

- 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

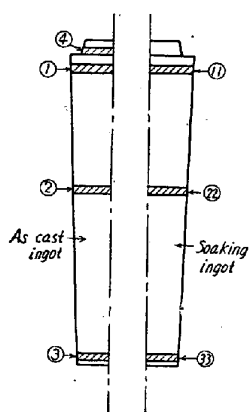


Fig. 1. Sampling method for the inspection of defects in 250 kg ingot.

底部より巾約 20 mm の試験片を切り出し、ソーキングしたものゝ試料番号を頭部、中部、底部によりそれぞれ①①、②②、③③とし、その儘の状態のものはそれぞれ①、②、③および押湯部のものを④とした。

(2)欠陥とサンド分析
試料は焼入れた後研磨紙で 0000 番まで仕上げ、次に酸化クローム粉の研磨粉を使つてバフ研磨し、洗滌乾燥してから、できるだけ速かに 100 倍または 600 倍で全面にわたり全欠陥について詳細に検鏡した。次にその面より約 1 mm だけグラインダーで落した面について、前回と同様な検鏡することを 5 回繰返した。すなわち試料①①、②②、③③、①、②、③、④についておのおの 5 面づつ、計 35 面について詳細に検鏡したが、ソーキングした試料と鋼塊その儘のものとは検鏡的には差異を認めず、すなわちソーキングによつて鋼塊の欠陥の形状は顕微鏡的には変化をしないことが明らかとなつた。

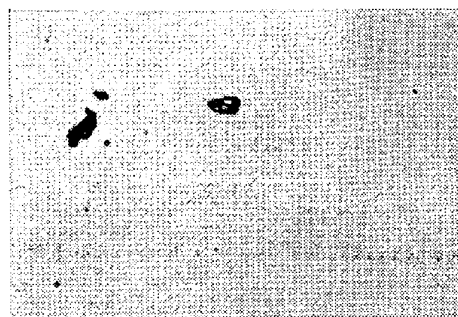
250 kg 鋼塊のチル晶部の厚さはおよそ 2~3 mm であつて、柱状晶部は約 15 mm である。検鏡によると鋼塊の欠陥はほとんどすべて非金属介在物であつて、チル晶部、柱状晶部には少く、形も小さい。またこの実験ではチル晶部、柱状晶部に気泡、ピンホールは見当らなかつた。

(この項ではとくに断りのない限り 35 被検面についてまたその平均的性質について述べる。)

Photo. 1 は鋼塊頭部側の外周 (外より 2~3 mm の距離の所) 部に現われた、この箇所のものとしては非常に大きな非金属介在物の一例である。

Photo. 1 に見られるごとく、このチル晶部附近の地は美麗である。また非金属介在物の形はやゝ角張つた形であること、チル晶部附近でこの程度の大きさの非金属介在物は本実験ではこれのみで他になかつたような発生頻度の稀であること、およびこの介在物より内側の地は美麗であることまた凝固速度の早いことなどより、この非金属介在物は鑄込みの際のマクレ込みがチル晶部附近でそのまま凝固したものであらうと考えられる。

次に鋼塊頭部側の中心部自由晶の始まる、すなわち外より 20~25 mm の距離にある非金属介在物は Photo. 2 のごとく、その形はやゝ大型で球形を呈し頻度も高く



Outer side of the ingot ← Inner side of the ingot →
Photo. 1. Non metallic inclusion at the top of 250 kg ingot which distance is 2~3mm from outer side. (~30×50μ large) ×100 (2/3)

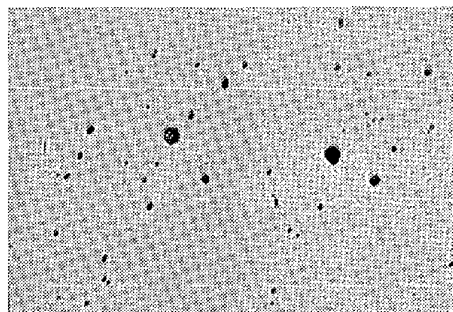


Photo. 2. Non metallic inclusions at the top of an ingot which is 20~25 mm distant from outer side. (~30×30μ large) ×100 (2/3)

