

XI. 総括

上記の實用試験以外の結果を總括して優劣を比較すると第 10 表に示す如く熱傳導度、比重、3% 食鹽水腐蝕試験、海水潰蝕試験、降伏點、加工の難易の諸性質に於て廣研 A, B, 住友ニッケル銅は眞鍮よりも優秀であるが實際

の復水器に於ける腐蝕、潰蝕度を 2,800h 乃至 5,000h 試験の結果は廣研 A 及眞鍮が成績良好である。

廣研 A は理學士三芳豐四郎氏が研究の結果昭和 3 年發見せるものにして Al 3, Zn 16, Cu 残りの成分を有し、現用の眞鍮に比して總ての點で優秀なものと認める。

珪素を含む銅合金の研究

(日本鐵鋼協會第 14 回講演大會講演)

田邊友次郎*
小磯五郎*

ON SOME COPPER ALLOYS CONTAINING SILICON—THE FIRST REPORT

By T. Tanabe, Dr. Eng. Member, and G. Koiso.

SYNOPSIS.—The mechanical properties of wrought "Silzin-Bronze" which was invented by Dr. T. Ishikawa early in 1928,—a few years later, the similar alloy "Tombasil." Came out in Germany—are fully shown. The effects of aluminium on the mechanical and chemical properties of wrought Silzin-Bronze have been investigated, and a new alloy series "SSZ" discovered. The alloys "SSZ" are strong & ductile and far better corrosion-resisting to sea water than Silzin-Bronze. Some brittleness of wrought Silzin-Bronze, caused by annealing, is shown to vanish nearly by adding aluminium.

The mechanical and corrosion-resisting properties of "SSZ" & "Silzin-Bronze" are far superior to those of P. M. G. Metal.

The authors also have studied the mechanical & chemical behaviour of some industrial copper alloys containing silicon, v. z., P. M. G. Metal, Tungum Alloy, A. R. (the authors' invention), Everdur, and Herculy. The comparison of these alloys is shown in the accompanying table.

The composition & mechanical properties of some important copper alloys containing silicon, wrought and fully annealed. (all the data, except those of Tombasil, compiled by the authors' test results)

Alloys	Composition %										Strength kg/mm ²	Elongation (50 mm)%	Brinell hardness (10-500)	Izod value mkJ/cm ²	Specific gravity	Remarks
	Cu	Zn	Si	Al	Ni	Mn	Fe	Sn	P	Cd						
Silzin-B No. 9 (SZ 9)	86	10	4	—	—	—	—	—	—	—	48	55	92	15.4	8.48	Japan
Silzin-B No. 11 (SZ 11)	85	10	5	—	—	—	—	—	—	—	58	34	123	9.8	8.28	"
Silzin-B No. 17 (SZ 17)	80.5	15	4.5	—	—	—	—	—	—	—	65	41	132	8.6	8.28	"
SSZ-1 *	85	10	4	1	—	—	—	—	—	—	55	56	104	13.7	8.27	"
SSZ-2 *	84	10	4	2	—	—	—	—	—	—	65	35	132	8.4	8.14	"
SSZ-3 *	80.5	15	3.5	1	—	—	—	—	—	—	58	55	107	8.4	8.28	"
Tombasil **	81	15	4	—	—	—	—	—	—	—	60	27	145 (10-1000)	—	—	Germany
Tungum	82	14	1	1	1	—	—	—	—	—	40	73	—	—	8.41	England
P. M. G.	92	2	4	—	—	0.5	1.5	—	0.1	—	49	42	112	8.8	8.47	"
A. R.	95.9	—	3	—	—	—	—	1	—	0.1	42	70	75	13.5	8.61	Japan
Everdur	96	—	3	—	—	1	—	—	—	—	40	69	73	—	8.46	U. S. A.
Herculy	95.8	1	2.5	—	—	—	—	0.7	—	—	41	65	74	11.4	8.60	"

* containing some minute quantities of As & P. ** J. Inst. Met, 1930, p. 363.

目次

I. 緒言

II. 鍛鍊用シルジン青銅 (SZ)

III. アルミニウムを含む鍛鍊用シルジン青銅 (SSZ)

IV. 低珪素眞鍮

* 住友伸銅管株式會社研究部

- V. A. R 合金
- VI. P. M. G メタル
- VII. ハーキュロイ (Herculoy)
- VIII. タンガム合金 (Tungum)
- IX. エヴァデュール (Everdur)
- X. 總括

I. 緒言

珪素は SiO_2 として地球上到處に産出され又電力の安値なる場所であるならば何處に於ても比較的容易に製造し得て錫の如くに價格の變動も多くないから、合金元素としての經濟的價值も亦大なりと認められる。殊に錫の大部分を輸入にまつ我國にあつては特別の意味を持つ事になり、従つて石川博士發明のシルジン青銅の如き其優秀なる性能と相俟つて其經濟的價值に於て大いに有意義なりと云はなければならぬ。

珪素を主成分とする銅合金中、我國に於て既に工業化せられてゐるものは前記シルジン青銅¹⁾、我等の A. R 合金²⁾ あり、歐米に於ては米國の Everdur, Herculoy, 英國の P. M. G メタル、Tungum 合金、ドイツの Tombasil 等が擧げられる。尙又 Ni_2Si を主成分とする Corson 系合金、即ち米國の Tempaloy (古河電工の C 合金、CA 合金は之に屬する) あり、我等のアルブラック³⁾、S. N. B⁴⁾ の如きも亦少量ではあるが珪素が重要な役割を演じてゐる。

本篇は 1) 鍛鍊用シルジン青銅、2) アルミニウムを含む新鍛鍊用シルジン青銅 SSZ、3) 低珪素真鍮、4) A. R 合金に關する續報、5) P. M. G メタル、6) Herculoy、7)

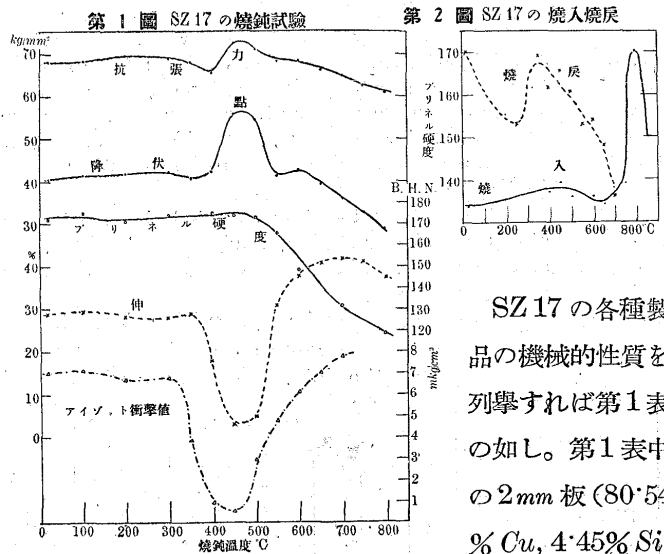
Tungum、8) Everdur 等に就て行へる研究結果を輯録し此等諸合金の性能を比較せるものである。

