

Fig. 1. Current density vs. potential (relation) curve of the steel containing 5% chromium.

であり、測定機器は、柳本製 VE-101 型ポテンシオスタットである。この結果からは、抽出の良否に関する情報はつきりした情報はあたえられていない。

IV. 考 察

鋼中に生成せられた介在物の正しい同定には、いかに試料から安全に、またできる限り迅速に取出しうるかが非常に大きい要素となる。

電解抽出法については、W. KOCH その他の秀れた一連の研究がなされた。この貢献は計りしれないものがある。

溶媒抽出法については、大倉の精力的な一連の報告がある。

Fe-Cr-O 系鋼に生成される酸化物介在物については、溶媒抽出法が実施された報告はみだることがない。

すでにわれわれは、今までの報告にて⁶⁻⁸⁾ 現在までに安定な酸化物として認められた iron chromite (FeO·Cr₂O₃) ならびに chromic oxide (Cr₂O₃) が、熱的にある形態のものに限り分解の可能性を論じてきた。

顕微鏡下での形態と結晶学的形態の1対1の対応は絶対必要であるが、この場合、もう一度耐薬品性について廉価かつ迅速な結果をうるための実験が望まれる。

この立場から、電解抽出法・溶媒抽出法(臭素-メタノール法ならびに沃素メタノール法)による介在物同定の正確さへの寄与を調査した。

その結果、臭素メタノール法は他の二法に較べて顕微鏡下での形状に変化をあたえるようであり、その上標準立方晶の iron chromite に近い、二次生成物と考えられるものを溶解してしまうことが判明した。

これに反して、低クロム含有鋼(特に3%クロム以下)に生成されていると考える、上述の二次分解生成物と同じX線回折結果をしめすものは安定と考える方がよいようである。

前報では、二次分解生成物が、ASTM に与えられている標準態より格子定数の大きいことを報じたが、primary inclusion と同一のものかどうかは今後の研究にまたねばならない。

V. 結 言

先の一連の研究の一端として、従来の学説の不一致の原因の追求として、本報では介在物抽出法について考察

をおこなった。

電解抽出法、溶媒抽出法を比較検討した結果、

(1) 本系の生成介在物の同定には、以上の三法のどれを適用しても、基本的には誤まつる情報を与えない。

(2) 臭素-メタノール溶媒法は、二次分解生成物の、標準立方晶に近い iron chromite を破壊することが判明した。

(3) 臭素-メタノール法は、介在物に対して影響をあたえるようである。

(4) 金属地の剝落というようなケースは生じなかつた。

文 献

- 1) W. KOCH u. H. SUNDERMANN: Arch. Eisenhüttenw., 28 (1957) p. 557~566
- 2) W. KOCH & H. SUNDERMANN: J. Iron & Steel Inst., (U. K.) 190 (1958) p. 373~380
- 3) W. KOCH u. H. LÜDERING: Arch. Eisenhüttenw., 28 (1957), No. 4, p. 201~206
- 4) 大倉: 日本金属学会誌, 24 (1960), No. 4 p. 237~241
- 5) 大倉: 日本金属学会誌, 24 (1960), No. 5 p. 289~300
- 6) 足立, 岩本, 四十万: 鉄と鋼,
- 7) 足立, 岩本, 上田: 日本金属学会(39年春季)発表
- 8) 足立, 岩本, 上田: 日本鉄鋼協会(39年秋季)発表

669.14-122-412:669.046.558.3

(128) Si および Si-Mn 脱酸鋼中の介在物の挙動について

(圧延の際の鋼中非金属介在物の変形—Ⅲ)

金属材料技術研究所 No. 64290

○角田 方衛・工博 内山 郁

Behaviour of Inclusions in Steels Deoxidized with Silicon and Silicomanganese.

(Deformation of nonmetallic inclusions in steels during rolling of steel—Ⅲ)

Masae SUMITA and Dr. Iku UCHIYAMA.