地はやゝ汚い。

この付近の非金属介在物は、その形の大きいこと、偶然でない程度にかなりの高い頻度であること、球形をなすこと等より考えてこの箇所でも成長肥大したものであらうと考えられる。すなわち内部自由晶の始まる付近は、柱状晶部分におけるほどの温度勾配はないが、なおある程度の温度勾配を持ち、またこの付近では先行凝固した柱状晶の末端を核として樹枝状晶が発達する。この樹枝状晶は比較的融点の高い、純度の高いものであるが、樹枝状晶間にある溶湯は、それとは反対に融点の比較的に低い。不純なものをより多く偏析濃化しているので、したがつてこの溶湯中の非金属介在物は成長し肥大する。ゆえにその形状は他の箇所のものに比べて大きくかつ球形をなすものと考えられる。温度勾配の余りないかなり中心に近い箇所、すなわち鋼塊の頭部側で外側より 40~45 mm 付近 (鋼塊頭部半径の約半分) の非金属介在物は、Photo. 3 のごとくやゝ角張つた形でその大きさもやゝ小さい。しかしてまたこの付近の欠陥も非金属介在物のみであつて、鋼塊中心部におけるごとき空孔は見当らない。

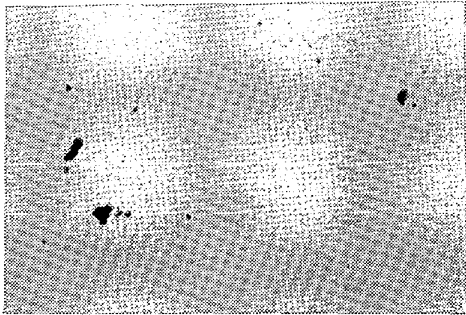


Photo. 3. Non-metallic inclusions at the top of ingot, which is 40~45mm distant (about 1/2 radius of ingot in this top side) from outer side. (~15×50 μ ; 25×25 μ large) ×100 (2/3)

この外周より約 1/2(鋼塊半径)付近は温度勾配もかなり少ない状態で自由晶凝固が始まるが、この時は溶湯中の非金属介在物を恰好の結晶核として求めこれを中心に結晶し始める。ゆえに溶湯中に浮遊していた介在物は、そのまま凝固体の中にとじ込められて成長せず、また偏析した溶湯中で凝固過程に新しく生成された非金属介在物はその成長時間が全体として比較的の短いためにその形も小さいものと考えられる。

それから中心にいたるにしたがつて非金属介在物の形状も次第に球形から遠ざかった色々な形を呈するものとなり、中心から 1/3(半径)の付近になると空孔がところどころに見られ、中心部には肉眼で見える程度の大きい空孔がある。その一例を Photo. 4 に示す。

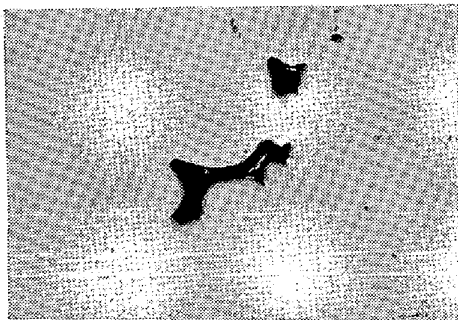


Photo. 4. Cavity at the top and center of the ingot. (230×30 μ large) ×100 (2/3)

これは中心部湯不足による空孔であり、中心部二次パイプの雛型である。

第Ⅲ報²⁾Ⅱにおいてのべたごとく、押湯部の圧延材には鋼塊本体の鋼材とは確然と境界をなして前者に多数の地疵が現われるので、鑄込状態の押湯部(試料番号④)の非金属介在物、気泡、空孔等の欠陥について調査したが、鋼塊本体部とは比較にならぬ程度の非常に大きい非金属介在物が全面に多数見られた。その一例を Photo. 5 に示す。