而してシリサイドを含む焼戻硬化する合金及 Al-Si 青銅等に就ては第 2 報に記述する豫定である。

II. 鍛鍊用シルジン青銅

シルジン青銅は元來鑄物用として發達したものであるけれども鍛鍊用としても亦頗る優れた性能を有してゐる。こゝには現行鑄物規格として擧げられてゐる第 1 種 (住友符號 SZ 9)、第 2 種 (住友符號 SZ 17) 及 No. 11 (住友符號 SZ 11) を鍛鍊して得たる成績に就て述べる事にする。シルジン系統は組成如何に依り 600~800°C に於て壓延等の熱間加工作業比較的容易であり又或程度の常溫加工も亦可能である。

1) SZ 17 (80.5% Cu, 4.5% Si, 15% Zn)



SZ 17 の各種製品の機械的性質を列擧すれば第 1 表の如し。第 1 表中の 2mm 板 (80.54% Cu, 4.45% Si,

第 1 表 SZ 17 の機械的性質

性 能	製品形状	φ 100mm 棒		φ 50mm 棒		φ 25mm 棒		5mm 板	2mm 板		1mm 板	外径 210 厚 15mm 管
		其儘	其儘	其儘	700°C 燒鈍	其儘	其儘	700°C 燒鈍	其儘			
降 伏 點	kg/mm ²	31.7	38.1	49.0	35.2	65.7	40.0	35.6	—	—	—	30.0
抗 張 力	"	60.2	66.9	72.9	64.6	79.0	68.3	65.2	74.8	—	—	60.9
伸 (50mm)	%	39.5	39.0	32.5	40.0	20.5	29.0	42.0	16.0	—	—	35.0
面 縮	"	—	—	37.0	42.0	—	—	—	—	—	—	—
プリネル硬度 (10~500)		141.9	143.0	157.2	131.5	208.0	171.1	132.4	167.5	—	—	137.4
アイゾット値	mkg/cm ²	7.67	6.6	7.16	8.59	—	—	—	—	—	—	6.10
比 重		—	8.28	8.28	—	8.28	8.28	—	—	—	—	8.28

1) 石川：萬國工業大會論文集、No. 613。
 2) 田邊：小磯、田村、住友伸銅研究報告、No. 3 (1933) 128; No. 12 (1933)、871。
 3) 田邊、小磯：住友伸銅研究報告、No. 3 (1933)、122; No. II (1933)、741; 機械學會誌、37 (1934)、506。
 4) 同上：No. 7 (1933)、415; No. 9 (1933)、609。

15.01% Zn) を採つて 100~800°C の各溫度に 30 分宛加熱空冷の上、燒鈍による強靱性の變化を試験した。其結果は第 1 圖の如く、圖中のアイゾット衝擊値は φ 25mm 棒 (80.32% Cu, 4.42% Si, 15.26% Zn) に就て同様の熱處理を施し得られた結果である。

第2表 SZ9の機械的性質

製品形状	φ100mm棒		φ50mm棒		φ28mm棒		0.5mm板		0.3mm板
	其儘	700°C焼鈍	其儘	700°C焼鈍	其儘	700°C焼鈍	其儘	700°C焼鈍	其儘
降伏点 kg/mm^2	17.7	22.0	21	21	35.0	21.0	37.0	23.0	81.0
抗張力 "	46.3	48.7	48.1	48.1	55.7	48.4	54.2	48.0	84.5
伸(50mm) %	59.0	54.7	56.0	56.0	45.7	54.5	44.0	50.0	1.0
面縮 "	56.4	53.8	47.4	47.4	53.8	48.1			
ブリネル硬度(10~500)	105.0	105.0	92.0	92.0	146.3	92.0			
アイゾット衝撃値 mkg/cm^2	>15.4*	>15.4*			13.2	>15.4*			
ロックウェル硬度(B)							79.3	74.7	—
繰返屈曲回数($r=0.5mm$)							76.0	—	10.5
エリキゼン値 mm							7.5	9.6	3.7
比 重			8.47	8.47			8.47	8.47	8.47

* φ16.99mm 試験片、30mtg 試験機では破断せず。

次に φ25mm 棒より硬度試験片を採り 750°C に1時間加熱徐冷したものを 400~850°C の各温度に1時間加熱投水し、又 800°C 焼入品を 250~700°C に1時間宛加熱投水による焼戻を行つた。此等の結果は第2圖の如くである。焼入焼戻効果はあるけれどもこれに依つて利する點は餘りない。

2) SZ9 (86% Cu, 4% Si, 10% Zn)

第2表はSZ9の各種製品の機械的性質を示せるものである。

3) SZ11 (85% Cu, 5% Si, 10% Zn)

SZ11の性能は第3表の如くである。

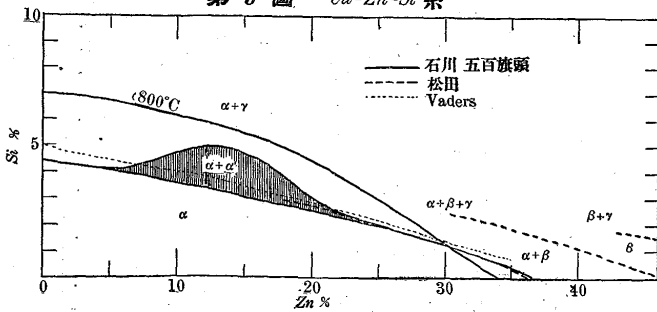
第3表

製品形状	φ28mm棒		φ50mm棒	
	其儘	700°C焼鈍	其儘	700°C焼鈍
降伏点 kg/mm^2	49.0	36.0	47.0	36.0
抗張力 "	69.9	58.6	67.0	58.5
伸(50mm) %	27.0	33.0	27.3	35.5
面縮 "	34.6	30.8	34.0	35.0
ブリネル硬度(10~500)	181.4	123.4	147.9	124.0
アイゾット値 mkg/mm^2	3.94	9.80	5.45	—

4) Cu-Zn-Si 系の顕微鏡組織

Cu-Zn-Si 系の組織は石川⁵⁾、五百旗頭⁶⁾、松田⁷⁾、

第3圖 Cu-Zn-Si 系



5) 前出。

6) シルジン講習會講演、昭和5年10月。

7) 住友伸銅研究報告、No. 5 (1933)、270。

Vaders⁸⁾ 諸博士に依り研究されてはゐるが未だ分明ならざる部分が多い。最も注意すべきは五百旗頭博士のもので第3圖の斜線を施せる範圍 $\alpha+\alpha'$ 中に優秀なるシルジン青銅の全部が含まれる。

今SZ17鍛錬材を完全に軟化して見ると比較的白色の組織と暗色にして双晶(?)を盛んに發生してゐる組織が見られる。(寫真1) 焼入試験の結果に依ると750°C附近は格別の變化もないが800°Cに至れば明かにマルテンサイト様組織となる。

