の添加を必要としないものと認める。

第 1 表 Mechanical Properties of "Aluminium-Bronze" Containing Ni, Fe, Mn or Zn.

A. 33% Cold rolled Sheet, 1mm thick.

Chemical Composition%						Yield Point(0.2%) kg/mm <sup>2</sup>	Tensile Strength kg/mm <sup>2</sup>	Elongation (50mm) %
Cu	Al	Ni	Fe	Mn	Zn			
Rem.	9	—	—	—	—	65.0	71.3	18
"	"	1	—	—	—	75.5	82.3	10.5
"	"	—	1	—	—	77.0	83.4	9
"	"	—	—	1	—	65.7	74.5	15
"	"	—	—	—	1	65.5	72.6	15
"	"	1	1	—	—	79.4	85.0	7.5
"	"	1	—	1	—	75.5	80.4	11
"	"	1	—	—	1	74.0	80.0	10.5
"	"	—	1	1	—	74.5	80.7	12.5
"	"	—	1	—	1	76.5	81.8	9
"	"	—	—	1	1	73.5	80.5	7.5
"	"	1	1	1	—	81.6	89.6	6
"	"	1	1	—	1	83.8	87.8	8
"	"	1	—	1	1	78.5	83.0	7
"	"	—	1	1	1	78.0	82.6	8
"	"	1	1	1	1	86.6	93.5	5.5

B. 1.5mm Sheet, Hot rolled at 750°C.

Chemical Composition, %						As Hot rolled				Quenched from 850°C and Tempered at 350°C			
Cu	Al	Ni	Fe	Mn	Zn	Yield Point (0.2%) kg/mm <sup>2</sup>	Tensile Strength kg/mm <sup>2</sup>	Elongation %	Vickers Hardness (10kg)	Yield Point (0.2%) kg/mm <sup>2</sup>	Tensile Strength kg/mm <sup>2</sup>	Elongation %	Vickers Hardness (10kg)
Rem.	10	—	—	—	—	76.3	85.0	8	99.5	64.1	84.1	14	99
"	"	—	1	—	—	79.5	89.2	7	100.5	35.6	73.1	14	98.5
"	"	1	—	—	—	44.9	80.6	17	96	63.6	74.2	1.5	98
"	"	—	—	1	—	73.8	87.9	10.5	100.5	65.0	78.2	5	105
"	"	—	—	—	1	36.0	72.7	24.5	90	68.1	75.8	1.5	104
"	"	—	2	—	—	74.3	91.7	6	99	52.3	64.6	2	97
"	"	—	3	—	—	56.6	84.2	17.5	97	47.8	79.3	8.5	98
"	"	1	1	—	—	55.8	88.8	17	100	49.2	80.2	6.5	96
"	"	1	3	—	—	51.5	89.0	17	100	46.3	81.6	12	97
"	"	—	1	1	—	70.2	87.1	12	100	50.2	81.3	5	104
"	"	—	3	1	—	44.5	86.7	20	96	47.2	78.5	14	102
"	"	—	1	—	1	40.7	88.6	21	93.5	62.2	82.0	1.5	106
"	"	1	1	1	—	36.0	82.0	16	96	81.6	83.4	1	104
"	"	1	3	1	—	58.2	91.4	8.5	101	78.6	82.4	1.5	104
"	"	1	1	—	1	42.4	87.7	14	98	76.7	84.0	0.5	95
"	"	1	1	1	1	35.1	89.4	15	97	81.1	85.7	1	111
"	"	1	3	1	1	44.3	90.2	—	98	100.6	86.2	0.5	110

C. d 15mm Rod, Rolled at 800°C.

Chemical Composition, %						As rolled				Quenched from 800°C and Tempered at 350°C			
Cu	Al	Ni	Fe	Mn	Zn	Yield Point (0.2%) kg/mm <sup>2</sup>	Tensile Strength kg/mm <sup>2</sup>	Elongation %	Vickers Hardness (10kg)	Yield Point (0.2%) kg/mm <sup>2</sup>	Tensile Strength kg/mm <sup>2</sup>	Elongation %	Vickers Hardness (10kg)
Rem.	10	—	—	—	—	26.5	61.5	29	210	28.6	65.1	22	200
"	"	—	3	—	—	36.5	70.8	25	219	30.0	73.3	26	191
"	"	1	2	—	—	27.2	76.6	24	246	66.5	79.5	3	274
"	"	1	2	1	—	30.2	75.2	25	231	40.0	75.0	5	232
"	"	1	2	1	1	25.5	69.5	13	214	55.5	78.0	1.5	272

D. 1.5mm Sheet, Hot rolled at 800°C.

Chemical Composition, %						Annealing Temperature °C	Yield Point (0.2%) kg/mm <sup>2</sup>	Tensile Strength kg/mm <sup>2</sup>	Elongation %	Vickers Hardness (10kg)
Cu	Al	Ni	Fe	Mn	Zn					
Rem.	11.01	—	—	—	—	350	54.0	83.3	4.5	265
"	11.03	—	0.98	—	—	400	63.2	91.0	4.5	260
"	11.04	—	2.08	—	—	"	60.5	89.5	3.0	275
"	10.99	—	3.04	—	—	"	64.8	93.9	3.0	268
"	11.04	—	4.08	—	—	"	67.8	108.4	2.0	275
"	11.06	—	—	0.95	—	350	52.5	83.5	3.5	253
"	11.12	—	—	1.92	—	"	52.5	69.2	2.0	256
"	11.11	—	—	2.80	—	"	62.4	69.8	2.0	266
"	11.36	—	—	3.72	—	"	59.0	69.4	3.0	266
"	10.89	1.06	—	—	—	400	85.1	97.0	1.0	294
"	11.16	1.91	—	—	—	"	89.5	92.4	0.5	304
"	10.37	3.09	—	—	—	"	57.8	94.9	4.0	259
"	10.91	4.06	—	—	—	"	58.2	95.7	3.0	268
"	11.19	—	—	—	0.53	400	74.0	88.7	1.5	270
"	11.33	—	—	—	1.08	"	76.4	86.5	1.0	285
"	11.21	—	—	—	2.12	"	?	82.0(?)	0	289
"	11.95	—	—	—	2.70	"	?	?	?	330

E. d 15mm Rod, Hot rolled at 800°C

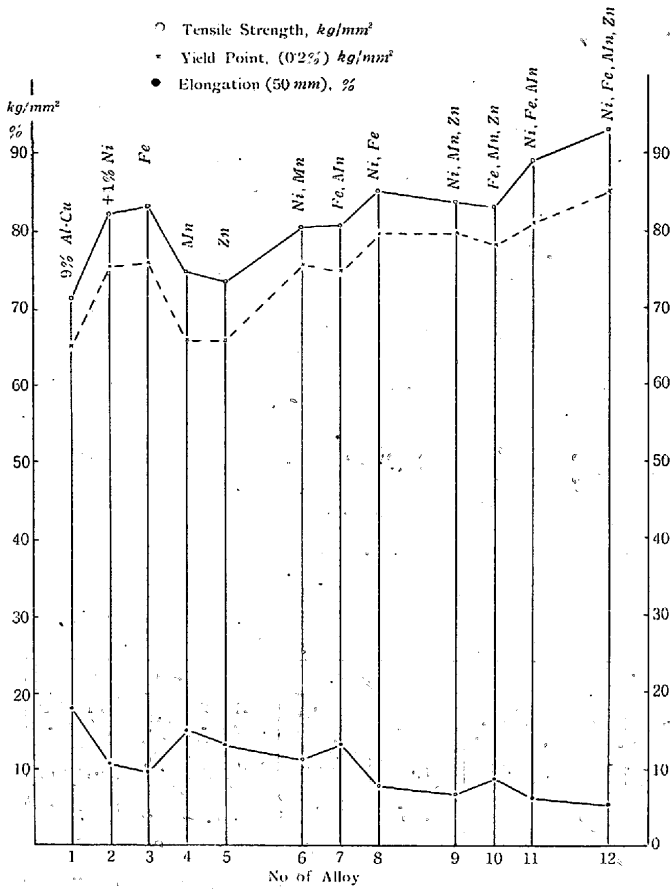
Chemical Composition, %						As rolled				Annealed at 350°C				Quenched from 800°C and Tempered at 350°C			
Cu	Al	Ni	Fe	Mn	Zn	Yield Point (0.2%) kg/mm <sup>2</sup>	Tensile Strength kg/mm <sup>2</sup>	Elongation %	Vickers Hardness (10kg)	Yield Point (0.2%) kg/mm <sup>2</sup>	Tensile Strength kg/mm <sup>2</sup>	Elongation %	Vickers Hardness (10kg)	Yield Point kg/mm <sup>2</sup>	Tensile Strength kg/mm <sup>2</sup>	Elongation %	Vickers Hardness (10kg)
Rem.	11	—	—	—	—	24.5	56.1	12	217	30.0	57.8	10	227	65.0	67.7	3	252
"	"	—	3	—	—	38.2	73.0	20	210	39.5	73.4	19	212	30.0	71.2	20	180
"	"	1	2	—	—	29.2	70.5	11	252	35.5	75.4	11	266	86.6	86.6	0	285
"	"	1	2	1	—	28.0	73.9	12	252	34.5	73.3	8.5	251	69.0	73.4	3	282
"	"	1	2	1	1	30.5	58.5	4.5	268	37.8	58.3	2	284	65.0	68.2	3	304

第2表 Corrosion Test on "Aluminium-Bronze" Sheet, Containing Ni, Fe, Mn, Zn.

