

ラウタール合金砂型鋳物の機械的性質に及ぼす 化学成分、熱処理条件の影響

Effect of Chemical Composition and Heat Treatment on Mechanical Properties of Sand Mold "Lautal" Alloy Castings

藤井 恒 弥*
Tsuneya Fujii

内 容 梗 概

ラウタール合金はわが国では広く一般に機械的強度を必要とするアルミ合金鋳物に使用され、金型、砂型、シェル型で作られている。これら材質の機械的性質を示す JIS 規格では現在金型試料より切り出した試験棒により判定されており、この点金型に比して冷却速度のおそい砂型、シェル型の鋳物の場合、これらの値と異なることがしばしば考えられる。本研究は砂型鋳物の機械的性質に近い砂型試験棒を用い、ラウタール合金の主要成分である Cu, Si ならびに不純成分の Mn, Mg の機械的性質への影響および溶体化処理焼戻処理の諸条件の影響を検討し、これらの関係を明らかにしたものである。

〔I〕 緒 言

わが国のアルミ合金鋳物において、ラウタール合金は機械的強度を必要とする車輛をはじめ一般鋳物部品に鋳放しまたは熱処理して用いられ、これらは金型、砂型、シェル型などで作られている。これら鋳物の機械的性質は JIS 規格では舟型の金型試験片より切り出した JIS 4 号抗張試験片により判定されているが、冷却速度のおそい砂型鋳物の場合には金型試験片の数値と実状において異なる場合が往々考えられる。ラウタール合金は3~4%程度の Cu および 4~6% 程度の Si を主成分とするアルミ合金で、主としてこの Cu により熱処理条件にしたがつて種々の機械的性質を示し得るのであるが、その鋳物の凝固後の冷却速度に応じて Al の結晶粒度、析出物の量、大きさとともに α 相中への Cu の固溶度が異なり、その鋳放し強度とともに焼入焼戻効果に差異を生ずることが当然考えられる。

本研究は砂型鋳物の実際の強度に近い砂型試験片を用いて、化学成分および熱処理条件と砂型鋳物強度との関係について検討を行ったものである。

〔II〕 実 験 方 法

(1) 試 験 片

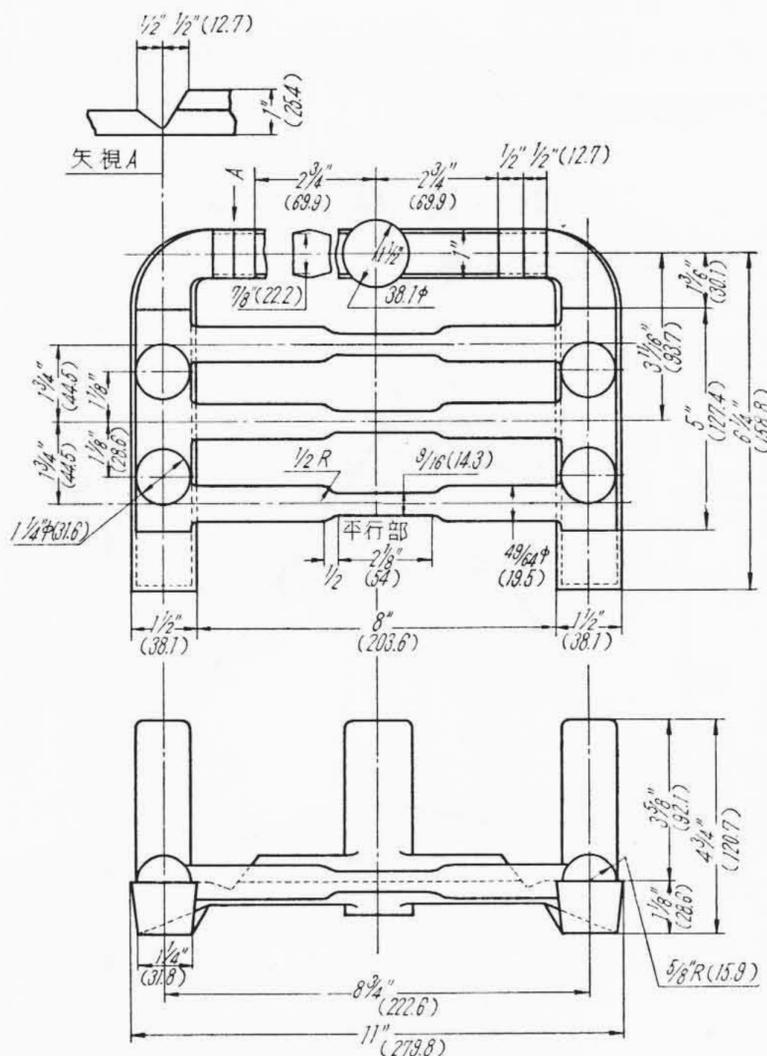
砂型試験片は第1図に示すフェデラル規格の鋳造様式により、JIS 4 号抗張試験片を3本込めとしたマッチプレート模型を用い、造型機により造型作製した。

鋳物砂—使用した鋳物砂の配合を第1表に示す。

(2) 熔 解 材 料

Al-Cu (50:50), Al-Si (87:13), Al-Mn (90:10), Al-Ti (98:2) の各中間合金および 99.7% Al, 99.8% Mg を用い、それぞれの実験目的に応じた組成に配合し熔解した。

* 日立金属工業株式会社深川工場



第1図 砂 型 試 験 棒

第1表 鋳物砂配合 (%)

風化硅砂	ベントナイト	コンスターチ	木 粉	水 分
87	6	1	1	1

(3) 熔 解 方 法

熔解には重油焚黒鉛ルツボ炉を用い、熔解温度 730°C、注湯温度 710°C とし、使用フラックスは珪弗化ソーダ+食塩の混合塩、脱ガスには Cl₂ ガスを用いた。

(4) 抗 張 試 験

アムスラー試験機を用い、試験片は鋳肌のままの状態
で試験を行い、各試験値はそれぞれ3本の抗張試験片の

第 2 表 AC 2 (JIS) の化学成分 (%) (残 Al)