5) 要約

a. シルジン青銅は鍛錬材として棒、板、管等に製作比較的容易にして良好なるものが得られる。

b. 現行鑄物規格の硬軟2材を鍛錬して得られた結果に依れば次の如き優秀なる性能を有し熱処理を施さざる銅合金、就中眞鍮系統のものとしては稀に見る強靱性を有する

	SZ17	SZ9
降伏点 kg/mm^2	30~66	22~81
抗張力 kg/mm^2	60~79	48~84.5
伸(50mm) %	42~16	56~1
ブリネル硬度	110~208	>92
アイゾット値 mkg/cm^2	8.6~3*	>13

備考 * 推定

6) 附記 石川博士のシルジン發見數ヶ年後にドイツではHirsch, Kupfer und MessingwerkeのVadersが同様の研究を發表した。其商品名を Tombasil と云ひ 15% Zn, 4% Si, 81% Cu でSZ17に酷似してゐるVadersの成果次の如し。

	抗張力 kg/mm^2	伸%	ブリネル硬度 (10-1,000)
φ15mm 押出棒	64.5	30.5	147.2
φ14mm 棒	88.2	15.0	202.0

(上記押出棒を抽伸せるもの)

8) J. Inst. Met., (1930)、363。

尙 Hirsch の製品は次の如しと傳へられる。

	鍛鍊棒	抽伸棒(鍛鍊後に)
抗張力 kg/mm^2	60~65	75~80
伸%	約 30	15~20
ブリネル硬度	130~150	160~180

III. アルミニウムを含む シルジン青銅 (SSZ)

海軍技術研究所に於ては鑄物用シルジン青銅を更に改善せんがために 10% Zn, 4% Si 材に各種金属を添加試験された結果 Al が唯一の良好なる補強劑なる事を見出された⁹⁾。

我等も亦別箇に石川博士指導の下に同様の研究を行ひ、ほぼ同様の結論に到達した。依つて本項には Al を含むシルジン SSZ に就ての攻究結果を記述する。

1) 探究の概要 先づ著者は

Zn	5	10	15	20
Si	4	4	3.5	3
Al	0.5~3	0.5~3	0.5~3	0.5~2
Cu %	殘部	"	"	"

なる合計 19 種の金型鑄物 ($\phi 15mm$) を造り試験の結果 5~20% Zn 基に Al を添加すれば一般に強度を増加し伸も概して悪化せざる事を知つた。

殊に耐海水性は Al の添加に依り第 4 圖に示すが如く著しく改善される。又何れの試料も Al 2% 以上のものは脱亜鉛を惹起しないが然らざるものは此の作用を受ける。As を 0.01% 以上添加すれば脱亜鉛を或程度迄防止する作用がある。尙清淨劑としては 0.01% 以上の P を添加

する方がよい。即ち SSZ 合金はシルジンに適當の Al と微量の As 及 P を添加せしめたる新合金の總稱である。

次に以上の金型鑄物の成績より考案して次記組成の鍛鍊物の試験を行つた。此等は何れも純シルジン同様組成に依り 600~800°C で熱間加工を施せば比較的容易に壓延し得る。又ある程度の常温加工も出来る。

符號	Zn%	Si%	Al%	Cu%	比重
T 204	9.96	3.95	0.52	殘部	—
SSZ 1	9.94	3.85	1.11	"	8.27
T 206	9.94	3.88	1.64	"	—
SSZ 2	9.93	3.97	2.08	"	8.14
T 169	9.83	3.88	2.65	"	8.06
T 170	9.53	3.77	3.72	"	7.98
T 234	14.63	4.41	0.51	"	8.21
SSZ 3	15.16	3.46	1.06	"	8.28
T 236	14.95	3.94	1.59	"	8.11

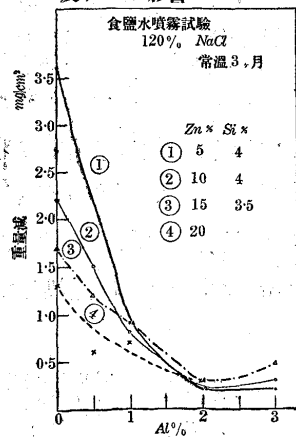
以上の如きものを $\phi 25mm$ 棒、或は 2 又は 10mm 板に壓延して其性能を検した。第 5 圖は $\phi 25mm$ 棒に就て行へる 10% Zn+4% Si 基に對する Al 添加の影響を示すものである。

2) SSZ の性能 SSZ 系の代表的のものとして

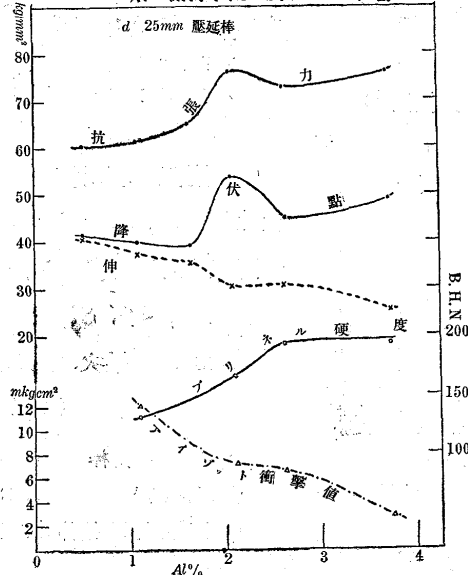
第 4 表 SSZ2 の機械的性質

形 狀	$\phi 100$ mm 棒	$\phi 50mm$ 棒	$\phi 25mm$ 棒		2mm 板		15mm 板	
			其儘	700°C 焼鈍	其儘	600°C 焼鈍	700°C 焼鈍	其儘
降伏點 kg/mm^2	28.5	34.8	53.3	37.5	47.4	49.5	36.5	48.0
抗張力 "	61.2	62.9	75.9	65.2	79.3	75.5	67.2	74.0
伸(50mm)%	39.0	40.0	30.0	34.5	22.0	27.5	41.0	22.0
面縮 "	41.2	43.3	36.0	40.0	—	—	—	—
ブリネル硬度 (10~500)	14.7	147.5	164.2	131.8	151.6	150.0	138.8	178.4
アイゾット値 mkg/cm^2	7.50	7.85	7.16	8.36	—	—	—	—
比 重	8.13	—	8.13	—	8.13	—	—	—

