

$$=1.85(t_g-t_{s1})$$

この値が Table 1 にある。 t_g-t_{s2} と同じ t_g-t_{s1} はほゞ 2.5h 前である。コイル内の伝熱は表面温度 t_s の時間的变化によるから、コイル内側の中央の温度はコイル外側の中央の温度より 2.5h おくれる。仮定は安全側だから 1.5h 位のおくれであろう。(昭 33—5 月寄稿)

文 献

- 1) Nunner: VDI-Forschungsheft p. 455, 1956
- 2) Carslaw-Jaeger: Conduction of Heat in Solids
- 3) 機械工学便覧: 第 8 編

Timken 16-25-6 の鍛造性と鑄造組織の関係*

(無変態合金鑄塊の鍛造性について—I)

美馬源次郎**・山根 寿巳***

THE RELATION OF FORGEABILITY AND CAST STRUCTURES OF Timken 16-25-6

(On the forgeability of the transformation-free alloy ingot—I)

Genjiro Mima and Toshimi Yamane

There are many experiments on the forging of metals, but these are studied to know strain and stress at a impact working, or from the view point of strength of material. There are seldom from the view point of metallic material technology. For the present situation, the authors studied the forgeability of a less forgeable ingot from the view point of metallic material engineering.

The samples used in this experiment are 15×15mm, and of columnar structure, granular one and both mixed. Forging temperatures are 800°C, 900°C, 1100°C and 1300°C. In the case of columnar structure sample and both mixed one, they compressed impactly the columnar axis parralel to the forging directon (longitudinal) and these stand at right angle each other (transversal), and various phenomena were examined.

Stress-strain curves are obtained by magnetic method. The results are as follows:

- (1) Working resistance decreases in the case of the compressive working of granular structure, transversal one and longitudinal one, one by one.
- (2) The difference of working resistance of (1) decreases with rising temperature.
- (3) When the working velocity increased, a tendency to increase this difference were observed.
- (4) The relation between working degree $\log(h_0/h)$ and working energy is linear in the range of this experiment. Here, h_0 : initial height of sample. h : height of sample after compression.
- (5) The crack forming possibility decreases with longitudinal columnar, granular one and tranversal one, according to the aforesaid order.
- (6) The forging temperature is a sensible factor of the crack forming possibility.

I. 緒 言

各種金属の鍛造実験に関しては数多くの研究があり、とくに衝撃加工の研究は古くは Nadai¹⁾, Ludwick, Mailänder, Ginns²⁾, Clark³⁾, 市原⁴⁾ 新しくは Kochendörfer⁵⁾, Weber⁶⁾, Kraft⁷⁾ 岡崎・小島⁸⁾, 中川⁹⁾ などの研究があるが、これらの研究は脆性に関するものを

除けば、すべて衝撃加工時の歪一応力を研究すること自体、あるいは材料力学的見地からおこなわれており材料学的立場から進めた系統的研究は全くない。したがって

* 昭和 32 年 10 月本会講演大会にて発表

** 阪大教授工学博士

*** 阪大大学院学生工学修士

高合金鋼、とくに高級耐熱鋼の鍛造時における鋼塊の割れなどの解析に対する効用は非常に少ない。

上述のような現況にかんがみ材料学的見地から鑄塊の鍛造性を研究することにした。

II. 試片の製作および実験方法

試料の成分は Table 1 に示すとき Timken 16-25-6 の 10 kg 偏平鑄型 155 mm×430 mm×190 mm (外側の大きさ), 140 mm×145 mm×350 mm (内側の大きさ) に鑄込んだ鑄塊より, それぞれ単一柱状品, 単一粒

Table 1. Composition of the sample (%)

| C | Si | Mn | P | S | Ni | Cr | Mo |
|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|
| 0.15 | 0.95 | 1.94 | 0.024 | 0.026 | 25.57 | 16.22 | 6.00 |

