

# 熱處理用鑄造輕合金の研究

(日本鐵鋼協會 第9回 講演大會講演)

大谷文太郎\*

## 目 次

- I 緒 言
- II 鑄造材の熱處理效果
  - 1. 試料の選定及製造 2. 焼入溫度及加熱時間と時効硬化 3. 鑄造後の時効硬化 4. 自然時効硬化 5. 焼戻硬化
- III 熱處理と機械的性質
  - 1. 緊張試験 2. 熔解に於て銑削を使用せる場合 3. 疲勞試験 4. 高温に於ける硬度試験
- IV 物理的性質
  - 1. 鑄造收縮率 2. 熱膨脹係數 3. 熱傳導度 4. 顯微鏡組織
- V 實物試作熱處理試験
  - 1. 變形量試験 2. 熱處理試験
- VI 總 括

## I. 緒 言

アルミニウム合金鑄物の熱處理と云ふ問題は Rosenhain が Y 合金につき發表して以來起つて居る問題である、然し其當時は餘り一般的のものとは考へて居らなかつた、處が最近輕合金鑄物に對する要求も時と共に著しく切迫して來た結果鑄物を熱處理して機械的性質の優秀なるものを得ることに進み已に一部實用の域に入つて來た。

米國に於て使用されて居る Lynite 122, 195 合金は即ち之れである、然しながら本目的に使用さるゝ合金は鑄造材料であるから優秀なる鑄造性を有し複雑せる形狀も容易に鑄造し得られ而かも熱處理に依り機械的性質を改善せられ得べきものであることが必要條件である。

著者は色々な豫備的實驗の結果本要件に適應すべきと考へらるゝ合金及 Lynite 122, 195 合金、No.12 合金、Y 合金等十數種の合金につき目次に示す様な實驗を逐行した。

本實驗の結果に依れば Lynite 122, 195 合金は熱處理に依り硬度、彈性限界、緊張力は著しく高め得らるゝもその鑄造性延伸率の點に於て充分であるとは考へられなむ、著者は Lautal 系のものをこの目的材料として推舉するものである。

本研究の概要は次の様である。

## II. 鑄造材の熱處理效果

1. 試料の選定及製造 熱處理に依り機械的性質は著しく改善せらるゝとするも之れが鑄造に當り收縮率大にして複雑せる大型鑄物を造る場合澤山の當て金を使用する様では鑄造材料として不適であるので著者は之等の諸點を考慮して色々な豫備的實驗結果より適當と考へらるゝ十數種の合金を選出した、之等試料の配合は第1表である。

試料の製造に於て使用せるアルミニウム地金は次の通りで、添加元素 珪素、マンガ、ニッケル及鐵は何れもその10乃至20%を含むアルミニウム合金を又銅は之れを50%含むアルミニウム合金を夫々母合金として使用し、マグネシウムは其儘添加した。

| アルミニウム地金(差分) |      |      |    |    |
|--------------|------|------|----|----|
| アルミニウム       | 珪素   | 鐵    | 銅  | 亜鉛 |
| 99.70%       | 0.11 | 0.19 | なし | 痕跡 |

銑解溫度は 750° 以上とならざる様注意し融體は一度徐冷凝固せしめ、之れを再銑解し注入溫度を 700° とし金型及砂型に鑄造し試験材を得た。

金型の形狀は前實驗<sup>1)</sup>に用ゐた舟型で、砂型は約 25 mm 丸の直立型である、熱處理效果の試験片は上記鑄物を厚さ約 10 mm 程度に輪切としたものである。

2. 焼入溫度及加熱時間と時効硬化 豫備的實驗として第1表の 17 種の合金の金型及砂型鑄物より採取した試験片を夫々 200, 300, 400, 450, 480, 500 乃至 540° に

\* 廣海軍工廠

<sup>1)</sup> 大谷、金屬の研究 8 (1931) 1,43

第 1 表

| 試料<br>番號 | 配合(%) |     |     |     |     |      | 摘 要          |
|----------|-------|-----|-----|-----|-----|------|--------------|
|          | Cu    | Si  | Mn  | Mg  | Ni  | Fe   |              |
| No. 1    | 8     | —   | —   | —   | —   | —    | No. 12 Alloy |
| No. 2    | 4.5   | —   | —   | —   | —   | —    |              |
| No. 3    | "     | 1   | 0.5 | 0.5 | —   | 0.75 |              |
| No. 4    | 8     | "   | "   | "   | —   | 1    |              |
| No. 5    | "     | —   | —   | —   | —   | "    | Y Alloy      |
| No. 6    | 4.5   | —   | —   | 1.5 | 2   | —    |              |
| No. 7    | "     | —   | —   | "   | 1.5 | 1    |              |
| No. 8    | "     | 1   | —   | 0.5 | —   | "    |              |
| No. 9    | 8     | "   | —   | "   | —   | "    | No. 103 ※    |
| No. 10   | —     | "   | 1   | 1.5 | —   | "    |              |
| No. 11   | 6.5   | 3.5 | —   | —   | —   | —    |              |
| No. 12   | "     | "   | —   | —   | —   | 1    |              |
| No. 13   | "     | "   | —   | 0.1 | —   | "    | No 309 ※     |
| No. 14   | 4     | 4   | —   | "   | —   | —    |              |
| No. 15   | "     | "   | —   | "   | —   | 1    |              |
| No. 16   | "     | "   | —   | —   | —   | —    |              |
| No. 17   | "     | "   | —   | —   | —   | —    | Modified ※   |

(※ 金屬の研究 8 (1931) 1,43 参照)

30 分 1, 2, 5, 8, 乃至 12 時間或は或るものは尙長時間加熱水中に焼入れして焼入直後並に之等を焼入後 160°C に 12 時間焼戻硬化せしめ夫々その硬度を測定して(イ)焼入効果の大小(ロ)焼入れの適當なる溫度(ハ)焼入溫度に於ける加熱時間の影響等を見た。

本試験の代表として試料 No.3, No.4, No.6, No.14 及 No.17 の實驗結果を示せば第1乃至4圖である。

この結果を總括すれば次の様である。

(イ) 200°C 以下の溫度に加熱せらるゝ時は時効は促進せられ硬度を著しく増加す。

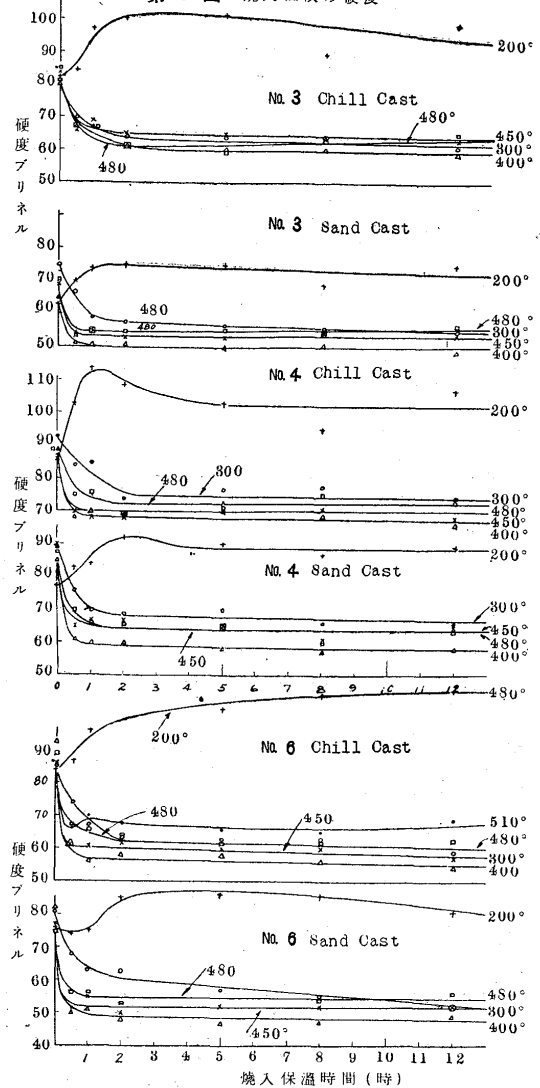
(ロ) 300°C 乃至 400°C に加熱する時は硬度低下、適當と認めらるゝ焼鈍溫度は第2表である。

(ハ) 400°C 以上に加熱急冷せられたるものは焼入効果を顯はす、その程度は焼入溫度を高むると共に増加するも夫々その鋸融點を考慮し適當なるものと認められた焼入溫度は第2表である。

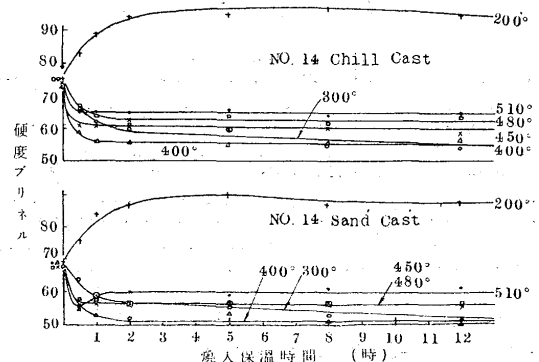
第 2 表 焼入及焼鈍溫度

| 試料<br>番號 | 鑄造<br>狀態       | 焼入溫度<br>°C | 焼鈍溫度<br>°C | 試料<br>番號 | 鑄造<br>狀態       | 焼入溫度<br>°C | 焼鈍溫度<br>°C |
|----------|----------------|------------|------------|----------|----------------|------------|------------|
| No.1     | {Chill<br>Sand | 510        | 380        | No.10    | {Chill<br>Sand | 540        | 360        |
| No.2     | {C.<br>S.      | "          | "          | No.11    | {C.<br>S.      | 500        | 330        |
| No.3     | {C.<br>S.      | 480        | 350        | No.12    | {C.<br>S.      | "          | "          |
| No.4     | {C.<br>S.      | "          | "          | No.13    | {C.<br>S.      | "          | "          |
| No.5     | {C.<br>S.      | 510        | 380        | No.14    | {C.<br>S.      | "          | "          |
| No.6     | {C.<br>S.      | "          | 320        | No.15    | {C.<br>S.      | "          | "          |
| No.7     | {C.<br>S.      | 510<br>480 | "          | No.16    | {C.<br>S.      | "          | 350        |
| No.8     | {C.<br>S.      | "          | 360        | No.17    | {C.<br>S.      | "          | "          |
| No.9     | {C.<br>S.      | "          | "          |          |                |            |            |

