



Photo. 2. Sulphur print of feeder head of 6t ingot.

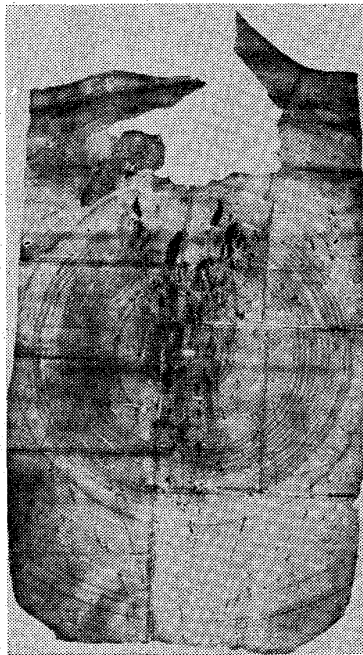


Photo. 3. Sulphur print of feeder head of 33t ingot. (Forge ratio: 2.1)

Table 1. Analyses of sulphur print.

	C (%)	P (%)	S (%)
Ladle	0.27	0.016	0.007
Pock mark segregation	0.54	0.102	0.126
Top segregated zone ①	0.46	0.024	0.017
②	0.46	0.026	0.027

固が全般に早く、凝固先端の凝固速度が A 偏析の発生上部限界 0.1m/hr 以下になり得ないため、A 偏析を生じることがないと考えられる。しかるに砂型鋼塊では小型でも前述のように横凝固速度が著しく低下するので当然 A 偏析が発生するはずである。一般に砂型鑄物では鑄物の表面下 50~60mm 程度付近にいわゆる長い streak 状の A 偏析とはやや様相を異にするが、A 偏析の萌芽とも考えられる凝固中心に向つてやや傾いた上向のカスリ状の偏析帯を認め、場合によつてはこの偏析は金型同様に明瞭な streak を示す場合も多々見受けられる。また砂型の寸法の大なる場合はこの偏析帯は内部に入るにしたがつて次第に消失し、さらに中心近くになつて再び現

われる場合もあるが、後者が明瞭に現出する場合は少なく、不明瞭なまま V 偏析帯に移行する。

#### 4. 押湯部における偏析

押湯部における偏析は多くの文献に見られるように、主として頂部における C, P, S などの偏析成分に富化された頂部偏析帯と A 偏析痕を主体とするが、頭部加熱あるいは保温法を変化した場合、Photo. 2 の 6t 鋼塊、Photo. 3 の 33t 鋼塊の押湯部の sulphur print などに見られるような頂部偏析帯に加えて極めて偏析の著しい塊状またはアバタ状の偏析（以下これをアバタ状偏析と仮称する）が認められる。Table 1 に Photo. 3 のアバタ状偏析部およびその周辺の分析値をこの鋼塊の取鍋分析値と対比して示すが、いかにアバタ状偏析部に多量の不純物を含むか明瞭である。

これらのアバタ状偏析の成因は V 偏析の成因と密接に関連すると考えられるので後報の V 偏析の項に譲りたい。

#### 5. 結 言

本報では第 1 報に次で砂型の凝固式を誘導し金型と同形式の凝固式となることを示した。さらに偏析の状態も金型の場合と同様 A および V 偏析の発生が見られ、特に A 偏析の生成の条件は金型の場合と同じく凝固端の凝固速度に支配されることを示した。また金型鋼塊の押湯部においてアバタ状偏析の存在することを示した。

#### 文 献

- 1) NCHWORINOFF: Giesserei, 10 (1940), p. 177
- 2) ABCOUWER: Presented at A. F. S. International Foundry Congress in 1952
- 3) Robert WLODAWER: Die gelenkte Erstarrung von Stahlguß, p. 3~4, [Giesserei-Verlag GMBH/Düsseldorf]

### (70) A 偏析の生成に関する基礎実験

(大型鍛造用鋼塊の凝固ならびに偏析に関する考察—III)

三菱製鋼, 長崎製鋼所 田代晃一・荒木良平  
○芳賀三千億・轟木 透・大賀栄次

#### The Model Experiment Connected with the Formation of A Segregation.

(Study on the solidification and segregation of large steel ingot for forging—III)

Kōichi TASHIRO, Ryōhei ARAKI, Michio HAGA,  
Tōru TODOROKI and Eiji ŌGA.

