

大型炭素鋼鋼塊の A 偏析帯に就て (Ⅲ)

大型炭素鋼鍛鋼品に現れる偏析きず (その 2)

河 合 正 吉*

ON THE A SEGREGATED ZONE OF LARGE
CARBON STEEL INGOTS (III)

(Segregation-Flaws Appearing in Large Carbon Steel Forgings. Part-2)

Masayoshi Kawai

Synopsis:

Refer to Part 1. p. 85 of this issue.

I. 偏析きずの性状

3 偏析きずと組織との関係

こゝでは偏析きずが鍛造終了時を境としてその前から存在していたものか爾後の冷却中に発生したものかを検討する手懸りを得るために、鍛造後徐冷および空冷した 2 個の鋼片の偏析帯より、夫々試料 A および B を採取して偏析きずと組織との関係を調査する事とする。蓋し普通の炭素鋼においては鍛造の仕上温度は低くとも Ar_3 点附近であり、大低の場合 Ar_3 点以上であるから、偏析きずが鍛造終了前から存在しておれば、鍛造後冷却の途中で変態する際には、組織の生成に何等かの影響をおよぼす筈である。他方鍛造終了後に発生するものとすれば組織と全然無関係ではあり得ないであろうが、きずの発生は恐らく変態応力、熱応力、若しくは白点発生の場合の様に水素圧等のために起るであろうから、亀裂は組織を横切る可能性が大きく、従つて組織との関連は少いであろう。よつて偏析きずと組織との関係を調査すれば、偏析きず発生が略々判定されるであろう。なおこの際 S 型偏析きずは、その本体が非金属介在物であるという事実より、最初から存在していたものと推定されるから、以下の調査は主として C 型偏析きずを対象として進める事とする。

(1) A 試料の調査:— 35t 鋼塊を鍛造比 2.4 で鍛伸し、鍛造後赤材の儘焼鈍徐冷した鋼片の中央部の偏析帯より A 試料を切出し、偏析きずと組織との関係を調査した。Fig. 6 は試 A 料に現われた偏析きずの代表的な例を示すものである。偏析きずはフェライト部に偏在する傾向を示しているが、処々でパーライト部を過つたり、パーライト部の下をくぐつたりしている。また斯様な偏析きずは本試料においても全く例外なしに偏析線の内部



×100(1/2)

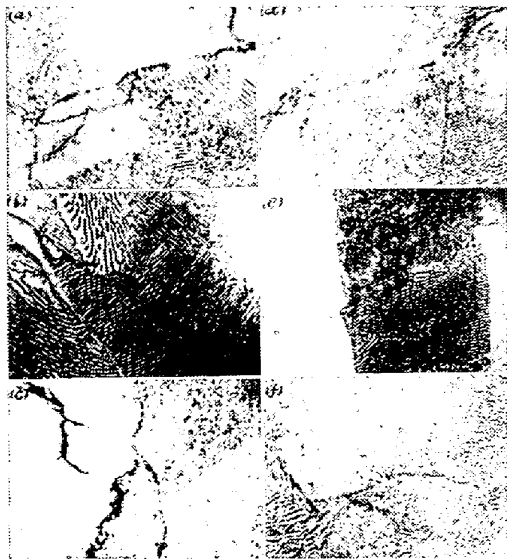
Fig. 6. Representative segregation-flaws of specimen A.

に存在する事を確認した。

併せて次に偏析きずを更に詳細に観察する事とする。以下観察の結果を簡明に記載するために、偏析きずと組織との関係をいくつかの型式に分け、夫々の型式に属する偏析きずの各局部に夫々符号を与えて区別する事とする。

Fig. 7 に普通に見られる各種の型式に属する偏析きずの状態を示す。(a) においては偏析きずの大部分はフェライト中にあり、一部はフェライトとパーライトとの間の境界をなしている。前者を F 部、後者を B_1 部と称する事とする。これ等の F および B_1 部は偏析きずとしては最も普遍的な状態であるから、爾後はこれに言及する事は省略する。(b), (c) では異なるパーライト群間の境界をなし、特に (c) では偏析きずに沿つてパーライトの層状組織が彎曲している状態が観察される (d), (e) では偏析きずはパーライトの層状組織に略々平行に走っている。これ等の 2 種類の型式に対して夫々 B_2 および P 部なる名称を与える事とする。(f) は小範囲で B_2 部と P 部とが混在する状態を示すものである。