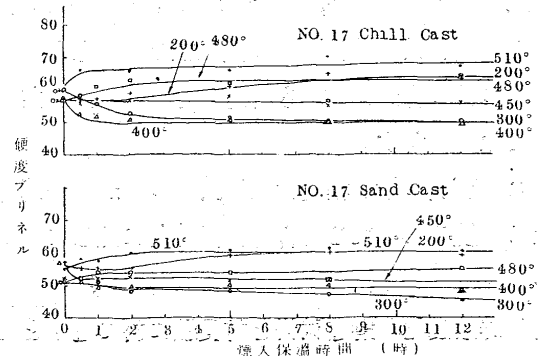
第 1 圖 焼入直後の硬度

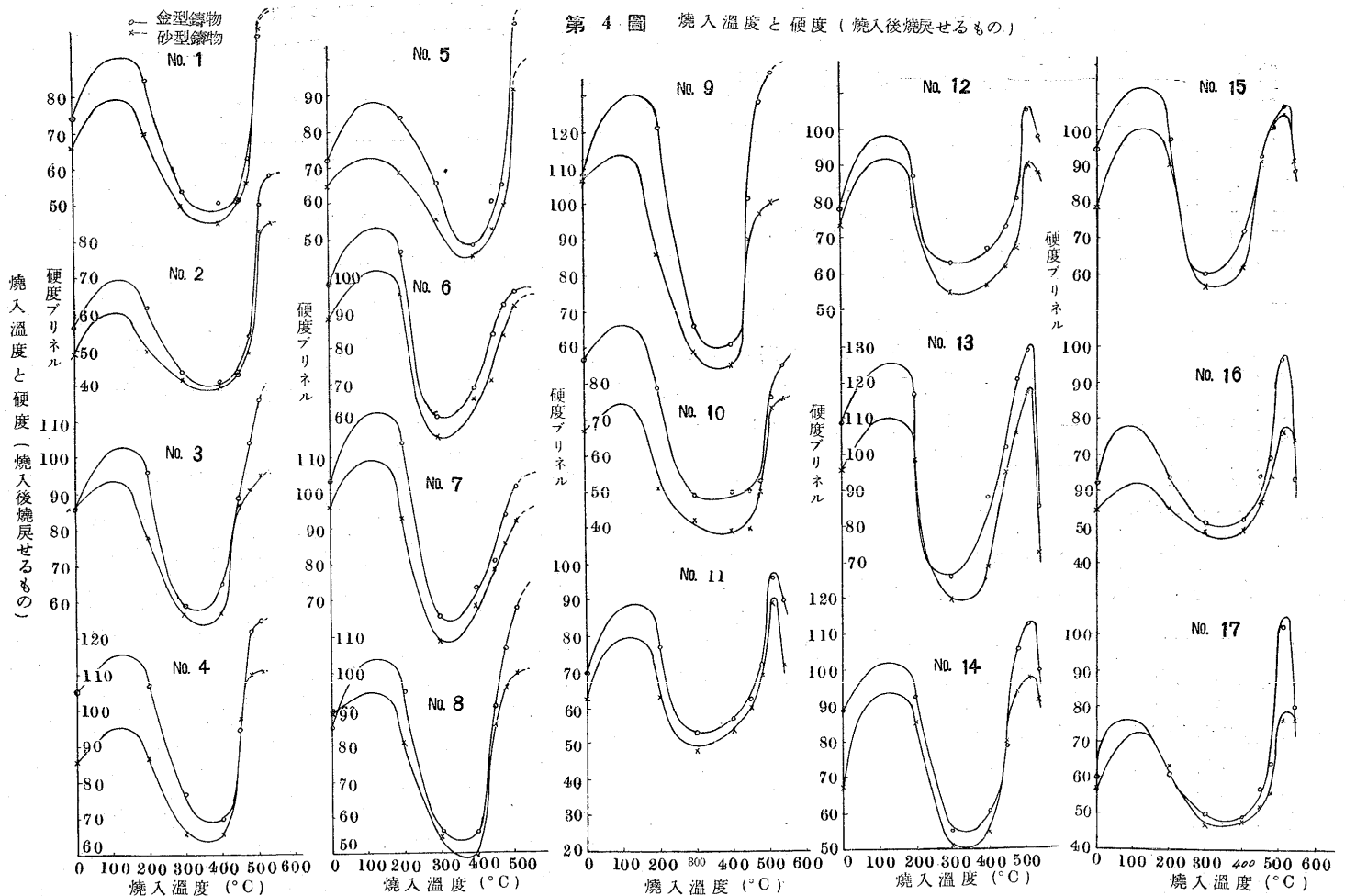


第 2 圖 焼入直後の硬度



第 3 圖 焼入直後の硬度





(ニ) 焼入れに於ける加熱時間2時間以上なる時は焼入効果に依る硬度には餘り大なる影響を認めず。

(ホ) 熱處理效果の狀況は金型及砂型鑄物共大體同様である。

**3. 鑄造後の時効硬化** 小型鑄物は鑄込み凝固後可なり速かに冷却す、特に金型の場合は著しき例である、それで熱處理の效果ある合金の鑄物はその程度に大小あるも多少の時効硬化を顯はすべきであるので各鑄物試料につき鑄造冷却後22日間の硬度を測定して鑄造材其儘の自然時効を見た。

この結果を總括すれば次の様である。

(イ) 試料 No.2, No.5, No.6, No.7, 及 No.11 合金は金型及砂型鑄物共鑄造後硬度の變化極めて少なし。

(ロ) その他の合金は何れも鑄造後時日の経過と共にその硬度を可なり増加す。

(ハ) この硬度の増加程度は金型鑄物の方が砂型鑄物に比し大なるも焼入れしたる場合の自然時効に比しては小なり。

**4. 自然時効硬化** 鑄造試料を前實驗に於て適當と認め

た第3表の焼入温度に夫々時間加熱し水中急冷して冷却後30分、及其後時々硬度の變化を測定して自然時効硬化の狀況を究めた。

その結果は第5乃至7圖で、之れを總括すれば次の様である。

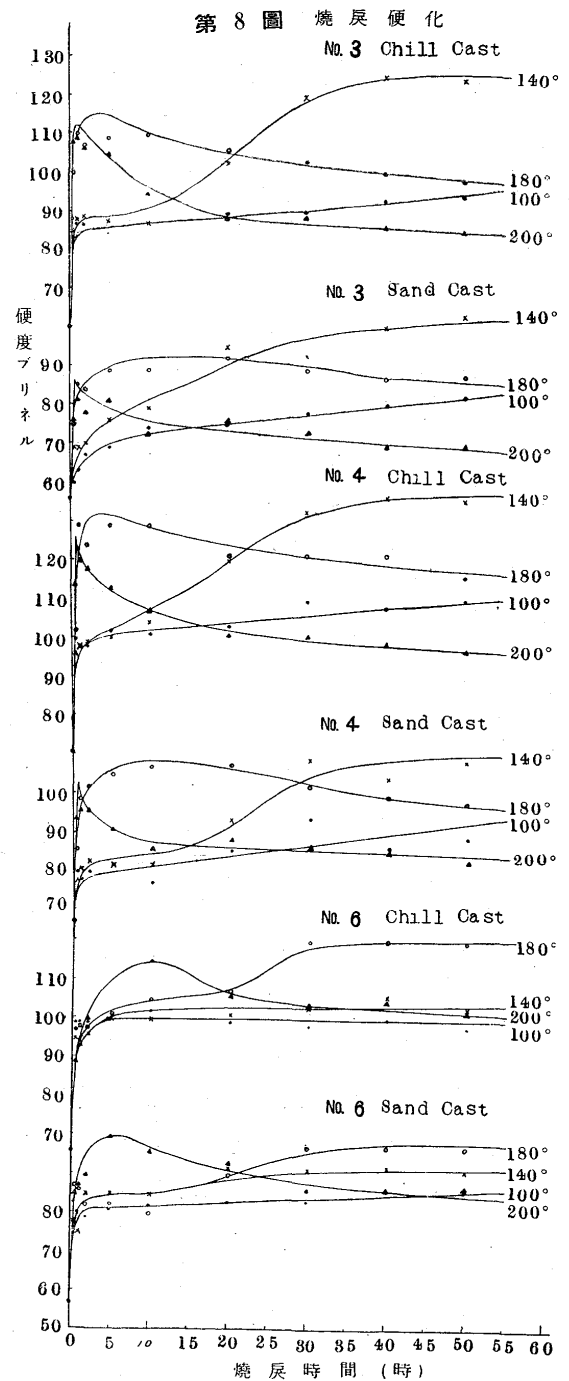
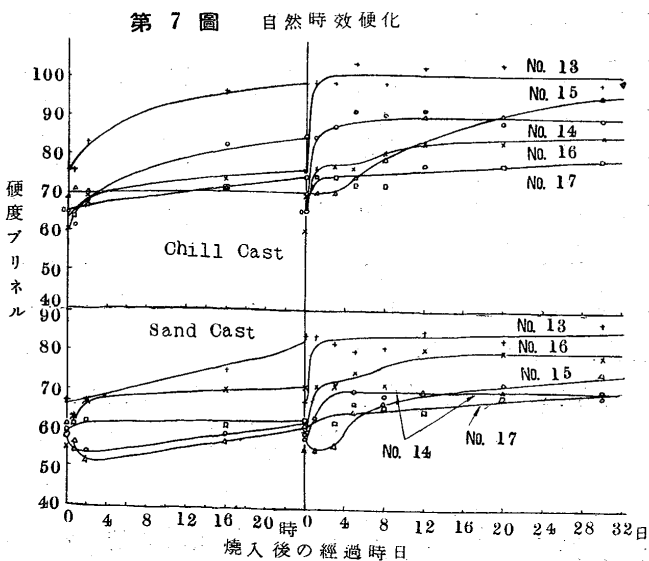
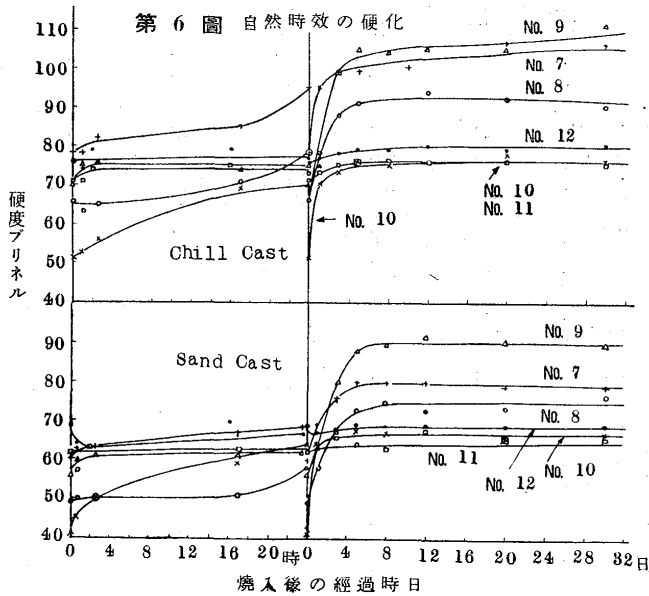
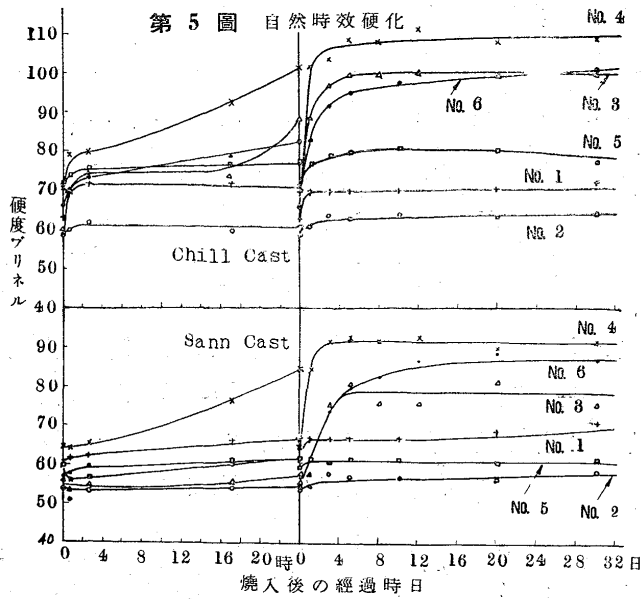
(イ) マグネシウムを含有せざる合金 No.1, No.2, No.5, No.11, No.12 は焼入後その硬度の變化極めて少なし。

(ロ) マグネシウムを含有せざるも銅及珪素を有する合金 No.16 及 No.17 は焼入後その硬度を可なり増加す

(ハ) マグネシウムを含む合金は自然時効硬化大なりそのマグネシウムの添加量0.1%の少量なるに於ても効果極めて顯著である。

(ニ) 焼入後の硬度の増加狀況は焼入後時日の経過と共に漸次硬度を増し4日乃至8日にして最高硬度に達し其後は餘り變化はない。

**5. 焼戻硬化** 鑄造材料を夫々第2表の焼入温度に5時間加熱し水中に急冷して100°, 140°, 180° 或は200°にて30分、1時間、2時間、5時間、10時間、20時間、



代表的のものを示せば第8乃至10圖で、之等の結果を總括すれば次の様である。

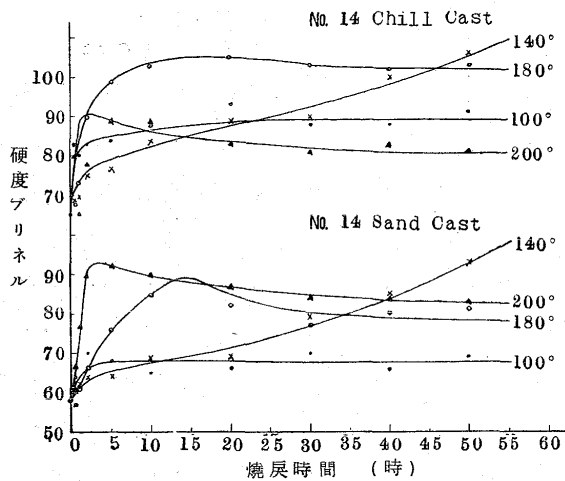
(イ) 焼戻硬化の状況は金型及砂型鑄物共に同様であるが金型鑄物の方が一般に硬度が大である。

(ロ) マグネシウムを含有せざる合金 No.1, No.2, No.11, No.12, No.16, No.17 は焼入後加熱するに焼戻時効徐々に顯はれ最高硬度を得るに長時間を要す。