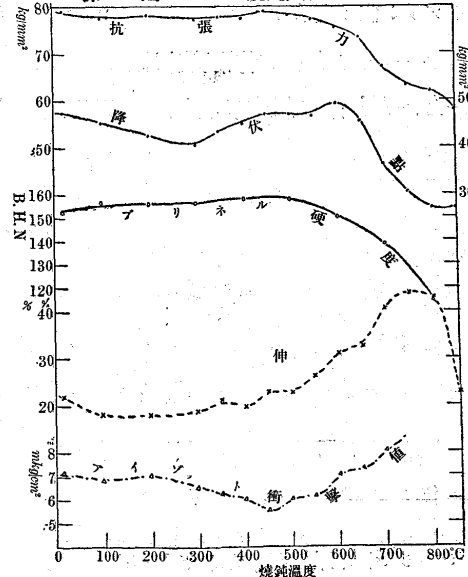
第 4 圖 Cu-Zn-Si 系の耐海水性に及す Al の影響



第 5 圖 Cu-Zn-Si 系の耐海水性に及す Al の影響



第 6 圖 SSZ2 の焼鈍試験



⁹⁾ 技研實驗成績報告 No. 803, 1931

No.1, No. 2 及 No. 3 の 3 種に就き其機械的性質を列記すれば第 4 及第 5 表の如し。

第 5 表 SSZ 1 及 SSZ 3 の機械的性質

種別 性能	SSZ1(其儘)		SSZ3(其儘)	
	φ25mm 棒	2mm 板	φ25mm 棒	2mm 板
降伏点 kg/mm^2	31.5	53.7	42.8	40.0
抗張力 "	59.7	73.1	68.1	68.6
伸 (50mm)%	46.5	26.5	36.0	36.0
面縮 "	49.0	—	44.5	—
ブリネル硬度(10~500)	123.5	164.2	166.7	132.4
アイゾット値 mk/cm^2	12.00	—	8.41	—
比重	8.27	—	8.28	—

a. 焼鈍試験 SSZ 2 の 2mm 板及 φ25mm 棒(アイゾット試片)を採り 100~800°C に 30 分宛加熱空冷の上強靱性の變化を見るに第 6 圖の如く SZ 17 に見る如き焼鈍脆性は殆ど解消する。獨り SSZ2 のみならず Al を含む SSZ 系は概して此傾向を現すのである。

其理由は少しも検鏡に依つては明かならず、電気抵抗、熱膨脹の變化に依り詳細攻究中であるから次報に明かにする。

b. 焼入焼戻試験 φ25mm 棒の SSZ2 材を採り既記 SZ 17 材と同様の熱処理を行つた。第 7 圖は其成果である

c. 高温硬度試験 SSZ 2 材(φ25mm 棒)に就き 790mm×1,030kg の勢力を以て 10mm 球徑に依り高温硬度試験(各温度に 30 分保持)を施行し第 6 表の結果を得た。

d. 検鏡 SSZ 2 は SZ 17 と同様約 750°C までは α+α' らしく 800°C に至つてマルテンサイト様組織となる。焼鈍状態に於ける SSZ 2 の組織を寫真 2 に示した。

e. 耐蝕試験 SZ 17, SSZ 1, SSZ 2 及 SSZ 3 の 2mm 壓延板より 4×7cm² なる試料を切り出し、1 枚宛 1% H₂SO₄, 1% HCl を各 500cc. 宛盛れる廣口ビン中に懸垂し常温に於て 10 日毎に秤量其都度液を新換し 60 日間試験した。又同様の試料を食鹽水(20% NaCl)噴霧試験に供した(10 日毎に秤量、60 日間)これらの結果を第 8, 9 及 10 圖に示した即ち SSZ 系合金は SZ 17 に比し耐硫

第 6 表 SSZ 2 の高温硬度試験

試験温度 °C	動的硬度 ($mmkg/mm^2$)	試験温度 °C	動的硬度 ($mmkg/mm^2$)
常 温	81.6	500	70.4
200	76.5	550	66.1
300	75.2	600	63.7
350	74.6	650	58.7
400	80.3	700	49.1
450	72.4	750	42.3

酸性、耐海水性に於て大いに勝る事が分る。

3) 要 約

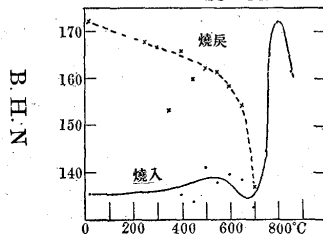
a. シルジン系合金に Al を添加して得られた SSZ 系合金は其強靱性に於て純シルジンに劣らず、其耐蝕性就中耐海水性は之に勝る。

b. SSZ 系合金には純シルジンに惹起する一種の焼鈍脆

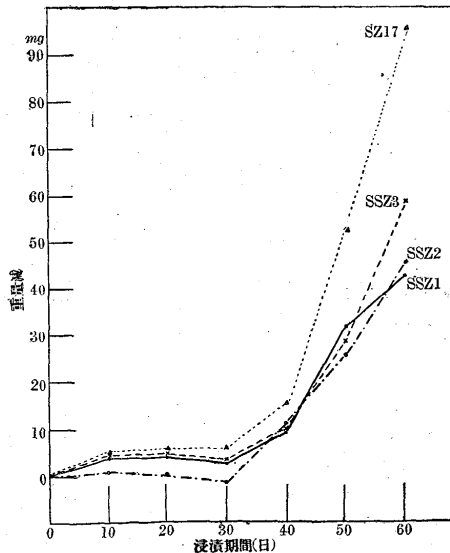
第 7 表 φ25~φ100mm 壓延棒の成績

種別 性能	SZ 9	SZ 17	SSZ 2
降伏点 kg/mm^2	17~35	30~50	30~50
抗張力 "	45~58	60~75	60~75
伸(50mm)%	60~45	40~25	40~25
ブリネル硬度(10~1,000)	110~150	140~190	140~200
アイゾット値 mk/cm^2	>13	8~6	8~5
比重	8.47	8.28	8.13
耐海水性	可	良	優

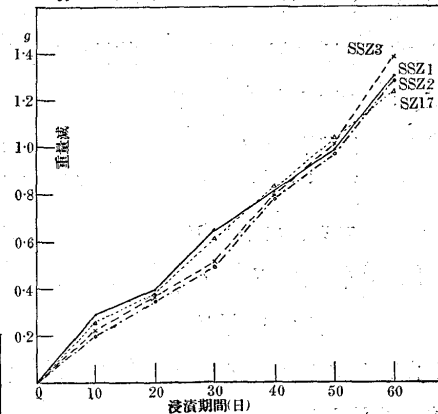
第 7 圖 SSZ2 の焼入焼戻



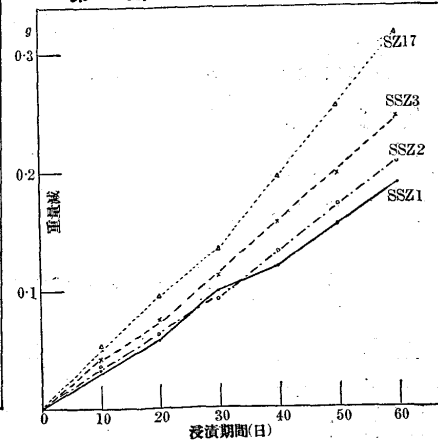
第 10 圖 食鹽水(20%)噴霧試験



第 8 圖 1% HCl に対する腐蝕試験



第 9 圖 1% H₂SO₄ に対する腐蝕試験



性が解消する。

c. SZ 9, SZ 17 及 SSZ 2 の實際の製品 ($\phi 25 \sim \phi 100$ mm 棒) 多數に就て得られた性能を一括表示せるもの第 7 表の如し。

IV. 低珪素眞鍮

本項は 70~80% Cu, 1~2% Si なる 2, 3 珪素眞鍮に關するもので 1mm 板及 $\phi 19 \times 1.25$ mm 管に製作せる結果は第 8 表の如し。