I. 緒 言

著者らは基礎的見地から、脱酸剤の種類と量を変えて溶製した鋼の清浄度の変化、その際の介在物の種類、硬度などを調べ、さらにそれらを圧延した際の介在物の挙動特に介在物の変形量と圧延温度および圧延比との関係を定量的に扱うことを試みている。前々報¹⁾および前報²⁾では、Mn 脱酸鋼中の介在物について上記の観点について調べた結果を報告した。

本報では電解鉄をそれぞれ Si および Si-Mn で脱酸した場合の介在物の挙動について述べる。

II. 供 試 材

電解鉄を高周波電気炉により大気中で溶解し、Si 添加量を 0.02%, 0.06%, 0.25%, 0.50% および 1.5% にした 5kg 鋼塊をそれぞれ 2 本づつ作った。さらに、同様な溶製法で Si-Mn 脱酸剤 (Si 18.5%, Mn 65.8%, C 1.31%, P 0.14%) の添加量を 0.05%, 0.15%, 0.50% および 1.50% にした鋼塊をそれぞれ 2 本づつ作った。その化学組成を Table 1 および Table 2 に示

Table 1. Chemical composition of specimens deoxidized with Silicon.

	Si	Mn	C	P	S
S 1	0.002	n. d.	0.005	0.006	0.002
S 2	0.002	n. d.	0.007	0.001	0.004
S 3	0.007	n. d.	0.005	0.002	0.004
S 4	0.003	n. d.	0.004	0.001	0.004
S 5	0.038	n. d.	0.005	0.001	0.004
S 7	0.223	n. d.	0.003	0.004	0.004
S 8	0.133	n. d.	0.003	0.004	0.004
S 9	1.048	n. d.	0.005	0.002	0.004
S 10	1.175	n. d.	0.005	0.002	0.004

Table 2. Chemical composition of specimens deoxidized with Si-Mn.

	Si	Mn	C	P	S
MS 1	0.003	0.019	0.002	0.003	0.006
MS 3	0.003	0.037	0.004	0.002	0.006
MS 4	0.004	0.045	0.003	0.003	0.006
MS 5	0.013	0.14	0.007	0.005	0.005
MS 6	0.014	0.13	0.007	0.002	0.006
MS 7	0.087	0.66	0.018	0.005	0.006
MS 8	0.044	0.51	0.018	0.004	0.006

す。これらの鋼塊を、それぞれ 1250°~1000°C および 1000°C 以下の 2 種類の温度範囲で圧延比 9 および 36 になるように棒材に熱間圧延した。

III. 実験方法

(1) 介在物の観察……熱間圧延した際の介在物の変形状態とその近辺の状況を調べるために、各種の腐食法を試みた。次に同試料に冷間加工を施し、それについて各腐食法を検討、さらに真空焼鈍を行ない、各異なる条件下での介在物およびその近辺の状況を比較した。

(2) 清浄度測定……JIS 法により介在物の面積率を求めた。

(3) 介在物の同定……X線マイクロアナライザーおよびX線回折で行なった。

(4) 硬度測定……ピッカース微小硬度計で測定した。

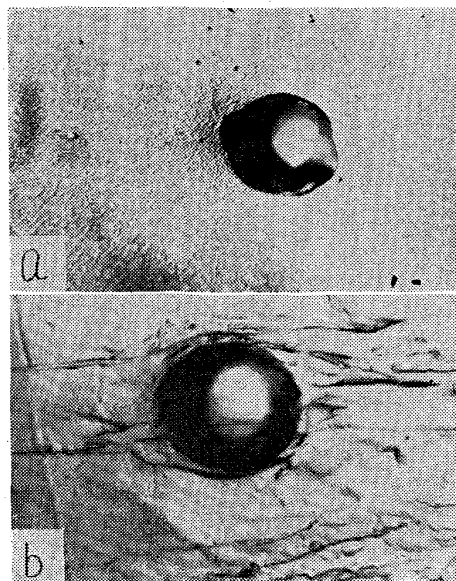
(5) 介在物の変形量測定……接眼移動測微計を用いて、各試料ごとに 50~100 の介在物について測定した。変形量の取扱い方は前々報および前報と同じである。