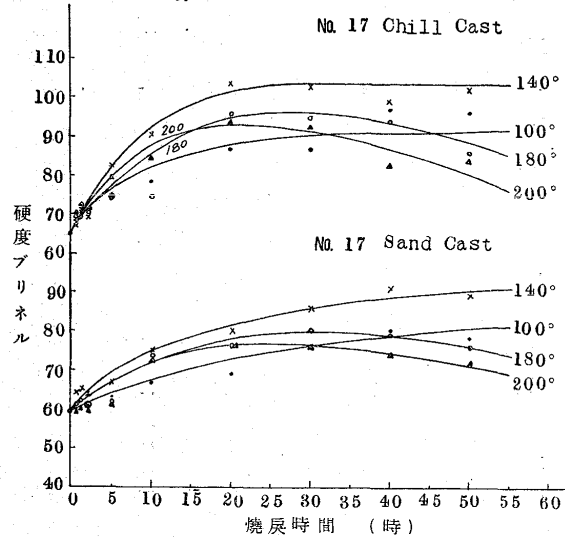
(ハ) マグネシウムを含む合金は自然時効硬化と同様焼戻時効亦顯著にして硬度増加率極めて大にして又最高硬度を得るに短時間でよむ。

30 時間、40 時間、並に 50 時間加熱し之れが時効を促進して各試料の硬度を測定し焼戻に依る効果を検べた、その

第9圖 焼戻硬化



第10圖 焼戻硬化



(=) Y合金即 No.6 及其系類の No.7 は最高硬度を得るには比較的高温度の焼戻を要す。

第3表 焼戻温度及時間

| 試料<br>番號 | 鑄造<br>状態       | 焼戻温度<br>°C | 焼戻時間<br>(時) | 試料<br>番號 | 鑄造<br>状態       | 焼戻温度<br>°C | 焼戻時間<br>(時) |
|----------|----------------|------------|-------------|----------|----------------|------------|-------------|
| No. 1    | {Chill<br>Sand | 160        | 20          | No. 10   | {Chill<br>Sand | 160<br>180 | 20<br>7     |
| No. 2    | {C.<br>S.      | 180        | "           | No. 11   | {C.<br>S.      | 160        | 20          |
| No. 3    | {C.<br>S.      | 160        | 16          | No. 12   | {C.<br>S.      | "          | "           |
| No. 4    | {C.<br>S.      | 180        | 12          | No. 13   | {C.<br>S.      | 180        | 12          |
| No. 5    | {C.<br>S.      | 160        | "           | No. 14   | {C.<br>S.      | "          | "           |
| No. 6    | {C.<br>S.      | 190<br>200 | 8           | No. 15   | {C.<br>S.      | 160<br>180 | 20<br>10    |
| No. 7    | {C.<br>S.      | 190<br>200 | 12<br>7     | No. 16   | {C.<br>S.      | 140<br>160 | 16<br>"     |
| No. 8    | {C.<br>S.      | 160        | 12          | No. 17   | {C.<br>S.      | 140<br>160 | "<br>"      |
| No. 9    | {C.<br>S.      | 160<br>180 | 12<br>8     |          |                |            |             |

(ホ) 其他の合金は一般に最高硬度を得る焼戻温度は 140 乃至 180° であるが、高き温度にて焼戻す時は短時間にて最高硬度に達し其後時間と共に速かに硬度低下す。

(ヘ) 各合金の最高硬度を得るに適當とする焼戻温度及時間は第3表の如くである。

### III. 熱處理と機械的性質

1. 緊張試験 金型及砂型に鑄造した試料を熱處せず其儘を標準の試験片 (Dia=14mm., L=50mm.) に仕上げ試験した緊張試験結果は第4表である。

第4表 緊張試験(鑄造其儘)

| 試料<br>番號 | 鑄造<br>状態       | 緊張試験                       |                           |             |             | 硬 度<br>(ブリネル) |
|----------|----------------|----------------------------|---------------------------|-------------|-------------|---------------|
|          |                | 比例限界<br>kg/mm <sup>2</sup> | 緊張力<br>kg/mm <sup>2</sup> | 延伸率<br>%    | 断面收縮<br>率 % |               |
| No. 1    | {Chill<br>Sand | 3.3<br>3.9                 | 19.2<br>12.1              | 5.8<br>2.5  | 6.8<br>3.5  | 68<br>61      |
| No. 2    | {C.<br>S.      | 2.0<br>0                   | 17.9<br>9.5               | 14.5<br>3.8 | 15.3<br>4.3 | 41<br>50      |
| No. 3    | {C.<br>S.      | 8.4<br>7.8                 | 19.7<br>12.8              | 2.4<br>1.3  | 2.0<br>2.2  | 90<br>83      |
| No. 4    | {C.<br>S.      | 13.2<br>9.5                | 17.7<br>12.9              | 0.5<br>0.9  | 0.8<br>1.0  | 102<br>82     |
| No. 5    | {C.<br>S.      | 4.9<br>3.9                 | 19.8<br>12.1              | 4.3<br>1.7  | 6.0<br>2.3  | 75<br>57      |
| No. 6    | {C.<br>S.      | 9.0<br>—                   | 22.1<br>15.7              | 2.8<br>0.9  | 4.7<br>1.8  | 89<br>87      |
| No. 7    | {C.<br>S.      | 11.5<br>9.8                | 26.0<br>17.3              | 1.9<br>1.1  | 3.8<br>1.0  | 106<br>88     |
| No. 8    | {C.<br>S.      | 11.0<br>7.8                | 23.2<br>14.3              | 2.2<br>1.2  | 4.0<br>1.3  | 92<br>75      |
| No. 9    | {C.<br>S.      | 13.2<br>9.1                | 19.9<br>12.4              | 0.8<br>0.8  | 0.8<br>0    | 103<br>87     |
| No. 10   | {C.<br>S.      | 7.4<br>6.5                 | 20.0<br>13.0              | 2.8<br>1.9  | 4.5<br>2.4  | 77<br>57      |
| No. 11   | {C.<br>S.      | 5.9<br>6.2                 | 19.0<br>11.4              | 2.2<br>0.7  | 4.2<br>1.8  | 78<br>76      |
| No. 12   | {C.<br>S.      | 8.5<br>8.1                 | 21.8<br>13.3              | 1.3<br>0.6  | 3.7<br>2.3  | 86<br>77      |
| No. 13   | {C.<br>S.      | 10.8<br>9.1                | 22.1<br>14.8              | 0.5<br>0.5  | 0<br>1.7    | 109<br>93     |
| No. 14   | {C.<br>S.      | 9.8<br>5.9                 | 22.2<br>14.5              | 3.3<br>1.4  | 4.9<br>3.0  | 84<br>73      |
| No. 15   | {C.<br>S.      | 10.8<br>7.2                | 23.4<br>14.0              | 1.8<br>0.9  | 3.0<br>2.5  | 92<br>77      |
| No. 16   | {C.<br>S.      | 3.9<br>2.5                 | 19.4<br>13.2              | 7.1<br>2.4  | 8.0<br>3.6  | 63<br>57      |
| No. 17   | {C.<br>S.      | 2.6<br>2.8                 | 22.0<br>13.9              | 10.7<br>2.7 | 11.7<br>4.3 | 62<br>64      |

之れと同一状況に於て鑄造した試料を前實驗に於て適當と認めた焼入温度に5時間加熱水中に焼入れせし適當なる焼戻硬化を生ぜしめたるものと急冷後常溫に放置し自然時効せしめたるものと、緊張試験結果は第5表及6表である。

第5表 緊張試験(焼戻硬化)

| 試料<br>番號 | 鑄造<br>状態       | 熱處理            |                 |                |                 | 緊張試験                           |                            |            |                 | 硬 度<br>(ブリ<br>ネル) |
|----------|----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|--------------------------------|----------------------------|------------|-----------------|-------------------|
|          |                | 焼入<br>温度<br>°C | 焼入<br>時間<br>(時) | 焼戻<br>温度<br>°C | 焼戻<br>時間<br>(時) | 比例<br>限界<br>kg/mm <sup>2</sup> | 緊張<br>力 kg/mm <sup>2</sup> | 延伸<br>率 %  | 断面<br>收縮<br>率 % |                   |
| No. 1    | {Chill<br>Sand | 510            | 5               | 160            | 20              | 15.2<br>16.2                   | 25.8<br>20.8               | 1.8<br>0.8 | 3.0<br>1.0      | 105<br>99         |

|        |           |            |        |               |          |              |              |            |             |            |
|--------|-----------|------------|--------|---------------|----------|--------------|--------------|------------|-------------|------------|
| No. 2  | {C.<br>S. | "<br>"     | "<br>" | "<br>180<br>" | "<br>"   | 14.3<br>10.4 | 25.4<br>18.3 | 4.9<br>1.7 | 6.0<br>3.0  | "<br>70    |
| No. 3  | {C.<br>S. | 480<br>"   | "<br>" | 160<br>"      | 16<br>20 | 29.1<br>18.1 | 34.0<br>19.0 | 1.3<br>0.8 | 1.0<br>"    | 121<br>95  |
| No. 4  | {C.<br>S. | "<br>"     | "<br>" | "<br>180<br>" | "<br>12  | 24.9<br>16.4 | 31.0<br>16.9 | 0.8<br>"   | 0<br>1.5    | 127<br>112 |
| No. 5  | {C.<br>S. | 510<br>"   | "<br>" | 160<br>"      | "<br>"   | 18.5<br>13.0 | 30.4<br>17.5 | 1.9<br>0.9 | 1.0<br>2.3  | 110<br>81  |
| No. 6  | {C.<br>S. | "<br>480   | "<br>" | 190<br>"      | "<br>"   | 22.4<br>13.8 | 31.8<br>19.5 | 1.4<br>0.8 | 1.4<br>1.5  | 110<br>94  |
| No. 7  | {C.<br>S. | 510<br>480 | "<br>" | "<br>"        | "<br>"   | 22.9<br>13.3 | 36.0<br>20.0 | 1.4<br>1.0 | 1.0<br>2.0  | 115<br>95  |
| No. 8  | {C.<br>S. | "<br>"     | "<br>" | 160<br>"      | "<br>"   | 21.5<br>19.1 | 28.0<br>21.9 | 1.2<br>0.8 | 1.5<br>1.0  | 110<br>101 |
| No. 9  | {C.<br>S. | "<br>"     | "<br>" | "<br>"        | "<br>"   | 21.3<br>16.6 | 24.2<br>23.4 | 0.7<br>0.3 | 0<br>0      | 123<br>104 |
| No. 10 | {C.<br>S. | 540<br>"   | "<br>" | "<br>"        | 20<br>"  | 17.9<br>14.9 | 26.4<br>20.4 | 3.1<br>1.2 | 4.5<br>2.5  | 91<br>80   |
| No. 11 | {C.<br>S. | 500<br>"   | "<br>" | "<br>"        | "<br>"   | 18.7<br>12.9 | 28.8<br>18.3 | "<br>1.0   | "<br>1.8    | 114<br>85  |
| No. 12 | {C.<br>S. | "<br>"     | "<br>" | "<br>"        | "<br>"   | 17.7<br>9.8  | 30.2<br>16.1 | 1.5<br>"   | 2.8<br>2.9  | 119<br>96  |
| No. 13 | {C.<br>S. | "<br>"     | "<br>" | 180<br>"      | 12<br>"  | 24.7<br>20.4 | 26.2<br>21.4 | 0<br>0.6   | 0<br>2.0    | 127<br>104 |
| No. 14 | {C.<br>S. | "<br>"     | "<br>" | "<br>"        | "<br>"   | 24.4<br>18.9 | 34.0<br>22.0 | 2.7<br>0.9 | 4.9<br>2.0  | 118<br>102 |
| No. 15 | {C.<br>S. | "<br>"     | "<br>" | 160<br>"      | 20<br>"  | 25.3<br>21.7 | 30.0<br>21.7 | 0.6<br>0.3 | 0.8<br>0    | 122<br>101 |
| No. 16 | {C.<br>S. | "<br>"     | "<br>" | 140<br>"      | 16<br>"  | 12.6<br>9.8  | 31.5<br>18.8 | 7.4<br>1.0 | 10.5<br>2.8 | 104<br>93  |
| No. 17 | {C.<br>S. | "<br>"     | "<br>" | "<br>"        | "<br>"   | 13.4<br>9.4  | 32.5<br>18.0 | 6.3<br>1.3 | 8.4<br>3.8  | 103<br>90  |