記号	Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ni	Ti
AC 2 A	3.5~4.5	4.0~5.0	0.2 以下	1.0 以下	0.8 以下	0.5 以下	—	0.2 以下
AC 2 B	3.0~4.5	5.5~7.0	0.1 以下	1.0 以下	1.0 以下	0.5 以下	0.3 以下	0.2 以下
AC 2 C	2.0~4.0	5.0~7.0	0.5 以下	1.2 以下	1.2 以下	0.8 以下	0.5 以下	0.2 以下

第 3 表 試料の化学成分 (%) (残 Al)

試料番号	Cu	Si	Mn
1	3.02	5.26	0.41
2	3.48	5.24	0.41
3	4.06	5.27	0.41
4	4.93	5.25	0.41

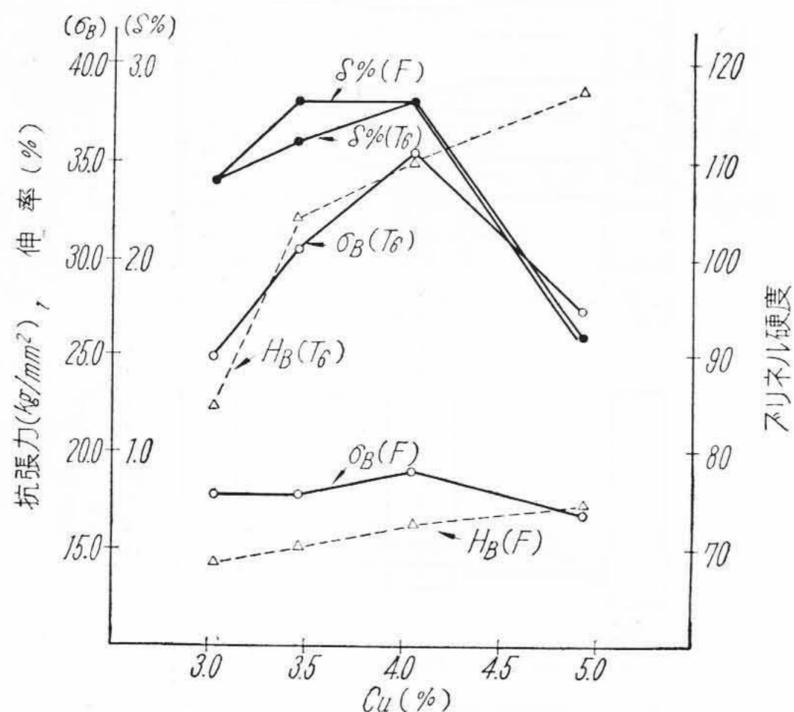
平均値をもつて示した。

(5) 硬度試験

ブリネル硬度計により、測定は抗張試験棒のシャンク部で抗張試験前に行つた。

〔III〕 実 験 結 果

(1) 化学成分の影響



第 2 図 Cu % と機械的性質の関係

鋳物用ラウタール合金は JIS 規格 AC 2 の A, B, C でその化学成分および機械的性質が規定されている。この化学成分を第 2 表に示す。

これら諸成分中主成分である Cu, Si, Mn, Mg について、熱処理との関係において、それぞれの機械的性質への影響を検討した。

(A) Cu の影響

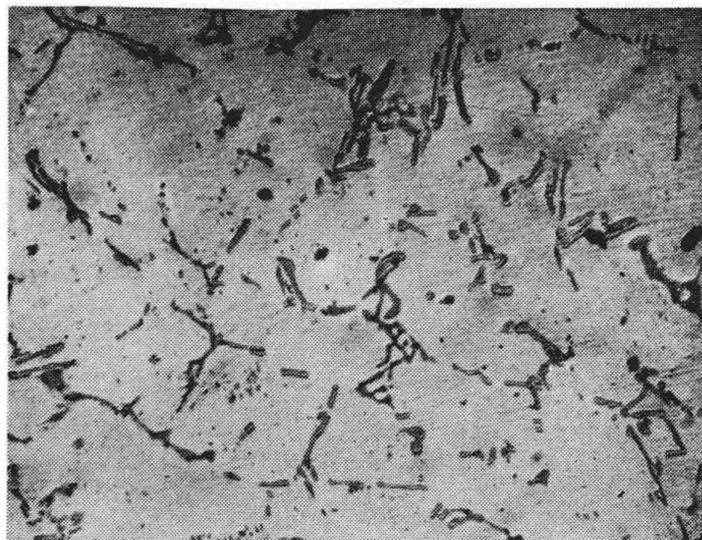
試料の化学成分を第 3 表に示す。

鋳放し (F) と熱処理 T_6 後のものの機械試験結果を第 2 図に示す。なお熱処理 (T_6) は $510^\circ\text{C} \times 6$ 時間水焼入後 $160^\circ\text{C} \times 8$ 時間の焼戻処理を行つた。

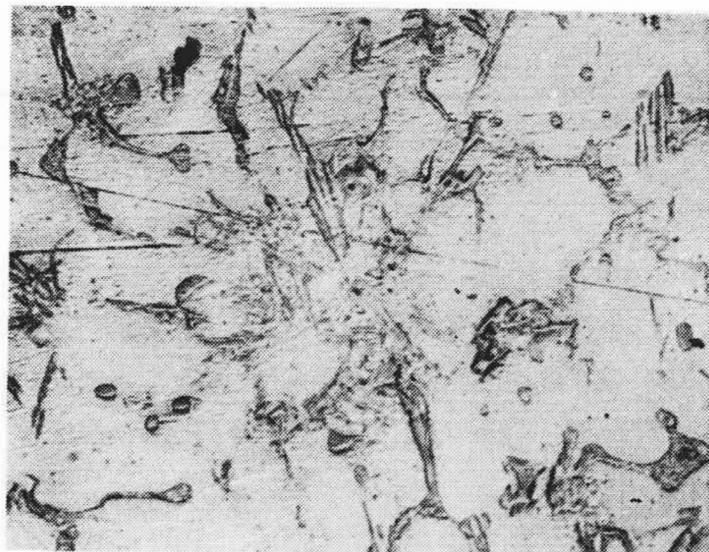
鋳物の組織には α 固溶体の樹状晶とこれを囲む CuAl_2 の共晶組織が見られ、Cu 3.0~5.0% の本合金の機械的性質はまったくこの折出する CuAl_2 の量に従つて変化している。すなわち Cu 4% くらいまでは Cu の増加とともに強度、硬度を増すが、それ以上になるとかえつて CuAl_2 の増加のために材質は脆化の傾向をもち、溶体化不十分の場合は靱性を失う。試料 2, 4 の鋳放しおよび T_6 処理の組織を第 3~6 図に示す。