状品および両着の混合組織をもつ 15 mm×15 mm×15 mm の試験片をできる限り近くより切り出して実験に供した。本実験に採用した加工温度は 800°C, 900°C, 1100°C, および 1300°C で柱状晶組織および両者混合組織の試片では, いずれの場合にも柱状晶軸方向を鍛造方向と平行に (以下縦という) した場合と両方向をたがいに垂直に (以下横という) した場合について, それぞれ衝撃圧縮試験ならびに静的圧縮試験をおこない鑄造組織による鍛造性の違いを調べた。衝撃圧縮時の縮み-時間曲線および圧縮力-時間曲線よりの縮み-圧縮力の解析は池島氏¹⁰⁾がおこなった方法であるハンマーに磁石をとりつけ, アンビルにとりつけたコイルの感応電流の強さがハンマー速度に比例する原理を利用した。またハンマーは最小 15.85 kg より最大 120 kg まで可変なように製作した。

衝撃圧縮と静的圧縮を比較する意味で, アムスラーにとりつけた炉の中で静的圧縮試験をおこなった。この場合の応力-歪曲線はアムスラーに備えつけの装置を使用した。

III. 実験結果

加工時間-加工速度曲線の例としてハンマー重量 61.1 kg 落下高さ 1.0 m, 鍛造温度 1100°C の粒状組織を衝撃圧縮した場合を示すと Fig. 1 (a) のようになる。次にこれらの曲線を解析して種々の温度の場合について応力-歪曲線を求めると Fig. 1 (b) のようになる。図より明らかなように加工温度が上昇するにしたがつて最大圧縮応力は小さくなり, 最大圧縮応力値は歪みの大きい方に移行する。次に 800°C の場合の加工度 { $\log(h_0/h)$ } h_0 : 初めの試片の高さ, h : 加工後の試片の高さ} を横

軸に, 加工エネルギーを縦軸にとり粒状品, 柱状晶縦および横試験片を 1.0 m, 1.5 m のハンマー高さで衝撃圧縮加工した場合の関係を示したのが Fig. 2 である。図中, 下の曲線は静的圧縮の場合の加工度, 加工エネルギーの関係を示したものである。

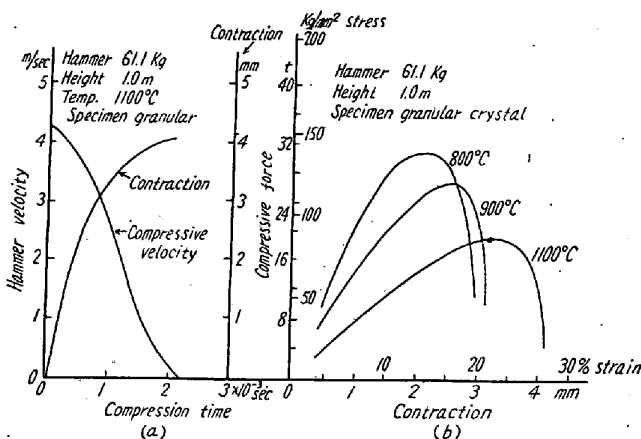
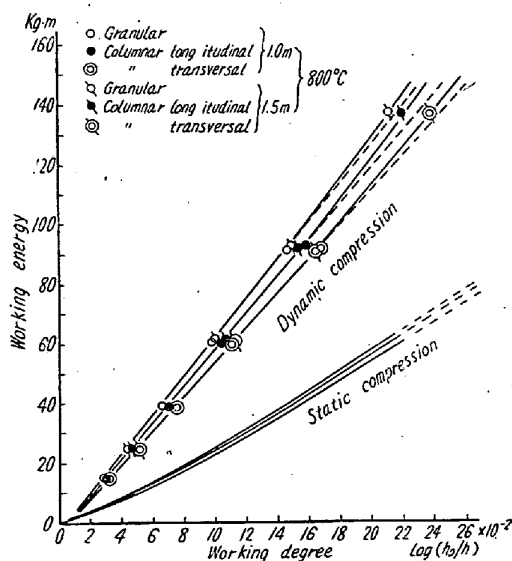


Fig. 1. Example of stress-strain curve.



h_0 : Initial height of the sample
 h : Height of the sample after compression
 Fig. 2. Relation between working energy and working degree at 800°C.