第 8 表 低珪素眞鍮

符 形	状 態	組成%				其 儘		700°C 燒鈍	
		Cu	Si	As	Zn	抗張力 kg/mm ²	伸% (50mm)	抗張力 kg/mm ²	伸% (50mm)
S 1	板	69.45	1.04	—	殘	54.3	30.5	39.2	75.5
S 2	〃	74.95	1.60	—	〃	60.9	24	44.3	67.5
S 3	〃	79.55	2.10	—	〃	63.4	24	45.0	73.0
SAC	管	80.88	1.81	0.05	〃	59.5	29	43.1	73.0

S 3 材の燒鈍 (30 分空冷) に依る力及伸の變化を第 11 圖に示した。其檢鏡結果次の如し。

符 號	700°C 燒鈍狀態	800°C 燒入狀態
S 1	α	$\alpha + \beta$
S 2	α	$\alpha + \beta$ (少量)
S 3	α	$\alpha + \beta$ (微量)

次に S 3 材 (80.45% Cu, 1.96% Si, 17.59% Zn) に就て 2mm x 4' x 4' なる大板試作の成果によればかゝるものは容易に製作し得られ其性能は、壓延率 5~20% にて、次の如く良好である。

降伏點 (0.2%)	22~32 kg/mm ²
抗 張 力	44~47 〃
伸 (50mm)	63~48 %
ブリネル硬度 (10~500)	105~125

SAC 管とアドミラルチーメタル管とを食鹽水 (20%) 噴霧試験に供せる結果は次記の如くほぼ同様の耐蝕性を有するが、アルブラック管¹⁰⁾に比する時、實際試験の結果に徴するも遙かに劣る。

	5 ヶ月後の重量減 mg/cm ²
SAC	72.00
アドミラルチーメタル	73.00

即ち此の種の低珪素 α 眞鍮は復水器管としては優秀とは云ひ難いが他のものとしては、棒、板、管等として其用途多々あるべきを疑はない。

V. A. R 合 金

A. R 合金は既報¹¹⁾の如く 3% Si, 1% Sn, 0.1% Cd,

¹⁰⁾ 前 出
¹¹⁾ 前 出

殘部 Cu よりなる耐酸合金であるが、其強靱性は 9% Sn 磷青銅に匹敵し、其軟化せるものは柔軟にして屈曲自在なる事純銅と變らない。而して其疲勞限度は銅の約 2.6 倍であるから A. R 管は我國に於て航空機、魚雷其他の兵器、艦船艤装用として水、油、ガソリン、壓縮空氣等の導管として賞用されてゐる。第 9 表に其性能を銅管と比較して示して置く。

第 9 表 A. R 管と銅管との比較 (燒鈍狀態)

	銅管	A.R 合金管
抗張力 kg/mm ²	22.7	42.0
伸 %	55	70
疲勞限度 kg/mm ²	6.3	16.5
比 重	8.9	8.6
押擴試験	良	良
扁平及屈曲試験	〃	〃
打展試験	〃	〃
鑲接及熔接	可能	可能

耐酸試験も既報したが其後の試験成績を以下に概述する (詳細は住友伸銅研究報告、II, No. 4, 1,935 参照)

常溫及 75°C に於ける長期試験によれば、二の有機酸を除き鹽酸、硫酸、硝酸、醋酸、磷酸等に對し、A. R は 5% Sn, 9% Sn の磷青銅に比し遙かによく耐抗する。殊に鹽酸に對しては第 10 表に示すが如く、アルミ青銅、モネルメタル等に比するも頗る大なる耐蝕性を有する。

第 10 表 A. R の耐鹽酸性 (20% HCl, 95°C, 48 時間)

材 質	重量減 mg/cm ²
A. R	26.80 (100)
アルミ青銅 (10% Al)	69.30 (258)
磷 青 銅 (9% Sn)	95.80 (358)
ニッケル銅 (30% Ni)	104.50 (390)
モネルメタル	475.80 (1,775)

次に A. R 及 9% Sn 磷青銅板を採り常溫にて 1 ヶ月間 HCl (5, 10 及 30%) H₂SO₄ (5, 50 及 95%) 中に浸漬し、試験前後の抗張力及伸を測定した。今抗張力及伸の減少率の和を以て耐酸性を示せば第 11 表の如くなる

第 11 表 A. R 及 9% Sn 磷青銅板の耐酸性比較

常溫 1 ヶ月浸蝕後の抗張力減少率%と伸減少率%との和

HCl	A. R		磷青銅 (9% Sn)		H ₂ SO ₄	A. R		磷青銅 (9% Sn)	
	抗張力	伸	抗張力	伸		抗張力	伸	抗張力	伸
5	25.5	59.2	5	3.7	6.5	3.7	6.5	0.0	7.3
10	8.2	14.0	50	0.0	7.3	0.0	7.3	0.0	7.3
30	17.3	31.2	95	9.1	29.9	9.1	29.9	0.0	7.3

第 10, 11 表を一括圖示すれば第 12 圖の如く耐酸構成材料としての A. R の價值を見ることが出来る。寫眞 3 に A. R の燒鈍狀態に於ける組織を示した。

VI. P.M.G メタル

P.M.G メタルは英國 Vickers-Armstrongs Ltd. が有する特許合金 (B. P. No. 335950, 1,929) で P. M. G. Metal Trust Ltd. の發賣に係り、其主なるものは砲金代用品即ち 88% Cu+硬化劑 10%+2% Zn なる組成を有し、此硬化劑なるものと之を銅合金に添加する事が特許の主體となしてゐる。一説によれば P は磷を M は Mn を G は Gun Metal を意味すると云ふ。

以下には同社より入手せる鑄塊を使用し行へる試験結果を記述する (因みに本試験は 1931~1932 年に行つたものである)。

1) 鑄塊 (88-10-2) の組成 1ヶ約 10kg の鑄塊 2ヶを分析せる結果は次の如く、使用の所謂硬化劑は、

Cu	Si	Fe	Mn	P %
43	40	13	3	1

の如きものであらう。

No.	成 分 %							
	Cu	Si	Fe	Zn	Mn	P	Pb	Al
1.	92.36	4.01	1.32	1.85	0.32	0.10	痕跡	痕跡
2.	92.42	3.98	1.30	1.85	0.32	0.10	〃	〃

P.M.G の組成中最も注目すべきは比較的多量の P を

含むことで熔金の良好なる流動性は其のためと思はれる。齋藤氏¹²⁾ の調査によれば “88-10-2” は 91.96% Cu, 3.97% Si, 1.51% Fe, 0.51% Mn, 2.02% Zn, Al 痕跡とあり P を分析してゐない。

2) 砂型及金型鑄物 第 13 圖の如き砂型及金型を使用して試料をつくり抗張、硬度及檢鏡試験 (T 材、φ20×200mm) 鑄造收縮率測定及衝擊試験 (S 材、15 角×300mm) を施行した。鑄造方法は木炭末の被覆の下に前記鑄塊を熔融し少量の鹽化アンモニヤを熔劑として使用し約 1,100°C で鑄込んだ。