(B) Si の影響

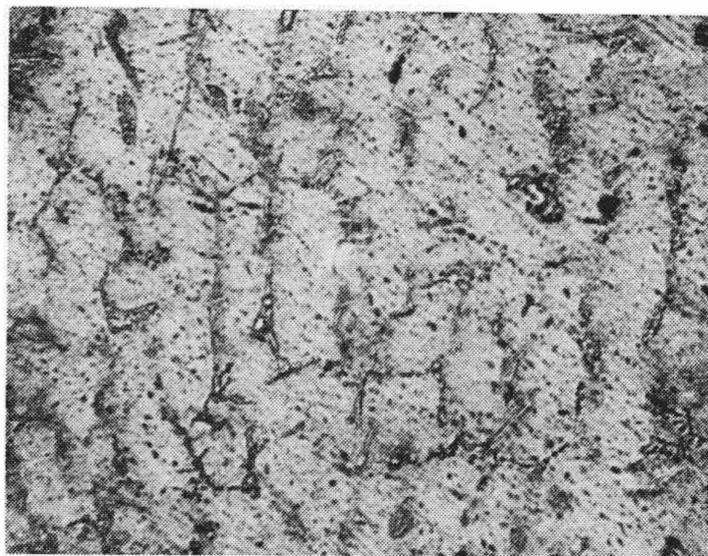
試料の化学成分および試験結果を第 4, 5 表に示す。鋳放しでは Si の増加により抗張力、伸率、硬度と



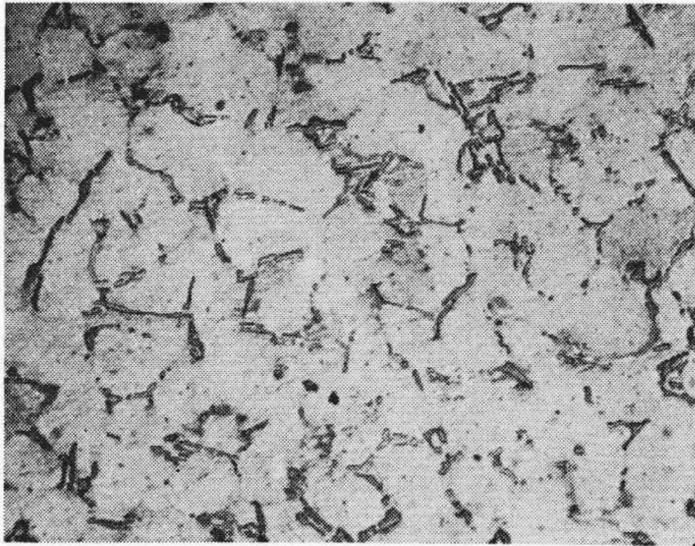
第 4 図 試料 2 (T_6 処理後) $\times 100$



第 3 図 試料 2 (鋳放し) $\times 100$



第 5 図 試料 4 (鋳放し) $\times 100$



第6図 試料4 (T₆ 処理後) ×100

第4表 試料の化学成分 (%) (残 Al)

試料番号	Cu	Si	Mn	Fe
5	3.52	4.22	0.40	0.30
6	3.50	5.38	0.36	0.28

第5表 試験結果

試料番号	鋳放し (F)			熱処理後 (T ₆)		
	抗張力 (kg/mm ²)	伸率 (%)	硬度 (HB)	抗張力 (kg/mm ²)	伸率 (%)	硬度 (HB)
5	15.5	2.0	67.1	31.7	2.8	107
6	17.5	3.0	70.6	32.3	2.4	107

T₆ 処理: 510°C×6時間水焼入+160°C×8時間焼戻

もにやや増加の傾向を示したが、熱処理 (T₆) 後ではほとんどこの差異は見られない。熱処理後の機械的性質には Si はなんら影響しないと見なし得る。

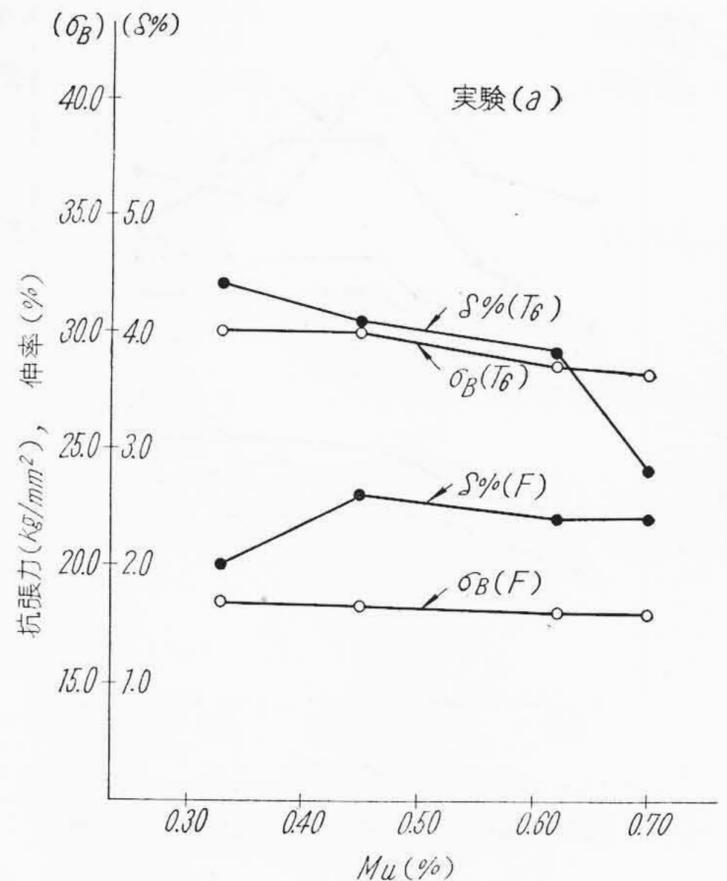
(C) Mn の影響

ラウタール系合金成分中 Mn は JIS 規格では不純成分として最大許容量が規定されているが、Mn は一面 Al 合金の機械的性質を著しく害する Fe の影響を緩和する働きがあるため、少量の存在はかえつて望ましいとされている。本実験では Mn の機械的性質への影響として Fe の低い材質について Mn 単独の影響を調べるとともに、Fe を規格限度の約 1% 含有する材質における影響について検討を行った。