第6表 緊張試験(自然時効硬化)

| 試料<br>番號 | 鑄造<br>狀態       | 熱處理            |                       | 緊張試験                           |                           |             |                | 硬 度<br>(ブリ<br>ネル) |
|----------|----------------|----------------|-----------------------|--------------------------------|---------------------------|-------------|----------------|-------------------|
|          |                | 焼入<br>溫度<br>°C | 焼入<br>加熱<br>時間<br>(時) | 比例限<br>界<br>kg/mm <sup>2</sup> | 緊張力<br>kg/mm <sup>2</sup> | 延伸率<br>%    | 断面收<br>縮率<br>% |                   |
| No. 1    | {Chill<br>Sand | 510<br>"       | 5<br>"                | 7.0<br>9.1                     | 21.0<br>16.6              | 4.6<br>1.1  | 4.5<br>2.5     | 75<br>69          |
| No. 2    | {C.<br>S.      | "<br>"         | "<br>"                | 6.8<br>7.6                     | 22.2<br>16.2              | 12.7<br>3.8 | 14.3<br>4.8    | 66<br>60          |
| No. 3    | {C.<br>S.      | 480<br>"       | "<br>"                | 15.1<br>11.1                   | 24.8<br>17.5              | 2.6<br>1.6  | 3.3<br>2.0     | 99<br>86          |
| No. 4    | {C.<br>S.      | "<br>"         | "<br>"                | 13.0<br>12.3                   | 22.7<br>17.2              | 1.9<br>1.0  | 1.5<br>1.0     | 103<br>91         |
| No. 5    | {C.<br>S.      | 510<br>"       | "<br>"                | 5.3<br>6.7                     | 21.1<br>14.0              | 4.6<br>1.5  | 5.5<br>3.0     | 79<br>65          |
| No. 6    | {C.<br>S.      | "<br>"         | "<br>"                | 14.5<br>13.6                   | 28.3<br>18.7              | 3.6<br>1.0  | 3.5<br>2.4     | 103<br>88         |
| No. 7    | {C.<br>S.      | 510<br>480     | "<br>"                | 14.5<br>14.0                   | 28.0<br>21.7              | 2.6<br>1.3  | 2.5<br>1.3     | 107<br>89         |
| No. 8    | {C.<br>S.      | "<br>"         | "<br>"                | 13.5<br>12.3                   | 23.8<br>18.5              | 3.1<br>1.8  | 3.0<br>1.7     | 89<br>88          |
| No. 9    | {C.<br>S.      | "<br>"         | "<br>"                | 11.4<br>13.2                   | 19.8<br>16.8              | 1.6<br>0.8  | 2.8<br>1.0     | 111<br>92         |
| No. 10   | {C.<br>S.      | 540<br>"       | "<br>"                | 10.6<br>16.5                   | 24.0<br>15.3              | 5.8<br>2.3  | 5.5<br>3.0     | 78<br>61          |
| No. 11   | {C.<br>S.      | 500<br>"       | "<br>"                | 8.4<br>5.0                     | 22.7<br>14.2              | 2.8<br>1.0  | 3.0<br>2.0     | 86<br>75          |
| No. 12   | {C.<br>S.      | "<br>"         | "<br>"                | 9.3<br>5.9                     | 23.4<br>14.4              | 2.7<br>1.1  | 3.3<br>2.3     | 91<br>78          |
| No. 13   | {C.<br>S.      | "<br>"         | "<br>"                | 18.8<br>12.9                   | 29.3<br>17.1              | 0.8<br>0.7  | 2.0<br>2.3     | 113<br>92         |
| No. 14   | {C.<br>S.      | "<br>"         | "<br>"                | 14.6<br>12.4                   | 31.5<br>20.1              | 5.8<br>1.1  | 6.4<br>2.9     | 103<br>83         |
| No. 15   | {C.<br>S.      | "<br>"         | "<br>"                | 14.3<br>12.0                   | 27.8<br>19.7              | 2.8<br>0.7  | 3.0<br>2.5     | 103<br>95         |
| No. 16   | {C.<br>S.      | "<br>"         | "<br>"                | 7.8<br>5.8                     | 27.1<br>16.6              | 9.5<br>2.0  | 9.8<br>2.8     | 77<br>77          |
| No. 17   | {C.<br>S.      | "<br>"         | "<br>"                | 9.1<br>6.5                     | 27.9<br>17.4              | 9.8<br>2.5  | 10.7<br>2.5    | 82<br>77          |

尙鑄造材は鑄造後低溫度に加熱する時は可なり硬化する現象を已に第2項の2に於て認めたので、鑄造試料を焼入れせず直ちに 200°C に 12 時間加熱し緊張試験を行つた其結果は第7表である。

第7表 緊張試験(鑄造後加熱)

| 試料<br>番號 | 鑄造<br>狀態       | 熱<br>處<br>理            | 緊張試験                       |                           |            |                |
|----------|----------------|------------------------|----------------------------|---------------------------|------------|----------------|
|          |                |                        | 比例限界<br>kg/mm <sup>2</sup> | 緊張力<br>kg/mm <sup>2</sup> | 延 伸<br>率 % | 断 面 收 縮<br>率 % |
| No. 1    | {Chill<br>Sand | 鑄造後 200°C にて 12 時間加熱す。 | 5.2<br>0                   | 18.5<br>10.0              | 3.5<br>0.8 | 5.0<br>1.5     |
| No. 2    | {C.<br>S.      |                        | —<br>—                     | —<br>—                    | —<br>—     | —<br>—         |
| No. 3    | {C.<br>S.      |                        | 15.8<br>12.7               | 21.6<br>12.7              | 1.3<br>0.4 | 1.0<br>0       |
| No. 4    | {C.<br>S.      |                        | 13.6<br>12.4               | 18.5<br>12.4              | 0.8<br>0.7 | 0<br>0         |
| No. 5    | {C.<br>S.      |                        | 5.5<br>6.5                 | 20.0<br>12.4              | 3.1<br>1.2 | 4.0<br>2.2     |
| No. 6    | {C.<br>S.      |                        | 17.9<br>14.0               | 28.0<br>15.9              | "<br>0.4   | 0<br>0         |
| No. 7    | {C.<br>S.      |                        | 18.9<br>16.6               | 30.2<br>18.3              | 1.2<br>0.6 | 1.0<br>0       |
| No. 8    | {C.<br>S.      |                        | "<br>9.4                   | 25.2<br>16.0              | 1.2<br>0.4 | 1.0<br>0       |
| No. 9    | {C.<br>S.      |                        | 13.3<br>11.1               | 18.7<br>11.1              | 0.7<br>0.2 | 0<br>0         |
| No. 10   | {C.<br>S.      |                        | 15.3<br>9.1                | 25.7<br>16.9              | 1.5<br>1.2 | 2.0<br>2.0     |
| No. 11   | {C.<br>S.      |                        | 8.2<br>4.9                 | 19.5<br>10.7              | 1.8<br>1.0 | 3.0<br>2.5     |
| No. 12   | {C.<br>S.      |                        | 15.9<br>10.4               | 24.3<br>14.3              | 0.8<br>0.6 | 2.0<br>2.5     |
| No. 13   | {C.<br>S.      |                        | 14.8<br>13.0               | 14.8<br>13.0              | 0.4<br>0.2 | 0<br>0         |
| No. 14   | {C.<br>S.      |                        | 16.9<br>14.6               | 25.0<br>16.6              | 0.8<br>0.4 | 2.0<br>0.8     |
| No. 15   | {C.<br>S.      |                        | 14.3<br>14.9               | 24.3<br>17.2              | 0.8<br>0.3 | 0<br>0         |

これ等の結果を總括すれば次の様である。

(イ) 金型鑄物は砂型鑄物に比し緊張力、比例限界、硬度特に延伸率の優れるは一般に認めらるゝ處と同様である

(ロ) 金型及砂型鑄物共に焼入焼戻處理に依りその硬度緊張力、比例限界は鑄造のまゝに比し著しく増加す、特に比例限界の増加大にして鑄造其儘に比し何れも 100 乃至 300% 或は夫れ以上の高値を有す、然し延伸率及断面收縮率は一般に低下す。

(ハ) 焼入後常溫に於て自然時効硬化せしめたものは硬度、緊張力、比例限界何れも焼入焼戻せるものに及ばずと雖も鑄造其儘に比し遙かに優良なる成績を有し比例限界も 50 乃至 100% 増加す。尙延伸率も鑄造其儘のものに比し一般に優つて居る。

(ニ) 鑄造材を焼入れせず直ちに 200° に加熱し硬化せしめたものは硬度、緊張力及比例限界を相當増加するもその程度極めて大なりと云ひ難く又延伸率及断面收縮率を減

に何等特別の利點を認めず。

尙本項に於て第2表の焼入温度より稍低温度にて焼入れを行ひ焼戻時効を生ぜしめたもの、焼入焼戻の熱處理を反覆したもの、焼入れに於ける加熱時間を1乃至30時間に變更したもの等につき緊張試験を行ひ、焼入温度及熱處理に於ける加熱時間の緊張試験成績に及ぼす影響を見たが、低温度焼入は何等利點を認めず又焼入れに於ける加熱時間も1乃至12時間位の間では餘り大きな効果はない、然し長時間加熱焼入せるものは概して良成績を與へる様である

**2. 熔解に於て銻劑を使用せる場合** 熔解に當り特殊の銻劑を添加する時は鑄物の氣孔を防止<sup>1)</sup>すると同時に珪素を含む合金にありては特に第2第3の析出成分を微細たらしむることは已に報告して居る通りである、で特に數種の合金につき熔解に當り 850 乃至 870° に於て銻劑 (NaF 2+NaCl 1) を融體の 2.5% 添加して實驗同様金型及砂型鑄物試料を造り、焼入焼戻、自然時効、或は焼鈍を施し緊張試験を行つた、その結果は第8表で、實驗結果を總括すれば次の様である。

第8表 緊張試験(銻劑使用材)

| 試料<br>番號 | 鑄造<br>狀態      | 熔解法         | 熱 處 理          |                 |                |                 | 緊 張 試 驗                       |                               |              |                |                  |  |
|----------|---------------|-------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------|----------------|------------------|--|
|          |               |             | 燒入<br>溫度<br>°C | 燒入<br>時間<br>(時) | 燒戻<br>溫度<br>°C | 燒戻<br>時間<br>(時) | 比例限<br>kg/<br>mm <sup>2</sup> | 緊張力<br>kg/<br>mm <sup>2</sup> | 延伸<br>率<br>% | 斷面<br>收縮<br>率% | 硬度<br>(ブリ<br>ネル) |  |
| No. 7    | Chill<br>Sand | 熔解に當り銻劑を使用す | 510            | 30              | 190            | 12              | 18.4                          | 30.4                          | 3.1          | 3.5            | 107              |  |
|          |               |             | 480            | 〃               | 〃              | 〃               | 20.5                          | 26.7                          | 0.7          | 0.7            | 117              |  |
| No.11    | C.<br>S.      |             | 500            | 〃               | 140            | 30              | 12.3                          | 27.5                          | 3.5          | 4.2            | 105              |  |
|          |               |             | 〃              | 〃               | 〃              | 〃               | 11.7                          | 18.8                          | 0.6          | 0.7            | 103              |  |
| No.14    | C.<br>S.      |             | 〃              | 〃               | 180            | 12              | 22.7                          | 32.8                          | 2.2          | 2.8            | 117              |  |
|          |               |             | 〃              | 〃               | 〃              | 〃               | 17.6                          | 23.2                          | 0.5          | 0.7            | 103              |  |
| No.14    | C.<br>S.      |             | 〃              | 5               | 自然時效           |                 | 14.4                          | 31.5                          | 6.9          | 7.0            | 100              |  |
|          |               |             | 〃              | 〃               | 〃              |                 | 10.0                          | 19.2                          | 1.2          | 4.9            | 96               |  |
| No.14    | C.<br>S.      |             | 鑄造のまゝ          |                 |                |                 | 3.0                           | 22.5                          | 9.8          | 8.7            | 67               |  |
|          |               |             | 〃              |                 |                |                 | 1.0                           | 15.6                          | 2.7          | 4.9            | 64               |  |
| No.17    | C.<br>S.      |             | 鑄造のまゝ          |                 |                |                 | 2.6                           | 22.0                          | 10.7         | 11.7           | 62               |  |
|          |               |             | 〃              |                 |                |                 | 2.8                           | 13.9                          | 2.7          | 4.3            | 64               |  |
| No.17    | C.<br>S.      |             | 500            | 5               | 自然時效           |                 | 9.1                           | 27.9                          | 9.8          | 10.7           | 82               |  |
|          |               |             | 〃              | 〃               | 〃              |                 | 6.5                           | 17.4                          | 2.5          | 2.5            | 77               |  |
| No.17    | C.<br>S.      |             | 〃              | 〃               | 140            | 16              | 13.4                          | 32.5                          | 6.3          | 8.4            | 103              |  |
|          |               |             | 〃              | 〃               | 〃              | 〃               | 9.4                           | 18.0                          | 1.3          | 3.8            | 90               |  |
| No.17    | C.<br>S.      |             | 〃              | 30              | 〃              | 30              | 12.4                          | 30.7                          | 7.8          | 8.4            | 97               |  |
|          |               |             | 〃              | 〃               | 〃              | 〃               | 9.1                           | 17.7                          | 1.4          | 2.5            | 87               |  |
| No.17    | C.<br>S.      |             | 300            | 5               | 焼鈍す            |                 | 1.5                           | 17.1                          | 17.5         | 23.5           | 51               |  |
|          |               |             | 〃              | 〃               | 〃              |                 | 1.0                           | 12.8                          | 2.7          | 3.5            | 53               |  |
| No.14    | C.<br>S.      |             | 〃              | 〃               | 〃              |                 | 2.6                           | 20.6                          | 8.8          | 10.1           | 60               |  |
|          |               |             | 〃              | 〃               | 〃              |                 | 3.3                           | 15.0                          | 1.8          | 2.4            | 〃                |  |
| No.14    | C.<br>S.      |             | 〃              | 〃               | 〃              |                 | 4.7                           | 17.3                          | 3.5          | 4.6            | 〃                |  |
|          |               |             | 〃              | 〃               | 〃              |                 | 3.9                           | 14.6                          | 2.0          | 2.5            | —                |  |
| No.16    | C.<br>S.      |             | 〃              | 〃               | 〃              |                 | 1.9                           | 16.4                          | 6.9          | 8.8            | 52               |  |
|          |               |             | 〃              | 〃               | 〃              |                 | 1.0                           | 12.3                          | 2.4          | 2.6            | 50               |  |