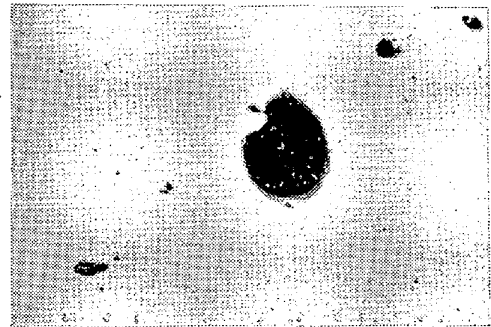


Photo. 5. Non-metallic inclusions at the shrinkage head near ingot itself. (150×130 μ large) ×100 (2/3)

Photo. 5 の欠陥は非常に大きいため内部の介在物は脱落していたが、100 倍の顕微鏡下で約 0.5~1mm 厚みの、すなわち 5~10 μ 厚さの非金属介在物がこの欠陥の外周に一様に付着していたので、この欠陥は最初には非金属介在物が充満していたものであろう。

また浮板を使用せずに鑄込んだ下注鋼塊より圧延した鋼材には浮板を使用した場合のものより明かに地疵の多いことが経験されている。ゆえに鋼塊における両者の欠陥を比較調査したが、浮板なしの鋼塊には柱状晶部に存在する角張った形の非金属介在物が、浮板を使用した鋼塊におけるよりもやゝ多く、またその大きさも大きい。その一例を Photo. 6 に示す。

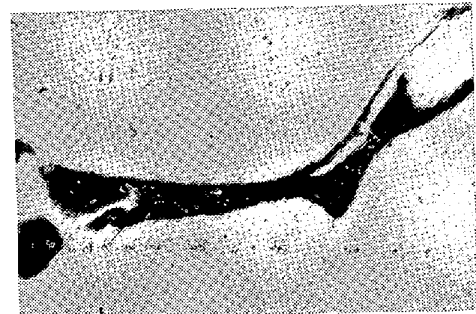


Photo. 6. Large non-metallic inclusions. It is inspected at the spot 4~5mm distant from outside of the ingot in case of floating wood being not used. (~100×8 μ large) ×100 (2/3)

これは柱状晶部にある非金属介在物としては異状に大型で、写真において見られるごとく介在物の中に金属部を挟み、その形状は鑄込みの際のスカムのマクレ込みの急冷によるとじ込めと言った感じを与えるものである。

次に鋼塊の上部、中部、底部の内外のサンド分析を試料①、②、③および①、②、③の外側部{すなわち 1/10×(鋼塊のその場所の直径)mm の外側部}と、中心部、{すなわち 2/10×(鋼塊のその場所の直径)mm の中心部}よりそれぞれ分析試料を採取し温硫酸法によりサンド分析をした。その結果を Table 1 に示す。

Table 1. Sand analysis of ingot, one is as-cast ingot, another is soaking ingot.

Sample position	Sample No.	Soaking	Total sand %	Chemical analysis of sand %				
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	Cr ₂ O ₃
Top Center	① ⑪	None Soaking	0.0099	9.90	83.20	4.32	0.49	1.98
			0.0092	7.25	87.50	2.90	0.44	1.02
Top Outside	① ⑪	None Soaking	0.0082	13.80	82.36	1.88	0.37	1.50
			0.0087	9.85	83.70	2.62	0.34	0.99
Middle Center	② ⑫	None Soaking	0.0138	8.26	85.90	3.08	0.38	2.64
			0.0102	11.75	85.15	1.22	0.47	1.53
Middle Outside	② ⑫	None Soaking	0.0125	12.20	82.22	3.57	0.65	1.38
			0.0090	7.78	83.90	1.00	0.89	0.45
Bottom Center	③ ⑬	None Soaking	0.0108	11.10	85.95	1.11	0.40	1.11
			0.0095	4.71	91.00	2.94	0.94	1.41
Bottom Outside	③ ⑬	None Soaking	0.0152	30.52	66.70	1.14	0.31	0.61
			0.0109	11.70	84.50	2.39	0.65	1.43