(a) Mn 単独の影響、試料の化学成分を第6表に示す。試料は鋳放し (F) および 510°C×6 時間水焼入+160°C×6 時間焼戻 (T₆) 処理を行ったものについて、抗張および硬度試験を行った。この結果を第7図に示す。

(b) Fe との共存の際の影響、試料の化学成分を第7表に示す。熱処理 (T₆) は 510°C×3 時間水焼入+160°C×3 時間焼戻鋳放しおよび熱処理後の試験結果を第8図に示す。

以上の試験結果からみて Mn は Fe の影響の少ない材質における単独の影響として、0.6% 以上で T₆ 処



第7図 Mn % と機械的性質の関係 (a)

第6表 試料の化学成分 (%) (残 Al)

試料番号	Cu	Si	Mn	Fe
7	3.70	5.34	0.33	0.32
8	3.70	5.52	0.45	0.25
9	3.60	5.06	0.62	0.25
10	3.85	6.04	0.72	0.30

第7表 試料の化学成分 (%) (残 Al)

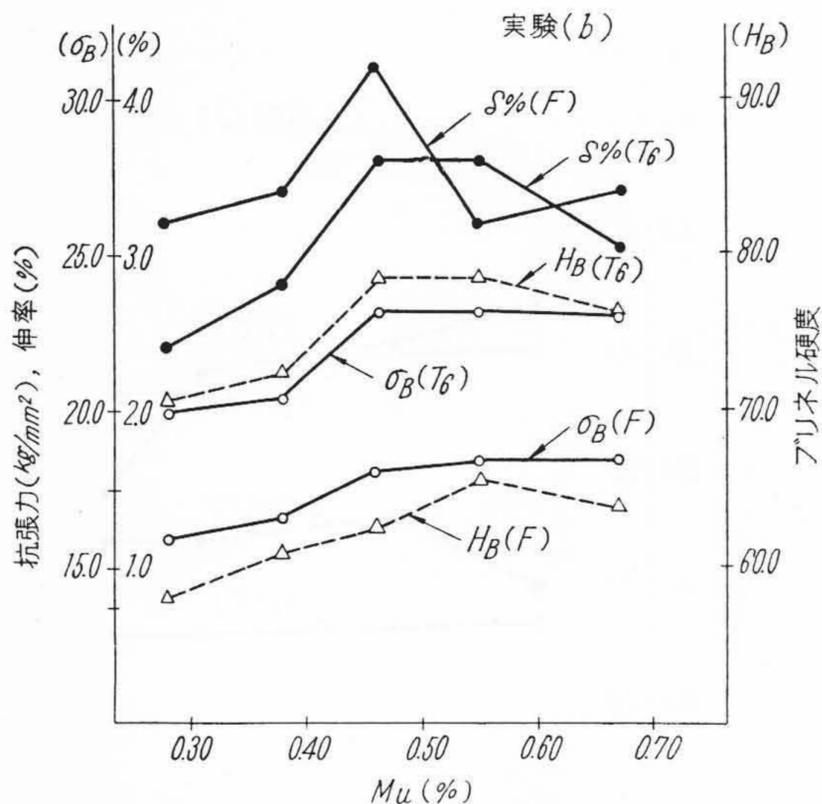
試料番号	Cu	Si	Mn	Fe
11	3.09	4.65	0.28	1.08
12	"	"	0.38	"
13	"	"	0.46	"
14	"	"	0.55	"
15	"	"	0.67	"

理後の伸率の低下がみられる以外はほとんど本材質の機械的性質に影響はみられない。

約 1% の Fe 分のため強度の低下せる材質に対しては、Mn % の増加によりかなりの改善がみられる。

(D) Mg の影響

Mg は Si と Mg₂Si の金属間化合物を作り、CuAl₂ とともに本合金に熱処理効果を与える。しかしその析出状態によつては著しく靱性を害なう影響をもつており、本合金では不純成分としてその含有量が制限されている。第8表に試料の化学成分を示す。抗張および硬度試験は鋳放し (F)、220°C×8 時間焼戻し (T₅ 処理)、510°C×5 時間水焼入+170°C×6 時間焼戻 (T₆ 処理) の三種について行った。この結果を第9図に示



第 8 図 Mn % と機械的性質の関係 (b)

第 8 表 試料の化学成分 (%) (残 Al)

試料番号	Cu	Si	Mn	Mg 添加量
16	4.10	4.48	0.42	0
17	"	"	"	+0.10
18	"	"	"	+0.20
19	"	"	"	+0.30

す。

鑄放しおよび熱処理後ともに Mg の増加に伴い硬度は上昇する。抗張力は鑄放しでは Mg 0.3% まではほとんど影響がみられないが、T₆ 処理では著しく低下する。しかし T₅ 処理ではかえって Mg の増加により改善される。伸率は F, T₅, T₆ の順に低下の割合を増す。