また, 900°C, 1100°C の場合は Fig. 3 に示すごとくである。この加工エネルギー, 加工度の関係より変形抵抗を求めると 800°C, 900°C, 1100°C で, 各試料についての結果が Fig. 4, Fig. 5, にそれぞれ示されている。

これらの図より変形抵抗の大きさは, 自由晶, 柱状晶縦, 柱状晶横の圧縮の順に小さくなっている。またそれらの試料の変形抵抗の大きさの違いは 800°C から 900°C

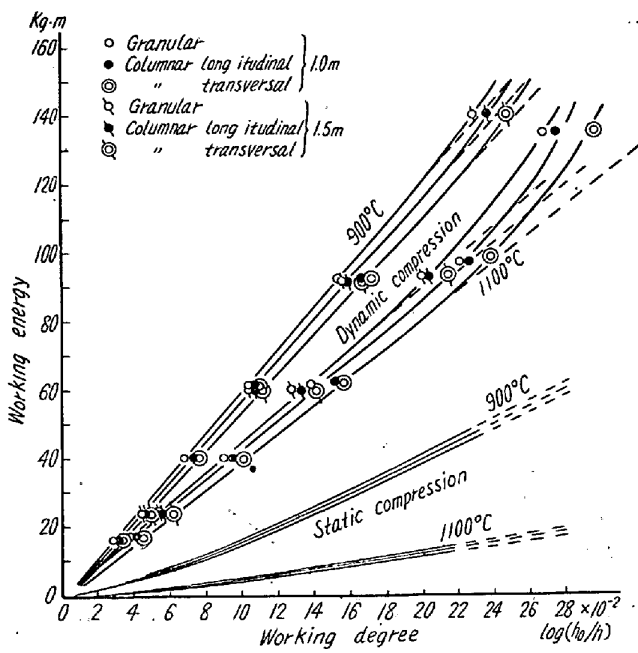


Fig. 3. Relation between working energy and working degree at 900°C and 1100°C.

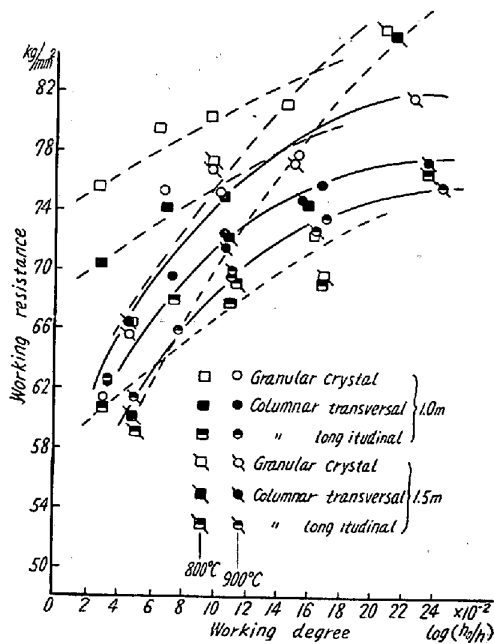


Fig. 4. Relation between working resistance and working degree at 800°C and 900°C.

1100°C, と温度が上昇するにしたがつて漸次小さくなっている。

ハンマーの落下高さが 1m と 1.5m の場合, および静的圧縮というように加工温度による変形抵抗の組織による違いは加工速度が大きくなると大きくなる傾向が認められる。さらに加工度 $\log(h_0/h)$ と加工エネルギーとの関係は鍛造の場合は本実験範囲内ではほぼ直線関係を示している。