IV. 結果および考察

(1) 腐食試験

介在物と基地鉄の変形能は一般に同一でないが、そのような介在物を有する鋼塊を圧延する場合、介在物の周辺に何らかの変化が生ずると考えられる。E. K. TRACHENKO et al³⁾ は、珪素鋼を熱処理後冷却すると介在物と基地鉄の熱膨脹係数の相違により、加工硬化を受けた介在物の周りに他の部分に比べて多数の転位 (dislocation haloes) を観察しているが、この事実は圧延時の介在物の周辺について研究するのに有力な手掛りとなる。

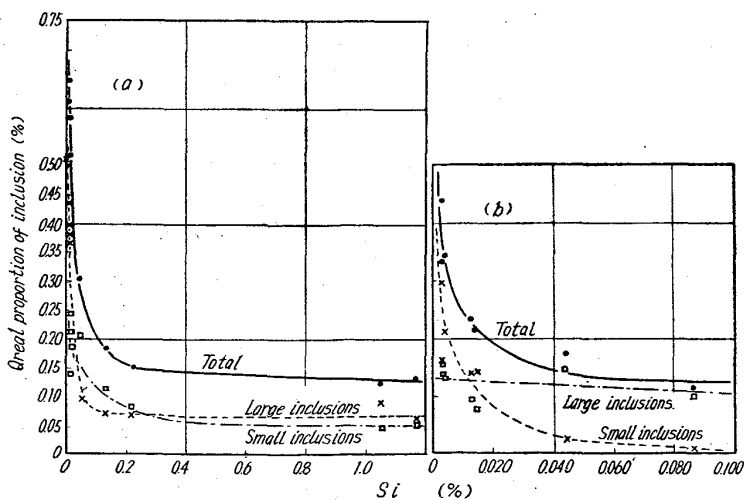
本実験では第 1 段階として、同一試料 (試料



(a) Inclusion which rolled between 1000°C and 1250°C.
(b) Inclusion which rolled at room temperature after hot rolling. ×100(2/3)

Photo. 1. Optical micrographs of inclusion in iron deoxidized with Si; etched with morris's edchant and FeCl₂+HCl.

記号 S9) に対し熱間圧延、冷間圧延および圧延後真空焼鈍を施して介在物周辺の状況変化を比較した。各種の腐食法を試みた結果、morris 液で電解腐食後、塩化第 2 鉄塩酸溶液で軽い腐食を行なった時によりよい結果を得た。Photo. 1 (a) は熱間圧延を施した場合で、介在物周辺の応力歪みは再結晶によりほとんど除去されているが、Photo. 1 (b) に示すように冷間加工を行なうと、介在物と基地鉄の変形能の差に起因する介在物周辺の加工歪が大きくなり、その結果著しい腐食むらを生じている。さらに冷間加工後真空焼鈍を行なった試料では、再結晶によるポリゴニゼーション組織はみられるが、介在物周辺の転位群の存在を示す状況変化は観察できなかつた。



(a) In case of Si deoxidation. (b) In case of Si-Mn deoxidation.
Fig. 1. Relation between silicon content and areal proportion of inclusion.