(2) 熱処理条件の影響

(A) 溶体化処理

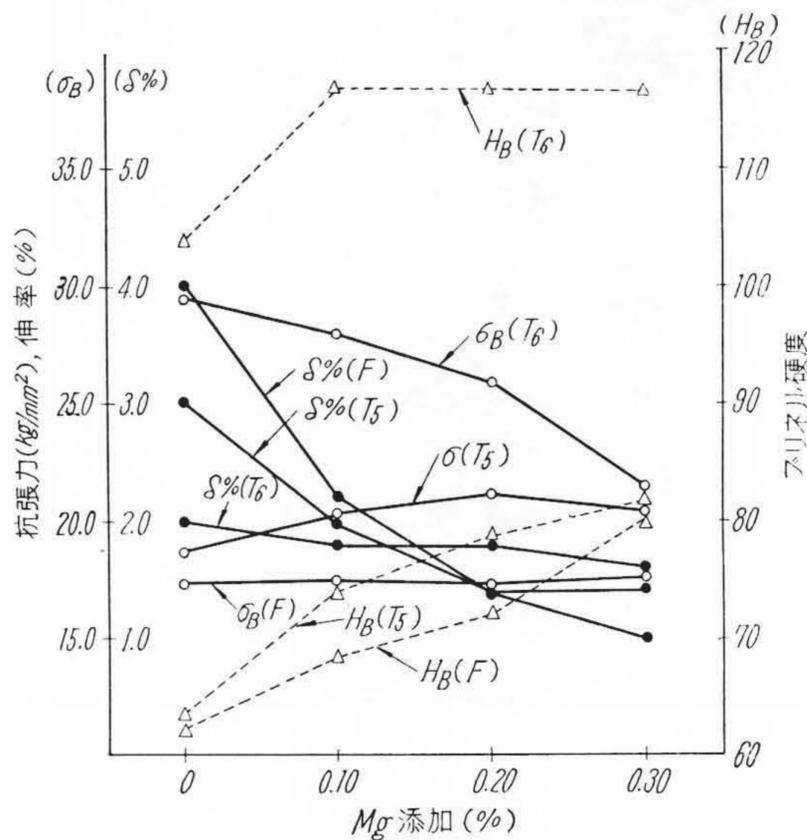
本材質の砂型鑄物強度が溶体化処理によりどの程度まで改善されるかについて、長時間の溶体化処理の場合および短時間の溶体化処理後一定の焼戻処理を行った場合を検討した。試料の化学成分および試験結果を第 9, 10, 11 表に示す。

砂型鑄物においても長時間の溶体化処理により、抗張力特に伸率が著しく増大する。また短時間の溶体化処理の場合でも適当な焼戻処理を行うことにより抗張力、硬度を著しく改善することができる。

(B) 焼戻処理

(a) 溶体化処理後の焼戻温度

T₆ 処理の際の焼戻温度を溶体化処理時間の異なる二つの試料について検討を行った。試料の化学成分を第 12 表に示す。



第 9 図 Mg 添加 % と機械的性質との関係

第 9 表 試料の化学成分 (%) (残 Al)

	試料番号	Cu	Si	Mn
実験 (A)	20	3.52	5.35	0.35
実験 (B)	21	4.10	4.48	0.40

第 10 表 実験 (A) の試験結果

溶体処理	抗張力 (kg/mm ²)	伸率 (%)
鑄放し	20.9	3.7
510°C×15時間水焼入	25.1	8.2
510°C×20時間水焼入	27.6	11.3

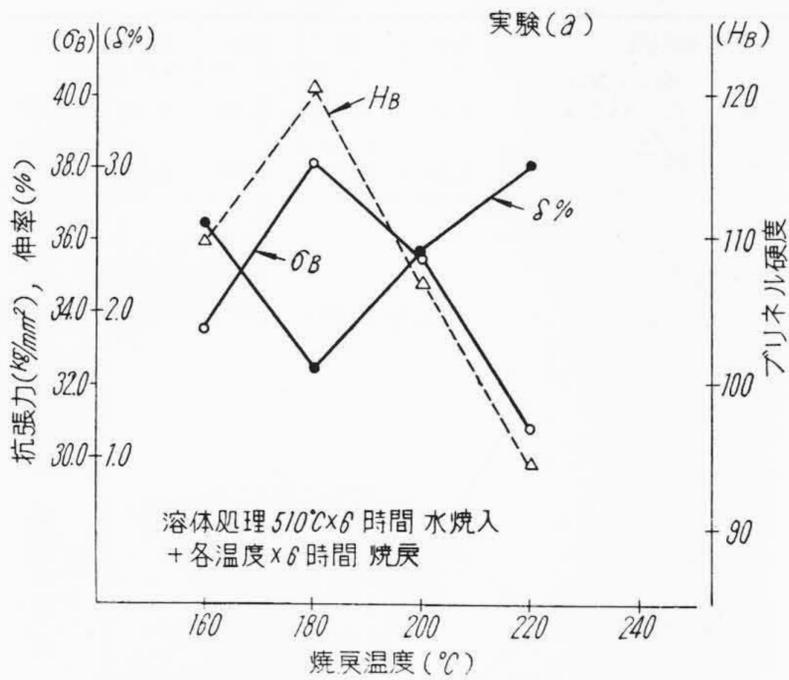
第 11 表 実験 (B) の試験結果

溶体処理	焼戻処理	抗張力 (kg/mm ²)	伸率 (%)	硬度 (HB)
510°C×2時間水焼入	170°C×6時間	27.2	2.8	97.7
510°C×3時間水焼入	"	28.0	3.4	95.3
510°C×5時間水焼入	"	28.4	3.8	92.3

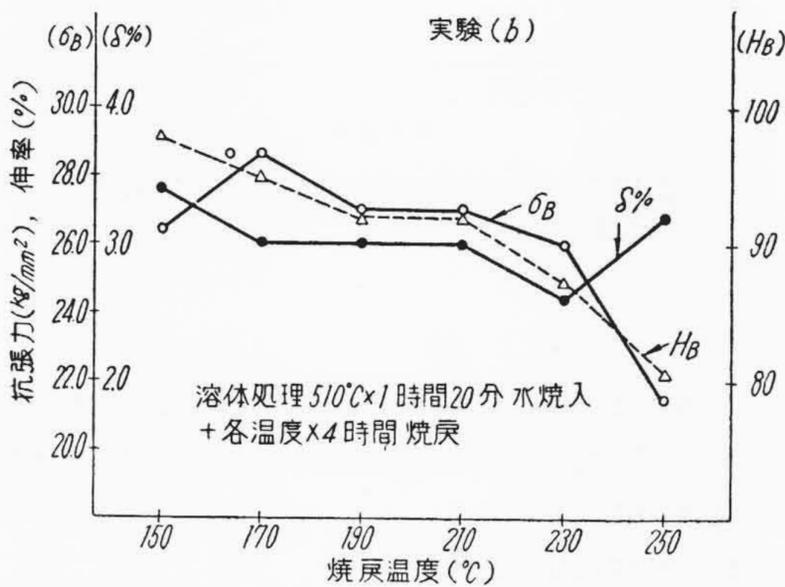
第 12 表 試料の化学成分 (%) (残 Al)