* 三菱製鋼 K. K. 長崎製鋼所

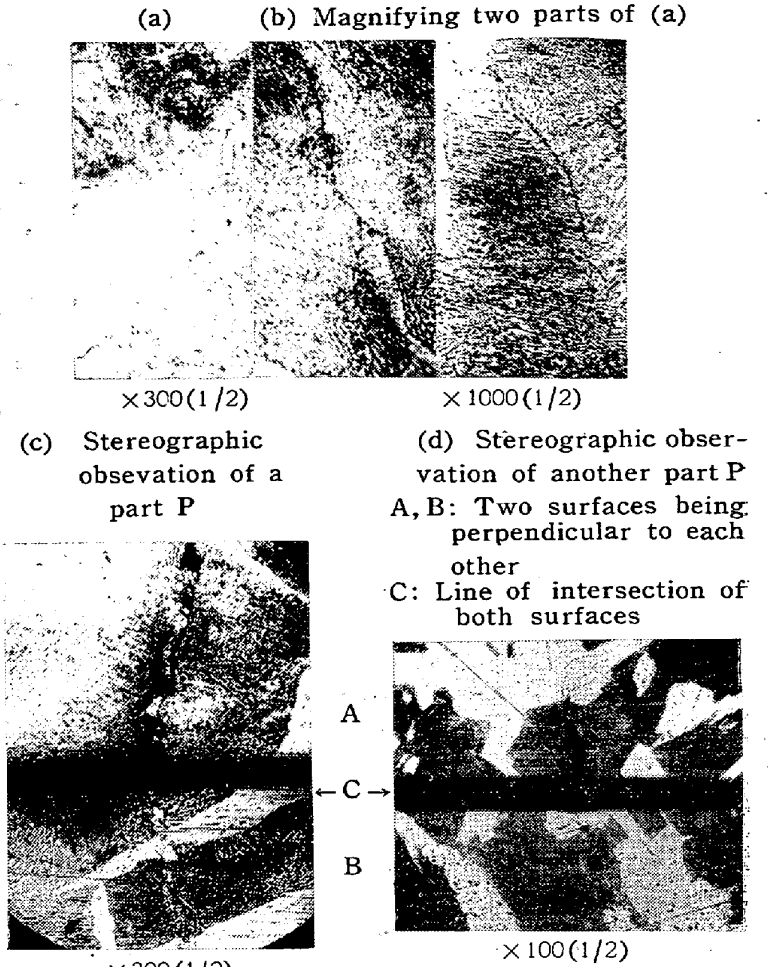


×850(1/2)

- (a) Parts F and B₁
- (b) Part B₂
- (c) Part B₂
- (d) Part P
- (e) Part P
- (f) Mixed appearance of Parts B₂ and P in narrow range

Fig. 7. Examples for typical parts of segregation-flaws.

Fig. 8 (a) は主として P 部の状態を示すために掲げたのであるが、P 部の下側にパーライトの深い切込が見られる。この状態は P 部に伴う場合が多く Fig. 7 (d), (e) にも存在する。更にこれ等の例に見られる様にパーライト中のきずの通路に沿つて宛も地図における山の尾根の様な模様が見られている。この状態を立体的に観察するために、互いに直角な 2 面 A, B を研磨しその稜線上に偏析きずをおいて検鏡したが、その結果を Fig. 8 (c), (d) に示す。即ち A 面には P 部が現われているが、(c) は B 面においては偏析きずに沿つてパーライト中に粒状のフェライトが出現し、しかも偏析きずと平行なパーライト組織は偏析きずの近傍では極めて薄くなつてゐる事を示している。また (d) においては偏析きずを横切るパーライト組織は A 面の下では、偏析きずの近傍のみを考えれば鞍状をなし、偏析きずがその下からパーライト組織の最も薄い部分で裏から覗いている様な状態を呈している。また斯様な状態は P 部に伴うのではなく、他部にも現われる事は Fig. 9 に明らかであり偏析きずの通過する近傍でパーライト組織の薄くなつてゐる状況が明瞭に看取される。よつて斯様な状態を示す部分に S 部なる名称を与える。なお P 部が上述の様にパーライトの切込を伴う事は Fig. 8 (c) および鞍状をなす Fig. 8 (d) の様な状態と符号するものである。併し