(2) 清浄度測定

前報²⁾と同様に、試料中の介在物を脱酸反応により生じたと考えられる大型介在物(5 μ ~25 μ)と凝固過程で生じたと思われる小型介在物(5 μ <)に分けてそれぞれの面積率を求めた。その結果を Fig. 1 に示す。

Si 脱酸の場合の清浄度は、Fig. 1 (a) に示すように、Mn 単独脱酸の場合に比べて²⁾少量の添加により急速に改善される。すなわち Si 含有量約 0.2% の試料の清浄度は、本溶解条件(素材の処女性、雰囲気、保持時間らに依存する)では不可避の介在物量と考えられる最小値に近い値をとり、これより多量の Si を添加してもほとんど清浄度はよくなる。この傾向は小型介在物において著しく、これに比して大型介在物量は、Si 添加量の増加に対してそれほど著しい減少を示さない。

Si-Mn 脱酸した試料の Si 含有量と清浄度の関係を Fig. 1 (b) に示す。これによると Si 単独脱酸の場合と同様に、少量の添加により著しい脱酸効果を上げうるが、ある量(この場合は化学分析値で Mn 約 0.3%, Si 約 0.03%)以上の添加は清浄度に対しそれ程有効に働かない。

小型介在物に着目すると、Fig. 1 (a) の Si 脱酸試料の小型介在物は Si 添加量がある程度多くなっても完全に除去されることはなく、本実験では清浄度にして 0.05% を保持する。一方、Fig. 1 (b) で示されるように、Si-Mn 脱酸の場合、小型介在物量は添加量の増加とともに減少し、約 0.60% Mn, 0.08% Si ではほとんど測定されぬ程になる。これは、Si と Si-Mn の脱酸力の相違によるものであり、Si-Mn 脱酸の場合ある量以上添加すると溶鋼中の酸素は脱酸反応によりほとんど除去されてしまうことが分かる。

(3) 介在物の変形量測定

(i) Si 脱酸介在物

熱間圧延した Si 脱酸鋼中に存在する介在物の変形量と Si 含量の関係を Fig. 2 に示す。Si 含有量が 0.03% ぐらいまでは介在物の組成は主として FeO であり、その変形量はそれほど大きくないが、Si 含有量が約 0.03~0.10% (この範囲は確定したのではなく本実験および他の文献⁴⁾より推定した値である)の範囲になると FeO+2FeO \cdot SiO₂ と考えられる共晶介在物が生成され、その変形量は著しく大きくなる。しかし、Si 含有量が 0.1% を越えると共晶部分はなくなり、結晶質あるいは非晶質のシリカとなり、これらは熱間圧延によりほとんど変形をうけない。

(ii) Si-Mn 系介在物

熱間圧延した Si-Mn 脱酸鋼中に存在する介在物の変形量と Si 含有量および Mn 含有量の関係を Fig. 3 に示す。試料番号 MS5 (Si: 0.013%, Mn: 0.14%) 中の介在物は *a_s* cast の状態で (Fe \cdot Mn)O とマンガンシリケートの共晶であるが、熱間圧延を施すと Photo. 2 (a) に示すように (Fe \cdot Mn)O は合体し、さほど変形されず、他方マンガンシリケートの部分は著しく変形される。常温硬度は (Fe \cdot Mn)O 介在物が 400~500、マンガンシリケートが

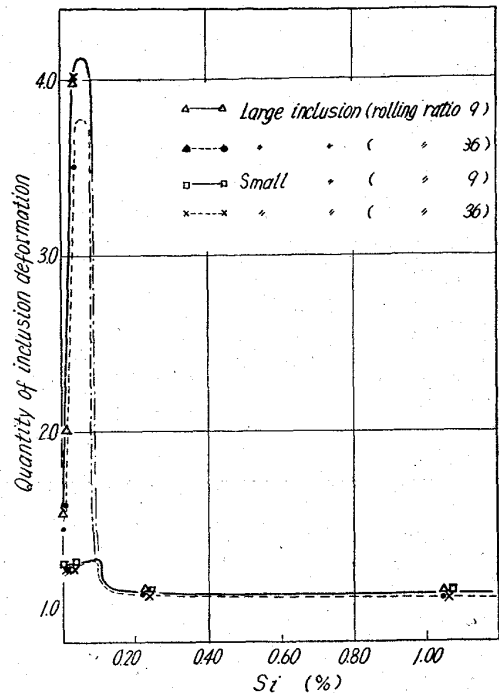


Fig. 2. Relation between silicon content and quantity of inclusion deformation.