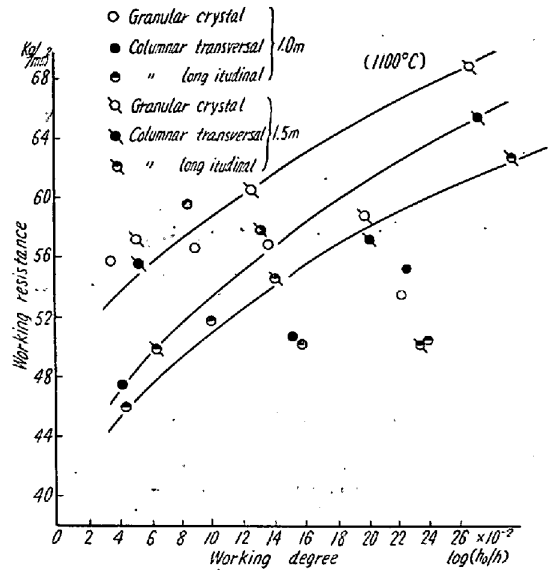


Fig. 5. Relation between working resistance and working degree at 1100°C.

たゞし高加工度になると, 加工エネルギー側に曲る傾向が認められる。

静的圧縮の場合は初期は加工軟化のために加工度側に近よっているが加工度がますますしたがつて直線の傾向を帯びてくる。

次に混合組織の場合につき柱状晶を縦に圧縮した場合と柱状晶を横に圧縮した場合について, 800°C, 900°C, 1100°C の各温度での衝撃圧縮エネルギーと加工度 $\log(h_0/h)$ の関係を示すと Fig. 6 に示すようになる。この関係より変形抵抗と加工度との関係を求めると Fig. 7 のようになる。このように加工エネルギーと加工度はほぼ直線関係にあり, 変形抵抗は混合組織の場合でも柱状晶を横に圧縮した方がわずかながら小さい。

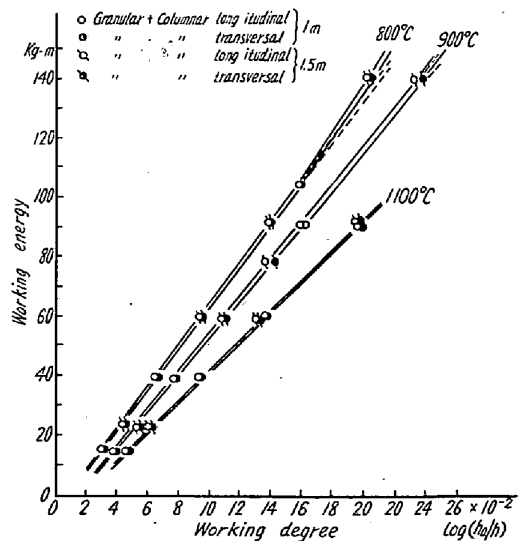


Fig. 6. Relation between working energy and working degree, in the case of a mixed structure sample.

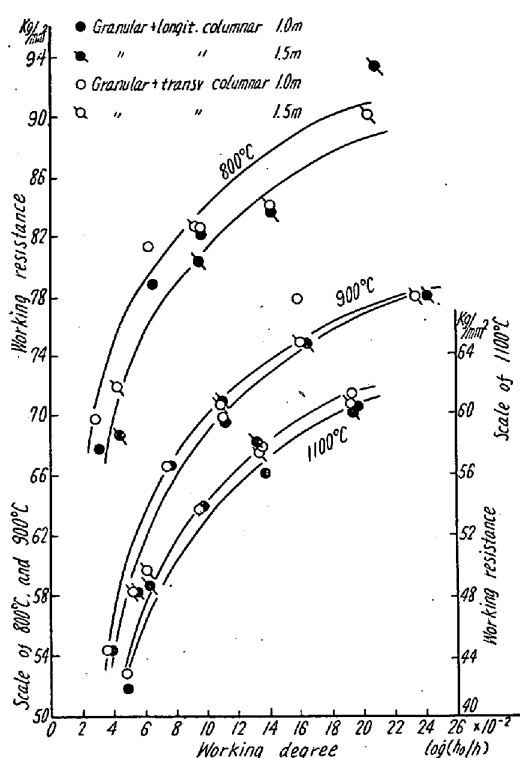


Fig. 7. Relation between working resistance and working degree at 800°C, 900°C and 1100°C, in the case of mixed structures.