ソーキングしたものとしなないものとの全サンド量を比較すると頭部外側 (Table 1 試料位置上より2ツ目) を除いてその他はすべてソーキングしたもののほど少ない。サンド組成の中で SiO₂ は中部中心 (Table 1 試料位置上から3ツ目) 以外のものはソーキングしないものの方が高い%を示し, Al₂O₃ は中部中心のもの以外はソーキングしないものの方が低い%である。

以上のごとくソーキングによるサンド量およびその組成の変化の仕方はほど一定の傾向を示している。ソーキングしたがって一般に加熱により非金属介在物は多少変化するけれども、これは地疵の原因として考えた非金属介在物に重大なる変化をもたらすものとは考えられない。

III. 鋼塊の超音波試験とヘール仕上げした鋼塊表面の検査

250 kg 下注軸受鋼塊の押湯部を切り取って鋼塊本体を上(押湯側)下(底部側)の横真二つに切断して、5メガサイクルの超音波で縦方向にそれぞれ中心部と外周部を検査した結果、押湯側の中心部は欠陥が多く底面反射が現われない。しかるにこの外周部の波形は底面反射のみが現われその他に波形のみだれがない。また底部側の中心部は波形のみだれがかなり多くあるが、底面反射もわかる程度であり、押湯側のものに比べると欠陥波は少ないがなお多くの欠陥のあることが認められる。この底部側外周部は欠陥波の現われないものであることは前者外周部と同様である。すなわち超音波試験によると 250 kg 鋼塊の中心部には多数の欠陥——前述 (I) の顕微鏡試験

とこの超音波試験とよりこの欠陥は鋼塊の空孔と見做される——があるが、外周部には少くとも集中したピンホール、気泡はない。しかして中心部の欠陥 (空孔) は頭部押湯側に到る程多くなっている。

鋼塊 (250 kg, 150 kg) の外周部のピンホールを調査するために約半年間の溶解について下注鋳込定盤位置が注入管から最も近い鋼塊と、最も遠いものそれぞれ1本ずつ選び計2本を約500溶解について調べた。調査方法は鋼塊を片面で約4mmすなわち直径で7~8mm皮削りした後ヘールバイトで削り面を仕上げ肉眼でピンホールを検査したが、ピンホールのない鋼塊が多く、ピンホールの多いもので数個、全体の平均で1鋼塊全表面につき1個以下であった。

超音波試験でも鋼塊の外周部には集中したピンホールのないことが明かである。ゆえに地疵の主原因をピンホールとするにはその頻度が余りにも低い。また鋼塊の中心部にはかなり大型の空孔が多数にある。しかるに圧延鋼材の中心部には長い地疵がない (第I報のIIの Table 1, Table 2 参照) ゆえに空孔は圧延によつて圧着し疵とならないものと考えられる。またこのことから内面に酸化物のない単純ピンホールは圧着し疵とならないものと考えてよい。

IV. 鋼塊の清浄度と地疵との関係

点算法により Fig. 1 の①②③および④の試料の外周部より10mm間隔で非金属介在物の清浄度を求めた結果を Fig. 2 に示す。

鋼塊の清浄度はいずれの部位のものも最外周が最も良

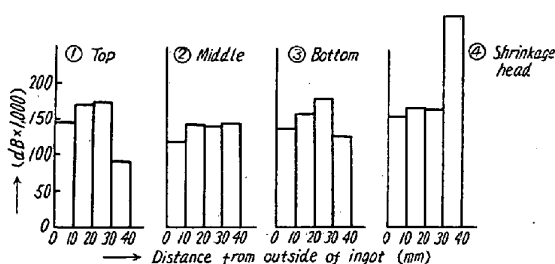


Fig. 2. Purity of the 250kg ingot surface.