700~900 である。さらに Si-Mn 添加量が多くなると介在物はほとんどマンガンシリケートとなり、Photo. 2 (b) に示すように圧延により著しく変形されるが、その変形状態は (Fe \cdot Mn)O あるいは MnS のそれとは異なり脆性的である。しかし一部の大型介在物はほとんど圧延による変形をうけていない。これは、Si-Mn 添加量の増加にともないマンガンシリケート中の Si の占める割合が増加し、変形しにくいシリカ状の介在物になるためと考えられる。それゆえ、熱間圧延されたマンガンシリケート系介在物の変形量は Si-Mn 添加量の増加とともに大きくなるが、ある量以上になるとかえって変形し難くなると思われる。これについては更に検討中である。

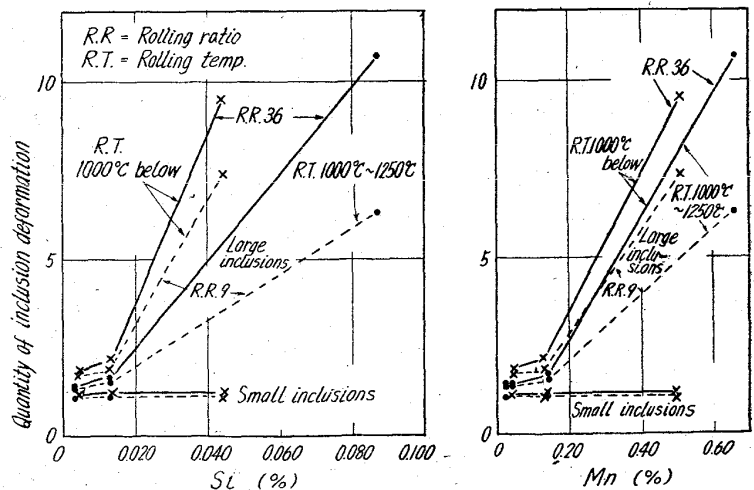
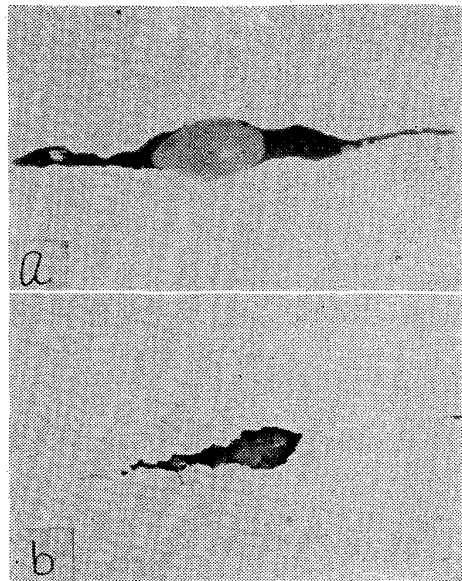


Fig. 3. Relation between Si content and quantity of inclusion deformation and Mn content and quantity of inclusion deformation.



(a) (Fe Mn) O and Mn silicate.
(b) Mn silicate. $\times 400(2/3)$

Photo. 2. Typical micrographs of deformed inclusions in case of Si-Mn deoxidation.

圧延温度と変形量との関係を見ると SiO_2 系およびマンガンシリケート系介在物はともに圧延温度が低い場合の方が変形量は大きい。また小型介在物の変形量は、Mn 脱酸の場合と同様に非常に小さい。

V. 結 言

以上まとめると次のようになる。

(1) 圧延された鋼中に存在する介在物周辺の基地鉄の変形状態を観察する際には、まず試料表面を morris 液で電解研磨し、さらに塩化第二鉄塩酸溶液で腐食するのが有効である。