	試料番号	Cu	Si	Mn	Mg
実験 (a)	22	4.10	4.48	0.40	—
実験 (b)	23	3.63	4.70	0.40	0.08

溶体化処理時間は、実験 (a) で 510°C×6 時間、実験 (b) で 510°C×1 時間 20 分また焼戻時間は各温度でそれぞれ 6 時間、4 時間として試験を行った。この結果を第 10, 11 図に示す。溶体化の進んだ実験 (a) では各焼戻温度における効果の差異は顕著であるが、溶体化のまだ不十分な状態の実験 (b) では、焼戻温度 150~230°C の間ではあまり大きな差異はみ



第10図 T₆ 処理焼戻温度と機械的性質の関係 (a)



第11図 T₆ 処理焼戻温度と機械的性質の関係 (b)

られない。しかしながらこれらの抗張力、硬度からみて、T₆処理の際の最も効果的な焼戻温度は従来から知られているように、150~180°C程度が最も好ましい。

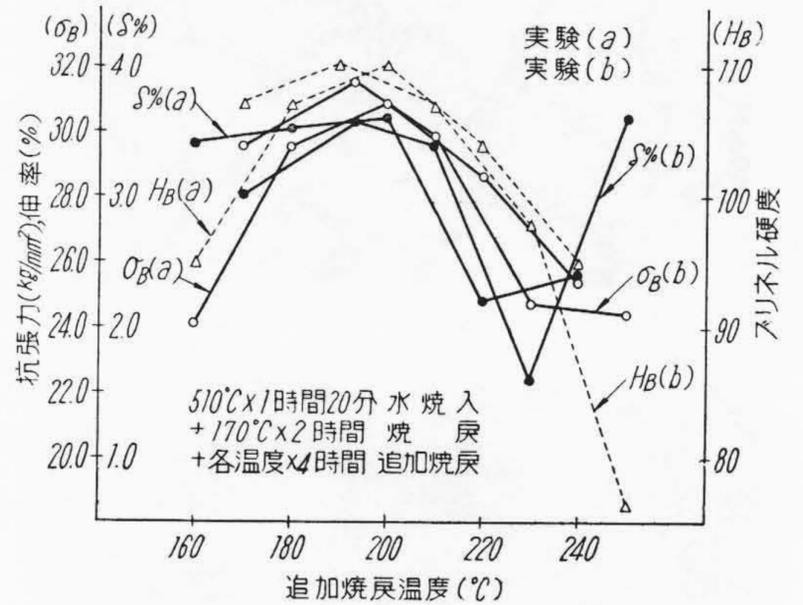
(b) T₆ 処理後の追加焼戻温度

焼入焼戻処理後、焼戻不十分のためさらに改めて焼戻を追加し時効を促進せしめる場合の温度は、いわゆる“spilit aging”効果により、T₆処理の際の焼戻温度と効果が異なることが予想される。本実験では、510°C×1時間20分水焼入後170°C×2時間焼戻処理を行つた化学成分の異なる二つの試料について、この人工時効をさらに促進せしめるために追加焼戻処理を行い、この際の追加焼戻温度と機械的性質との関係について検討を行つた。試料の化学成分を第13表に、試験結果を第12図に示す。

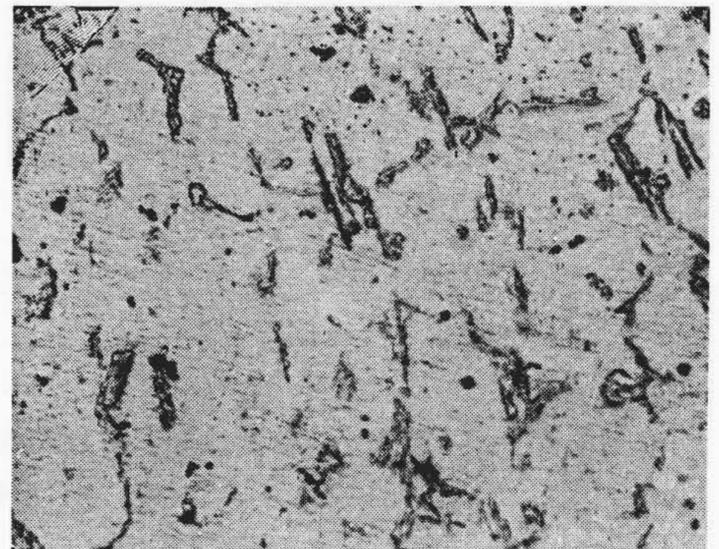
焼入後ある程度時効の進んだものを追加焼戻処理によりさらに人工時効せしめる際、抗張力、伸率、硬度の最高値を示す焼戻温度は180~200°Cで、こ

第13表 試料の化学成分(%)

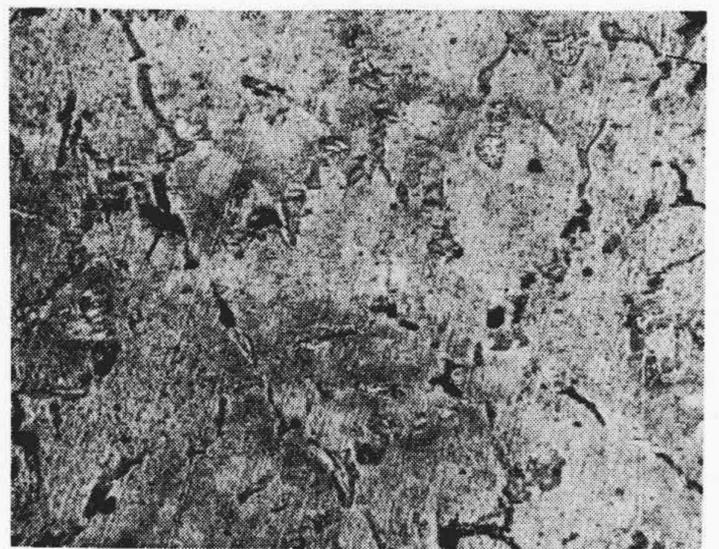
	試料番号	Cu	Si	Mn	Mg
実験 (a)	24	3.70	4.60	0.45	0.07
実験 (b)	25	3.63	4.70	0.40	0.08