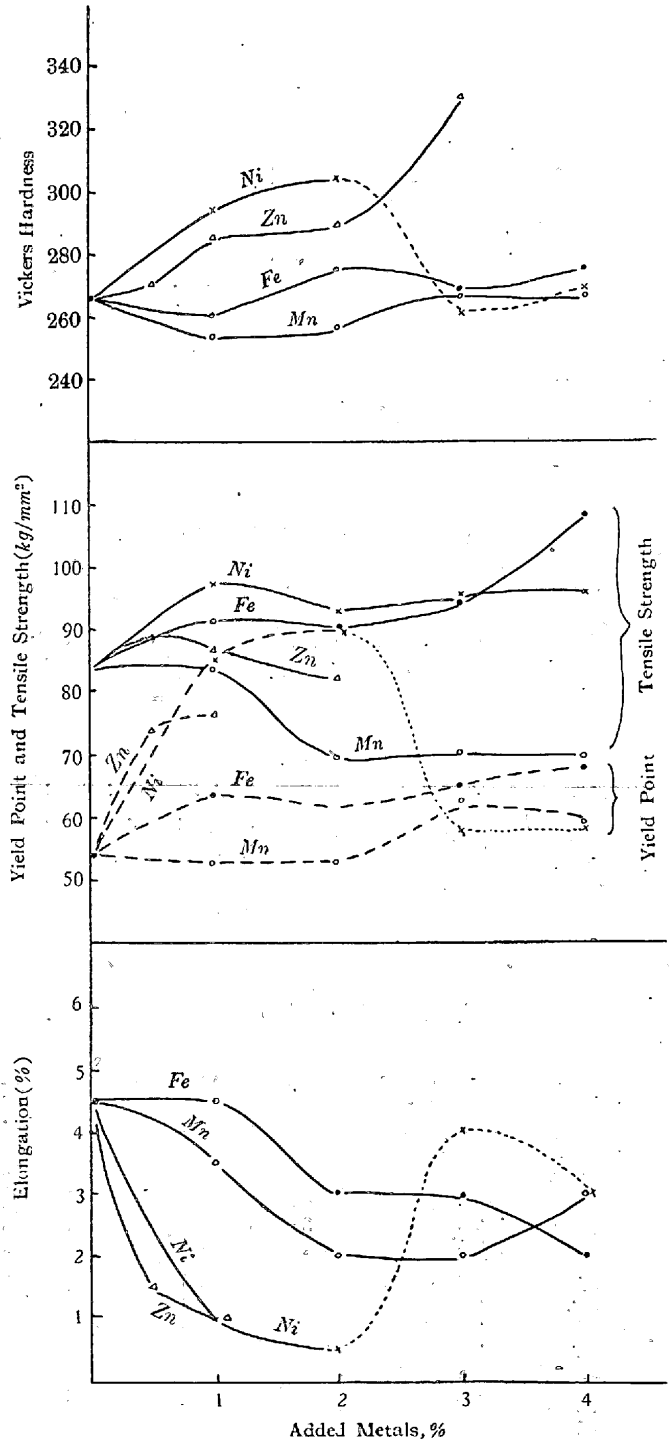
Chemical Composition, %						Weight Loss				
Cu	Al	Ni	Fe	Mn	Zn	10% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		5% HCl		Salt-Spray, 30days, at 20°C mg/cm <sup>2</sup>
						23days, 20°C mg/cm <sup>2</sup>	5hrs, 100°C mg/cm <sup>2</sup> /hr	15days, 20°C mg/cm <sup>2</sup>	5hrs, 100°C mg/cm <sup>2</sup> /hr	
88.99	11.01	—	—	—	—	0.95	0.042	1.10	0.032	1.80
87.99	11.03	—	0.98	—	—	1.00	0.021	1.23	0.078	1.95
86.88	11.04	—	2.08	—	—	1.12	0.019	1.65	0.098	2.66
85.97	10.99	—	3.04	—	—	1.15	0.025	1.12	0.029	2.78
84.88	11.04	—	4.08	—	—	1.22	0.032	1.24	0.043	2.49
87.99	11.06	—	—	0.95	—	1.02	0.038	0.85	0.046	2.84
86.96	11.12	—	—	1.92	—	1.06	0.015	0.86	0.045	3.73
86.09	11.11	—	—	2.80	—	1.17	0.043	1.22	0.098	4.18
84.92	11.36	—	—	3.72	—	1.20	0.061	1.29	0.141	4.46
88.07	10.87	1.06	—	—	—	1.05	0.031	87.20	0.021	2.43
86.93	11.16	1.91	—	—	—	1.23	0.042	93.60	0.038	2.95
86.54	10.37	3.09	—	—	—	1.47	0.029	74.5	0.029	3.11
85.03	10.91	4.06	—	—	—	1.25	0.051	46.6	0.044	2.60
88.28	11.19	—	—	—	0.53	0.97	0.022	0.66	0.032	1.50
87.59	11.33	—	—	—	1.08	0.98	0.042	0.84	0.061	2.14
86.67	11.21	—	—	—	2.12	1.08	0.037	0.93	0.080	2.21
85.35	11.95	—	—	—	2.70	1.46	0.029	1.07	0.090	4.30

27x36 = 272

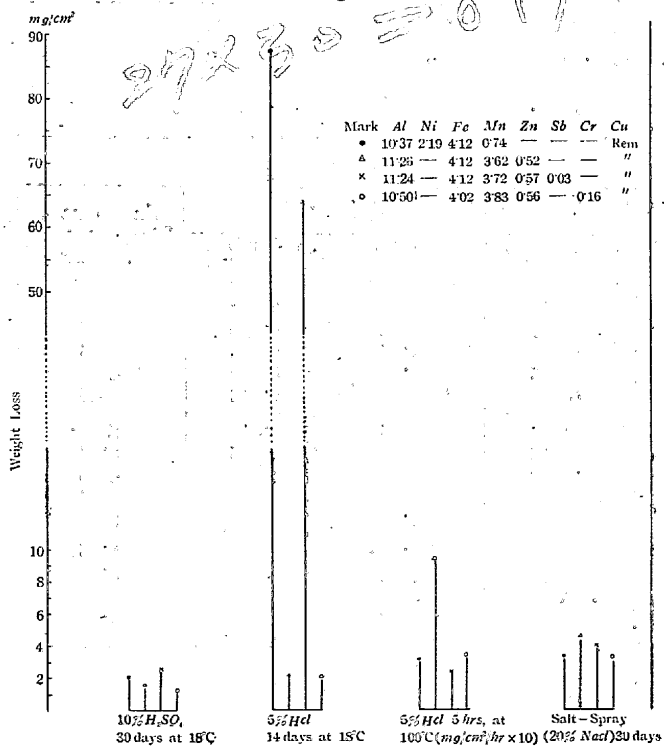
第1圖 Effect of Ni, Fe, Mn, Zn, on Tensile Properties of 9% Al-Cu Alloy Sheet (33% Reduction 1mm thick)



第2圖 Effect of Ni, Fe, Mn, Zn, on Tensile Properties of 11% Al-Cu Alloy Sheet (Hot Rolled at 800°C and Annealed at 350~400°C 15mm thick)



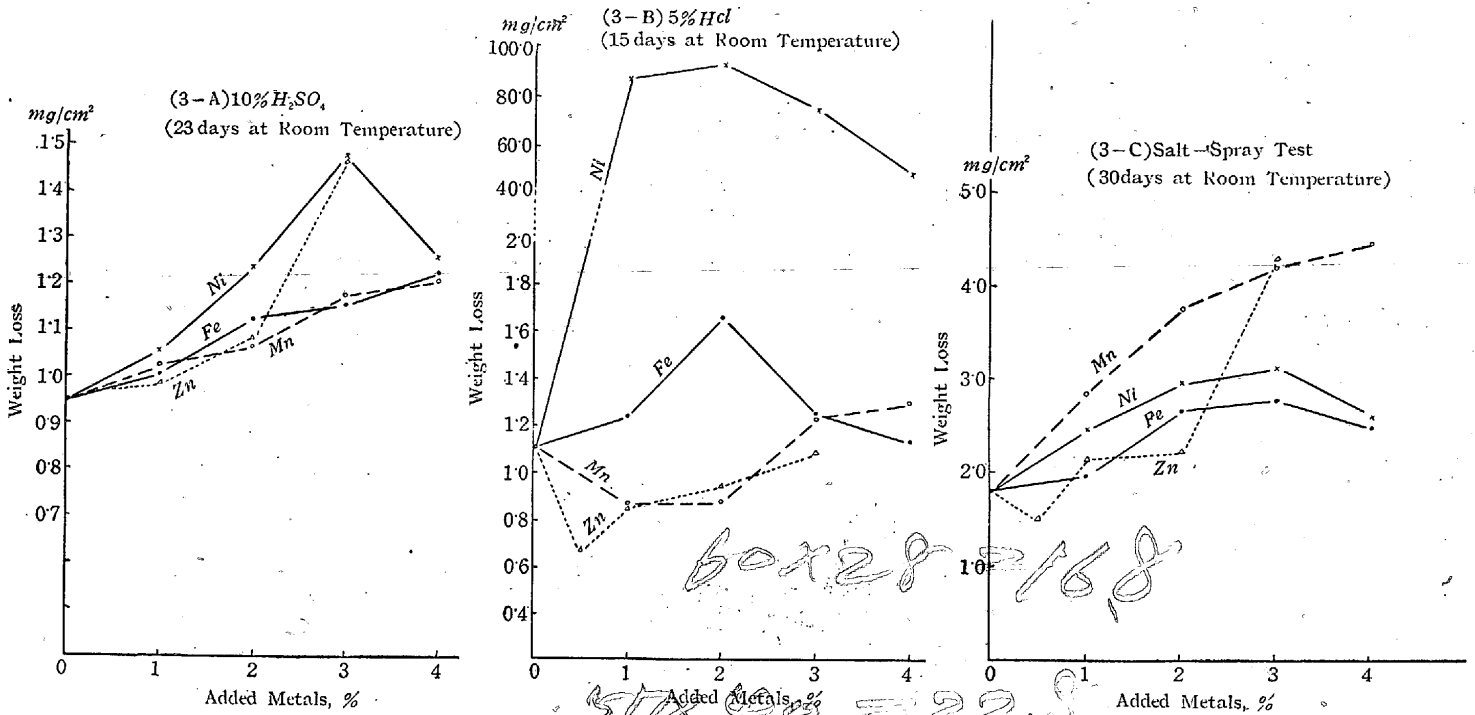
第5圖 Corrosion Test on Aluminium-Bronze



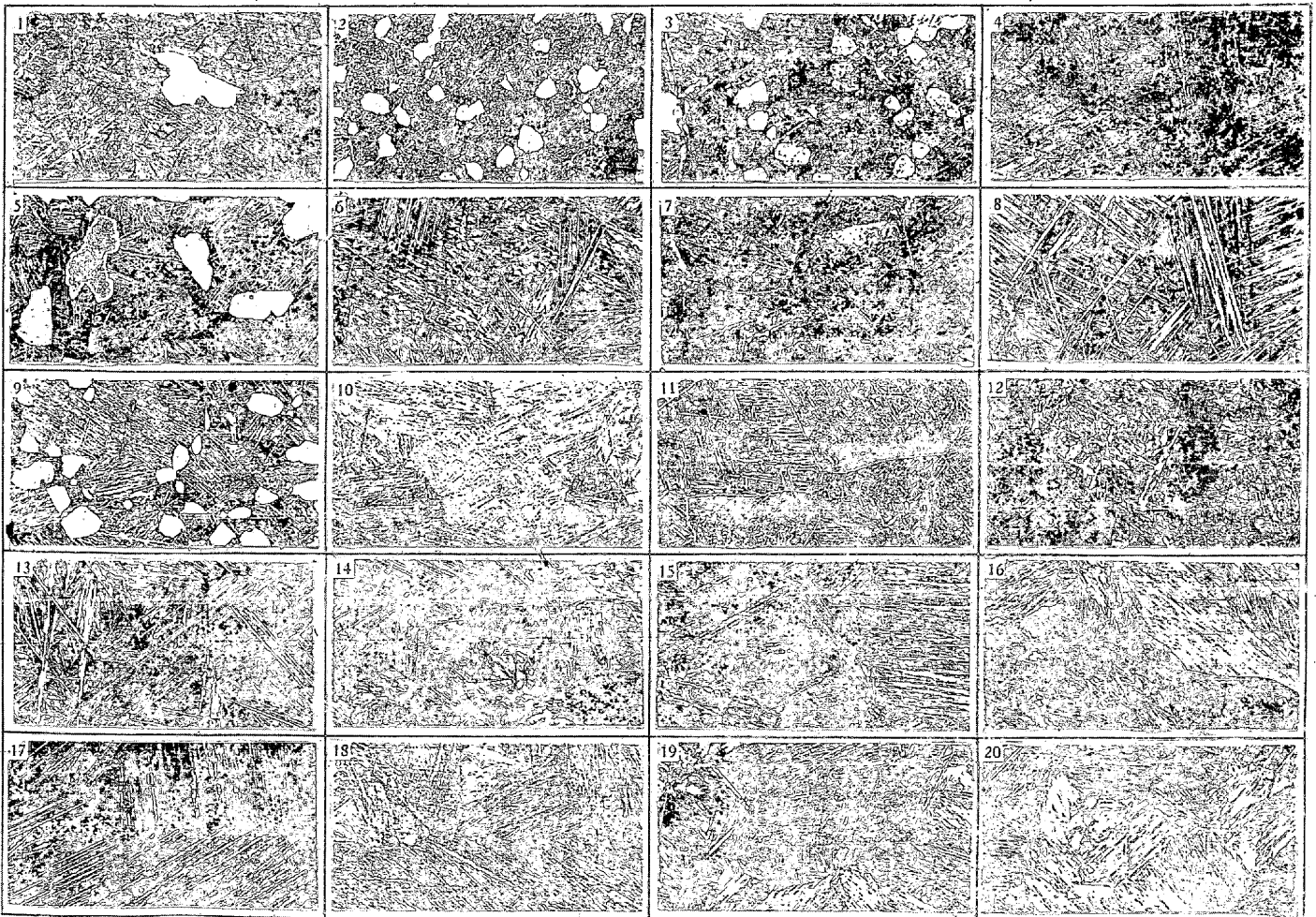
27x30 = 811

59x29 = 15.93

第3圖 Results of corrosion Tests on 11% Al-Cu Alloy sheet Containing Ni, Fe, Mn, Zn