試験成績は第 12, 13 表の如くである。

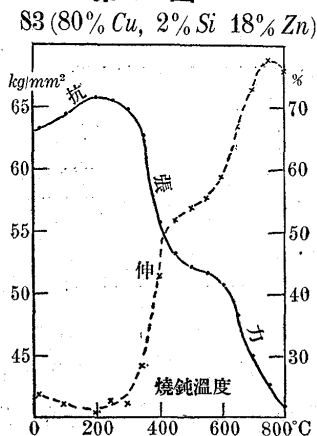
次に相當大なる弁等を造つたが良好品が得られた。

第 12 表 P. M. G. メタル砂型鑄物

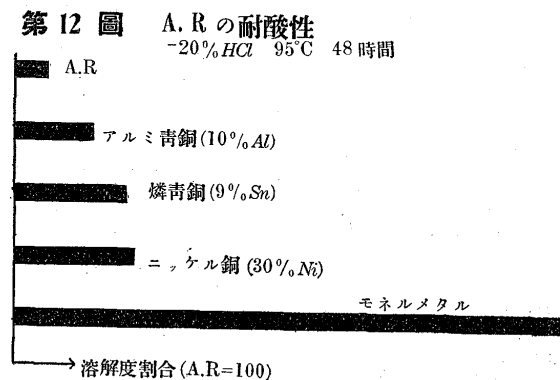
符號	降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸 (50mm) %	ブリネ ル硬度 (10-500)	アイゾ ット値 mk/cm ²	鑄造 收縮率 %	比重
T1	16.8	23.8	3(點際)	81.2	—	—	8.47
〃	18.8	27.2	6	94.2	—	—	—
T2	〃	27.9	〃	93.0	—	—	8.47
〃	19.5	30.5	8	93.0	—	—	—
S1	—	—	—	—	3.2	1.81	—
〃	—	—	—	—	3.6	—	—
S2	—	—	—	—	2.7	1.71	—
〃	—	—	—	—	3.3	—	—

(抗張試験片直徑 = φ14mm, アイゾット試験片徑 10mm 角)

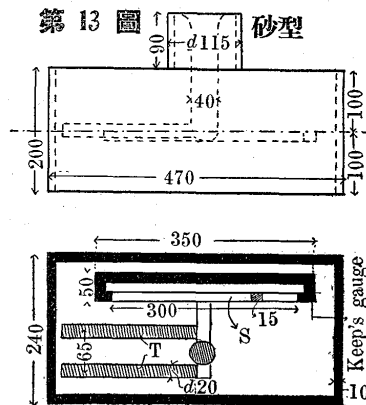
第 11 圖



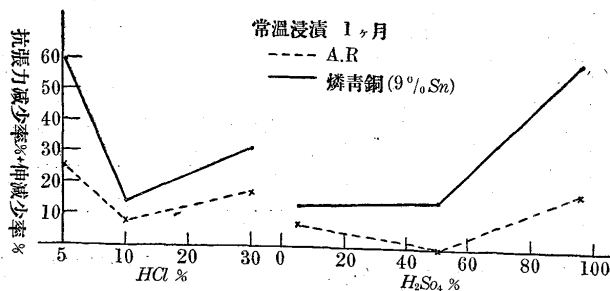
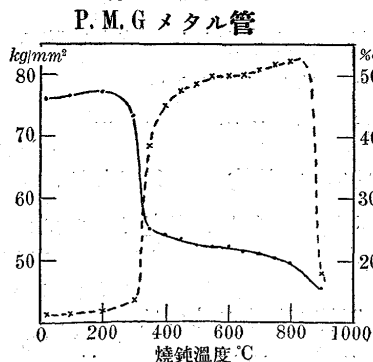
第 12 圖



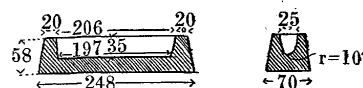
第 13 圖



第 14 圖



金型



¹²⁾ 鑄物、第 3 卷、第 1 號、昭和 6 年 5 月

第 13 表 P. M. G. メタル金型鑄物

符號	降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸 (50mm) %	ブリネル 硬 度 ット値 (10-500)	アイゾ ット値 mg/cm ²	比重
C 1	22.0	41.1	20(點際)	104.0	—	8.47
C 2	22.5	46.8	32	106.6	—	8.46
C 3	22.0	39.8	18	104.0	—	—
C 4	—	—	—	—	6.8	—
C 5	—	—	—	—	6.1	—
C 6	—	—	—	—	5.4	—

(アイゾット試験片直径 φ16×99mm, 抗張試片 φ14mm)

寫眞 4 は金型鑄物の組織である。

3) 棒及板 前項に記したと同様に鑄塊を再熔融し棒型材 (φ80mm, 60kg インゴット)、板型材 (30kg インゴット) をつくり 700~800°C にて壓延し φ25mm 棒 1mm 及 2mm 板を製造した。これらの性能を第 14 表に示す。

第 14 表 P. M. G. メタル棒及板

形 状 性 能	φ25mm 棒		1mm 板		2mm 板	
	其儘	700°C 焼鈍	其儘	700°C 焼鈍	其儘	700°C 焼鈍
降伏點 kg/mm ²	37.0	25.7	—	—	—	—
抗張力 "	54.2	48.9	62.3	51.1	66.6	47.5
伸(50mm)%	35.0	46.0	19.0	39.0	13	42
面 縮 "	41.0	37.0	—	—	—	—
ブリネル硬度 (10-500)	145.8	112.0	—	—	—	—
アイゾット値mg/cm ²	5.12	8.85	—	—	—	—

4) 管 φ165mm インゴットをつくり穿孔し、適當に抽伸して φ16×1.25mm 管に仕上げた。さしたる困難もないが内面平滑な綺麗なものは出来にくい。其機械的性質は次の如し。

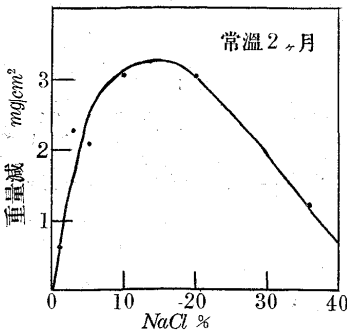
	抽伸の儘	750°C 焼鈍
抗張力 kg/mm ²	76.0	50.2
伸 (50mm)%	11.5	52.0

第 14 圖はこの管の焼鈍 (30 分空冷) 試験であり寫眞 5 は抽伸の儘の組織である。

5) 耐蝕試験 1mm 板 (壓延の儘) より 4×7cm の試料を採り、1~36% NaCl 溶液各 500cc. 中に浸漬し常溫 2 ヶ月の腐蝕試験を施行した (第 15 圖)。