第12図 T₆ 処理後追加焼戻温度と機械的性質の関係

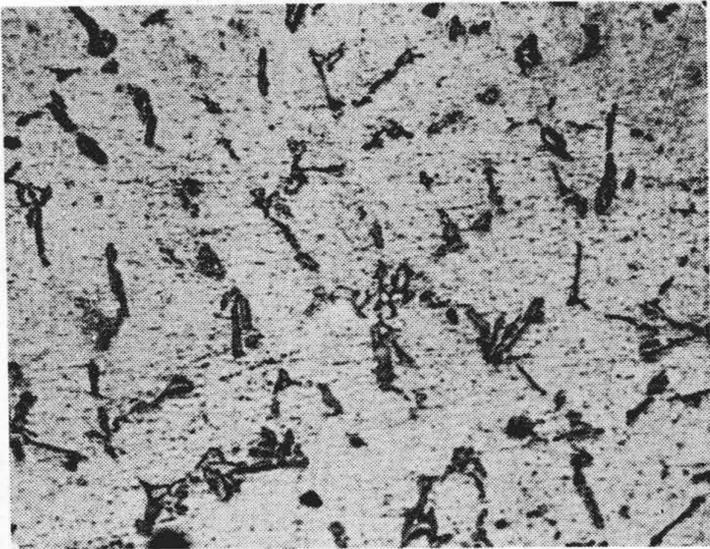


第13図 試料 24 180°C×4時間焼戻×100

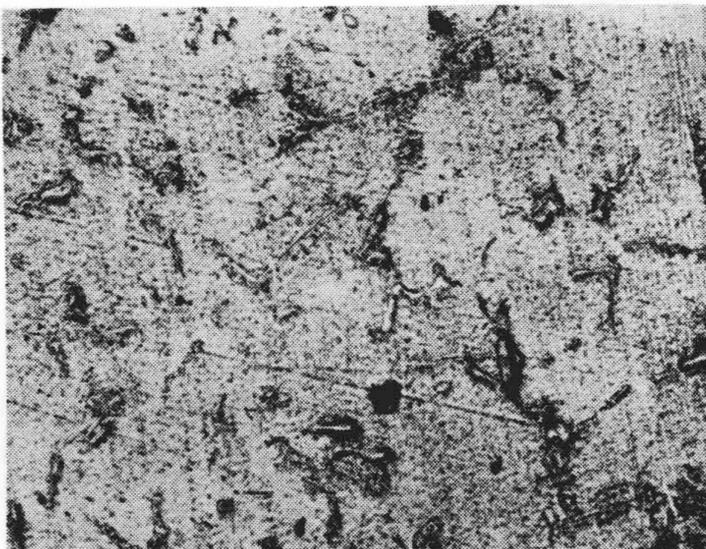


第14図 試料 24 220°C×4時間焼戻×100

れは焼入直後の最も効果的な焼戻温度の150~170°Cに比してやや高くなる傾向を示している。また焼戻温度が230°C以上になると、結晶粒および析出物の



第 15 図 試料 25 190°C×4 時間焼戻×100



第 16 図 試料 25 230°C×4 時間焼戻×100

粗大化により抗張力，硬度は急激に減少する。試料 24, 25 の組織を第 13~16 図に示す。

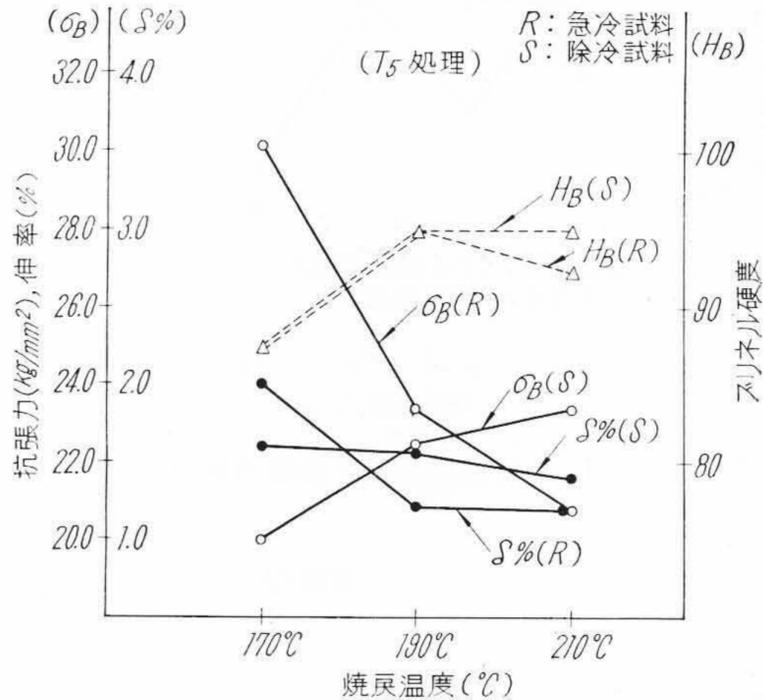
(c) 鑄放材質の焼戻温度 (T₅ 処理温度)

鑄放しのものを焼戻処理のみである程度の強度および硬度の改善を目的とする T₅ 処理の場合の焼戻温度について検討を行つた。試料の作製に際し，特に本合金の時効を促進する元素として少量の Mg の添加を行つた。実験は鑄放し状態でもその砂型鑄物の凝固後常温までの冷却速度により時効の程度が異なり，このため前項(B)の実験結果で明らかなように最も効果的な焼戻温度に差異が考えられるので，凝固後の冷却条件を変えた急冷試料と徐冷試料の二者につき検討を行つた。この試料の化学成分および鑄放し条件を第 14 表に，試験結果を第 17 図に示す。