(イ) 銻劑の添加に依り溶解瓦斯を排除し砂型鑄物の氣孔を著しく減少せしめ鑄物を優良ならしむることは氣孔防止の研究に於て得た結果と同様である。

(ロ) 銻劑の添加に依り、鑄造其儘の緊張力及延伸率は

銻劑なきものに比し一般に増加す。

(ハ) 銻劑添加せるもの、熱處理後の機械的性質の狀況は銻劑を添加せざるもの、熱處理後の結果と略同一なるも延伸率の點に於て優る。

**3 疲勞試験** 熱處理の疲勞限界に及ぼす影響を見る爲めに合金 No. 14 及 No. 16 並に銻劑を使用せる No. 14 及 No. 16 (即ち No. 17) の金型鑄物につき鑄造其儘、焼入焼戻及自然時効せるもの3種の試験材を小野式試験機で繰返彎曲應力に依る疲勞試験を行つた。

本試験結果は第9表で、之れに依り作つた繰返應力—應力繰返數曲線は第11圖で、之れを總括すれば次の様である。

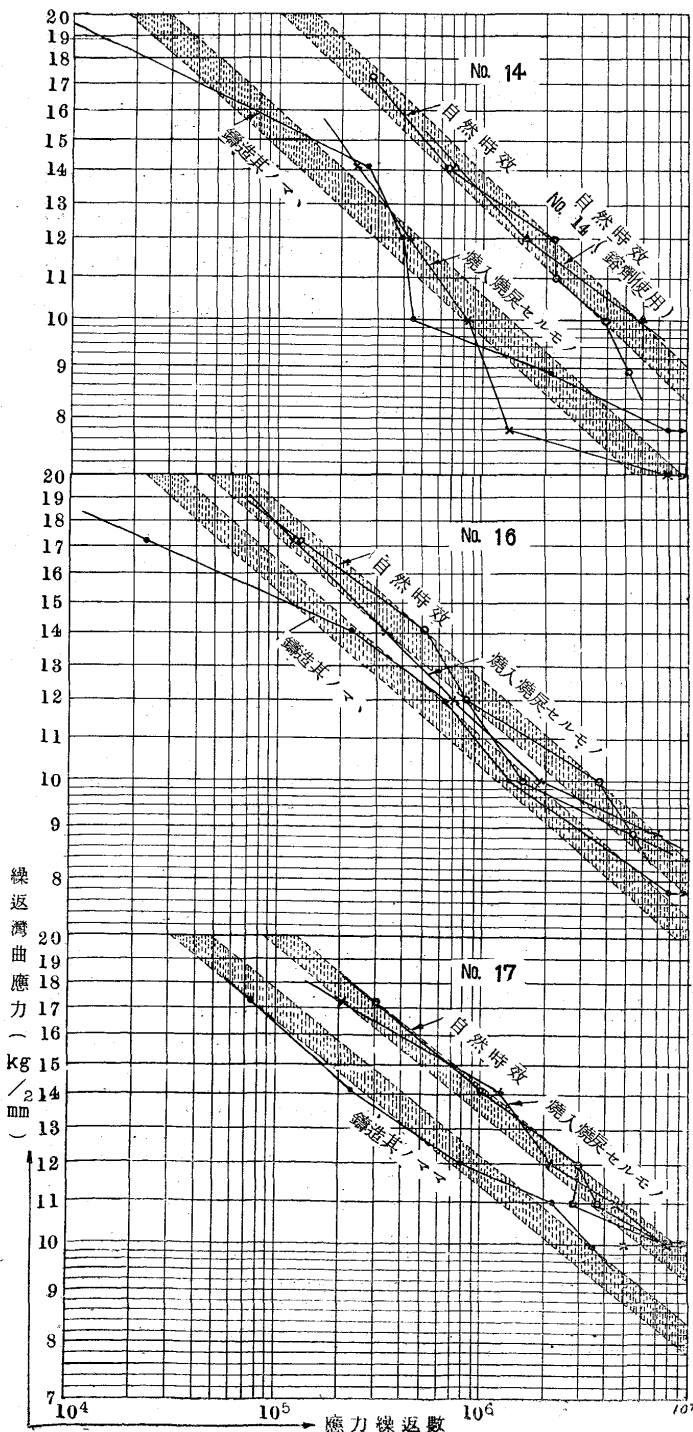
第9表 疲勞試験

| 試料                         | 熱 處 理       |                   |             |              | 彎曲應力<br>kg/mm <sup>2</sup>              | 應 力 繰 返                                                              | 摘 要                            |                                             |                                                                        |                                                                     |                                |                                          |                                                                      |                              |  |
|----------------------------|-------------|-------------------|-------------|--------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|------------------------------|--|
|                            | 焼入温<br>度 °C | 焼入加<br>熱時間<br>(時) | 焼戻温<br>度 °C | 焼戻時<br>間 (時) |                                         |                                                                      |                                |                                             |                                                                        |                                                                     |                                |                                          |                                                                      |                              |  |
| No. 14                     |             |                   |             |              |                                         |                                                                      |                                |                                             |                                                                        |                                                                     |                                |                                          |                                                                      |                              |  |
| 1<br>2<br>3<br>4<br>5<br>6 | 500         | 5                 | 180         | 12           | 14.1<br>12.0<br>10.0<br>7.8<br>"<br>6.8 | 261,300<br>451,100<br>877,300<br>1,290,700<br>1,559,500<br>8,000,000 | 切 斷<br>"<br>"<br>"<br>"<br>耐 久 |                                             |                                                                        |                                                                     |                                |                                          |                                                                      |                              |  |
| 1<br>2<br>3<br>4<br>5<br>6 |             |                   |             |              | 500                                     | 5                                                                    | 自然時効せ<br>しめたるも<br>の            | 17.2<br>14.1<br>12.0<br>11.0<br>10.0<br>8.9 | 299,000<br>702,700<br>2,340,900<br>2,352,400<br>3,931,600<br>5,349,900 | 切 斷<br>"<br>"<br>"<br>"<br>"                                        |                                |                                          |                                                                      |                              |  |
| 1<br>2<br>3<br>4<br>5<br>6 |             |                   |             |              |                                         |                                                                      |                                | 鑄造のまゝ                                       | 19.8<br>14.1<br>12.0<br>10.0<br>8.9<br>7.8                             | 8,800<br>288,000<br>409,800<br>463,400<br>2,275,800<br>8,000,000    | 切 斷<br>"<br>"<br>"<br>"<br>耐 久 |                                          |                                                                      |                              |  |
| (銻劑を使用したるもの)               |             |                   |             |              |                                         |                                                                      |                                |                                             |                                                                        |                                                                     |                                |                                          |                                                                      |                              |  |
| 1<br>2<br>3<br>4           |             |                   |             |              |                                         |                                                                      |                                |                                             | 500                                                                    | 5                                                                   | 自然時効せ<br>しめたるも<br>の            | 14.1<br>12.0<br>"<br>10.0                | 715,000<br>1,303,400<br>2,086,600<br>6,060,000                       | 切 斷<br>"<br>"<br>"           |  |
| No. 16                     |             |                   |             |              |                                         |                                                                      |                                |                                             |                                                                        |                                                                     |                                |                                          |                                                                      |                              |  |
| 1<br>2<br>3<br>4<br>5<br>6 | 500         | 5                 | 140         | 16           |                                         |                                                                      |                                |                                             |                                                                        |                                                                     |                                | 17.2<br>14.1<br>12.0<br>10.0<br>"<br>8.9 | 131,400<br>340,300<br>702,900<br>1,868,400<br>1,910,500<br>6,963,200 | 切 斷<br>"<br>"<br>"<br>"<br>" |  |
| 1<br>2<br>3<br>4<br>5<br>6 |             |                   |             |              | 500                                     | 5                                                                    | 自然時効せ<br>しめたるも<br>の            |                                             |                                                                        |                                                                     |                                | 17.2<br>14.1<br>12.0<br>10.0<br>"<br>8.9 | 136,000<br>531,600<br>831,600<br>3,700,600<br>1,572,500<br>5,324,100 | 切 斷<br>"<br>"<br>"<br>"<br>" |  |
| 1<br>2<br>3<br>4<br>5<br>6 |             |                   |             |              |                                         |                                                                      |                                | 鑄造のまゝ                                       | 17.2<br>14.1<br>12.0<br>10.0<br>"<br>7.8                               | 24,200<br>235,200<br>685,300<br>1,504,100<br>1,291,300<br>8,000,000 | 切 斷<br>"<br>"<br>"<br>"<br>耐 久 |                                          |                                                                      |                              |  |
| No. 17                     |             |                   |             |              |                                         |                                                                      |                                |                                             |                                                                        |                                                                     |                                |                                          |                                                                      |                              |  |

<sup>1)</sup> 大谷、エンヂニヤリンク 16 (1931) 11, 426

|   |       |   |             |    |      |           |   |   |
|---|-------|---|-------------|----|------|-----------|---|---|
| 1 |       |   |             |    | 17.2 | 210,400   | 切 | 斷 |
| 2 |       |   |             |    | 14.1 | 1,356,700 | " | " |
| 3 | 500   | 5 | 140         | 16 | 12.0 | 2,133,400 | " | " |
| 4 |       |   |             |    | 12.0 | 4,552,100 | " | " |
| 5 |       |   |             |    | 16.0 | 4,932,900 | " | " |
| 6 |       |   |             |    | "    | 8,000,000 | 耐 | 久 |
| 1 |       |   |             |    | 17.2 | 305,400   | 切 | 斷 |
| 2 |       |   |             |    | 14.1 | 1,028,700 | " | " |
| 3 | 500   | 5 | 自然時効せしめたるもの |    | 12.0 | 2,976,300 | " | " |
| 4 |       |   |             |    | 11.0 | 3,609,400 | " | " |
| 5 |       |   |             |    | 10.0 | 2,786,100 | " | " |
| 6 |       |   |             |    | "    | 8,000,000 | 耐 | 久 |
| 1 |       |   |             |    | 17.2 | 76,100    | 切 | 斷 |
| 2 |       |   |             |    | 14.1 | 243,700   | " | " |
| 3 | 鑄造のまま |   |             |    | 12.0 | 792,000   | " | " |
| 4 |       |   |             |    | 11.0 | 2,260,800 | " | " |
| 5 |       |   |             |    | 10.0 | 5,083,600 | " | " |
| 6 |       |   |             |    | "    | 2,174,000 | " | " |