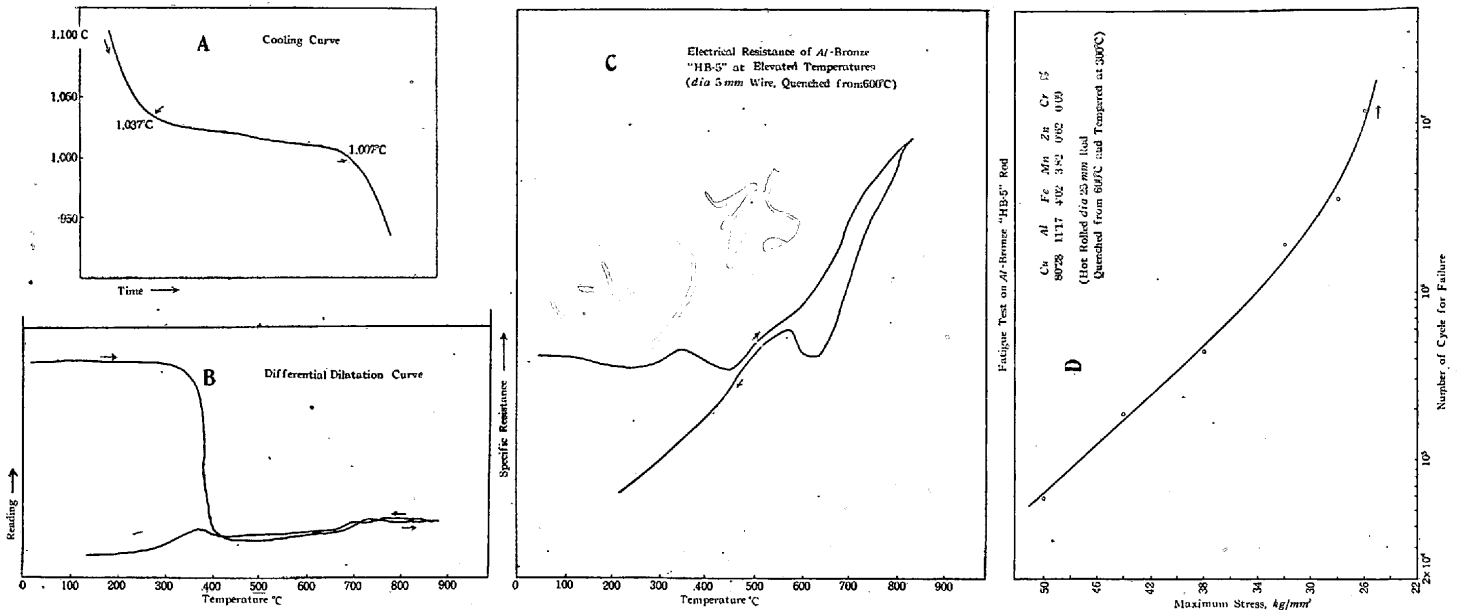


第4圖 Micro Structure of Aluminium Bronze Sheet quenched from 850°C ×100×0.675



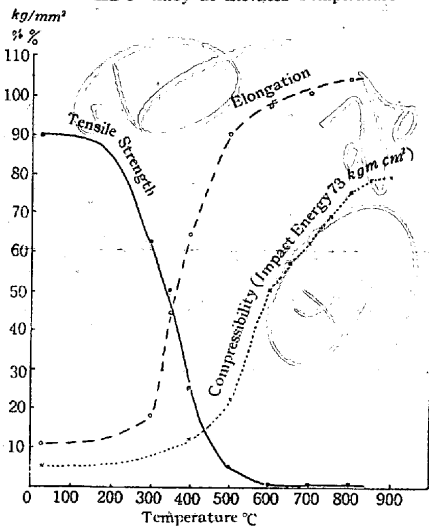
- |                       |                                    |                        |                                    |
|-----------------------|------------------------------------|------------------------|------------------------------------|
| 1. Al 10%, Cu Rem     | 2. Al 10, Fe 2%                    | 3. Al 10, Ni 1%        | 4. Al 10, Mn 1%                    |
| 5. Al 10, Fe 1%       | 6. Al 10, Zn 1%                    | 7. Al 10, Fe 1, Mn 1%  | 8. Al 10, Mn 1, Zn 1%              |
| 9. Al 10, Ni 1, Mn 1% | 10. Al 10, Ni 1, Fe 1, Mn 1%       | 11. Al 10, Fe 1, Zn 1% | 12. Al 10, Ni 1, Fe 1, Mn 1, Zn 1% |
| 13. Al 11%, Cu Rem    | 14. Al 11, Fe 2%                   | 15. Al 11, Ni 1%       | 16. Al 11, Ni 1, Fe 1, Mn 1%       |
| 17. Al 11, Mn 1%      | 18. Al 11, Ni 1, Fe 1, Mn 1, Zn 1% | 19. Al 11, Zn 1%       | 20. Al 11, Ni 1, Fe 3, Mn 1, Zn 1% |

第 6 圖



第 7 圖

Tensile Properties and Compressibility of "HB-5" Alloy at Elevated Temperature



W, Ti, Cd: 機械的性質にも耐蝕性にも殆ど影響を認めず。

Co: 僅かに伸と耐蝕性とを良好ならしむ。

Si: 強度を増すが著しく靱性を害す。

Sb: 極めて微量を添加すれば機械的性質を害せず高温に於ける耐鹽酸性を良好ならしむ。

Cr: 0.5% 以下の添加は靱性を害せず強度を増し又著しく耐蝕性を改善す。

第5圖に耐蝕試験成績の一例を示す。

III. 特殊アルミニウム青銅“HB-5”の性能

本材は上述の諸試験の成果として得られたるものにして、全然 Ni を含まざる特殊アルミニウム青銅である。以下簡単に本合金の諸性能を記述する。

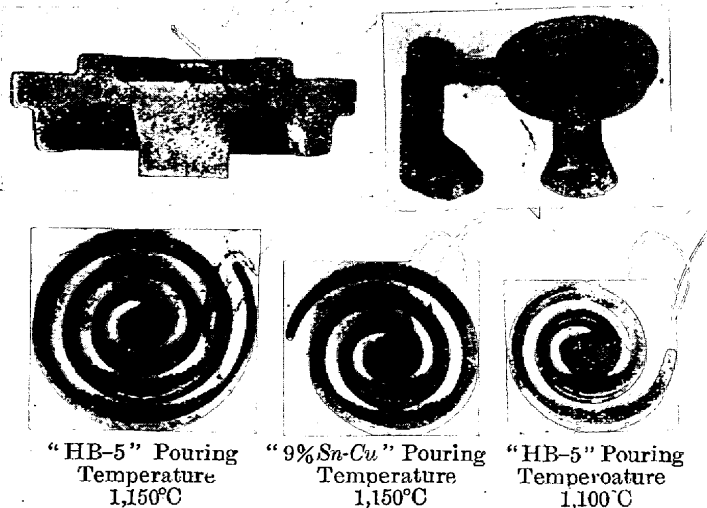
更に 8~12% Al·Cu 合金に 8% 以下の Ni, Fe, Mn, Zn を單獨或は組合せて添加したるものに就て試験したる結果

Al	Fe	Mn	Cu
11%	4%	4%	殘部

成分のものが極めて優秀なる機械的性質を有することを知らした。

2. 其他の添加金屬の影響 仍て吾等は上記の Al 11%, Fe 4%, Mn 4%, Cu 殘部合金を標準とし、之に 2% 以下の W, Cd, Si, Co, Cr, Sb, Ti を添加して其の機械的並に化學的性質に及ぼす影響を検討し、概要次の如き事實を認めた。

第 8 圖 Casting of "HB-5" Alloy



	Yield Point (0.2%) kg/mm <sup>2</sup>	Tensile Strength kg/mm <sup>2</sup>	Elongation (50mm) %	Brinell Hardness (10/1,000)	Charpy Impact Energy kgm/cm <sup>2</sup>	Fatigue Limit (10 <sup>7</sup> ) kg/mm <sup>2</sup>
Rolled Bar(d12-100 mm)(Heat treated)	55~107	88~117	5~15	200~275	2.1~0.7	27.0
Rolled Sheet(1.5mm thick)(Heat treated)	58.5	95.0	10.0	—	—	—
Chill Cast Bar (As Cast)	27	91.3	13.0	180	—	—

(1) 組成

Al%	Fe%	Mn%	Zn%	Cr%	Cu
10~11	3~5	3~5	0.5~1	<0.5	Rem.

(2) 物理的諸性質 (第6圖参照)

Specific Gravity	Melting Point °C	Coef. of Thermal Expansion(20-200°C)	Young's Modulus kg/mm <sup>2</sup>	Electric Conductivity (Cu=100%)
7.28	1,010-1,040	1.91×10 <sup>-5</sup>	11,360	5.5

(3) 機械的性質 (第6圖参照)

(4) 高温抗張性 第7圖に示せる高温抗張試験(1.5mm板)及壓縮試験(d10mm金型鑄物棒)の成績に依て知らるゝ如く、本合金は600~900°Cの如何なる温度にても加工することが出来るが700~750°C間にて加工することが最も有利である。

(5) 鑄造 本材はアルミニウム青銅の一種であるから鑄造収縮率(實測結果2.15%)も大きく、鑄造には相當技術を要するが湯流れは可成り良く鑄物用アルミ青銅としても實用價值があると信ずる(第8圖参照)。

第3表 Tensile Properties of "HB-5" Cast Bar.