(a) (b) Magnifying two parts of (a)

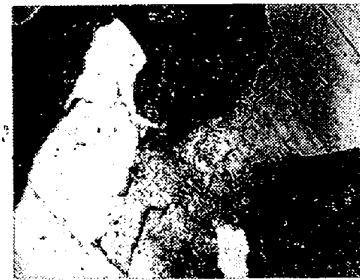
×300(1/2)

×1000(1/2)

(c) Stereographic observation of a part P

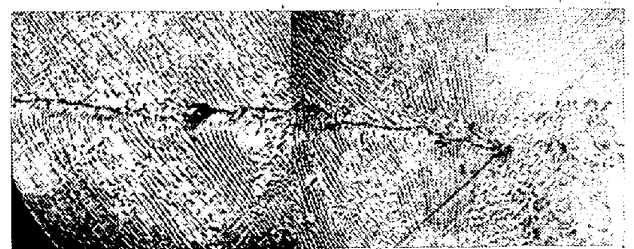
(d) Stereographic observation of another part P
A, B: Two surfaces being perpendicular to each other
C: Line of intersection of both surfaces

Fig. 8. Investigation of part P.



×300(1/2)

Fig. 9. Segregation-flaws and pearlite saddles (part S).



×1000(1/2)

Fig. 10. Example for part D.

P 部の中には上述の様な徴候は全く見られず、偏析きずが完全にパーライトの層状組織の一員となつてゐるもの

もある。

次に Fig. 10 の様な型に属するものが稀に存在する。斯様な状態は偏析きずがパーライト組織中で局所的な攪拌を行つた結果生じたものと考えられる。よつてこれに D部なる名称を与える事とする。

以上の様に偏析きずの各部は、組織との関係に従つて F, B₁, B₂, P, S および D部に略々分類する事ができる。即ち F部はフェライト中に存在し, B₁, B₂ 部は組織の境界をなし, S部はパーライトを嫌う傾向では F部に類似し, P部には組織との関係で色々な型式があるが P(S)⁵⁾ 部においてはきずの尖端がパーライト組織を攪乱し, また場合によつては層状組織と平行で宛も組織の一員となつている様に見えるものもある。また D部では一見偏析きずに沿つての迂りを思わせるが, 偏析きずの両側の流れ工合から見て, この可能性は少く, むしろ層状組織の方向こそ異つているが, P(S) 部と同様に組織の攪乱と見るべきであろう。なお斯様な場合には, 偏析きずはある程度透過性を有し, 一侧の変態の影響がある程度他側の変態におよぶものと考えられる。何となればきずの両側の組織がある程度連続性を示しているからである。

なお鍛造後冷却し, 焼鈍により再結晶を行かせた試料においては, 変態の際の偏析きずの影響は更に顕著となり, 偏析きずは殆んど F および B₁ 部となり, 稀に B₂ 部となる事を附言しておく。

(2) B 試料の調査:— 20t 鋼塊を鍛造比 3.0 で鍛伸して得られた鋼片を鍛造後その儘空冷した。この鋼片の偏析部より B 試料を切出し, A 試料に準じて同様な調査を行つてみた。B 試料に現われた偏析きずの代表的な例を Fig. 11 に掲げる。本試料においては上述の様に