#### 1. 結 言

第 I 報および第 II 報で金型と砂型とによる凝固と、これに伴つて生じる偏析について述べたが、これらを総括して鋼塊に発生する諸種の偏析を大別すれば次の通りである。すなわち

- (1) A 偏析帯における streak 状あるいはカスリ状
- (2) V 偏析
- (3) アバタ状偏析
- (4) 頂部偏析帯

この他に、上述の正偏析とは逆の、一般に沈殿晶とし

て説明されているいわゆる逆偏析の現象もある。

本報告においてはこれら諸偏析の生成に関連した基礎実験の概要と、特に A 偏析の成因についての基本的問題を採り上げて報告することとする。

## 2. A 偏析の成因に関する考察

A 偏析の成因に関しては種々の考察がなされているが、いずれも確定的な説明とは言い難い。これは何故に A 偏析が streak 化されて鋼塊内に固定されるのかという問題に対して、明解な説明がなされていないからに他ならない。

筆者らはアバタ状偏析あるいは A 偏析が浮力と界面張力などによる自然な現象に基くものであるという想定のもとに、その成因を推定すれば、鋼塊の偏析現象の多くを無理なく説明できると考えた。

すなわち凝固過程においては、凝固前面に生じた偏析層は、それより内部の母液への拡散が不十分のために母液との間に濃度差を生じ、母液とあたかも別層のごとき状態になり得るであろう。しかしてこの際両者間にはかなり大きな比重差を伴つてくると同時に S, C などの濃化により偏析層の表面張力が減少するので母液との間に界面張力が生じてくることも考えられる。この 2 つの主因によつて偏析層はあたかも水と油の場合のごとき分離作用によつて母液内を streak 状 (またはカスリ状) あるいは粒状 (V 偏析およびアバタ状偏析の成因に関連する現象) となつて浮上するものであり、一つのごく自然な現象であると考えた。かかる想定を間接的に実証するために、パラフィン油、および洗剤添加の水と油による模擬実験を行ないその条件を求めてみた。

## 3. パラフィンと油による Streak 化の実験

### 3.1 実験方法

#### 3.1.1 供試材

表面張力が互いに近似しているパラフィンとモビール油を使用した。パラフィンは観察に便ならしめるために、黒色グリースを 1% 混合した。パラフィンとモビール油の比重および表面張力は Table 1 に示すがその測定はいずれも毛管法によつた。なお実験温度は 50°C ~ 55°C であるが、その温度ではパラフィンは完全な熔融状態ではないので表面張力の測定ができず表示の温度での値の比較をとつた。

#### 3.1.2 実験要領

厚さ 0.5mm の鋼板製の容器 (縦 120mm, 横 20mm, 高さ 12mm) に黒色グリースを 1% 混合して熔融したパラフィンを流し込んで固めた後、それを、モビール油を 8 分通り入れた角型のガラス槽の底面に対し垂直に置いた場合と、平行に置いた場合とで、温油を上昇してパラフィンが、その融点付近で streak 化する状況の変化を観察した。

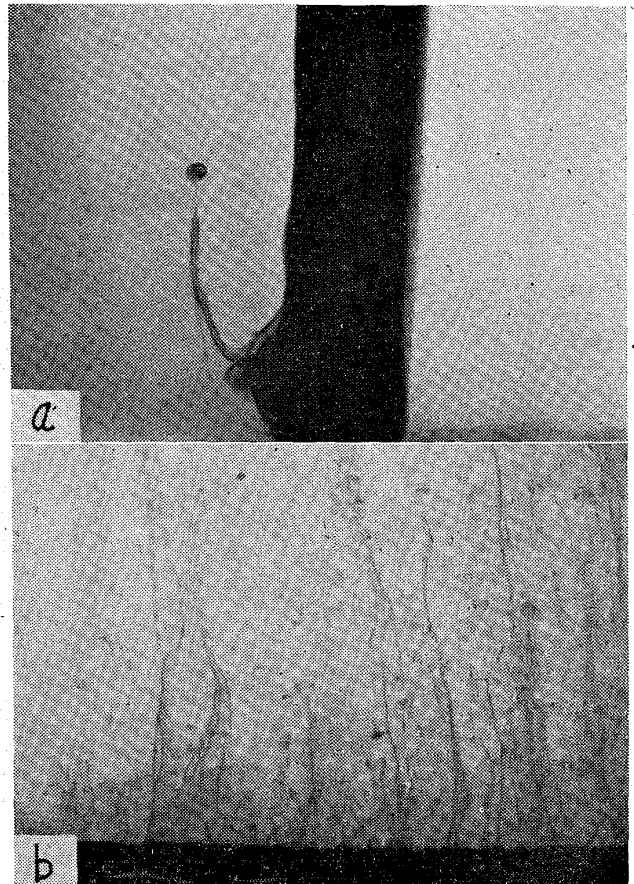
### 3.2 実験結果

#### 3.2.1 鋼板製容器を垂直に置いた場合

油温が約 50°C になると、パラフィン面の表層が熔融軟化し比重差のために軟化層は下降し、漸次その厚さを増しながら遂には乳頭状の突起を形成するに至る。温度がさらに上昇するにつれて熔融パラフィンの比重はさらに減少してゆき油の比重より小さくなれば、浮力と界面張力のために乳頭状の突起を起点として streak 状とな