柱状晶を横に圧縮した場合について、変形後の柱状晶軸と平行方向の長さ a 、垂直方向の長さ b との比 a/b と加工度 $\log(h_0/h)$ を各加工度について示すと Fig. 8のごとく加工温度の低い程、変形異方性が大きく、温度が高くなる程、異方性は小さくなっている。また加工

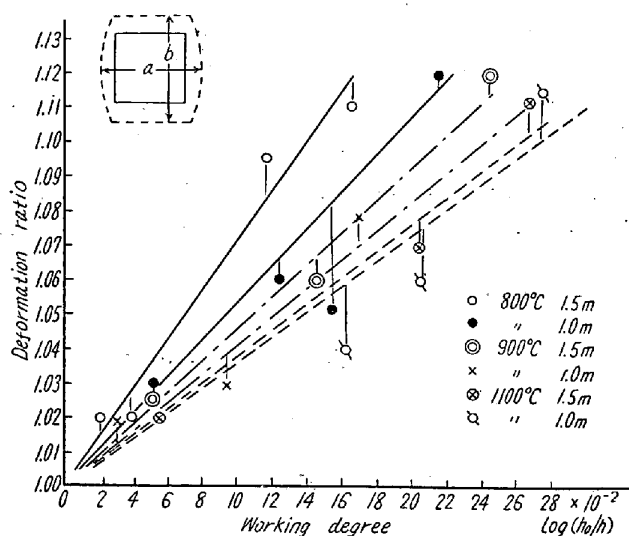


Fig. 8. Relation between deformation ratio (b/a) and working degree in the case of a columnar transversal specimen.

The left above is square sketch. Full line is an initial sample. Dotted line is after working.

速度が速くなる程変形異方性が大きく現われている。

Photo. 1 は柱状晶組織を横に 900°C に鍛造した場合に生じた割れの顕微鏡写真である。また、Photo. 2 は 1100°C で粒状晶を鍛造して生じた割れの顕微鏡写真である。これらの鍛造割れに関する顕微鏡写真の例から分るようにいずれの鍛造温度でも、またいずれの加工組織についても割れは結晶粒界に生じ、粒界に沿って発達しやすい。



Photo. 1. Columnar structure under longitudinal compression at 900°C; compressing direction is vertical to photographic plane. $\times 62(1/2)$

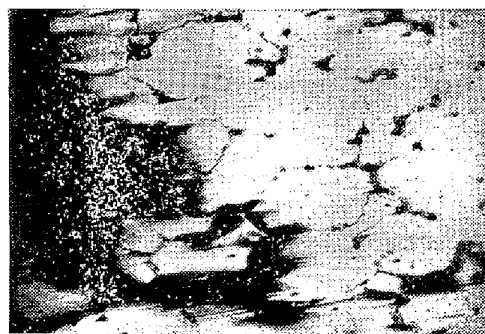


Photo. 2. Granular structure under compression at 1100°C; compressing direction is vertical to photographic plane, $\times 62(1/2)$

IV. 総 括

以上の結果をまとめると次の通りになる。

- (1) 変形抵抗は柱状晶の圧縮加工、柱状晶を横に圧縮加工、柱状晶を縦に圧縮加工した場合の順に漸次小さくなる。
- (2) (1) の変形抵抗の違いは温度が上昇するとともに小さくなる。
- (3) 加工速度が大きくなると (1) の違いは大きくなる。
- (4) 加工度 $\log(h_0/h)$ と加工エネルギーの関係はほぼ直線関係が成立する。静的圧縮の場合は加工軟化の影響のために初期の間は加工度側に曲っている。
- (5) 鍛造割れが発生しやすい順は変形抵抗の大きさの順と関係なく、柱状晶縦、粒状晶、柱状晶横圧縮加工