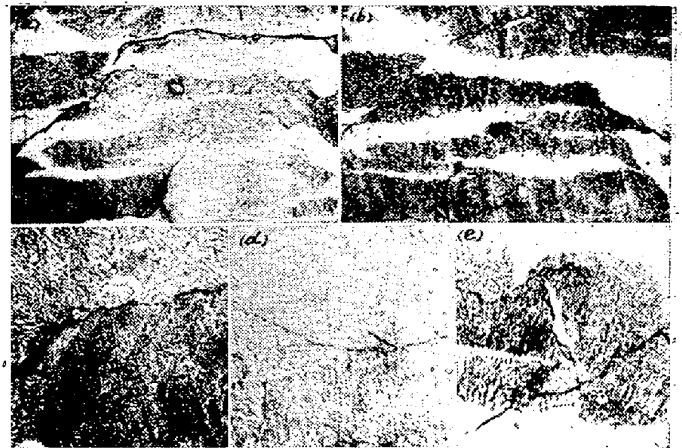
×100(1/2)

Fig. 11. Representative segregation-flaws of specimen B.

鍛造後空冷したために全般的に組織が A 試料に比較して微細でありパーライト中に針状フェライトを交えるものが多く, 偏析きずと組織との関係は A 試料の場合程明瞭ではないが偏析きずの型式に関して

では略々同一の状態が観察された。

Fig. 12 に各種の型式に属するものの諸例を示す。即ち (a), (c) および (d) は B₁, B₂ および P 部の例で



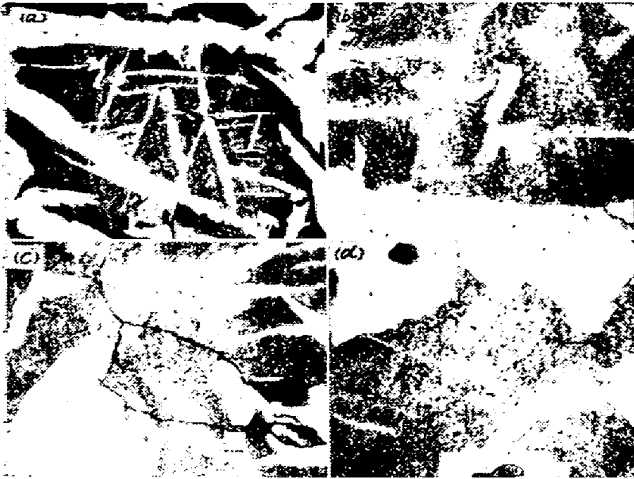
(a) Parts B₁ and B₂ ×300(1/2)
 (b) Conditions before polishing (a) ×300(1/2)
 (c) Part B₂ ×1000(1/2)
 (d) Part P ×1000(1/2)
 (e) Peculiar example of Part B₁ ×1000(1/2).

Fig. 12. Examples for segregation-flaws of specimen B.

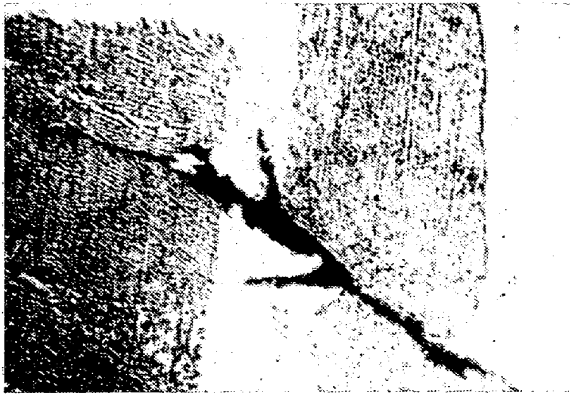
あり, (e) は偏析きずに沿つてパーライト中にフェライトが貫入している状態を表わし, (b) は一部の偏析きずに沿つてフェライト粒が連なつている状態を示すが, これを研磨すると (a) になる事から, (b) はパーライト中に偏析きずに沿つて貫入したフェライト部の尖端の状態を表わす事になる。この状態はまた Fig. 8 (c) の B 面における状態とも類似する。