Table 1. Surface tension and specific gravity of oil and paraffin.

Substance	Surface tension (dyne/cm)	Sp. Gr.	Temperature (°C)
Paraffin (with black grease)	24.0	0.908	Room temp. 72.5 74.5
	24.9	0.781	
		0.780	
Mobile oil	24.9	0.876	66.0
	24.9	0.874	71.0



a. Perpendicular to the base  
b. Parallel to the base

Photo. 1. Model experiment with paraffin and oil.

つて上昇する。(Photo. 1-a 参照)

3.2.2 鋼板製容器をガラス槽の底に平行に置いた場合  
油温が約 50°C になると前項の場合と同様、パラフィン面の表層は軟化し始め、漸次温度の上昇につれて表層全面に無数の小突起を形成し、遂にはそれらの小突起を起点として多数の streak が浮上するのを認めた。(Photo. 1-b 参照)

## 4. 洗剤添加の水とモビール油による実験

### 4.1 実験方法

#### 4.1.1 供試材

モビール油: 比重 0.868 (24°C),

表面張力 27.7 dyne/cm (28°C)

水: 表面張力 68.5 (15°C)

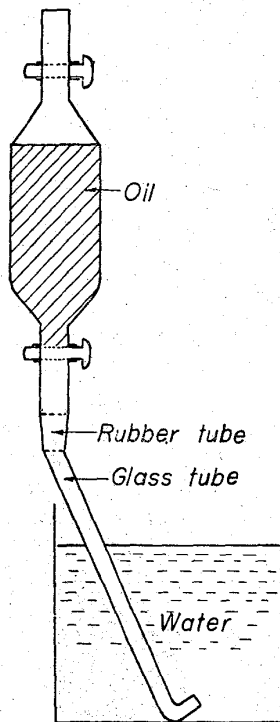


Fig. 1. Sketch of the apparatus.

市販の液状洗剤（アルキルベンゼンスルホン酸系）

#### 4.1.2 装置

ガス吸尿管にモビール油を入れ、その先端に内径約5 mmのガラス管を連結して、それを水を入れたガラス槽の底に浸漬し、油をガラス管の先端を径て底部から浮上できるようにし、また吸尿管のコックの操作により油の供給速度を自在に変え得るようにした。装置の概要はFig. 1に示す。

#### 4.2 実験要領ならびに結果

油の種々の供給速度の場合で、洗剤を水に添加しながら浮上する油が球状となつたり streak になつたりする条件をいろいろ求めたが、要約すると次の通りである。（各項とも括弧内数字は実験数値の一例を示す。）

##### 4.2.1 油の供給速度を固定した場合 (21cc/min)

まづ水単味では、油は大球となつて浮上するが、洗剤添加量が増すにつれて小球化し、水の表面張力が油のそれに接近すると、(水の表面張力 28.0 dyne/cm) 油は球から streak に変わる。(Photo. 2-a, b参照)

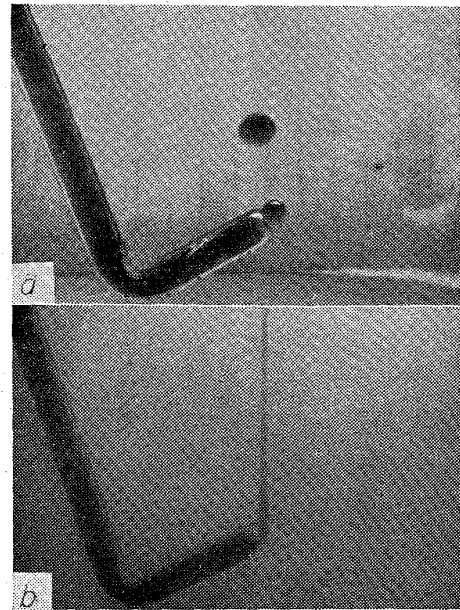
##### 4.2.2 水の表面張力を固定した場合

洗剤添加により水の表面張力をある値 (31.0 dyne/cm) にした場合、油の供給速度を変えることにより油は球状 (油の供給速度 34cc/min 以下) になつたりあるいは streak 状 (油の供給速度 34cc/min 以上) になつたりする。(Photo. 3-a, b参照)