(2) 脱酸反応により生成したと思われる大型介在物の量は脱酸剤添加量 (Si あるいは Si-Mn) の増加によりそれほど著しく減少しないが、主として凝固過程で生成したと考えられる小型介在物のそれは著しい。脱酸剤添加量の増加の割合に対して介在物面積率の低下率は減少する。

(3) Si 脱酸鋼中の共晶状を示す介在物は、 SiO_2 あるいは FeO 介在物の変形量に比べてその変形量は著しく大きい。

(4) Si-Mn 脱酸鋼中の介在物は脱酸剤添加量の増加とともに FeO に比してマンガンシリケートの占める割合が増加し、それとともに変形量も増大する。

文 献

- 1) 内山, 角田: 鉄と鋼, 49 (1963) 10, p. 1468~1470
- 2) 内山, 角田: 鉄と鋼, 50 (1964) 3, p. 496~498
- 3) F. K. TKACHENKO and L. G. SERGEIKO: Stal (1963) p. 460~462 (In English).
- 4) 学振資料: 19 委 6592 (介在 61). [八幡製鉄提出]

(129) 軸受鋼中の非金属介在物の認定

(軸受鋼中の非金属介在物に関する研究—I)

神戸製鋼所, 中央研究所 No. 64291

工博 成田 貴一・那須 進
日本高周波鋼業, 富山工場 ○佐々木 威

Identification of Nonmetallic Inclusion in Ball Bearing Steel.

(Study on nonmetallic inclusion in ball bearing steel—I)

Dr. Kiichi NARITA, Susumu NASU
and Takeshi SASAKI.

I. 結 言

最近におけるめざましい製鋼技術の進歩^{1)~4)}とともに、軸受鋼の製造においても幾多の新技术が取り入れられ、その材質向上に大きな成果があげられつつあるが、軸受鋼のように集中応力のきわめて高い条件下で使用される材料においては微視的な非金属介在物 (以下介在物と記す) といえどもその形態ならびに析出状態のいかんによつては軸受の寿命に大きな影響をおよぼし、転動疲れ破壊などを誘起する原因になるといわれている⁵⁾。しかし現在なおこれに対しては明確な結論は得られてはいない。そこで著者らは鋼中の非金属介在物に関する研究の一環として軸受の寿命におよぼす介在物の影響について検討をおこなうことにした。しかしながらこのような問題を検討する場合には、まず軸受鋼中に存在する介在物の組成、物理化学的特性、形態、分布ならびに析出状態などを明確に把握することが必要である。このような立場から、本報においては、軸受鋼中に存在する介在物の認定とその特性について検討をおこなった結果を報告する。

II. 供試材および実験法

供試材はいずれも軸受鋼 2 種 (SUJ-2, JIS) 相当材であり、その一般化学成分組成を示すと Table 1 のとおりである。供試材は A, B および C の 3 種の塩基性電弧炉溶製材であり、D は消耗電極式アーク再溶解材、E は連続铸造材であり、SKF はスエーデン製の軸受鋼材である。

軸受鋼中の非金属介在物の組成ならびに特性を明らかにするため、上記の各供試材について介在物の (1) 光学顕微鏡的観察ならびに顕微鏡下における腐食試験、(2) 電子顕微鏡的観察、(3) 酸化物系介在物の定量分析およびそのほかの微量元素分析、(4) X線回折ならびに電子線回折などをおこなった。

III. 実験結果

1. 軸受鋼中の介在物の光学顕微鏡的形態

本実験供試材中に認められる代表的な介在物の形態を示すと Photo. 1 のとおりである。通常の塩基性電弧炉製材中に認められる介在物とくに酸化物系介在物は、供試材中の Al 量によつてこととなり、比較的 Al 量の少ない供試材 B (Al: 0.002%) では淡灰色~灰色を帯び、加工方向に変形した A 型介在物が多く、B および C 型介在物は少ない。一方比較的 Al 量の多い供試材 A-1 および 2 (Al: 0.014, 0.019%) では A 型介在物は少なく、無色透明または灰色~褐色を帯びた粒状あるいは