次に本試料で注目すべき点は, Fig. 12 (a) の様に偏析きずに沿つて迂りが起つているかの様に見える部分の存在する事である。更に Fig. 13 に他の例を示す。即ち (a) においては偏析きずの上部が下部に対して相対的に左方に迂り, (c) においては偏析きずで取巻かれた部分とその周囲に対して右方に迂り, (d) では上部が下部に対して右方に迂つている様に見える。斯様な迂りを伴うと思われる偏析きずの部分に対して SL なる名称を与える事とする。勿論 SL 部にはその周囲の組織との関係により, 前述の様な各種の型式があるから, 例えば, B₁(SL)部の様に記号して B₁ 部が迂つている事を表わすものとする。これ等の偏析きずの部分を観察すると, 本試料においては空隙を伴うものはなく, 空隙の様に見える部分でも Fig. 14 の様に偏析線サンドで充填されている。この圧着状態より偏析きず SL 部は引張応力によつて生じたものではなく, むしろ後述する様に最初から存在していた偏析きずに沿つて, 圧縮応力の下に迂りが起つたものと推論される。また Fig. 15 は偏析きずの SL 部においてその両側のパーライト組織が特殊な関係を示す例を示すものである。即ち (a) の左方の組織で, 偏析きずに平行な層状組織がきずの両側に亘つて存在し

5) その下方が鞍状をなす P 部を意味する。



(a) Slipping along segregation-flaws $\times 100(1/2)$
 (b) Magnifying a part of (a) $\times 300(1/2)$
 (c) Slipping condition of a part surrounded by segregation-flaws $\times 300(1/2)$
 (d) Slipping and acicular ferrite $\times 300(1/2)$
 Fig. 13. Examples for part SL.

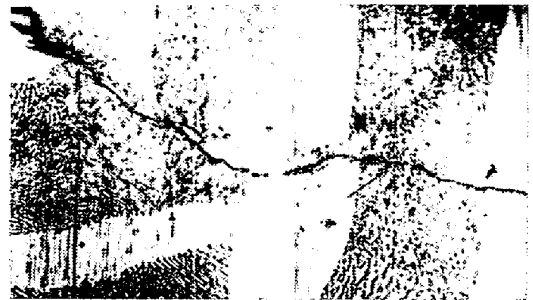


$\times 1000(4/5)$

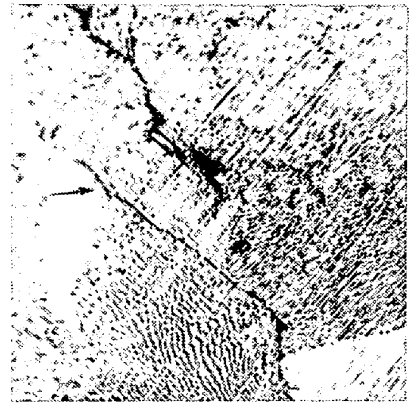
Fig. 14. Part P(SL) of S-type segregation-flaw.

(P部), 矢印の処から他のパーライト組織に移り、偏析を横断して組織の連続性が看取される。また右方の組織でも明瞭ではないが同様な傾向が見られる。更に (b) においてもP部に同様な偏析を過るパーライト組織の連続性が観察される。これ等の特殊な例は何れも偏析の遮断性が少く(換言すれば殆ど鍛着している。), しかもSL部の中で組織が変化するという偶然の機会に恵まれたものであるが、パーライト組織に関する限り迂りの形跡は見られないから、パーライト組織は迂りが起つた後に生じたものであるという推論が生れるのである。つまりB試料に現われた偏析のSL部はフェライトが生じた後に圧縮応力の下に迂りが起り、その後にパーライト変態の起つた事を物語るものであろう。

次にSL部の現われた研磨面の下方の状態を調査するために、Fig. 12 (a) の部分で Fig. 8 (b), (c) と同様



(a) $\times 1000(3/5)$



(b) $\times 4000(4/5)$

Fig. 15. Pearlitic structure around Part SL of segregation-flaws.



$\times 300(1/2)$

Fig. 16. Stereographic observation of a part SL.