第11圖 疲勞試験



(イ) 熱処理せるものは鑄造其儘のものに比し疲勞試験に於ける耐久時間を著しく増加す。

(ロ) 自然時効硬化せしめたものは焼入後焼戻硬化せしめたものに比し疲勞限界概して優秀である。

(ハ) 鋳削を使用せるものは然らざるものに比し、疲勞限界優秀である。

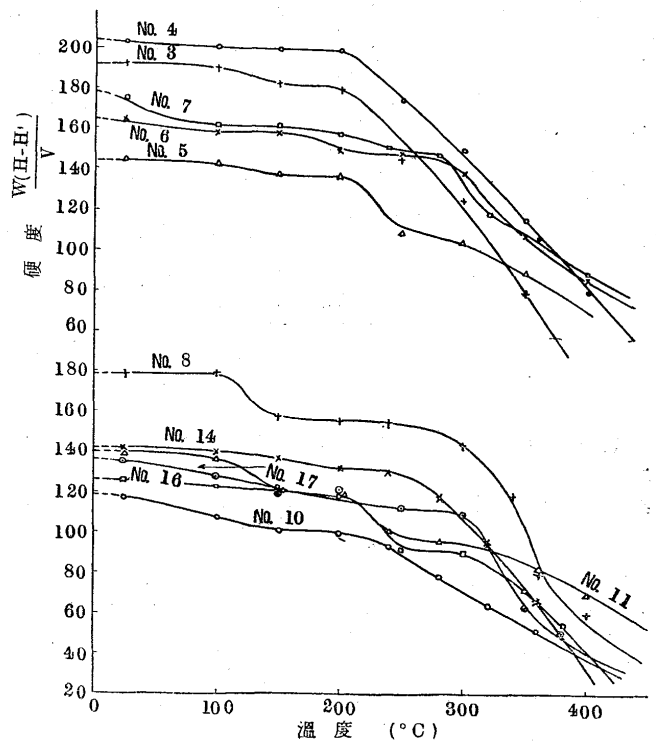
(ニ) 熱処理後は切れ味仕上り良く機械加工極めて優秀である。

4. 高温に於ける硬度試験 主なる合金につきその金型鑄物を第5表の如く焼入焼戻を施したる後高温に於ける硬度を試験した。

本試験に使用した装置は本多佐藤式衝擊高温硬度計である、試料は直径 50mm の丸棒を 15mm の厚さに輪切りとして使用した、温度は1時間 50° の割合に上昇せしめ豫定の各温度に 10 分間保持しその温度に於ける硬度を測定した、温度は壓塞の出来る可き同心圓上の一地点に小孔を穿ちこの中に銅—コンスタンタン熱電偶の熱接点を挿入して測定した。

實驗より得た硬度温度曲線は第 12 圖で、この結果を總括すれば次の様である。

第12圖 高温に於ける硬度



(イ) 合金 No.3, No.4, No.5, No.10, No.14 及 No.16 は 200° 迄は其硬度に餘り變化なきも夫れを越ゆる時は急に軟化する。

(ロ) No.14 は約 250° より軟化し始め No.6, No.7, No.8, No.17 は約 300°C 迄その硬度に急激な變化なし。

(ハ) No.5, No.7, No.8, No.10, No.11 及 No.16 は急激なる軟化を始むる迄の途中 100° 乃至 200° に於て中段的な硬度の變化を示す。

(ニ) 要するに Y 合金たる No.6 及其系の合金は軟化の温度高く吸鑄材料となるは當然の結果である。No.14 及鐵を含む No.8 及鎢剤を使用した No.17 も亦高温に於て硬度高く、耐高温材料たる可き素質を有するものと認めらる。

#### IV. 物理的性質

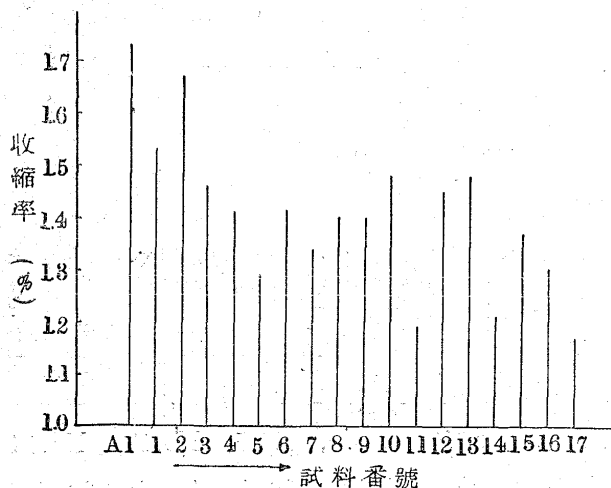
1. 鑄造收縮率 鑄造材料として各試料を考察するに當り鑄造に於ける收縮率の大小を已知することは重要な事項の一つであるので各試料の鑄造收縮率を測定した、之れに使用した装置方法は著者が前研究<sup>1)</sup>に用ゐたものである。

本試験に於ける注入温度は實際鑄造の場合を考慮し各試料を先づ熱分析し夫々その凝固點を測定し、之れより 100°

第 10 表 凝固點及鑄造收縮率

| 試料<br>番號               | 凝固點<br>°C | 注入<br>温度<br>°C | 收縮率融<br>點より<br>100°迄% | 試料<br>番號 | 凝固點<br>°C | 注入<br>温度<br>°C | 收縮率融<br>點より<br>100°迄% |
|------------------------|-----------|----------------|-----------------------|----------|-----------|----------------|-----------------------|
| Pure<br>Alum.<br>inium | 659       | 759            | 1.73                  | No. 9    | 622       | 722            | 1.40                  |
| No. 1                  | 632       | 732            | 1.53                  | No.10    | 637       | 737            | 1.48                  |
| No. 2                  | 638       | 733            | 1.67                  | No.11    | 613       | 718            | 1.19                  |
| No. 3                  | 632       | 732            | 1.46                  | No.12    | 616       | 716            | 1.45                  |
| No. 4                  | 623       | 723            | 1.41                  | No.13    | 612       | 712            | 1.48                  |
| No. 5                  | 633       | 733            | 1.29                  | No.14    | 619       | 719            | 1.21                  |
| No. 6                  | 630       | 730            | 1.41                  | No.15    | 617       | 717            | 1.37                  |
| No. 7                  | 628       | 728            | 1.34                  | No.16    | 620       | 720            | 1.30                  |
| No. 8                  | 634       | 734            | 1.40                  | No.17    | 622       | 722            | 1.17                  |

第 13 圖 鑄造收縮率



高き温度を採用した、測定せる各試料の凝固點、注入温度及收縮率は第 10 表及第 13 圖である。

この結果を總括すれば次の様である。

(イ) 銅 4.5% を含む合金 No.2 を除けば他の合金は何れも一般鑄造輕合金 L.5 及 No.2 (通稱 No.12 Alloy) より收縮率小なり。

(ロ) No.5, No.11, No.14, No.16 及 No.17 は Lynite 122 (No. 4) 及 195 Alloy (No. 3) に比し收縮率極めて低し No.11, No.14 及 No.17 は特に小さく鑄造容易なることを示した。

(ハ) 銅のみを含む合金に鐵を添加することに依り收縮率を低下するの傾向を示したるも銅及珪素を多く含むものに鐵を添加せしものは却つて收縮率を増加した、

2. 熱膨脹係數 主なる試料につきこれ等の熱膨脹係數を測定した、之れに用ゐた装置は本多式高温膨脹係數測定装置である、試験片は直径 5mm 長さ 80mm の金型鑄物を 200° にて 12 時間焼鈍したものである。

これが測定結果は第 11 表である。

第 11 表 熱膨脹係數

| 試料<br>番號 | 熱處理<br>°C                 | 熱膨脹係數 $\times 10^{-6}$ |           |          |
|----------|---------------------------|------------------------|-----------|----------|
|          |                           | 25°—100°               | 100°—200° | 25°—200° |
| No. 3    |                           | 24.1                   | 25.9      | 25.0     |
| No. 4    |                           | 24.2                   | 25.0      | 24.6     |
| No. 5    |                           | 23.4                   | 25.3      | 24.4     |
| No. 6    | 200°C に<br>て 12 時<br>間焼鈍す | 23.4                   | 25.3      | 24.4     |
| No. 7    |                           | 23.5                   | 25.0      | 24.3     |
| No. 8    |                           | 23.7                   | 25.3      | 24.5     |
| No.10    |                           | 22.9                   | 24.1      | 23.5     |
| No.11    |                           | 23.4                   | 25.3      | 24.4     |
| No.14    |                           | 23.7                   | 24.4      | 24.1     |

3. 熱傳導度 主なる試料につきその金型及砂型鑄物及その熱處理を施せるもの、熱傳導度を測定した。

これが測定装置及方法は著者「已に報告<sup>1)</sup>」して居る處のものであるが、その要點を述べれば次の様である。

装置は純銅を標準として之れに試料を接觸せしめその銅棒及試料の外側には夫々それ等と略同一の熱傳導率を有する材質の補助圓筒を裝備しそれ等の一端を加熱他端を冷却して所要の温度勾配をつけると同時に内部純銅棒及試料の各點の温度と外側圓筒上相當する各點の温度とを略同一ならしめる様にしたもので、銅棒を通過する熱量は全く周圍に對する得失なく全部試料を通過する様考案されてある、従て試料の熱傳導率は單に銅棒及試料の温度勾配を測定し次の式によりて得られたのであつて色々な實驗よりして本

<sup>1)</sup> 大谷、金屬の研究 8(1931)1~43

<sup>1)</sup> 大谷、金屬の研究 8(1931)5, 234

装置は正確に然かも簡易に熱傳導率を測定し得ることが立證されて居る。

$$\lambda = \text{銅の熱傳導率} \times \frac{\text{銅棒の溫度勾配}}{\text{試料の溫度勾配}}$$

測定結果は第 12 表で、總括的に述べれば次の様である

(イ) 鑄造其儘の状態に於ては金型鑄物に比し砂型鑄物の熱傳導率一般に高し。

第 12 表 熱 傳 導 度

| 試料<br>番號 | 鑄造<br>狀態         | 熱處理              | 熱傳導<br>度式カ<br>ロリー<br>度秒 | 測定<br>溫度<br>°C | 試料<br>番號 | 鑄造<br>狀態         | 熱處理                                 | 熱傳導<br>度式カ<br>ロリー<br>度秒 | 測定<br>溫度<br>°C |
|----------|------------------|------------------|-------------------------|----------------|----------|------------------|-------------------------------------|-------------------------|----------------|
| No. 3    | 金<br>型<br>鑄<br>物 | 鑄<br>造<br>其<br>儘 | 0.267                   | 59             | No. 3    | 金<br>型<br>鑄<br>物 | 第 12 表<br>に於ける<br>熱處理<br>(燒入<br>燒戻) | 0.345                   | 55             |
| No. 4    |                  |                  | 0.245                   | 55             | No. 4    |                  |                                     | 0.308                   | 54             |
| No. 5    |                  |                  | 0.302                   | 53             | No. 5    |                  |                                     | 0.373                   | 53             |
| No. 6    |                  |                  | 0.312                   | 56             | No. 6    |                  |                                     | 0.404                   | 54             |
| No. 7    |                  |                  | 0.284                   | 57             | No. 7    |                  |                                     | 0.425                   | 53             |
| No. 8    |                  |                  | 0.314                   | 60             | No. 8    |                  |                                     | 0.338                   | 51             |
| No.10    |                  |                  | 0.278                   | 57             | No.10    |                  |                                     | 0.301                   | 53             |
| No.11    |                  |                  | 0.321                   | 53             | No.11    |                  |                                     | 0.369                   | "              |
| No.14    |                  |                  | 0.249                   | 57             | No.14    |                  |                                     | 0.354                   | 50             |
| No.16    |                  |                  | 0.328                   | 51             | No.16    |                  |                                     | 0.360                   | 52             |
| No.17    |                  |                  | 0.366                   | 50             | No.17    |                  |                                     | 0.369                   | "              |
| No. 3    | 砂<br>型<br>鑄<br>物 | 鑄<br>造<br>其<br>儘 | 0.305                   | 54             | No. 3    | 砂<br>型<br>鑄<br>物 | 第 12 表<br>に於ける<br>熱處理<br>(燒入<br>燒戻) | 0.344                   | 54             |
| No. 4    |                  |                  | 0.292                   | 51             | No. 4    |                  |                                     | 0.359                   | 50             |
| No. 5    |                  |                  | 0.314                   | 53             | No.14    |                  |                                     | 0.354                   | 51             |
| No. 6    |                  |                  | 0.363                   | 51             | No.16    |                  |                                     | 0.353                   | 53             |
| No. 7    |                  |                  | 0.315                   | 52             | No.17    |                  |                                     | 0.367                   | 50             |
| No. 8    |                  |                  | 0.369                   | 53             | No.14    | 金型<br>砂型<br>鑄物   | 第 13 表<br>に於ける<br>熱處理<br>(自然<br>时效) | 0.348                   | 49             |
| No.10    |                  |                  | 0.312                   | 52             | No.16    |                  |                                     | 0.340                   | 50             |
| No.11    |                  |                  | 0.372                   | "              | No.16    |                  |                                     | 0.363                   | 53             |
| No.14    |                  |                  | 0.355                   | 51             | No.16    |                  |                                     | 0.359                   | 51             |
| No.16    |                  |                  | 0.319                   | 50             | No.17    |                  |                                     | 0.347                   | 50             |
| No.17    |                  |                  | 0.361                   | 51             | No.17    |                  |                                     | 0.350                   | 51             |