	Chill Cast		Sand Cast	
	As Cast	Annealed at 300°C	As Cast	Annealed at 300°C
Yield Point kg/mm <sup>2</sup>	26.0	30.1	29.2	39.0
Tensile Strength kg/mm <sup>2</sup>	90.6	91.3	57.2	93.6
Elongation %	13.0	10.0	4.0	10.0
Hardness	B.H.N.178	B.H.N.203	V.H.N.236	V.H.N.251

第3表は船底形金型(30×40×200mm)及砂型(徑20mm丸棒)を用ひて鑄造せる棒の抗張試験成績の一例であ

第4表 Corrosion Tests on "Aluminium-Bronze" Sheets.

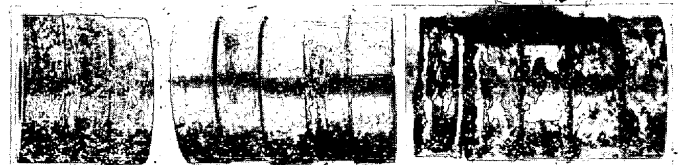
Chemical Composition, %							10% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		5% HCl		Salt-Spray (20% NaCl) 30 days, 18°C mg/cm <sup>2</sup>
Cu	Al	Ni	Fe	Mn	Zn	Cr. or Sb	30 days, at 18°C mg/cm <sup>2</sup>	5h, at 100°C mg/cm <sup>2</sup> /hr	14 days, 18°C mg/cm <sup>2</sup>	5h, 100°C mg/cm <sup>2</sup> /hr	
Rem.	10.37	2.19	4.12	0.74	—	—	1.97	0.021	87.6	0.308	3.36
"	11.26	—	4.12	3.62	0.52	—	1.82	0.032	2.25	0.956	4.70
"	11.24	—	4.12	3.72	0.57	Sb 0.03	2.55	0.027	64.3	0.241	5.02
"	10.50	—	4.02	3.83	0.56	Cr 0.16	1.62	—	2.12	0.320	3.48

る。

(6) 熱処理法 第IV節に詳記するが如く、本合金は

- ① 高温加工の儘又は焼入状態にては抗張力は相當大であるが降伏點が甚だ低い。
- ② 又、單に低温焼鈍のみを行ふ時は降伏點は稍大となるが、材質に均等性を欠き且靱性を害する傾向がある。
- ③ 即ち本材に適度の強度と靱性とを與へるためには適當の温度にて焼入、焼戻を施す必要がある。
- ④ 而して、靱性、強度、結晶粒の大きさ等を考慮すると本合金は600~700°Cより水冷後300~350°Cにて焼戻しすることを最も有利とする。

第9圖 Wear Test



Phosphor Bronze HB-5 Alloy HB-3 Alloy (Ni 2.5%)

(7) 耐磨耗性 アムスラー磨耗試験機を使用し130kg Ni-Cr鋼を相手金として、本合金、"HB-3"合金(Al 10.5, Ni 2.5, Fe 3.5, Mn 1%, Cu 殘部)及磷青銅(Sn 6, P 0.2%)に就て耐磨耗性を比較試験せるに、磨耗減量並に燒着き程度は磷青銅最も優り本合金之れに次ぎNiを含む"HB-3"合金が最も劣ることを認めた。第9圖は荷重5kg 8時間連續試験後の試験片の外観を示すものであ

るが、本試験は目下尙連続中なるを以て詳細は後報の豫定である。

(8) 耐蝕性 耐酸耐蝕性は第5圖に示せるが如く Ni を含むアルミニウム青銅よりも寧ろ本合金の方が優てゐる。第4表に耐蝕試験成績の一例を掲ぐ。

(9) Ni の影響 Ni を添加するとアルミニウム青銅の強度殊に降伏點を増すが伸を減ずることは既に第1節に述べた如くであるが、本合金に Ni を添加しても同様の結果となる。第5表は“HB-5”合金に3%以下の Ni を添加せる押出棒材の機械的性質を示せるものである。

第5表 Influence of Ni on the Mechanical Properties of “HB-5” Alloy

i. Chemical Composition

Alloys. No.	Cu	Al	Fe	Mn	Zn	Ni(%)
1	80.18	11.04	4.48	3.80	0.50	0
2	79.86	11.32	3.98	3.76	0.46	0.62
3	79.53	11.08	4.20	3.60	0.57	1.02
4	79.07	11.06	4.12	3.20	0.54	2.01
5	77.97	11.10	4.12	3.28	0.55	2.98

ii. Mechanical Property

Alloys. No.	Condition	Yield Point (0.2%) kg/mm <sup>2</sup>	Tensile Strength kg/mm <sup>2</sup>	Elongation %	Vickers Hardness (10kg)
1	As Extruded	30.2	115.8	14	232
2	As Extruded	32.4	118.0	10	234
3	As Extruded	37.3	116.6	10	245
4	As Extruded	41.3	109.2	8	260
5	As Extruded	44.4	98.7	6	282
1	Quenched from 600°C and Tempered at 300°C	83.6	112.1	3	281
2	Quenched from 600°C and Tempered at 300°C	86.4	110.5	1	308
3	Quenched from 600°C and Tempered at 300°C	99.3	117.2	1	311
4	Quenched from 600°C and Tempered at 300°C	101.9	117.0	0.5	332
5	Quenched from 600°C and Tempered at 300°C	69.5	98.7	3	278
1	Quenched from 700°C and Tempered at 300°C	71.2	107.9	3	286
2	Quenched from 700°C and Tempered at 300°C	81.6	108.1	1.5	292
3	Quenched from 700°C and Tempered at 300°C	98.5	111.1	1	326
4	Quenched from 700°C and Tempered at 300°C	117.1	125.0	1	330
5	Quenched from 700°C and Tempered at 300°C	?	120.5	1	326

(10) 顯微鏡組織 (第IV節参照)

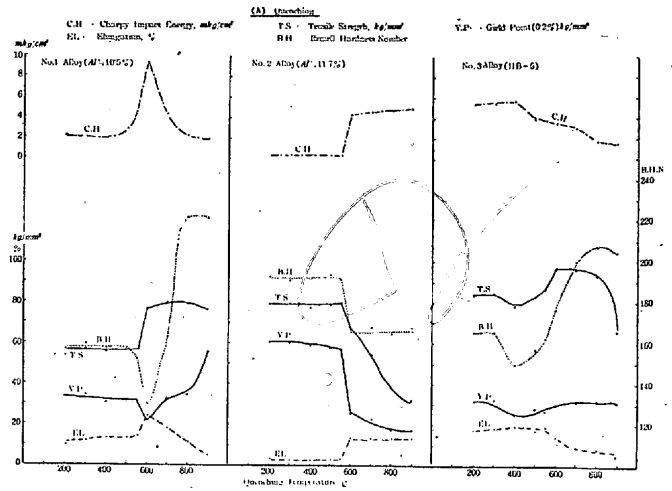
IV. アルミニウム青銅の熱処理

アルミニウム青銅の熱処理に關しては既に10餘年前に本邦に於ては松田博士の論文あり、又外國にては Hane-mann, Merica, Greenwood 氏等を初め幾多の研究發表あれど、その多くは熱処理による硬度及マイクロ組織の變化を主としたるものにして、機械的性能の全般に亘て

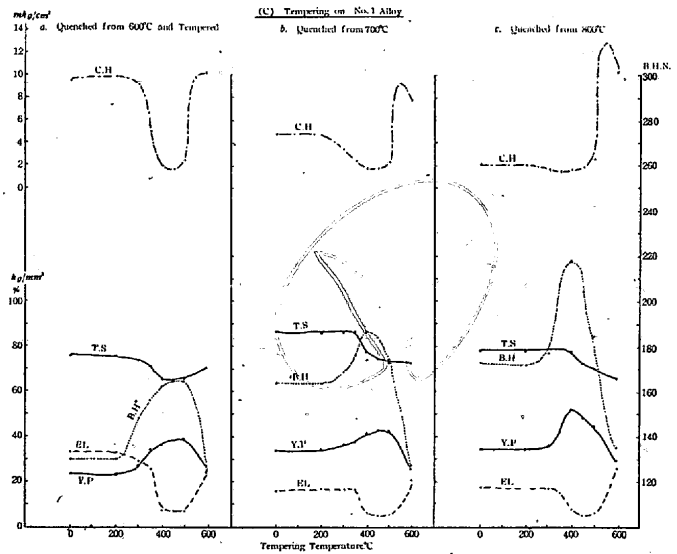
Chemical Composition -

Alloys No.	Cu%	Al%	Fe%	Mn%	Zn%
1	89.60-89.55	10.40-10.46	—	—	—
2	88.37-88.22	11.63-11.78	—	—	—
3 (HB-5)	81.32-80.89	10.45-10.60	3.80-4.05	3.82-3.94	0.52-0.56

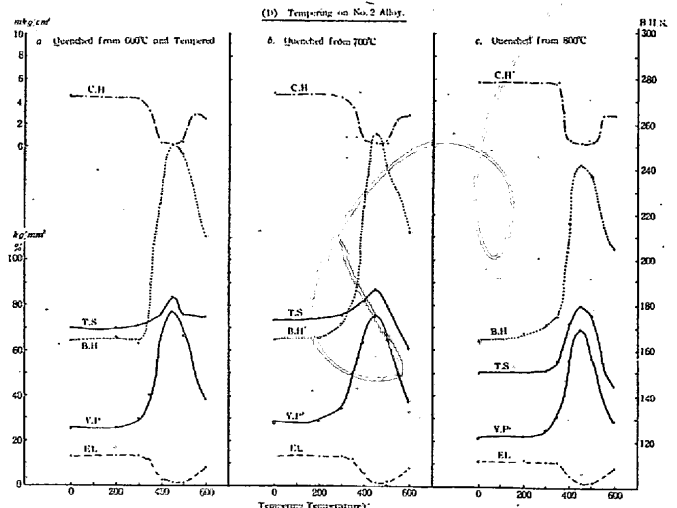
第10圖 A Effect of Heat Treatment on Mechanical Properties of “Aluminium-Bronze”