第 15 圖

P. M. G. メタルの耐蝕性



次に P. M. G. メタル 磷青銅 (8% Sn) タンガム合金 (次項参照) 及 S. N. B¹³⁾ (64% Cu, 0.5% Al, 0.5% Si

0.05% As 殘部 Zn) 板を採り 3.5% 粗製食鹽水中に於

¹³⁾ 前出

て常溫 6 ヶ月の腐蝕試験を施行し第 16 圖の成果を得た。即ち P. M. G. メタルは磷青銅程度の耐海水性を有することが分る。

尚金型鑄物棒 (φ15mm) に就て P. M. G. メタルと SZ 17 との耐海水性を比較し第 15 表の結果を得て、前者は後者に比し耐海水性劣ることを知つた。

第 15 表 P. M. G. メタルと SZ 17 の比較

材質	重量減 mg/cm ²		備 考
	食鹽水(20% NaCl) 噴霧試験, 8 ヶ月	海中浸漬, 11 ヶ月	
SZ 17	5.0	11.9	{ 多少の脱亜鉛 全面激しく脱 亜鉛
P. M. G	7.0	14.4	

6) P. M. G. メタル復水器管 某所より入手せる P. M. G. メタル復水器管 (φ3/4"×#18) と稱するものを調査せるに第 16 表の如きことが分つた。

第 16 表 P. M. G. メタル復水器管

Cu	Si	Fe	Zu	Mn	P	Al
90.56	2.16	0.92	5.65	0.04	0.04	0.15
降伏點 52.5 kg/mm ²		抗張力 66.5 kg/mm ²				
伸(50mm) 16%		比 重 8.34				

次に上記管をアドミラルチーメタル管 Everdur 管と共に食鹽水 (20%) 噴霧試験 (5 ヶ月) に供せるに第 17 表の如く、P. M. G. メタルの耐海水性は Everdur には勝るがアドミラルチーメタルには遙かに及ばず従つてアルブラックとは問題とするに足らない。

第 17 表 P. M. G. メタル復水器管の耐海水性

材 質	重量減 mg/cm ²	備 考
アドミラルチーメタル	73.00	
P. M. G. メタル	118.00	點蝕あり
エヴァデュール	143.80	點蝕多し

7) 要 約

a. P. M. G. メタル(88-10-2) 鑄塊の分析結果によれば

Cu	Si	Fe	Zn	Mn	P
92.39 %	4.00	1.31	1.85	0.32	0.10

で、所謂硬化劑は 43% Cu, 40% Si, 13% Fe, 3% Mn, 1% P なるものゝ如し。

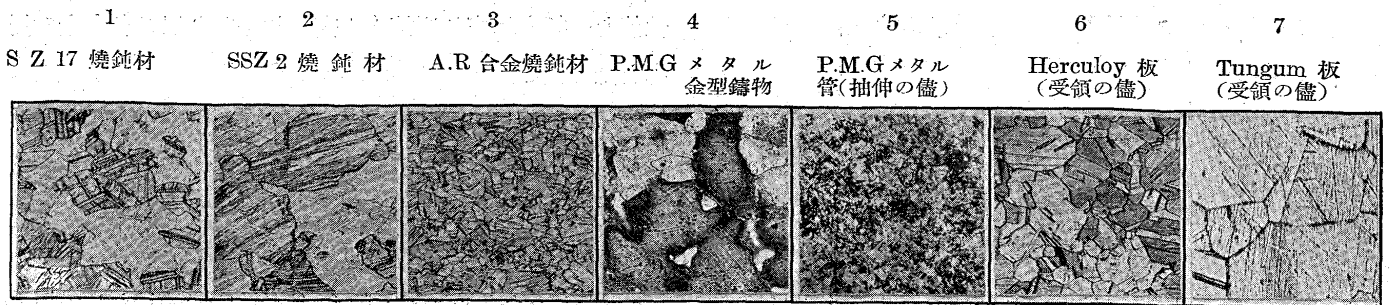
b. P. M. G. メタル (88-10-2) は鑄物として砲金に勝るものの如きも、シルジン系には遙かに及ばない。

c. 同品は比較的容易に棒、板、管等に成形し得られ、焼鈍状態にて抗張力約 50 kg/mm²、伸約 50% である。

d. 其耐海水性はほぼ磷青銅 (8% Sn) 程度でシルジン系には遠く及ばない。

e. P. M. G. メタル復水器管と稱するものは、

Cu	Si	Fe	Zu	Mn	P	Al
90.56%	2.16	0.92	5.65	0.04	0.04	0.15



(200 倍のもの 0.6 に縮寫)

で、抗張力 66.5 kg/mm^2 、伸 16% であるが、耐海水性はアドミラルチーメタルにすら遠く及ばず、従つてアブラック ($78\% \text{ Cu}$, $2\% \text{ Al}$, $0.3\% \text{ Si}$, $0.05\% \text{ As}$, 残部 Zn) に比すれば殆ど問題とする價值なく、英國に於ても實用されてゐるとは考へられない。

VII. ハーキュロイ (Herculoy)

Herculoy は最近米國 Revere Copper & Brass, Incorp から發賣されたもので其性能は Wilkins¹⁴⁾ の記述がある。

入手せる鑄塊 1 mm 板及 $\phi 25 \text{ mm}$ 棒に就て分析せる結果は次の如く、鑄塊には何故か Sn を含有しない。

	Cu	Si	Sn	Zn	Fe(%)
鑄塊	91.17	3.54	痕跡	4.92	0.09
1 mm 板	95.66	2.27	0.89	0.98	0.03
$\phi 25 \text{ mm}$ 棒	95.48	2.76	0.48	1.10	0.10

要するに Herculoy は $2\sim 3\% \text{ Si}$, $0.5\sim 1.0\% \text{ Sn}$, $1\% \text{ Zn}$ を含むものと見るべく、我等の A.R に似てゐる鍛鍊材の機械的性質は次の如くである。(第 18 表) 寫眞 6 に 1 mm 板の組織を示した。

第 18 表 Herculoy の性能

形状	1mm 板		$\phi 25 \text{ mm}$ 棒	
	受領の儘	600°C 焼鈍	受領の儘	600°C 焼鈍
降伏點 kg/mm^2	20.1	11.6	14.3	14.1
抗張力 "	42.5	39.3	42.8	42.8
伸 (50mm) %	62.0	68.0	62.0	61
面縮 "	—	—	64.0	62
ブリネル硬度 (10-500)	—	—	90	74
アイゾット値 m kg/cm^2	—	—	12.8	11.4
エリキゼン値 (mm)	11.6	12.3	—	—
比重	8.60	—	—	—

第 19 表 Herculoy と A.R との比較(焼鈍材)

種別	A.R	Herculoy
降伏點 kg/mm^2	17	13
抗張力 "	42	41
伸 %	70	65
ブリネル硬度	75	74
アイゾット値 m kg/cm^2	13.4	11.4
エリキゼン値 mm	13.6	12.3
比較	8.6	8.60

¹⁴⁾ Metals & Alloys, (1933), 123.