(ロ) 熱處理を施す時は金型鑄物及砂型鑄物何れもその熱傳導率を増加す、其増加率は金型鑄物に於て特に著しく熱處理後の兩者の熱傳導率は略一致す。

(ハ) 燒戻せるものは自然時効せるものに比し高熱傳導率を有す。

(ニ) No.11, No.14, No.16 及 No.17 の熱傳導率は Y 合金程度である。

4 顯微鏡組織 熱處理に依る鑄物の組織の變化を試料 No. 7, No. 14 及 No. 17 の砂型及金型鑄物につき試験した。

一般に燒入溫度に於ける加熱時間の増加と共に析出粒子

たる第 2 第 3 成分の一部を溶解しその量を減すると同時に析出成分は成長して鑄造組織を漸次破壊し鍛造状態に接近し均質なものとなる之れが變化は金型鑄物の如き微細なる組織を有するものに於て特に著し。

その一例を示せば寫眞 1 乃至 4 である。

## V. 實物試作熱處理試験

1. 變形量試験 熱處理に依り鑄造材の機械的諸性質が改善することとは已に前記諸實驗に於て明らかであるが、之れを實際鑄物に應用するとなると小物にありては兎も角復雜せる形狀の大物に當りては變形乃至燒割れ等が第一問題である、茲に No.14 及 No.17 合金にて先づ大型鑄物を試鑄し、之を色々と熱處理し熱處理後の變形量を試験した。

本試験は鑄物を先づ燒入前に定盤上にて各部分の高さ、直径及長等を測り然る後之れを水冷、油冷又は放冷或は燒入後燒戻を行ひ再び定盤上にて前と同一點を測定して之れが變形量を測定した處長さ 1m につき 0.3mm 以内の範圍で實用上何等差支へなき程度のものであり且又何れも燒割等の缺陷を認めなかつた。

2. 熱處理試験 輕合金の燒入れに於ける冷却速度は或る程度迄其終局の硬度に餘り影響を及ぼさなことは已に前報告<sup>1)</sup>に述べた通りであるが、茲に燒入れに於ける冷却方法及機械的性質との關係を見る爲め試料 No.17 の 24mm 丸砂型鑄物につき燒入れに於ける冷却方法を放冷、油冷及水冷と三様に變へ硬度及機械的性質を試験した。

本試験の放冷に於ける冷却速度は第 14 圖の如く 500°より 100°迄に 13 分を要した。

本試験結果は第 13 表の如く三様の燒入れに於て終局の硬度は何れも同一なるも緊張試験成績にありては放冷のも

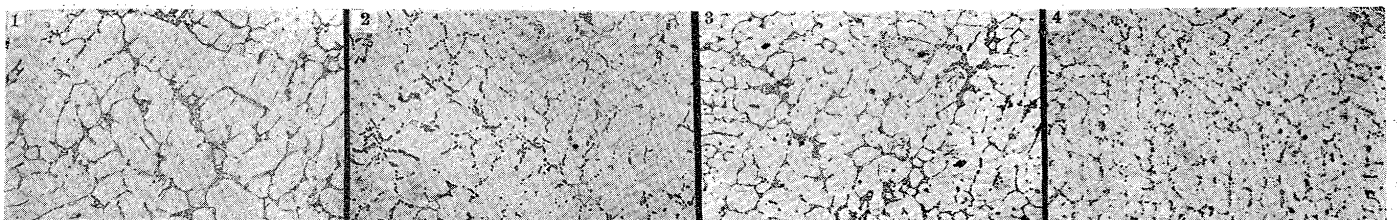
<sup>1)</sup> 大谷、金屬の研究 8(1931)3, 160

寫眞 1 ×94

寫眞 2 ×94

寫眞 3 ×94

寫眞 4 ×94



試料 No. 14 Chill Cast 鑄造其儘

試料 No. 14 Chill Cast  
500°にて 30 時間加熱燒入  
180°にて 12 時間燒戻

試料 No. 17 Chill Cast 鑄造其儘

試料 No. 17 Chill Cast  
500°にて 30 時間加熱燒入  
140°にて 16 時間燒戻

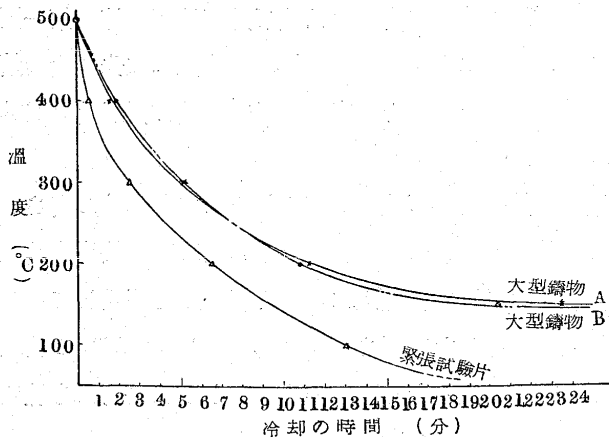
のは油冷及水冷のものに比し著しく劣等な成績を示した。

次に大型鑄物 A 及 B につき各種の熱処理を行ひ夫々實體より試験片を採取し緊張試験を行つた、この場合の焼

第 13 表 緊張試験

| 焼入方法 | 熱処理        |               |            |             | 硬度<br>(ブリネル) | 緊張試験                      |                            |          |            |
|------|------------|---------------|------------|-------------|--------------|---------------------------|----------------------------|----------|------------|
|      | 焼入温度<br>°C | 焼入加熱時間<br>(時) | 焼戻温度<br>°C | 焼戻時間<br>(時) |              | 緊張力<br>kg/mm <sup>2</sup> | 比例限界<br>kg/mm <sup>2</sup> | 延伸率<br>% | 断面収縮率<br>% |
| 鑄造其儘 | —          | —             | —          | —           | 62           | 12.5                      | 2.3                        | 1.6      | 2.8        |
| 放冷   | 500        | 5             | 140        | 16          | 80           | 15.9                      | 8.1                        | 0.7      | 2.5        |
| 油冷   | "          | "             | "          | "           | "            | 17.9                      | 9.1                        | 1.1      | 3.2        |
| 水冷   | "          | "             | "          | "           | "            | 18.2                      | 9.1                        | 1.3      | 3.2        |

第 14 圖 放冷に於ける冷却速度



第 14 表 大型鑄物の緊張試験

| 大型鑄物 B    |                    |       |                                                   |                                                            |
|-----------|--------------------|-------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| 材質 No. 14 |                    |       |                                                   |                                                            |
| 緊張試験      | 焼入方法<br>熱処理方法      | 鑄造のまゝ | 放冷                                                | 油冷                                                         |
|           |                    |       | 焼入温度 500°<br>加熱時間 5 時間<br>焼戻温度 180°<br>焼戻時間 12 時間 | 自然時効焼入温度 500°<br>加熱時間 10 時間<br>自然時効焼入温度 500°<br>加熱時間 13 時間 |
| 緊張力       | kg/mm <sup>2</sup> | 14.2  | 22.6                                              | 16.3                                                       |
| 延伸率       | %                  | 0.9   | 0.6                                               | 1.3                                                        |
| 試験片       | 直径 mm              | 4.76  | 4.76                                              | 4.76                                                       |
| 寸法        | 標點距離 mm            | 17.0  | 17.0                                              | 17.0                                                       |

| 大型鑄物 A    |                    |                                                  |                        |                        |
|-----------|--------------------|--------------------------------------------------|------------------------|------------------------|
| 材質 No. 17 |                    |                                                  |                        |                        |
| 緊張試験      | 焼入方法<br>熱処理方法      | 放冷                                               | 油冷                     | 放冷                     |
|           |                    | 焼入温度 500°<br>時間 (15 時間)<br>焼戻温度 140°<br>時間 30 時間 | 自然時効焼入 500°<br>(18 時間) | 自然時効焼入 500°<br>(23 時間) |
|           |                    | 薄肉部 中央厚部                                         | 薄肉部 中央厚部               | 薄肉部 中央厚部               |
| 緊張力       | kg/mm <sup>2</sup> | 21.5 19.1                                        | 20.5 17.8              | 18.2 17.1              |
| 延伸率       | %                  | 1.6 0.9                                          | 3.1 2.3                | 1.8 1.7                |
| 試験片       | 直径 mm              | 4.76 7.0                                         | 4.2 7.0                | 4.76 7.0               |
| 寸法        | 標點距離 mm            | 17.0 25.0                                        | 15.0 25.0              | 17.0 25.0              |

入れに於ける放冷の冷却速度は第 14 圖の如く 500° より 100° 迄冷却するに鑄物 A は約 23 分、鑄物 B は約 20 分を要した。

この試験結果は第 14 表で、之れを總括すれば次の様である。

(イ) 大型鑄物に於ける熱処理効果も試験棒に於て得たる成績と同様鑄造其儘に比し機械的性質は著しく改善せらる。

(ロ) 鑄物の薄肉部は鑄造に當り可なりチルされたる結果砂型鑄物試験棒を熱処理した成績より延伸率太にして好成績を示した。

(ハ) 焼入れに於ける冷却方法は形状に應じ油冷或は水冷を採用するを可とす。

## VI. 總括

本實驗の結果を總括すれば次の様である。

イ、熱処理用鑄造輕合金として優秀なるものを得る爲め十數種の選出合金につき次の如き諸性質の研究を行ひ之れを明らかにした。

(1) 鑄物の時効硬化 (2) 熱処理と機械的性質 (3) 熱處理の疲勞限界に及ぼす影響 (4) 高温に於ける硬度 (5) 鑄造收縮率、熱膨脹係數及熱傳導率

ロ、各種の實驗結果の要點を摘述すれば次の様である。

(1) 熱處理効果の傾向は金型及砂型鑄物兩者大體に同様であるが、一般に金型鑄物の硬度及機械的性質優秀である。

(2) 焼入れに於ける加熱時間は 2 時間以下にありては不充分なるも 2 時間乃至 12 時間程度に於ては終局の硬化硬度に大なる影響はない、延伸率の點より見ると長きを可と認む。

(3) マグネシウムを含む合金は焼入後自然時効硬化特に大である、マグネシウムの 0.1% を含むものに於ても其效果極めて顯著である。

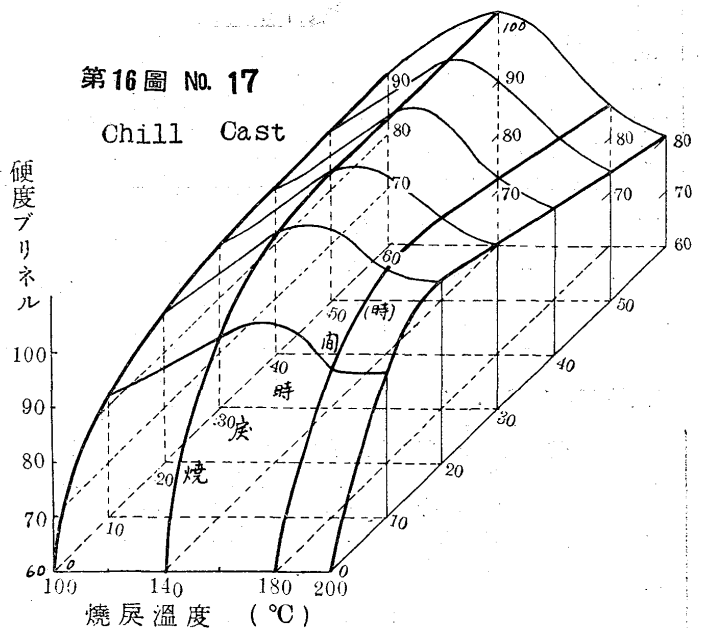
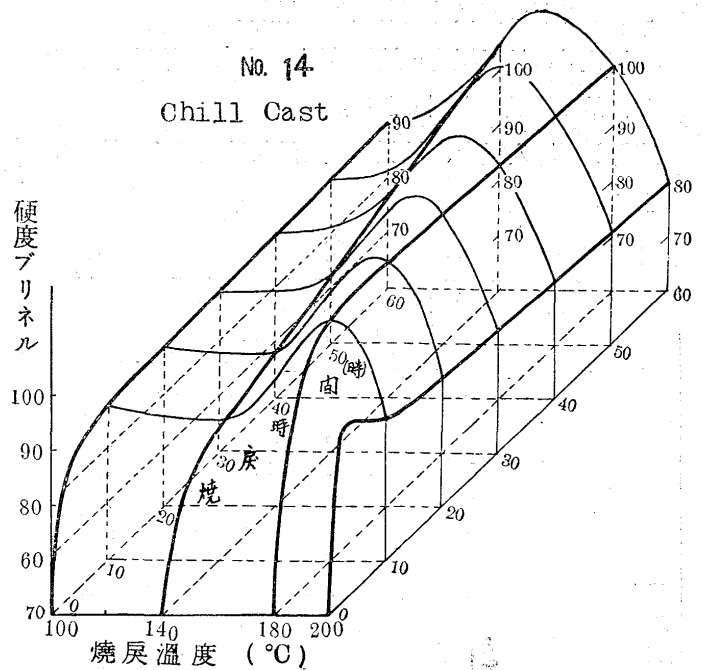
(4) 焼入後自然時効硬化を示す合金は鑄造其儘に於て焼入れせるものに比し程度こそ小なるも自然時効に依り可なり硬化す。この傾向は金型鑄物に於て著し。