第10圖 C



第10圖 D

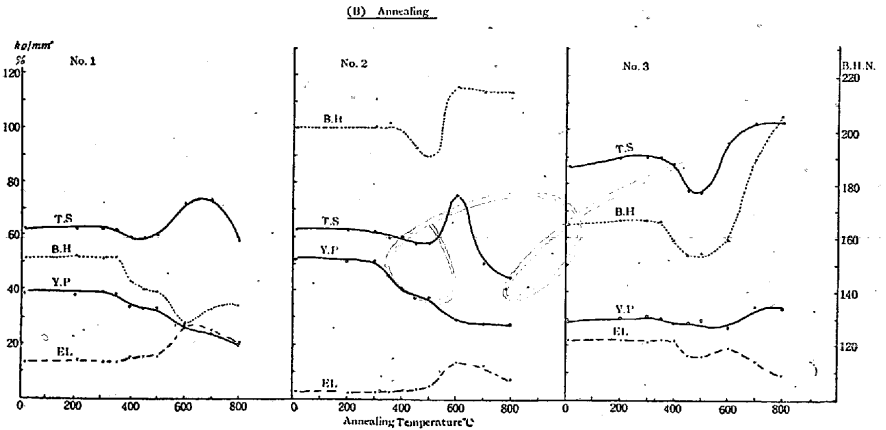




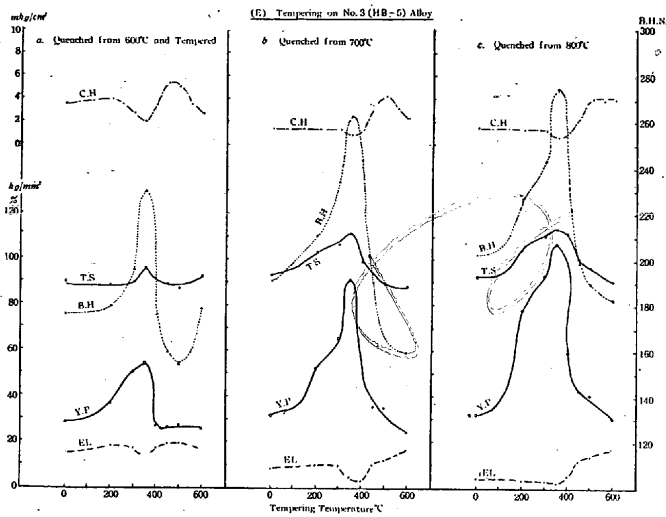
試験されたものは比較的少い。筆者等は前述の“HB-5”合金の熱処理法を研究するに當り、其の豫備知識を得るために10.5及11.7% Al·Cu合金の押出棒材に就て稍々詳細なる試験を行ひたるを以て、此處に其試験成果を報告して参考に資せんとす。

1. 試料 径66mm, 長さ200mmのピレット(金型鑄物)を300t横型押出機を使用して750°Cにて12mm d棒に

第10圖 B



第10圖 E



Condition	Temp.	Y.P. (kg/mm <sup>2</sup> )	T.S. (kg/mm <sup>2</sup> )	Elong. (%)	B.H. (10/1,000)	Charpy Impact Energy (Mkg/cm <sup>2</sup> )
2 Normalized (Al≐11.7%)	61.2	80.0	3	200.5	0.36	
	200	60.9	79.7	3	192.6	0.36
	300	60.0	79.3	2	190.1	0.35
	400	58.8	77.0	2	192.1	0.18
	500	57.5	78.8	2.5	193.0	0.35
	550	57.3	79.6	2.7	190.8	0.35
	600	25.3	67.1	13.0	165.1	4.30
	700	22.4	54.1	13.0	167.6	4.60
	800	17.7	38.0	13.0	164.5	4.60
	900	17.0	31.7	13.0	167.6	4.90
3 Normalized (HB-5)	31.5	82.8	18.5	163.9	5.40	
	200	31.4	83.7	17	165.1	5.40
	300	32.0	84.7	18	165.8	5.50
	400	25.2	78.5	19	149.2	5.70
	500	27.8	82.7	17	156.8	3.90
	550	26.5	86.5	19	162.1	3.80
	600	29.5	96.8	14	176.7	3.5
	700	31.2	95.8	9	199.6	3.0
	800	31.8	93.3	8	207.1	1.7
	900	30.1	65.6	5	204.6	1.5

押出したるものより各種試験片を調製した。

2. 熱処理による抗張性の變化 前述の12mm d押出棒より採取せる試験片を電氣爐中にて550°Cに24時間加熱し、その儘爐温を530°C迄下げ、更に530°Cに48時間保持の後常温まで爐中冷却せるものに就て施行せる熱處理試験の結果は第6表及第10圖の如くである。但し熱處理は焼入、焼戻し共に2時間加熱し、焼入は冷水中に焼戻は空中放冷せり。

第6表 Effect of Heat-Treatment on Mechanical Properties of "Aluminium-Bronze"

(i) Quenching

Alloys No.	Quenching Temperature °C	Yield Point (0.2%) kg/mm <sup>2</sup>	Tensile Strength kg/mm <sup>2</sup>	Elongation (50mm) %	Brinell Hardness (10/1,000)	Charpy Impact Energy Mkg/cm <sup>2</sup>
1 Normalized (Al≐10.5%)	30.5	50.2	9	156.8	2.6	
	200	33.5	53.3	9.5	156.3	2.2
	300	34.0	56.6	11.5	159.1	2.0
	400	30.5	55.1	13	156.5	1.2
	500	31.5	56.0	13	156.0	2.8
	550	31.0	57.2	14	152.0	4.5
	600	21.5	76.6	24	129.0	9.4
	700	32.4	79.3	18	163.0	4.3
	800	34.0	79.1	11	221.4	2.2
	900	55.6	76.2	5	220.5	1.9

(ii) Tempering Alloy No. 1 (Al≐10.5%)

Quenching Temp. °C	Tempering Temp. °C	Yield Point (0.2%) kg/mm <sup>2</sup>	Tensile Strength kg/mm <sup>2</sup>	Elongation %	Brinell Hardness (10/1,000)	Charpy Impact Energy Mkg/cm <sup>2</sup>	
600	As Quenched	23.6	76.0	33	126.3	9.4	
	200	23.1	76.0	33	125.0	9.8	
	300	27.1	73.6	29	148.1	9.2	
	350	33.4	71.2	26	156.0	5.0	
600	400	36.1	65.4	7	162.7	1.9	
	450	38.5	65.3	7	164.1	1.6	
	500	39.0	65.8	7	165.1	2.4	
	550	—	—	—	—	9.8	
600	900	24.7	70.8	25	126.3	10.2	
	700	As Quenched	34.1	86.4	16	163.9	4.8
		200	34.2	85.0	17	163.3	—
		300	36.4	85.6	17	168.2	3.5
350		37.5	86.5	17	176.1	2.4	
700	400	41.5	77.6	6.5	186.6	1.8	
	450	42.8	74.8	5	183.7	1.8	
	500	42.7	72.8	5.5	174.0	2.3	
	550	—	—	—	—	9.3	
600	600	25.4	72.6	21	127.1	7.8	
	800	As Quenched	34.0	78.0	17	172.6	2.15
		200	34.3	77.7	17	171.4	2.0
		300	35.7	76.8	17	179.4	3.7
350		41.9	78.7	15	207.1	1.5	
800	400	52.1	77.8	8	217.8	1.6	
	450	48.0	72.3	5	203.8	1.8	
	500	44.7	70.3	6	184.5	2.6	
	600	29.0	66.1	26	135.0	10.3	

Alloy No. 2 (Al=11.7%)						
600	As Quenched	25.5	70.0	13	163.9	4.3
"	200	25.4	69.9	13	165.7	4.1
"	300	29.9	70.5	13	162.7	4.2
"	350	40.0	73.0	11	188.9	3.1
"	400	66.1	75.9	2	224.5	0.36
"	450	77.0	83.6	1	250.7	0.19
"	500	66.4	75.2	1	246.1	0.36
"	550	—	—	—	—	2.70
"	600	37.9	74.6	8.5	209.8	2.40
700	As Quenched	27.9	73.4	13.5	165.1	4.8
"	200	29.2	74.0	13.0	165.1	—
"	300	34.6	75.0	13.0	171.4	4.3
"	350	49.9	78.3	12	181.5	3.4
"	400	63.4	81.6	5.5	223.4	0.53
"	450	75.8	86.9	1.5	255.1	0.35
"	500	64.7	79.8	1.5	241.6	0.24
"	550	—	—	—	—	2.4
"	600	37.1	60.4	8	211.5	2.7
800	As Quenched	21.5	50.0	11	164.5	5.6
"	200	22.3	51.5	12	167.7	4.8
"	300	25.2	51.6	11	171.4	6.5
"	350	31.2	56.3	11	175.3	5.6
"	400	56.5	72.2	5	216.8	0.53
"	450	69.7	80.0	1.5	241.7	0.23
"	500	56.8	76.0	2	237.4	0.36
"	600	23.0	44.8	8.5	200.5	2.70

Alloy No. 3 (HB-5)						
600	As Quenched	28.7	95.4	14.5	174	3.5
"	200	36.4	88.6	18	178.9	3.9
"	300	50.3	89.6	17	194.9	2.7
"	350	54.8	95.9	13.5	229.3	2.0
"	400	26.0	90.7	17	175.3	3.5
"	450	26.3	88.8	19	159.1	5.3
"	500	27.1	87.2	19.5	153.5	5.1
"	550	—	—	—	—	3.6
"	600	26.1	92.8	17	178.1	2.7
700	As Quenched	31.6	93.3	8.5	190.3	1.5
"	200	52.5	103.6	10	210.6	—
"	300	65.5	106.4	10	233.8	1.4
"	350	91.2	111.6	4.5	262.3	0.89
"	400	55.3	99.0	3	243.8	1.42
"	450	35.1	93.9	10	190.2	3.40
"	500	35.0	89.5	12	166.3	4.30
"	550	—	—	—	—	3.40
"	600	24.1	88.2	17	159.1	2.40
800	As Quenched	32.0	92.5	4	202.1	1.6
"	200	78.0	104.5	3	227.3	1.4
"	300	93.4	110.8	3	243.6	1.3
"	350	107.0	113.7	2	275.0	0.71
"	400	59.4	112.1	5	237.4	1.2
"	450	42.5	100.2	12	198.2	2.6
"	500	40.7	96.9	13.5	189.5	4.1
"	600	30.7	90.8	17.5	182.2	3.9

(iii) Annealing

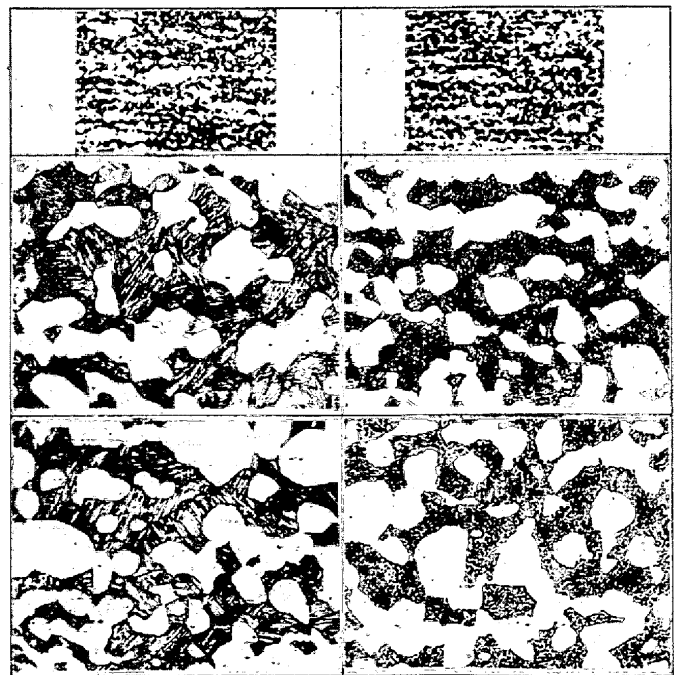
Alloys No.	Annealing Temperature °C	Yield Point (0.2%) $Kg/mm^2$	Tensile Strength $Kg/mm^2$	Elongation %	Brinell Hardness (10/1, 001)	Charpy Impact Value $Mkg/cm^2$
1 (Al=10.5%)	As Normalized	38.3	62.7	13	151.3	—
	200	38.2	62.6	14	152.4	—
	300	39.1	62.5	13	151.3	—
	350	38.5	62.0	13	152.4	—
	400	33.6	59.5	15	143.6	—
	450	33.1	59.5	15	140.1	—
	500	33.7	60.3	15	139.1	—
	600	25.5	72.3	27	127.5	—
	700	23.8	73.9	25	132.7	—
	800	19.9	58.6	20	134.5	—