同一の T₅ 処理でも鑄物の鑄放し条件によりかなり差異が見られる。すなわち急冷試料の 170°C における焼戻処理の抗張試験値は T₆ 処理のそれに匹敵する値を示したが，それ以上の焼戻温度では急激にその値は低下の傾向を示している。これに対し徐冷試料の抗張力は 170~210°C の範囲で焼戻温度の上昇とともに向上している。これら差異の原因は前項の実験結果より予想し得るものと考えられる。

第 14 表 試料の化学成分と鑄放し条件

試料番号	凝固後の冷却条件	Cu	Si	Mn	Mg	Ti
26	凝固後 500°C 付近で型ばらし，空冷	3.45	5.36	0.40	0.14	0.09
27	砂型中で常温まで徐冷	3.54	5.31	0.35	0.11	0.08



第 17 図 鑄放し試料の焼戻温度と機械的性質の関係

[IV] 結 言

ラウタール合金砂型鑄物の機械的性質に及ぼす化学成分，および熱処理条件の影響に関する本実験結果を要約すると次のようである。

(1) 化学成分の影響

Cu は 3.0~4.5% の範囲で鑄放し，および熱処理材質の強度を向上させる。Si は 4~6% の範囲ではほとんど影響がない。Mn は 0.3~0.7% の範囲で単独の影響としてはほとんど見られないが，Fe 分が多くこのため強度の低下せる材質においては，Mn の増加により強度は改善される。Mg は鑄放しおよび T₆ 処理材質では 0~0.3% の範囲で Mg の増加に伴い強度を低下させるが，T₅ 処理材質ではかえつて強度を向上さす影響を示す。

(2) 熱処理条件の影響

溶体化処理時間に比例して強度伸率は増加し，金型鑄物同様の値を示し得る。焼戻処理においては，その最も効果的な温度がその鑄物の時効の進行程度により異なり，焼入または鑄放し時急冷した鑄物においては 160~180°C，追加焼戻または鑄放し時徐冷した鑄物においては 180~210°C の焼戻により，その機械的性質を向上させる。

以上砂型鑄物強度は金型のそれに比して凝固時の冷却速度による結晶粒度の差異により，鑄放しではやや劣るが適當なる化学成分とそれに伴う有効な熱処理により著しく改善向上せしめることができる。

参 考 文 献

- (1) アルミニウム合金鑄物製造作業標準 (JIS)
- (2) Aluminium alloys — Their compositions and properties: F. T. J. Oct. 20, 1949
- (3) Aluminium casting alloy 3% Cu, 5% Si: Tran. A. F. S. 1953
- (4) Heat treatment of cast Al-alloys: Tran A. F. S. 1953
- (5) D. T. D 424—Their versatile alloy: F. T. J. 1951
- (6) Production and properties of Al casting alloys: F. T. J. 1951
- (7) 金属材料及び其の熱処理: 三島徳七
- (8) 各国規格 (B. S., ASTM, Alcoa, SAE, DIN.)
- (9) Additional artificial ageing: Met. Ind. vol. 26, 1925
- (10) Die Wärmebehandlung der vergutbaren Al-gußlegierungen: Giesserei Bd 22, Heft 5, 1936



日 立 製 作 所 社 員 社 外 講 演 一 覧

(第 102 頁より続く)

(昭和 32 年 10 月受付分)

講演月日	主 催	演 題	所 属	講 演 者
11. 27	機械学会塑性加工研究会	現 場 か ら み た 曲 げ 加 工	戸塚工場	長 屋 稔
10. 15	福岡県金属工業試験場	プレス曲げ加工における諸問題	戸塚工場	長 屋 稔
10. 9	経営研究所	勤労人事スタッフの職能, 権限諸問題	戸塚工場	溝 井 正 人
7. 16~24	国鉄中央教習所	クロスバー交換機説明	戸塚工場	吉 田 定 夫
11. 23~24	日本化学会化学関係協会	油変性アルキッド樹脂の過酸化触媒による膠化現象	絶縁物工場	橋 谷 公 平 鶴 田 四 郎
11. 5	強化プラスチック協会	電気絶縁材料としてのポリエステルとその成型差について	絶縁物工場	鈴 木 輝 男
11. 4~5	強化プラスチック協会	ポリエステルのゲル化に及ぼす酸素の影響と吸収速度	絶縁物工場	田 中 久 雄 渡 辺 武 美
11. 4~5	強化プラスチック協会	ディラトメータ法によるポリエステルレジンに対する重合抑制剤効果の検討	絶縁物工場	宮 入 真 亀 男
11. 4~5	強化プラスチック協会	ポリエステル充填剤系懸濁液の粘度と沈降容積	絶縁物工場	阿 保 雅 宏
未 定	日本学術振興会	過塩素酸ヘリン酸酸化法によるクロムの定量 Box-Wilson 法による酸化条件の決定	中央研究所	北 川 公 夫 柴 田 則 夫
11. 1	日本学術振興会	微量一酸化炭素検出装置試作および制御の研究第一部	中央研究所	井 上 実
11. 2	電子顕微鏡学会	金 属 薄 膜 に つ い て	中央研究所	土 倉 秀 次
10. 21	電気通信学会	脳波増幅器の弁別比の検討	中央研究所	阿 部 善 右 工 門
11. 15	照明学会	蛍光放電管の陰極物質と寿命	中央研究所	中 村 純 之 助
10. 30	東京都および日本規格協会	わ が 社 の 品 質 管 理	日立工機 K K	小 泉 信 尚
10. 4	日本水道協会	最近のポンプ自動運転について	大阪営業所	浜 田 正 夫
10. 25~26	日本冷凍機製造協会	冷凍機用補器およびパッケージ型エアコン デিশヨナー	本 社	高 橋 秀 彦
10. 14~15 17~18	東北電気協会 東北地方不良電気 品防止対策委員会	電気用品の規格と良品, 不良品の見分け方	本 社	椿 健 二
10. 25	電気関係学会	建 築 と 冷 暖 房	本 社	栗 本 正 雄