(5) 鑄造材を焼入せず直ちに低温度に加熱する時は著しく硬化す。

但し其程度は焼入後焼戻せるものに比し小さく何等特別の利益なし。

- (6) 適當なる焼入れをなし常溫に於て自然時効せしむる時は硬度、緊張力、比例限界何れも焼入焼戻時効せるものに及ばざるも鑄造其儘のものに比し遙かに優秀なる成績を示す。
- (7) 焼入後加熱焼戻處理に依りその硬度、緊張力、比例限界は鑄造のまゝに比し著しく増加す。  
特に硬度及比例限界の増加著し、延伸率及斷面收縮率は一般に低下す。
- (8) 熔解に當り銻劑を使用した鑄造材は鑄造其儘に於て緊張力、延伸率共に銻劑を使用せざるものに比し優秀である、然し熱處理後は銻劑を使用せざる場合と大差なきも延伸率に於ては優つて居る。
- (9) No.14, No.17 及鐵を含む No.8 は Y 合金 (No.6) 及其系類の No.7 と共に比較的高溫に於て硬度の低下が小さい。
- (10) 繰返彎曲應力の疲勞試験結果に依ると熱處理せるものは鑄造其儘に比し耐久時間著しく増加す。  
その増加程度は焼入焼戻處理に依るものより焼入後自然時効を生ぜしめたものが優秀である。
- (11) 銅及珪素を含有する合金 No.11, No.14, No.16 及 No.17 並に銅及鐵を含む合金 No.5 の鑄造收縮率は Lynite 122, 195 合金 (No.4 及 No.3) に比し著しく小さむ。  
特に No.11, No.14 及 No.7 はこの點に於て優秀である。
- (12) 熱膨脹係數は大體  $23.5$  乃至  $25.0 \times 10^{-6}$  程度である。
- (13) 鑄造其儘の状態に於ては金型鑄物に比し砂型鑄物の熱傳導率一般に高し。  
熱處理を施す時は熱傳導率を増加し、砂型鑄物及金型鑄物兩者略同一の値に達す。
- (14) 焼入れに於ける冷却速度は或る程度迄終局の硬度には餘り影響なきも緊張試験成績にはかなりの影響を及ぼし速かなるを可とす、鑄物の形狀に依り油冷或は水冷を採用するを要す。

ハ、これ等實驗結果を綜合すれば No.14, No.16 及 No.17 合金は熱處理に依り諸性質を著しく改善せらるゝ優良なる熱處理用合金にして而かも鑄造性並に熱處理後の延伸率の點に於て Lynite 122, 195 合金に遙かに優つて居る、この No.14 及 No.17 合金にて鑄造せる大型鑄物を



水或は油中に焼入しその變形量及熱處理の効果を試験した處極めて僅かの歪みにして又焼割れの缺陷をも認めず、尙各部より切斷採取せる試験片の機械的性質は曩に試験棒に依り試験せる試験結果と同様改善せられ實用價值を充分認めた。

ホ、試料 No.14 及 No.17 合金につき特にその特徴及熱處理に依る效果の要點を示せば次の様である。

- (1) 鑄造收縮率極めて小にして鑄造容易である。
- (2) 熱處理後は切れ味仕上り良く機械加工極めて優良である。
- (3) 適當に熱處理する時は機械的及物理的諸性質を優良

ならしめ且つ耐久時間を數倍に増加す。

焼入温度°C 焼戻温度°C 焼戻時間(時)

(4) 焼入後の焼戻温度—焼戻時間—硬度の關係を圖示すれば第 15 及 16 圖である。

No. 14 500° 180° 12  
No. 17 500° 140° >16

適當なる焼入温度、焼戻温度及焼戻時間は次の通りである。

(5) 本材の諸性質の一例を示せば第 15 及 16 表である。(終)

試料 No. 14

第 15 表

| 鑄造状態及熱處理 |        |           |        |         |        | 硬度<br>(ブリネル) | 緊張試験                      |                            |          |            | 鑄造收縮量<br>(%) | 熱傳導率<br>(c.g.s.) | 繰返彎曲に於ける耐久力(10'に對し)<br>kg/mm <sup>2</sup> |
|----------|--------|-----------|--------|---------|--------|--------------|---------------------------|----------------------------|----------|------------|--------------|------------------|-------------------------------------------|
| 鑄型       | 焼入温度°C | 焼入加熱時間(時) | 焼戻温度°C | 焼戻時間(時) | 鋸劑使用有無 |              | 緊張力<br>kg/mm <sup>2</sup> | 比例限界<br>kg/mm <sup>2</sup> | 延伸率<br>% | 断面收縮率<br>% |              |                  |                                           |
| 鑄造のまゝ    | 金型     |           |        |         | なし     | 84           | 22.2                      | 9.8                        | 3.3      | 4.9        | —            | 0.349            | 6.5~7.0                                   |
|          |        |           |        |         | 鋸劑使用   | 67           | 22.5                      | 3.0                        | 9.8      | 8.7        | —            | —                | —                                         |
|          | 砂型     |           |        |         | なし     | 73           | 14.5                      | 5.9                        | 1.4      | 3.0        | 1.21         | 0.355            | —                                         |
|          |        |           |        |         | 鋸劑使用   | 64           | 15.6                      | 1.0                        | 2.7      | 4.9        | —            | —                | —                                         |
| 焼處入焼戻理   | 金型     | 500       | 5      | 180     | 12     | なし           | 118                       | 34.0                       | 24.4     | "          | "            | 0.354            | 6.5~7.0                                   |
|          |        |           | 30     | "       | "      | 鋸劑使用         | 117                       | 32.8                       | 22.7     | 2.2        | 2.8          | —                | —                                         |
|          | 砂型     | "         | 5      | "       | "      | なし           | 102                       | 22.0                       | 18.9     | 0.9        | 2.0          | 0.354            | —                                         |
|          |        |           | 30     | "       | "      | 鋸劑使用         | 103                       | 23.2                       | 17.6     | 0.5        | 0.7          | —                | —                                         |
| 焼自然時後效   | 金型     | "         | 5      |         | なし     | "            | 31.5                      | 14.6                       | 5.8      | 6.4        | —            | 0.348            | 0.8~9.0                                   |
|          |        |           |        |         | 鋸劑使用   | 100          | "                         | 14.4                       | 6.9      | 7.0        | —            | —                | 8.0~9.0                                   |
|          | 砂型     | "         | "      |         | なし     | 86           | 20.1                      | 12.4                       | 1.1      | 2.9        | —            | 0.340            | —                                         |
|          |        |           |        |         | 鋸劑使用   | 96           | 19.2                      | 10.0                       | 1.2      | 4.9        | —            | —                | —                                         |
| 焼處鈍理     | 金型     | 300       | "      |         | なし     | 60           | 17.3                      | 4.7                        | 3.5      | 4.6        | —            | —                | —                                         |
|          |        |           |        |         | 鋸劑使用   | "            | 20.6                      | 2.6                        | 8.8      | 10.1       | —            | —                | —                                         |
|          | 砂型     | "         | "      |         | なし     | —            | 14.6                      | 3.9                        | 2.0      | 2.5        | —            | —                | —                                         |
|          |        |           |        |         | 鋸劑使用   | 60           | 15.0                      | 3.3                        | 1.8      | 2.4        | —            | —                | —                                         |

試料 No. 16, No. 17

第 16 表

| 鑄造状態及熱處理 |        |           |        |         |        | 硬度<br>(ブリネル) | 緊張試験                      |                            |          |            | 鑄造收縮量<br>(%) | 熱傳導率<br>(c.g.s.) | 繰返彎曲に於ける耐久力(10'に對し)<br>kg/mm <sup>2</sup> |
|----------|--------|-----------|--------|---------|--------|--------------|---------------------------|----------------------------|----------|------------|--------------|------------------|-------------------------------------------|
| 鑄型       | 焼入温度°C | 焼入加熱時間(時) | 焼戻温度°C | 焼戻時間(時) | 鋸劑使用有無 |              | 緊張力<br>kg/mm <sup>2</sup> | 比例限界<br>kg/mm <sup>2</sup> | 延伸率<br>% | 断面收縮率<br>% |              |                  |                                           |
| 鑄造のまゝ    | 金型     |           |        |         | なし     | 62           | 19.4                      | 3.9                        | 7.1      | 8.0        | —            | 0.328            | 7.0~7.4                                   |
|          |        |           |        |         | 鋸劑使用   | "            | 22.0                      | 2.6                        | 10.7     | 11.7       | —            | 0.366            | 8.0~8.4                                   |
|          | 砂型     |           |        |         | なし     | 57           | 13.2                      | 2.5                        | 2.4      | 3.6        | 1.30         | 0.319            | —                                         |
|          |        |           |        |         | 鋸劑使用   | 64           | 13.9                      | 2.8                        | 2.7      | 4.3        | 1.17         | 0.361            | —                                         |
| 焼處入焼戻理   | 金型     | 500       | 5      | 140     | 16     | なし           | 104                       | 31.5                       | 12.6     | 7.4        | 10.5         | 0.360            | 8.0~8.5                                   |
|          |        |           |        |         |        | 鋸劑使用         | 103                       | 32.5                       | 13.4     | 6.3        | 8.4          | 0.369            | 9.6~10.0                                  |
|          | 砂型     | "         | "      | "       | "      | なし           | 93                        | 18.8                       | 9.3      | 1.0        | 2.8          | 0.353            | —                                         |
|          |        |           |        |         |        | 鋸劑使用         | 90                        | 18.0                       | 9.4      | 1.3        | 3.8          | 0.367            | —                                         |
| 焼自然時後效   | 金型     | "         | "      |         | なし     | 77           | 27.1                      | 7.8                        | 9.5      | 9.8        | —            | 0.363            | 8.0~8.5                                   |
|          |        |           |        |         | 鋸劑使用   | 82           | 27.9                      | 9.1                        | 9.8      | 10.7       | —            | 0.347            | 9.6~10.0                                  |
|          | 砂型     | "         | "      |         | なし     | 77           | 16.6                      | 5.8                        | 2.0      | 2.8        | —            | 0.359            | —                                         |
|          |        |           |        |         | 鋸劑使用   | "            | 17.4                      | 6.5                        | 2.5      | 2.5        | —            | 0.350            | —                                         |
| 焼處鈍理     | 金型     | 300       | "      |         | なし     | 52           | 16.4                      | 1.9                        | 6.9      | 8.8        | —            | —                | —                                         |
|          |        |           |        |         | 鋸劑使用   | 51           | 17.1                      | 1.5                        | 17.5     | 23.5       | —            | —                | —                                         |
|          | 砂型     | "         | "      |         | なし     | 50           | 12.3                      | 1.0                        | 2.4      | 2.6        | —            | —                | —                                         |
|          |        |           |        |         | 鋸劑使用   | 53           | 12.8                      | "                          | 2.7      | 3.5        | —            | —                | —                                         |