2 (Al=11.7%)	Normalized	50.5	62.5	2.5	200.5	—
	200	50.5	62.3	2	197.3	—
	300	51.0	62.0	2.3	200.5	—
	350	45.6	59.8	2	202.1	—
	400	40.8	60.2	3	198.6	—
	450	37.1	57.4	3	192.6	—
	500	37.8	57.7	4	189.5	—
	600	29.1	75.2	13.5	215.1	—
3 (HB-5)	Normalized	29.0	86.8	22	165.1	—
	200	30.3	89.7	22	166.3	—
	300	31.1	90.3	21	166.3	—
	350	30.0	90.2	22	166.3	—
	400	28.3	89.8	22	159.4	—
	450	28.5	77.1	16.5	153.5	—
	500	29.3	77.1	16	154.0	—
	600	26.6	95.5	19	159.1	—
	700	34.6	102.8	14	188.7	—
	800	33.7	103.0	9	200.5	—

3. 熱処理による顕微鏡組織の變化 本題に関しては既に大日方博士によって極めて詳細な研究がなされ、又外國にも可成り多數の文獻があるが、吾等も結晶粒粗大化と加熱温度との關係、焼戻硬化と組織との關係等を知る目的にて一通りマイクロ組織を検討して見た。(第11圖参照)

焼戻硬化とマイクロ組織の關係を見るに寫眞に示す如く No.1 及 No.2 合金何れも 400°C 焼戻しによって初めて組織の變化が認められる、然るに硬化現象は既に 250~300°C 焼戻から起てゐる。故に此の初期の硬化がβ相から分離するαの析出硬化に原因するものではなからうか

第11圖 (D) Alloy No. 1 (Al=10.5%)



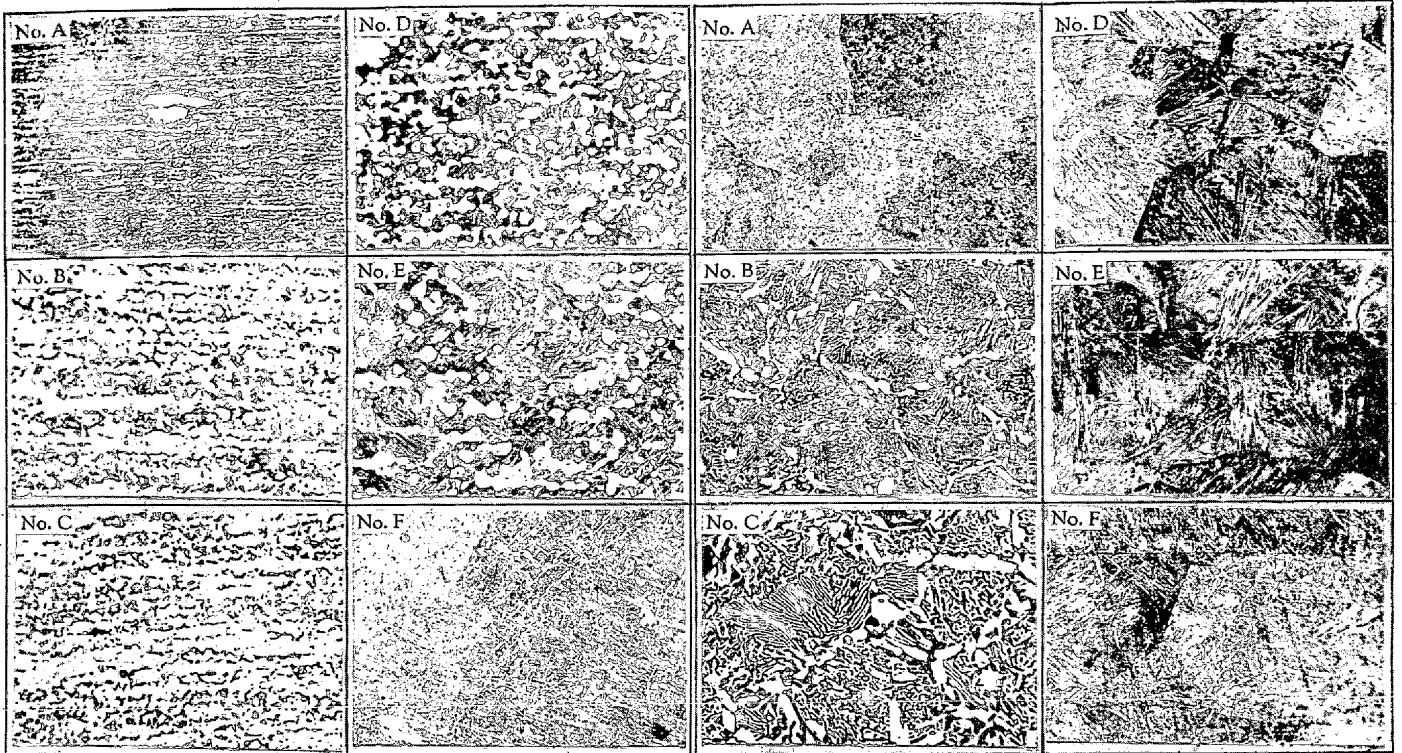
No. (A) Quenched from 600°C  
 " (B) Quenched from 600°C  
 " (C) " " " Tempered at 400°C  
 " (D) " " " Tempered at 400°C  
 " (E) Quenched from 600°C  
 " (F) Quenched from 600°C  
 " " " Tempered at 500°C

30x57=17.1

第11圖 Microstructure of Aluminium-Bronze

(A) Alloy No. 1 (Al=10.5%)

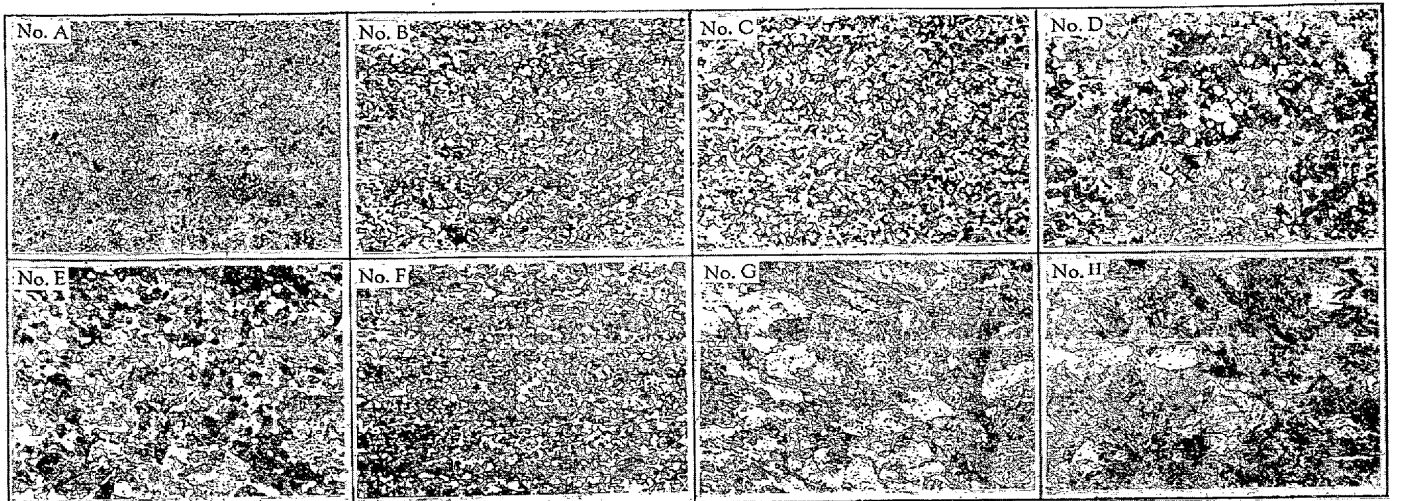
(B) Alloy No. 2 (Al=11.7%)



No. A As Extruded at 750°C	No. D Same Alloy as No. B, Quenched from 600°C	No. A As Extruded	No. D Same Alloy as, No. B, Quenched from 600°C
No. B Normalized from 550°C	No. E Same Alloy as No. B, Quenched from 700°C	No. B Normalized from 550°C	No. E Same Alloy as No. B, Quenched from 800°C
No. C Same Alloy as No. B, Quenched from 550°C	No. F Same Alloy as No. B, Quenched from 800°C	No. C Same Alloy as No. B, Quenched from 550°C	No. F Same Alloy as No. B, Quenched from 900°C

56x20=112

第11圖 (C) Alloy No. 3 (HB-5)



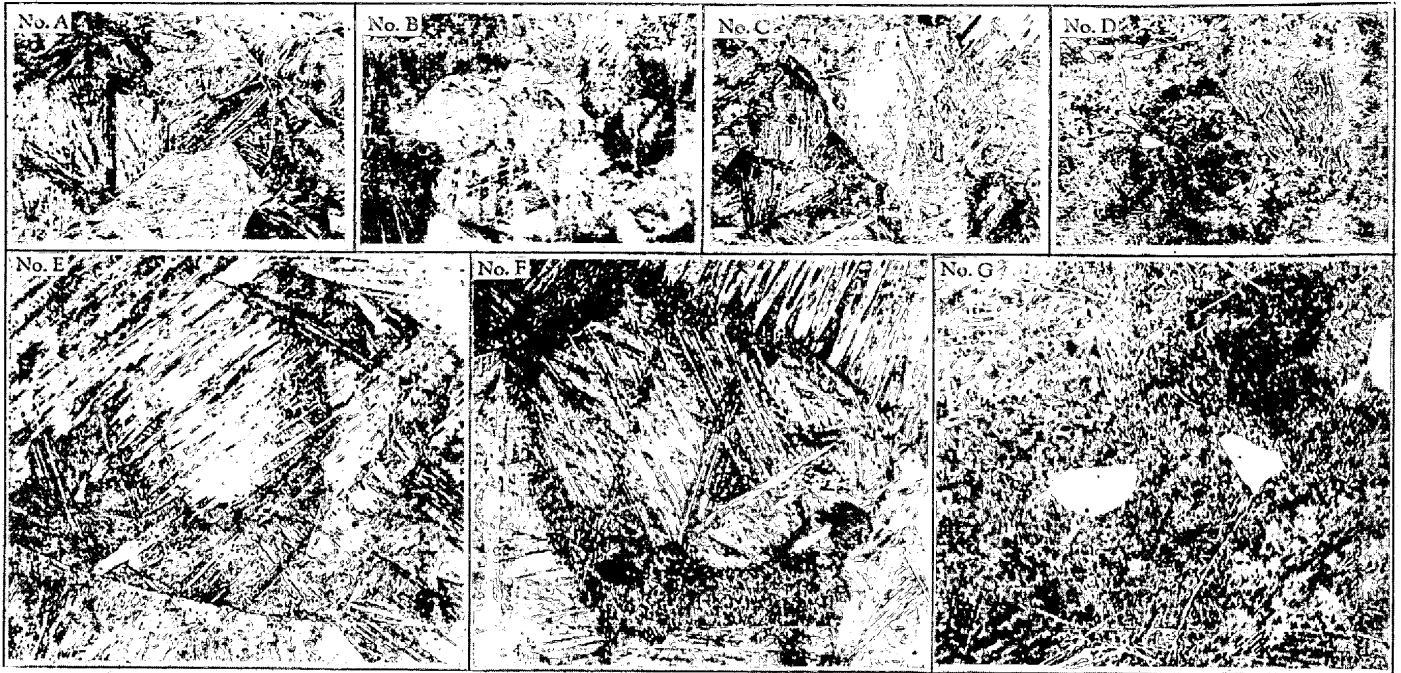
No. A As Extruded	No. B Normalized from 550°C	No. C Same Alloy as No. B, Quenched from 400°C	No. D Same Alloy as No. B, Quenched from 500°C
No. E Same Alloy as No. B, Quenched from 550°C	No. F Same Alloy as No. B, Quenched from 600°C	No. G Same Alloy as No. B, Quenched from 700°C	No. H Same Alloy as No. B, Quenched from 800°C