の順に割れにくくなっている。また衝撃圧縮の方が静的圧縮よりも割れは生じやすい。

(6) 鍛造温度はとくに割れ発生に敏感な因子であり、例えば 1300°C での鍛造では、本実験使用ハンマーの最小荷重 15.85 kg、揚程 50cm で鍛造した場合でさえ割れて了う。

(7) 衝撃圧縮加工と静的圧縮加工の加工エネルギーの比は 800°C で約 1:2, 900°C で 1:3.3, 1100°C で 1:9 となっている。

V. 考 察

衝撃圧縮と静的圧縮の加工エネルギーの違いについて F. Seitz¹¹⁾ は転位が動く場合の放散エネルギーを計算している。それによると

$$S = \sigma a v \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 S : 転位の単位長さについての放散の割合
 σ : 転位を動かすに有効な応力場の分応力
 a : 迂り距離, 原子間距離にほゞひとしい。
 v : 転位の速度, 音速に近い。

試料の初めの温度を Ta , 転位線より R 離れたところの温度をつまみ加工により上昇後の温度を T とし熱伝導度を K とすると, これらの間には,

$$T = (S/2\pi K) \log(R/r) + Ta \dots\dots\dots (2)$$

なる関係がえられる。すなわち,

$$\Delta T = T - Ta = (S/2\pi K) \log(R/r) \dots\dots\dots (3)$$

ΔT は加工による試料の上昇温度, r は転位の中心の内半径である。

(3) 式において衝撃加工と静的加工の場合とを比較して見る。両者の加工により試料内に生ずる転位の数は蓄積エネルギーを実験により求めた結果によりほゞひとしいからその数もほゞひとしいと推定される。また転位の動く速度は¹²⁾

$$\eta \omega (1 - v^2/Co^2)^{1/2} \dots\dots\dots (4)$$

ただし η : 転位の巾, v : 転位の速度

Co : 応力の伝播速度

にて表わされる。(4) 式において η および Co は衝撃加工の場合も静的加工の場合もほゞ同じであると考えられるから, v も両者の場合にほゞひとしいであろう。(1), (3) 式において, 両者の加工においてひとしいと考えられるものは, K , r , R および a である。両者の加工においてことなるのは転位を動かすに必要な有効応力となつてくる。

今, 静的加工の場合は $\sigma = 2 \times 10^9$ dyne, 衝撃加工の場合は $\sigma = 3 \times 10^{10}$ dyne とする。

$$K = \frac{1}{2} \times 10^{-3} \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{sec} \cdot \text{deg}$$

$$= 2.1 \times 10^4 \text{ erg/cm}^2 \cdot \text{sec} \cdot \text{deg}$$

$$v = 10^5 \text{ cm/sec}$$

$$\log(R/r) = 20 \text{ ただし Fe, Ni の中間合金として考える。}$$

と考えると,

$$\text{静的加工の場合 } \Delta T = 160^\circ\text{C}$$

$$\text{衝撃加工の場合 } \Delta T = 240^\circ\text{C}$$

両者の加工による温度差は約 80°C となる。

一方実験よりは Fig. 2 の 30% 加工 $\{\log(h_2/h) = 0.155\}$ での加工エネルギーは

$$\text{静的加工の場合 } 10 \text{ kg m}$$

$$\text{衝撃加工の場合 } 25 \text{ kg m}$$

両者の差は 15 kgm = 32 cal である。試料の比熱は 0.18 で重さは 27 g であるから, 加工エネルギーの差が試料の温度上昇に使用されたとすると約 70°C の温度上昇になる。これは先に求めた ΔT の差が 80°C になるのと比べるとよく似た値となつている。すなわち加工エネルギーの加工速度による差は転位を動かすに有効な応力の違いによつて生ずるものと推論される。組織による加工エネルギーの違い, 割れ発生などについての考察は次報にゆずる。