好であり、外周より 30mm に到るまでのところでは内部に行くほど清浄度が多少悪くなっているが、いちじるしい差がない。一般に地疵検査において地疵成績は鋼材の皮削りの厚みが少いほど悪いと経験されている。第Ⅱ報²⁾ I Table 1, Table 2 の試験成績においてもこのような傾向がみられる。また一般に鋼塊皮削りその他、加熱の際の酸化損耗は鋼塊において清浄度に余り差異のないところのこの外周 30mm 内のことであるから清浄度の良否は地疵の原因に対し第一義的な意味をもっていない。とくに押湯部(試料④)の清浄度は他のものに比べて少し悪い程度であるにもかかわらずそれ等の地疵数の間には確然たる差異がある。(第Ⅱ報²⁾ I Fig. 1 参照) 以上のことから地疵の原因となる非金属介在物はその数、総量等が余り問題でなくしてその個々の大きさが問題であり、圧延に際してその伸び方また引きちぎれる時はその配列方法が問題であると解される。

V. 非金属介在物の体積と地疵の長さとの関係

鋼材の横断面(圧延方向に直角の断面)における非金属介在物はすべて Photo. 7 のごとくほぼ円形を呈している。

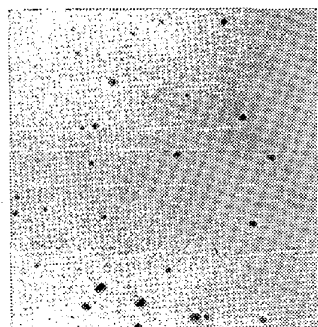


Photo. 7. Non-metallic inclusions at longitudinal section of bar. $\times 100$ (2/3)

したがって圧延により変形した非金属介在物の形は大体において連続または不連続の円筒形と見做してもよい。今鋼塊の球形非金属介在物が圧延により変形して円筒形となり、これが地疵になるものと仮定する。

一般に正常な肉眼の分解能は 25cm の距離で約 0.1mm

(100 μ) であるといわれるが、第Ⅲ報²⁾, IV Photo. 3 の地疵の直径は平均約 10 μ と測定される。しかもこの疵は切削面その儘の状態で見出されたものである。(切削の際に第Ⅲ報²⁾ IV Photo. 1 のごとく疵の中にある非金属介在物が流れ出てその巾を広く見せるために実際の疵巾のせまいものも肉眼で見えるようになる)。また鋼塊の内部自由晶部外側には Photo. 2 のごとく直径 30 μ 位の非金属介在物が多数ある。これが今直径 10 μ の円筒形の地疵になつたものと仮定すると

$$(\text{非金属介在物の体積}) = 4/3 \cdot \pi \cdot (15)^3$$

$$(\text{地疵の体積}) = \pi \cdot (5)^2 \cdot l \mu^3 \quad l: \text{地疵の長さ}(\mu)$$

$$\therefore l = 180 \mu = 0.18 \text{mm}$$

すなわち鋼塊の内部自由晶の外側に多数見受けられる非金属介在物は 0.18mm の地疵に変化することができる。この場合の圧延比は約 6 でありそれ以上にのびる時は巾が狭くなりこの地疵は肉眼で見えなくなることもあり得る。換言すると地疵が消える。

(実際には切削条件により介在物の流れ方がことなるために本当の疵の巾のみでは云々できながいこの計算は一応の目安を与えるものである。)

VI. 結 言

以上を要約すれば次のごとし。

- (1) ソーキングによつて鋼塊の欠陥は変形しない。しかしながらソーキングすると分析サント量は変化する。
- (2) 一般に鋼塊のチル晶部・柱状晶部は欠陥が少く、外側自由晶部に大きい欠陥があり、内側自由晶部の欠陥は形が小さい。しかしそれらの欠陥はすべて非金属介在物である。また細長い鋼塊の中心部には空孔が多数ある。
- (3) 鋼塊の清浄度と鋼材の地疵とは必ずしも比例しない。
- (4) 鋼塊の外側に近い自由晶部に普通にある非金属介在物は圧延により十分地疵となり得る大きさである。

(昭. 33—3 月寄稿)

文 献

- 1) 河合正雄, 木村 弘: 鉄と鋼, 44 (1958) No. 6
- 2) 河合正雄, 木村 弘: 鉄と鋼, 44 (1958) No. 7
- 3) 河合正雄, 木村 弘: 鉄と鋼, 44 (1958) No. 8