### 5. 考察ならびに総括

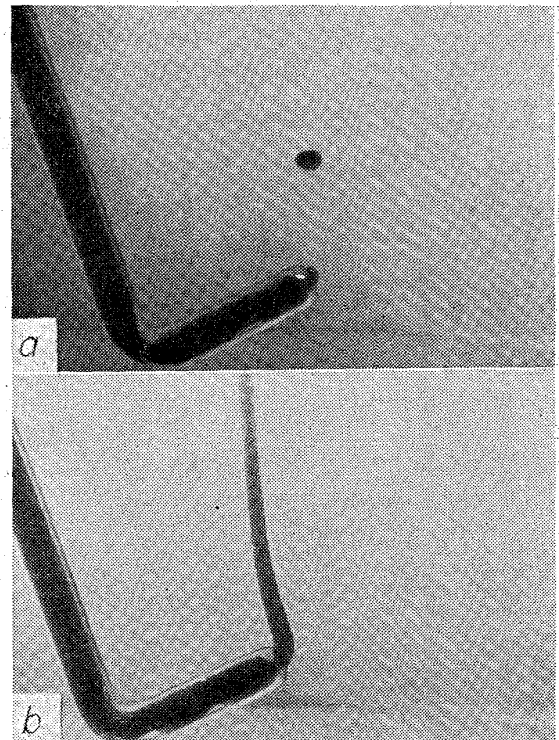
偏析層が浮力および界面張力による自然現象で streak 状あるいは粒状となつて浮上するのではないかという想定のもとに、パラフィン類および水-油による模擬実験を行なつたが、以下この実験から 2, 3 の考察を行なうこととする。

(1) 浮上層が側面から浮上する場合と底面から浮上



a. Water only (at 15°C)  
b. Surface tension of water: 28.0 dyne/cm

Photo. 2. Model experiment with water and oil. (at the constant rate of oil feeding)



a. Feeding rate of oil < 31 cc/min  
b. Feeding rate of oil > 31 cc/min

Photo. 3. Model experiment with water and oil. (surface tension of water: 31 dyne/cm)

する場合とを比較すると、後者の場合が浮上に対する抵抗が小さいので浮上が容易となり、浮上に際して起点となる突起の数も前者に較べ後の方が遥かに多いものと考えられる。(Photo. 1-a, b参照)

(2) 母液と浮上層との間に表面張力の差がわずかな場合は、浮上突起点への供給量のコントロールによつて容易に粒状あるいは streak 状に変え得る。(Photo. 3-a, b 参照)

このことは側面からと底面からとの浮上を考えた場合、両者の表面張力の差が小さく、かつ浮上層の絶体量がほぼ等しいとすれば、突起数の少ないと考えられる側面からの1突起単位当りの浮上量は多く、したがつて容易に streak 化し、反対に底面からは1突起単位当りの浮上量が少ないので粒状化しやすいであろう。

(3) 若し浮上のための突起数が等しく、したがつて単位当りの浮上量が変らないとした場合、母液と浮上層との表面張力の差が側面で僅少で底面が大きい場合には(この条件はモデル実験にはあてはまらないが)前者は streak 状に、後者は粒状になり得ることも考えられる。なおここでは両液の表面張力の差をすなわち界面張力と解釈するのは正しくないが、液相間の界面張力を正しく判定するのは困難であるので、一応近似的に両液の表面張力差の大小が、両液間の界面張力の大小と仮定して考察を行なつた。

以上の考察から鋼の偏析の成因を類推するに、(2)項の現象が主として関連があるようである。しかして前述のごとく側面からの streak 化が A 偏析の成因に、また底面からの粒状化が V 偏析およびアバタ状偏析の成因に関連するものと思われ、このことについての考察は爾後の報告に譲ることとする。

### (71) A 偏析の成因について

(大型鍛造用鋼塊の凝固ならびに偏析に関する考察—IV)

三菱製鋼, 長崎製鋼所 田代晃一・荒木良平

○芳賀三千億・轟木 透・大賀栄次

#### On the Formation of A-Segregation.

(Study on the solidification and segregation of large steel ingot for forging—IV)

Koichi TOSHIRO, Ryōhei ARAKI, Michio HAGA, Tōru TODOROKI and Eiji ŌGA.