と考へられたので X 線試験を行つて見たが之を説明し得るやうな何等の變化も認められなかつた。即ち上記の No. 1 (Al=10.5%) 及 No. 2 (Al=11.7%) 合金を徑 1mm の棒狀に仕上げ、これを 850°C より焼入せるもの、更に

200, 300, 350, 400, 450, 及 500°C に夫々 1 時間焼戻したものと 700°C にて 1 時間、550°C にて 6 時間焼鈍したものを試料として X-線試験を行つた。X-線は Cu-K $\alpha$  線を用ひデバイ・シエラー法に依つた。其の結果は第

第 11 圖 (E) Alloy No. 2 ( $Al \approx 11.7\%$ )

No. A Quenched from 600°C

No. B Quenched from 600°C  
and Tempered at 350°CNo. C Quenched from 600°C  
and Tempered at 400°CNo. D Quenched from 600°C  
and Tempered at 450°C

No. E Quenched from 600°C

No. F Quenched from 600°C and  
Tempered at 400°CNo. G Quenched from 600°C and  
Tempered at 480°C

11 圖に示す如く焼入試料では大日方博士の所謂  $\beta'$  相の線が現れ、焼戻温度を増して行くと 10.5% Al 合金では 350°C 迄は変化なく 400°C にて  $\beta'$  相と  $\alpha$  相の線とが重て現れ 500°C 以上では焼鈍組織と全く同じになる。又 11.7% Al 合金にては上記の變化が少し後れ、焼戻温度 400°C 迄は焼入組織と全然同じで 450°C から  $\alpha$  相の線が現れて来る。

4. 試験結果の考察 試料 No.3(HB-5 合金)は組成複雑にして、その平衡状態圖を明らかにした上でないと説明し難きを以て此處には No.1( $Al \approx 10.5\%$ )及 No.2( $Al \approx 11.7\%$ )のみに就て検討して見る。

#### (1) 焼入及焼鈍

- i No. 1 及 No. 2 合金何れも、共析變態點以下の如何なる温度より焼入れを行ても機械的性質に變化を認めない
- ii 600°C から焼入れと機械的性質は急劇に變化する。

即ち

No.1 合金に在ては抗張力、伸及衝撃値が急劇に大となり、降伏點及硬度急減する。

No.2 合金に於ては抗張力、降伏點及硬度を減じ伸と衝撃値を増す。

この變化は共析變態の影響なること明瞭である。

- iii 更に 600°C 以上の高温度から焼入れすると

No.1 合金は漸次硬度と降伏點を増し、伸と衝撃値を減じ、抗張力は殆ど變化しない。

No.2 合金に於ては抗張力は可成り著しく減するが其他には殆ど變化を認めない。

これは No.1 合金に於ては  $\alpha$  が  $\beta$  中に溶解込み即ち  $\beta$  相が増すために漸次硬化するものにして、又 No.2 に在ては  $\alpha$  が極めて微量なるため No.1 合金の如き硬化現象を起さざるものと考へる。

iv  $\beta$  相から焼入れた場合は No.2 合金よりも No.1 の方が、即ち銅量の多いものの方が強度大である。

v No.1 合金は急冷する程強度大となり No.2 は徐冷ほど強度大である。これは No.1 に於ては急冷される程  $\alpha$  の分離が阻止せられ  $\beta$  相を多く保有することとなり、又 No.2 に在ては徐冷程  $\beta \rightarrow \alpha + \delta$  が完全に行はるゝことに原因するものと考へる。

#### (2) 焼戻

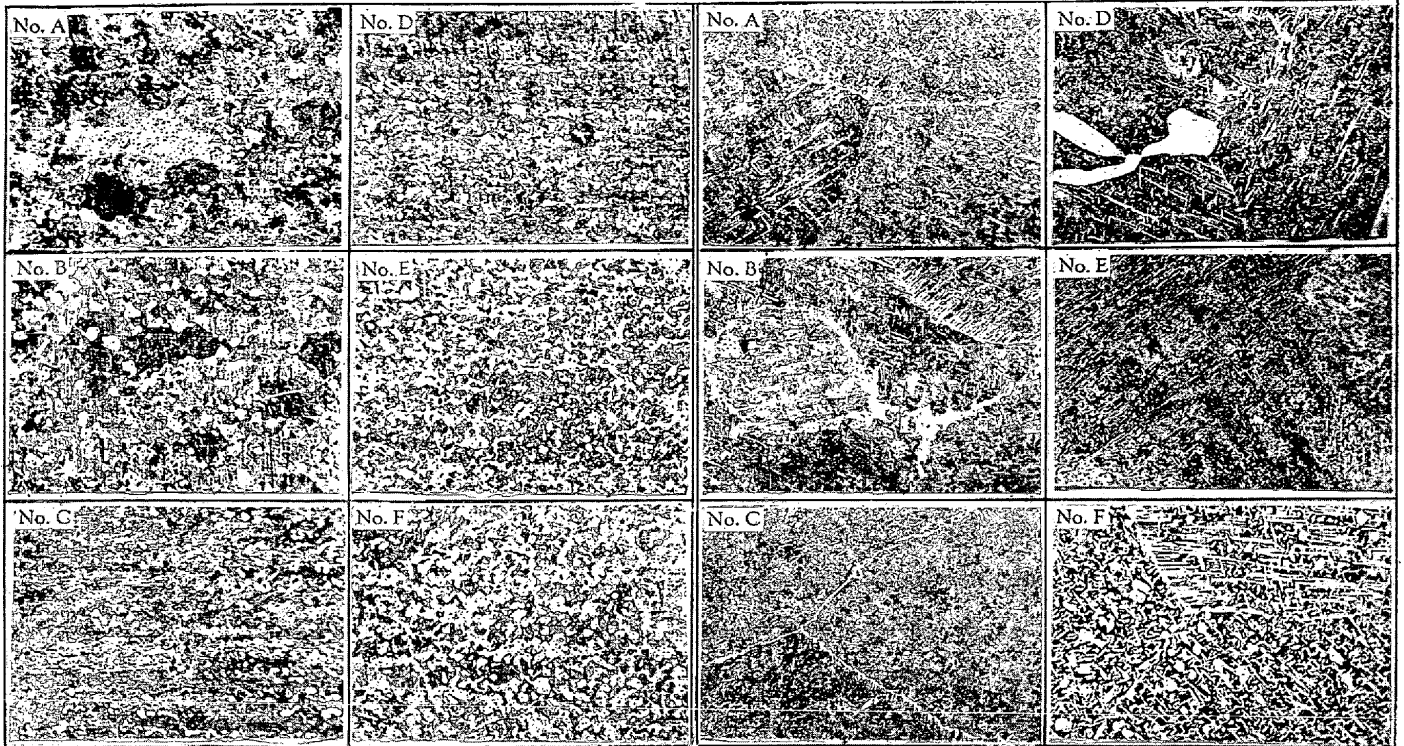
- i 600°C 焼入せるものゝ焼戻

A. No.1 合金を焼戻すると 250°C 附近より硬化し始め、降伏點と硬度とを増し、抗張力、伸及衝撃値を減じ 450~500°C にて極大値(及極小値)を示す。

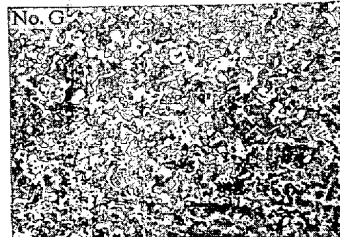
B. No.2 は約 350°C より硬化を始め抗張力、降伏點及硬度を増し、伸と衝撃値とを減ず。而して約 450°

第11圖 (F) Alloy No. 3 (HB-5)

第11圖 (G) Alloy No. 1 (Al=10.5%)



No. A Quenched from 600°C  
No. B Quenched from 600°C  
and Tempered at 300°C  
No. C Quenched from 600°C  
Tempered at 300°C



No. D Quenched from 600°C  
Tempered at 400°C  
No. E Quenched from 600°C  
Tempered at 450°C  
No. F Quenched from 600°C  
Tempered at 500°C  
No. G Quenched from 600°C  
Tempered at 600°C

No. A Quenched from 800°C  
No. B Quenched from 800°C  
Tempered at 300°C  
No. C Quenched from 800°C  
Tempered at 350°C

No. D Quenched from 800°C  
Tempered at 400°C  
No. E Quenched from 800°C  
Tempered at 500°C  
No. F Quenched from 800°C  
Tempered at 600°C

Cにて極大(又は極小)に達す。

C. 以上の機械的性質の變化は主として  $\beta \rightarrow \alpha + \delta$  反應に原因するものと認める。

ii 800°C 焼入せるもの、焼戻

A. No.1 合金は約 250°C より硬化し始め約 400°C にて極大(及極小)に達す。而してその強度の絶體値及硬化の割合は 600°C 焼入材を焼戻したるものより遙に大である。

又 No.2 合金に在ては 600°C 焼入材を焼戻した場合と殆ど變化がない。即ち約 350°C の焼戻に依て硬化し始め、450°C 附近にて極大(及極小)に達し、その強度の絶體値も亦 600°C 焼入のと殆ど差がない。

B. これは No.2 合金はその組成が共析變態に近く殆

ど  $\alpha$  相を有せず、従て 600°C 以上如何なる溫度より焼入れを行ても其機械的性質並にマイクロ組織には殆ど差異なきを以て、之を焼戻しても亦、略近似せる結果に到達するが、No.1 合金は相當量の  $\alpha$  を保有するを以て、焼入溫度によつて著しく機械的性質並にマイクロ組織を異にし、且其の焼戻硬化現象は  $\beta \rightarrow \alpha + \delta$  反應のみでなく  $\beta$  相より分離する  $\alpha$  の析出硬化をも伴てゐるかと思へる。