第 20 表 Herculoy と A.R の比較

(1mm 焼鈍板)

腐蝕液(常溫)	期間	重量減 mg/cm^2	
		A.R	Herculoy
食鹽水(20%)噴霧試験	4ヶ月	3.30	4.30
N/10 H_2SO_4	25日	6.46	6.60
N/10 HNO_3	"	6.64	7.21
N/10 HCl	"	25.30	24.46

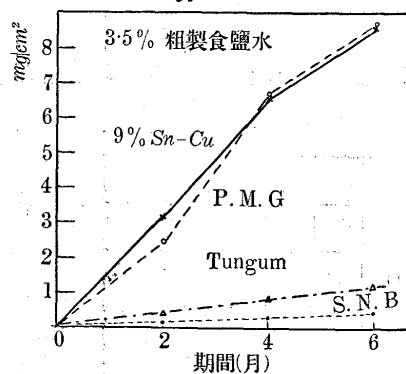
ハーキュロイと A.R との機械的性質及耐蝕性を比較すると第 19 表及第 20 表の如く、要するに、ハーキュロイは我等の A.R に似て而も未だ及ばざるやに思はれる。

VIII. タンガム合金 (Tungum)

英國 Tungum Alloy Co., Ltd. の發賣に係るタンガム合金は同社より入手せる見本板 $0.72 \times 80 \times 80 \text{ mm}$ の分析結果によれば

(%)Cu	Zn	Al	Si	Ni	Fe	Mn
82.74	13.99	1.25	1.18	0.78	0.01	0.05

第 16 圖



の如き Al-Si-Ni 眞鍮である。(1931年9月調)

この板は抗張力 40.4 kg/mm^2 、伸 (50mm) 72.5% で検鏡結果は寫眞7の如く焼鈍せるものである。

耐海水性は第 16 圖の如くにして P. M. G メタルに勝るが耐鹽酸性は次記の如くこれに劣る。

N/10 HCl 常溫 30 日後の 重量減 (mg/cm^2)

P.M.G メタル 34.64 タンガム合金 44.30

最近發布せられた英空軍規格 'D. T. D. 253 (1934 年 11 月)には次の如くタンガム合金管が規定されてゐる。

(%) Cu	Al	Ni	Si	Zn
81~84	0.7~1.2	0.8~1.4	0.8~1.3	殘部
抗張力	44~60 kg/mm^2			

IX. エヴァデユール(Everdur)

Everdur は其歴史最も古く American Brass Co. のカタログ其他諸文献に其性能が詳報されてゐる。

數年前筆者が入手せる小鑄物の性能は第 21 表の如くであつた。

第 21 表 Everdur 鑄物

組成 %	Cu	Si	Mn	Fe
	94.05	4.55	0.88	0.13
其儘	750°C, 30 分焼鈍			
抗張力 kg/mm ²	—	—	—	19.9
伸(25mm)%	—	—	—	5.0
シヨアー硬度	18	—	—	18
ブリネル硬度	104	—	—	93.8
比重	8.56	—	—	—

鍛錬材としては普通 3% Si, 1% Mn 材が使用されるが、このものを試作せる成績は第 22 表の如くである。

Cu-Si 合金の耐酸度に及す Mn の影響は Bedworth¹⁵⁾ の研究に依るも明かでないが、我等の攻究によるも 0.5~4% Si 合金に 0.5~4% Mn を添加しても耐酸度強靱性共にさまで改善するを得ない。

第 22 表 Everdur の機械的性質

形 状	1mm 板		φ3/4" × #18管		船底金型鑄物
	其儘	焼鈍	其儘	焼鈍	其儘
抗張力 kg/mm ²	54.3	41.0	56.3	39.1	32.8
伸(50mm)%	21.5	69.0	21.5	62.0	60.0

X. 總 括

a. 上述せる主要含珪素銅合金の焼鈍材に就て其機械的

性能を一括表示すれば第 23 表の如くなり以て各合金の優劣を知り得る。

b. シルジン青銅 No. 17 (SZ 17) は鑄物としても又鍛錬材としても、機械的性能並に耐海水性共に P.M.G メタルに勝ること數等である(英本國に於ても P.M.G メタルの耐海水性は砲金類似と見做されてゐる)

c. Al を含むシルジン即ち SSZ は鍛錬材として頗る優秀なる性能を有し、其機械的性質は純シルジンに匹敵して、焼鈍脆性なく、又其耐海水性は純シルジンに勝る事が認められた。

d. Cu-Si 基の諸合金中 A. R., Everdur 及 Herculooy はほぼ同様の機械的性能を有するも耐酸性に於て A. R に一旦の長あり。

e. Tungum 合金の強靱性は A.R 又は 80% Cu+2% Si+18% Zn 合金に似て其耐海水性は P.M.G メタル及 Cu-Si 基諸合金に勝る。

f. 一般に Cu-Si 基合金及多からざる Zn を併せ含む此種合金の耐海水性はアルブラック・アドミラルチーメタル或は S.N.B, ネーバル眞鍮等の眞鍮類に甚しく劣るものである。

g. シルジン青銅, SSZ, Tombasil 等は管徑及厚の小なる細管又は大なる薄板に製作する事は不可能ならざる迄も、工業的に頗る困難であるから此種用途には Cu-Si 基合金が適當である。

本研究は石川登喜治、松田致兩博士の教を受けた事が多い、記して深謝の意を表す。(昭和 10 年 5 月 5 日稿了)

第 23 表 主要含珪素鍛錬銅合金一覽表 (焼鈍材比較)

名 稱	組 成 %										抗張力 kg/mm ²	伸(50mm) %	ブリネル硬度 (10-500)	アイゾット衝撃値 mkg/cm ²	比 重	備 考	
	Cu	Zn	Si	Al	Ni	Mn	Fe	Sn	P	Cd							
シルジン第 1 種 (SZ9)	85	10	4	—	—	—	—	—	—	—	48	55	92	>15.4	8.47	日	
シルジン No. 11 (SZ 11)	85	10	5	—	—	—	—	—	—	—	58	34	123	9.8	8.28	〃	
シルジン第 2 種 (SZ 17)	80.5	15	4.5	—	—	—	—	—	—	—	65	41	132	8.6	8.28	〃	
*SSZ-1	85	10	4	1	—	—	—	—	—	—	55	56	104	13.7	8.27	〃	
*SSZ-2	84	10	4	2	—	—	—	—	—	—	65	35	132	8.4	8.14	〃	
*SSZ-3	80.5	15	3.5	1	—	—	—	—	—	—	58	55	107	8.4	8.28	〃	
**Tombasil	81	15	4	—	—	—	—	—	—	—	60	27	(10-1,000) 145	—	—	獨	
Tungum	82	14	1	1	1	—	—	—	—	—	40	73	—	—	8.41	英	
P. M. G	92	2	4	—	—	0.5	1.5	—	0.1	—	49	42	112	8.8	8.47	〃	
A. R	95.9	—	3	—	—	—	—	—	1	—	0.1	42	75	13.5	8.61	日	
Everdur	96	—	3	—	—	1	—	—	—	—	—	40	73	—	8.46	米	
Herculooy	95.8	1	2.5	—	—	—	—	—	0.7	—	—	41	65	74	11.4	8.60	〃

* 微量の P 及 As を含有する。 ** Tombasil を除きすべて著者の實驗値に依る。

15) Am. Inst. Min. Met. Eng., Tech. Publ. No. 189, 1929