#### 1. 緒 言

A および V 偏析の成因に関しては、すでに内外で多くの文献が見られるが、国内では比較的最近河合<sup>1)</sup> および守川, 小野寺ら<sup>2)</sup> によつて詳しい論文が報告されている。

筆者らは第 III 報においてパラフィン類および洗剤添加の水-油系を例に採り、浮上層が streak 化あるいは粒状化するの、いずれも界面張力、浮力および浮上層の供給量などによる自然現象であることから、A 偏析の成因もこれらの現象に関連するものであることを推測したが、以下、いかにして鋼塊中で A 偏析が生成しさらに凝固鋼塊中に固定されるかについて考察を進めてゆくことにする。

#### 2. 鋼塊の A 偏析の生成機構

鋼塊が凝固する際は、固相および液相間には安全な拡散時間が与えられないので、両相間には擬似的な平衡を保ちつつ凝固が進行することは周知である。すなわち、

まず凝固の初期では、鑄型のチル作用によつてこれに接する溶鋼は急冷を受け過冷状態になるので、一時に多数の結晶核を生じ、短時間内に凝固を完了しほぼ母液と同一成分のチル層を形成する。しかるに凝固速度が減少して来ると凝固層は柱状晶的あるいはデンドリチックな様相を呈して来る。今一例として Fe-C 系状態図の一部を Fig. 1 に示すが、この場合過冷を無視すれば M なる溶鋼が凝固を始めると母液  $a_L$  に平衡する固相  $a_S$  が析出し、これは母液に較べかなりの負偏析を示してデンドライトの芯部を形成する。さらに凝固が進みデンドライトの芯部が肥大してゆくと、固相は  $b_S, c_S \dots$  と順次これに接近する母液  $b_L, c_L \dots$  に示される富化液と擬似的に平衡を保ちつつ発達し凝固が進行するので、ここに結晶偏析を起すことは周知であるが、凝固殻の生成速度がまだかなり速い期間は富化液が母液に拡散する時間や浮上する機会を与えられないままに凝固が完了するので、巨視的な分析値としては溶鋼成分とはほぼ大差ない凝固殻を示し、一般に柱状晶部がこれに相当する。

しかるに金型では前報のように表面より 200~300 mm, 砂型では 50~70mm 程度の凝固殻が生成する時点、すなわち凝固端の速度が多少の鋼種差はあるが、ほぼ 0.1m/hr 以下の上部臨界速度になると、デンドライト間隙の富化のみならず Fig. 2 に示すように凝固前面にかなり厚い富化層が生成して来る時期が到来するものと考えられる。この富化層より母液に向つて富化成分、特に偏析の著しい C, P, S の拡散が行なわれるはずであるが、富化層が凝固前面に押出される速度に較べ、これらの拡散は極めておそいものと考えられる。これに関しては溶融鉄中の諸元素の拡散についての実験が困難なためほとんど報告を見ないが、固体鉄中における拡散についての SEITH<sup>3)</sup> の実験によれば Table 1 のごとくで、C は比較的速いが、P, S の拡散は極めておそい。これがそのまま溶鋼に当てはまるとは考えられないが、一応の推測は可能と思われる。

したがつて母液と富化層間に偏析成分の落差を生じるとともに、ほぼ垂直に近い凝固殻に沿つた偏析層には、上向きの浮力が働くことは疑いない。しかるに凝固前面はデンドライト晶の発達により多くの凹凸を有し、この

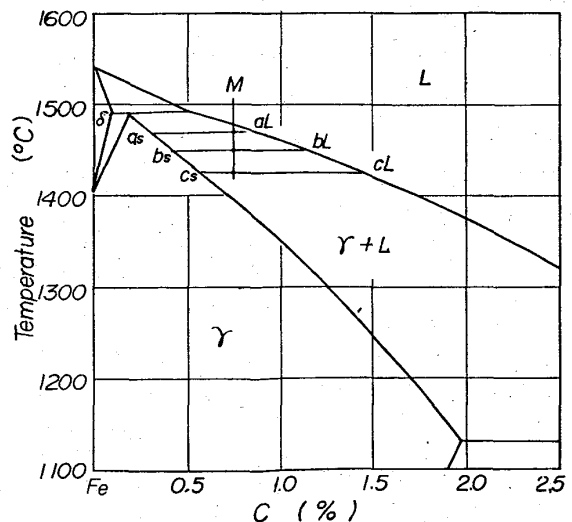


Fig. 1. Fe-C equilibrium diagram.