最後に本実験試料の提供を受けました住友金属株式会社に謝意を表します。本研究の研究費の一部は文部省科学研究費によつています。併せて感謝の意を表します。

(昭. 33—4 月寄稿)

文 献

- 1) M. Manjoine, A. Nadai. ASTM. 40 1940, 822
" " 44 1944, A. 70
- 2) D. W. Ginns. J. Inst. Metal. LXI 1937, 61
- 3) D. S. Clark Dätwyler ASTM. 38 1938, 98
D. S. Clark, D. S. Wood. Trans. ASM. 44 1952, 726
Volg. Stahl u. Eisen 73 1953, 985
- 4) M. Itihara. Rep. Tohoku Imperial univ. Sendai Japan
First report 10 1933, 16
Second report 11 1934, 11
Third report 11 1934, 97
Fourth report 11 1934, 112
5-th report 12 1935 63
9-th report 12 1935, 105
- 5) A. Kochendörfer Z. Metalkd 39 1948, 376

- 6) F. Weber, W. A. Fisher H. Engellrecht,
Stahl. u. Eisen 74 1954, 1521
- 7) Kraft. Sullivan, Tipper Pro. Roy. Soc. A221
1954, 114
- 8) 岡崎登, 小島公平, 中原益次郎: 機械学会 1950,
86
- 9) 中川有三, 奥田聡: 材料試験 5 1956, 21
- 10) 池島俊雄: 住友金属鋼管製造所, 昭 4 (3)p. 157
- 11) F. Seitz, adv, in Phys. 1 1952 43
- 12) J. D. Eshelby, Pro. Roy. Soc. A. 62 1949
307

軸受鋼々塊の欠陥と地疵の関係*

(非金属介在物の研究—IV)

河合正雄**・木村 弘***

THE RELATION BETWEEN THE DEFECTS OF INGOTS AND THE SAND MARKS OF BEARING STEEL

(The study of non-metallic inclusions—IV)

Masao Kawai., Hiroshi Kimura

Synopsis:-

In the forth report, the authors studied the defects of the surface of ingot section, and examined whether these defects had connection with sand marks of the steel rod or not.

The results are briefly summarized as follows:

- (1) Ingot defects are not changed by soaking, but analytical sands amount are changed.
- (2) Generally, the part of chill crystals and columnar crystals of ingots have few defects, but free crystals on outside have many large defects, and there are many small defects in inner free crystals. These defects are the non-metallic inclusions. There are many cavities in the center of the ingot, of which length is long and diameter is small.
- (3) The clearness of ingot is not always proportional to the number of sand marks of the steel rod.
- (4) There are some large non-metallic inclusions in the free crystal on outside of ingots and these defects are elongated in the course of rolling and grow up as sand marks of the steel rod.

I. 緒 言

軸受鋼材に現われる地疵の原因は、第1報¹⁾において一部論及したごとく鋼塊に内蔵されている欠陥である。しかして鋼材の地疵となる鋼塊における欠陥として考えられるものは、非金属介在物、気泡、ピンホール、空孔および強い局部偏析(かなり明瞭な境界および濃度差のある偏析)などであり、また鋼材の地疵はすべての切削面に大小、多少の差はあるけれども必ず現出する頻度のものであるから、鋼塊における欠陥中で相当頻度の高いもの、すなわち実際には鋼塊のいかなる切断面にも現われる頻度をもつ欠陥でなければならないと考えられるので、鋼塊の一部分を切断研磨して顕微鏡検査、超音波試

験、清浄度などを調査して、鋼塊と地疵との関係を求めた。

II. 鋼塊切断面における欠陥の顕微鏡 的検査とサンド分析

(1) 試料採取方法

下注法による 250 kg 軸受鋼塊の中心より縦に2つに切断して、一方は 1200°C で 5h ソーキングし、他方はその儘の状態 で Fig. 1 のごとくそれぞれ頭部、中部、

* 昭和 32 年 10 月本会講演大会にて発表

** 大阪府立大学工学部教授 工博

*** 大阪府立大学工学部金属工学科