な方法で立体的観察を行つた結果を Fig. 16 に示す。図より迂りの起つた事が明瞭に認められる。しかしB面においては偏析が三叉に岐れ、A面に現れた二筋の偏析はB面では互いに連結し、Fig. 13 (c) と同様に迂りは偏析で囲まれた部分で起つている事が判る。また Fig. 11 および 13 (a) にも二筋の偏析が見られるが、これ等も恐らく Fig. 16 と同様な状態にあるものと考えられる。斯様な状態は当然迂りを容易ならしめるものであつて、SL部の特徴とも考えられる。

以上の様に本試料においてもA試料と同様な型式の各種の状態が観察されたが、別にSL部の存在が特徴的であつた。上述の様にSL部が迂りの結果生じたものとするれば、迂りの起つたのはフェライトの生成後であり、し

かもパーライトの発生前と推定される。またきずの圧着状態より恐らく γ は仕上鍛造の変形の際、大なる圧縮応力の下に起つたものであろうが、若しこの推定が真ならば、B 試料を採取した鋼片は相当黒打された事になる。操業記録によれば本鋼片は、A 鋼片の仕上温度が 850~900°C であつたのに対し、約 100°C 程度低い温度で仕上げられたものであるが、この事実は上述の推定の略々確実なる事を裏付けるものという事ができよう。

(3) 観察結果の総括:— A, B 試料について偏析きずと組織との関係を調査した結果、偏析きずの各部について種々の型式の観察される事は上述の通りである。即ち偏析きずの各部は F, B₁, B₂, S, P, D および SL 部に分類される。

この中 F 部が最も多く、この部分はフェライトの形成を促進する傾向の大なる事を物語っている。B₁ 部はこれに次で多く、フェライト並びにパーライトの形成に対して核となる。B₂ 部は一方においてはパーライト生成の核となり、他方においてはその遮断性のためにパーライトの生長を停止させる。その他特殊な例として B₁ 部の中で偏析きずの一部がフェライトを伴つてパーライト組織中に貫入する場合、パーライト組織中の偏析きずに沿つてフェライトの細粒が連なる場合等。偏析きずが弱いながらもフェライト形成の傾向を示す場合もある。また P 部の大部分および D 部の様にパーライト組織を乱す場合、S 部の様にフェライトの形成を促進しながら、その尖端がパーライト組織に掛る場合もある。以上の各型式の状態は何れも偏析きずが組織の生成に対して顕著な影響をおよぼした結果生じたものと考えられる。他に P 部の中にはパーライト組織の層状組織の一員となつてい

る場合もあるが、この場合でも偏析きずがパーライトの組織の方向を規定した可能性が考えられ、偏析きずが凡ての場合を通じて何等かの形で組織の形成に影響を与えたものといふことができよう。

以上により次の様な結論が導出される。即ち偏析きずはオーステナイトの状態にある時から存在し、 $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態の際組織の生成に何等かの影響を与えるものである。また SL 部の存在も偏析きずが先天的欠陥である可能性を損うものではない。即ち SL 部は前述の様に Ar₃ 点より低温で仕上鍛造を行つた際、偏析きずに沿つて起つた γ と推論されるが、一般的に鍛造が行われる際、偏析きずの中でその面の方向が鍛造応力に対して不利な方向にあるものがあれば、これに沿つて γ の起る事はむしろ当然である。普通の場合にはこの γ 面には圧力が働き、きずの開口は防止される筈である。併し鍛造が γ 域で行われている限り、冷却後に γ の起つた事を認知する事は不可能である。

なお偏析きずに沿つて起る γ に関し次の様な考察を加える事とする。即ち γ は必然的に偏析きずの拡大、換言すれば、断続的な偏析きずの連結、偏析きずの端部の伸長分枝の発生等を伴うであろうが、鍛造温度が高温に保たれ、爾後続けて鍛造される限り、新しく発生したきずは先天的なきずに比して容易に再鍛着され、偏析きずそのものも消失する可能性が大となる。他方鍛造温度を低くしたり、変形速度を大にしたりすると、鋼の塑性が減少し γ に伴う破壊も激しくなり、また再鍛着され難いから、低温急速鍛造は偏析きずに対して有害である。(昭和 30 年 3 月寄稿)