(3) 顯微鏡組織

No.1 及 No.2 合金の顯微鏡組織は熱處理によつて上の如く變化する。

V. 總 括

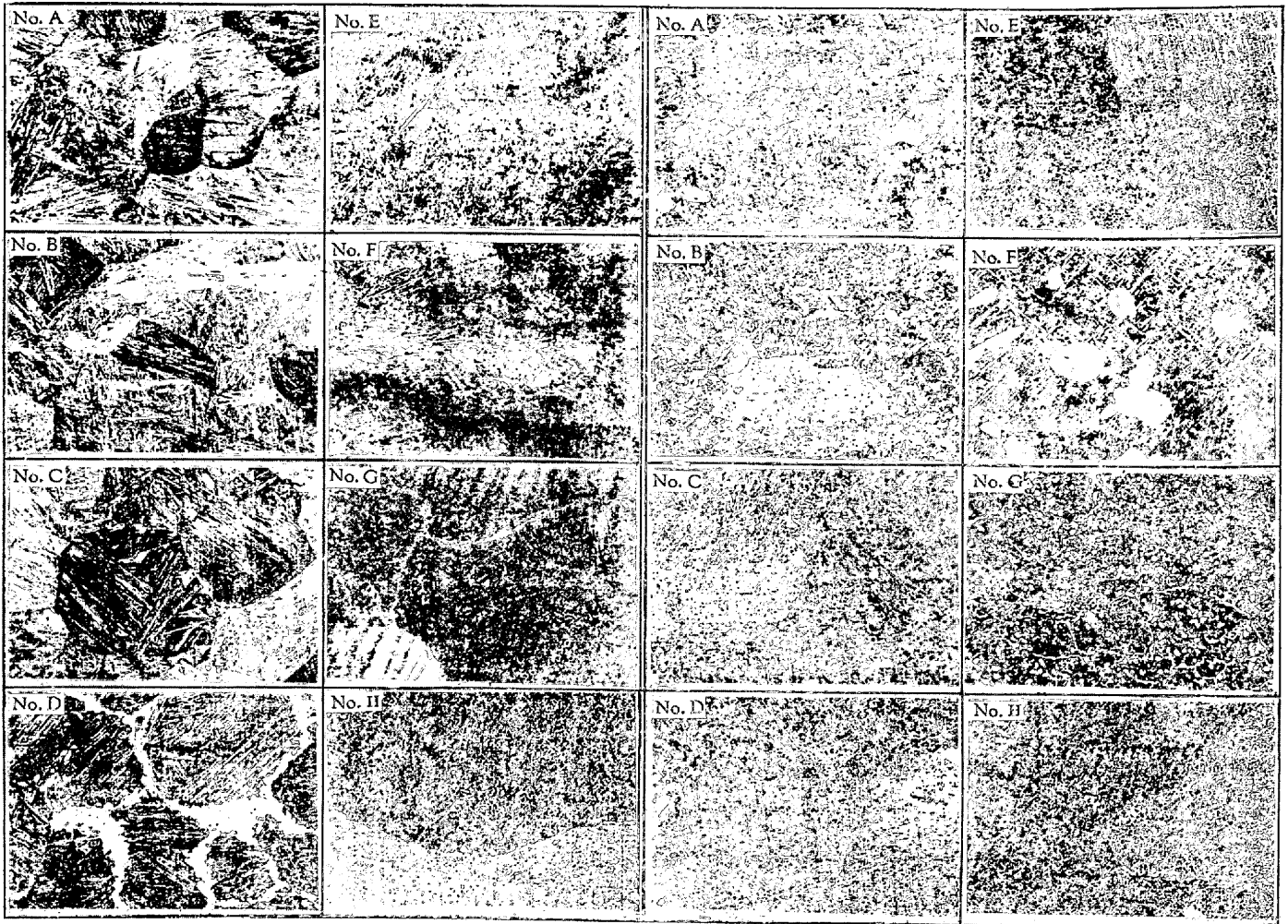
1) アルミニウム青銅の機械的性質及び耐酸、耐蝕性に及ぼす Ni, Fe, Mn, Zn 其他約 10 種金屬元素の添加影響を検討したる結果、アルミニウム青銅の諸性質を改善するために Ni は必ずしも不可缺の添加金屬に非ることを明らかにした。

2) 全然 Ni を含まざる特殊アルミニウム青銅 “HB-

57x41=2337

第 11 圖 (H) Alloy No. 2 ( $Al \div 11.7\%$ ) ( $\times 100$ )

第 11 圖 (I) Alloy No. 3 (HB-5) ( $\times 100$ )



No. A Quenched from 800°C  
No. B Quenched from 800°C  
Tempered at 300°C  
No. C Quenched from 800°C  
Tempered at 350°C  
No. D Quenched from 800°C  
Tempered at 400°C

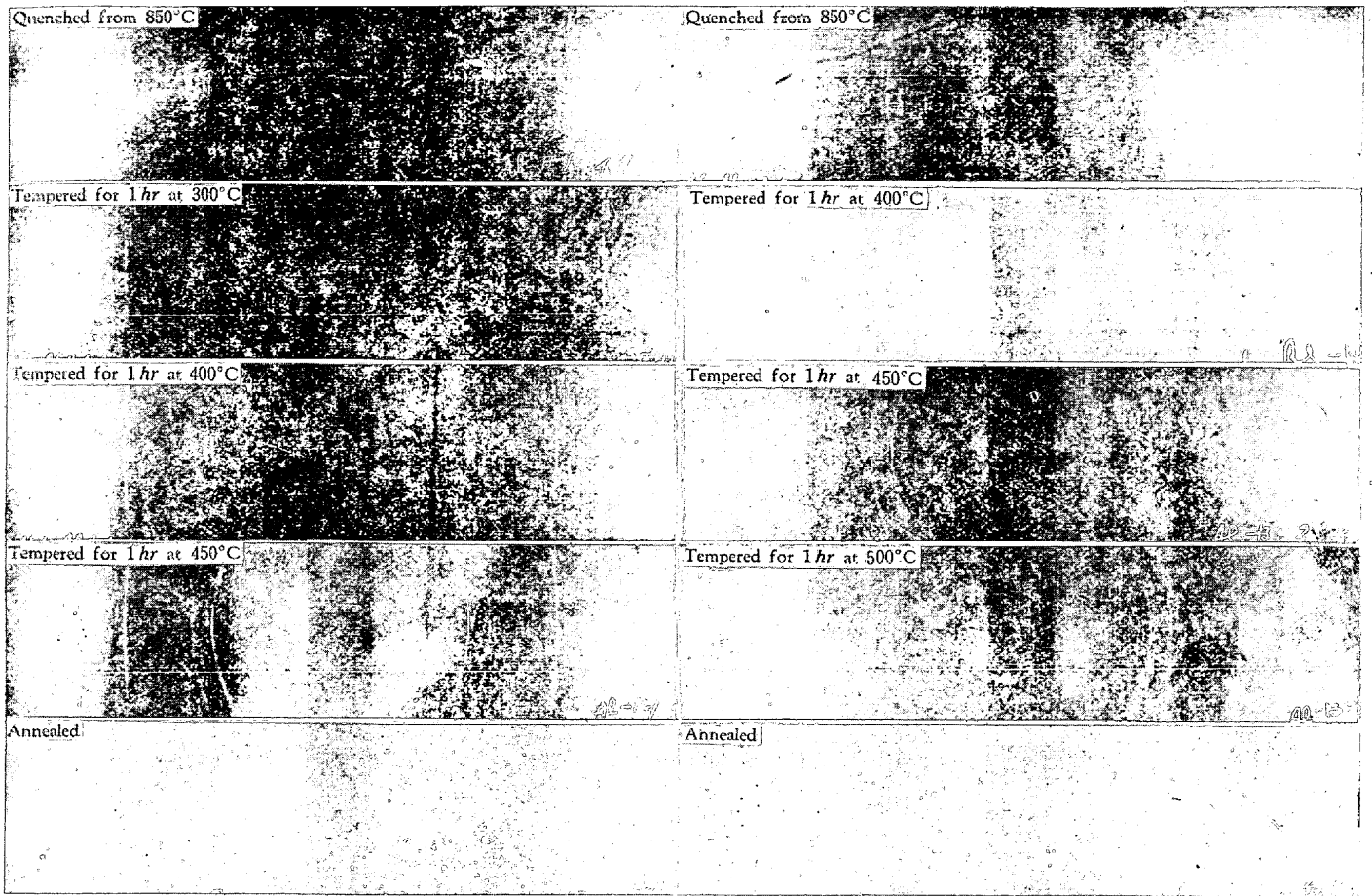
No. E Quenched from 800°C  
Tempered at 450°C  
No. F Quenched from 800°C  
Tempered at 500°C  
No. G Quenched from 800°C  
Tempered at 600°C

No. A Quenched from 800°C  
No. B Quenched from 800°C  
Tempered at 300°C  
No. C Quenched from 800°C  
Tempered at 350°C  
No. D Quenched from 800°C  
Tempered at 400°C

No. E Quenched from 800°C  
Tempered at 450°C  
No. F Quenched from 800°C  
Tempered at 500°C  
No. G Quenched from 800°C  
Tempered at 600°C

状 態	No. 1 合金 ( $Al \div 10.5\%$ )	No. 2 合金 ( $Al \div 11.7\%$ )
550°C にて焼 鈍	$\alpha + (\alpha + \delta)$ [共晶組織]	$\alpha + (\alpha + \delta)$ [共晶組織]
550°C より水焼入	同 上	同 上
600°C "	$\alpha + \beta$ [針状のマルテン組織]	$\beta$ [マルテン組織]
700°C "	同 [但し $\beta$ 相の面積を増す]	同 上
800°C "	$(\alpha) + \beta$ [ $\alpha$ は僅に $\beta$ 粒界と細き線状に残存]	同 上
600°C 焼入 350°C 焼戻	$\alpha + \beta$ [ $\beta$ は針状マルテン組織]	$\beta$ [マルテン組織]
" 400°C 焼戻	$\alpha + (\alpha + \delta)$ [共晶組織]	$\beta + (\alpha + \delta)$ [共晶組織をなして $\beta$ 結晶粒界に現れ初む]
" 450°C 焼戻	同 [但し共晶組織が稍粗くなる]	$\beta + \alpha + (\alpha + \delta)$ [共晶組織の面積が漸次擴大し同時に粒状に $\alpha$ が出現]
800°C 焼入 300°C 焼戻	$(\alpha) + \beta$ [ $\beta$ 粒界の $\alpha$ が稍太く見えて来る]	$\beta$ [マルテン組織]
" 350°C 焼戻	同 上	同 上
" 400°C 焼戻	$\alpha + \beta$ [粒状の $\alpha$ が現れ、同時に $\beta$ 内に針状の $\alpha$ が出て来る。]	$\beta + (\alpha + \delta)$ [ $\beta$ 粒界に共晶組織をなして現れる]

第11圖 X-Ray Rowder Photographs of Al-Cu Alloy Cu-K $\alpha$  radiation  
 10.5% Al-Cu 11.7% Al-Cu



5”を創製し、之に關する各種確性試験を行た。

3) “HB-5”材の熱處理法研究と同時に10.5%及11.7% Al-Cu二元合金の押出棒材に就て熱處理による機械的性質並にマイクロ組織の變化を再検討した。

4) 而して、アルミニウム青銅は冷却速度によつて著し

く機械的性質を變化するのみならず、同一熱處理を施しても試材の形狀、大小等による所謂 Volume Effect が可成り顯著なるを以て、性質均等なる製品を得るためには可成りの技術と熟練とを必要とするであらうことを知つた。