

(59) 鉄鋼中非金属介在物に関する研究 (VIII)

(鋼材にあらわれる砂きずについて)

Study of Non-Metallic Inclusions in Steel (VIII)

(On the sand mark in steel)

H. Takada, et alius.

神戸製鋼所, 神戸研究部 理 成 田 貴 一
" " " " " " 工〇高 田 寿

I. 緒 言

鋼中の非金属介在物(以下介在物と記す)は便宜上

(1) 微視的介在物と (2) 巨視的介在物に大別することができる。

微視的介在物とは光学顕微鏡の大きさまたはそれ以下の大きさのもので分布が均一であれば本質的には欠陥として取扱われない場合が多い。肉眼的検出法, 超音波あるいは磁気探傷検査法などによつて検出される程度の大きさの介在物を巨視的介在物と称しており, これらは鋼材の諸性質に好ましくない影響をもつものとして嫌われる。

一般に砂きずと呼ばれている欠陥は比較的大きな介在物の存在によつて生ずるものである。また巨視的介在物の存在によつておこる欠陥の中に砂かみ(砂喰い)といわれている現象がある。これは一般に砂きずに較べてその形状が大きく, 明らかに外来の化合物またはそれによつてできた欠陥と判断されるものである。もちろん砂きずと砂かみとは厳密に区別分類できるものではないが本稿では鋼材の切削面に認められる介在物によつて生じた巨視的な線状のきずを砂きずと称して, これについてかんたんに述べる。

II. 砂きずの分類

砂きずの肉眼的形態は Photo. 1 (省略) に示すようなもので, 長さ 0.1mm 程度のものから 10mm またはそれ以上に達するものもあるが, 一般によく見うけられる砂きずは長さ 0.5~2mm 程度のものが多い。これらの砂きずを光学顕微鏡で検鏡すると Photo. 2~8 (省略) に示すように鋼種ならびに発生箇所によつて砂きずの内部構造に明瞭な差異が認められる。後述のような砂きず生成過程ならびにその内部構造から考えると, 本質的には砂きずと介在物を切り離して考察することはできない。そこで本稿では砂きずをその内部にみられる介在物の形態から, 一応つぎの四種に分類する。

(a) 結晶型砂きず

比較的強力な脱酸剤で処理された鋼材にあらわれ易

い砂きずで, たとえばアルミナ (Al_2O_3) アルミン酸塩 ($FeAl_2O_4$) チタニア (TiO_2), チタン酸塩 ($FeTiO_3$) などの結晶性化合物からなる砂きずがこれに属する。

(b) 非結晶型または無定形型砂きず

中等の脱酸剤で処理された鋼材に一般にあらわれ易い砂きずで, 酸化マンガン (MnO), シリカ (SiO_2), ケイ酸塩, 硫化物, 耐火材の侵蝕生成物などからなる砂きずがこれに属する。一般に舟形, 紡垂状の介在物からなる場合とガラス質のものからなる場合がある。

(c) 結晶・非結晶型または混合型砂きず

結晶介在物と無定形介在物とからできている砂きずで一般に表われる砂きずはこの種のものが多い。厳密に言えば砂きずはすべて混合型であり, 典型的な結晶型または無定形型砂きずのあらわれる場合は非常に稀である。これらの分類は砂きずの光学顕微鏡像より見た見掛上の分類であることを断つておく。

(d) 空洞型砂きず

鋼材を切削するさい, 砂きず内部に存在する介在物が一部削りとられたり, 脱落したりして空洞を生じ, 極端な場合には砂きずの内部がほとんど空洞になつていこともある。しかしこれらを些細に観察すると, その空洞の内部周辺には介在物の微細な破片や小さい結晶が附着または存在しているのが認められる。このような現象は一般に結晶状の介在物からなるいわゆる結晶型砂きずにおこり易い傾向がある。またこれとは趣きを異にし, 介在物を起点としてマイクロ・クラッキングができており, これが砂きずと判定される場合もある。さらに一見, 介在物には無関係にできたと思われるものもあるが, その周囲をよく観察すると, 必ず硬質の結晶状介在物が存在しており, そこより細脈を通してきず部ができてい。したがつてこのようなマイクロ・クラッキングによるきずも本質的には介在物の存在に原因するもので, やはり砂きずとして分類されるべき性格のものである。また介在物の存在によつて切削時にできるきずも一応砂きずとして判定される。このような砂きずを総称して空洞型砂きずと分類することにする。

III. 砂きずの一般的性質

(1) 鋼材の切削面に認められる典型的な砂きずの内部には前記のように大抵の場合介在物が存在する。

(2) 加工比が大きくなるとともに, 砂きずの加工(鍛伸または圧延)方向における伸びも大きくなり, 極端な場合には伸びきつてしまつて見掛上肉眼では認められなくなることもある。

(3) 鋼材を加工する場合, 一般に加工比と砂きずの

大きさの間にはつぎの関係がある。

(i) 比較的的加工比が小さい場合には短少な砂きずが多く、長大なものは少い。

(ii) 比較的的加工比が大きい場合には、逆に長大な砂きずが多く、短小なものの分布は少い。

(iii) ほぼ同程度の加工比のもとでは無定形型および空洞型砂きずの方が結晶型砂きずよりも加工方向に伸び易い。

さらにこれらの現象を各種型の砂きずについて観察すると一般に結晶型砂きずは高度の加工によつて圧伸または圧着はするが、肉眼的に消滅してしまう機会は少い。一方無定形型砂きずのうち、とくに舟形または紡垂状の硫化物系介在物からなる砂きず、および空洞型砂きずは容易に圧伸または圧着して見掛上肉眼的に消滅してしまう機会が多い。そして加工による砂きず自体の圧伸率も前者に較べて後者の方が大きい。無定形型砂きずのうちガラス状介在物からなる砂きずは両者の中間的挙動を示す。しかしながら加工とともに介在物が原因して新たなクラッキングを生ずる場合もある。

(iv) 結晶型砂きずは概して強力な脱酸剤で処理された鋼材にあらわれ易い。ケイ素、マンガンなどの中等の脱酸剤で処理された鋼材ではガラス状のケイ酸塩、舟型の硫化物または耐火材の侵蝕によつて生じたと思われる化合物などからなる無定形型砂きずがあらわれ易い。高炭素鋼材では比較的硫化物介在物からなる砂きずがあらわれ易い。

IV. 実用鋼にあらわれる砂きず

(1) 光学顕微鏡上から見た砂きず

a) 鍛鋼品仕上面上の砂きず分布状況 Photo. 1 (省略)

b) 結晶型砂きず. Photo. 2~3 (省略)

c) 非結晶型または無定形型砂きず. Photo. 4(省略)

d) 結晶・非結晶型または混合型砂きず. Photo. 5~7 (省略)

e) 空洞型砂きず (ミクロ・クラックをともなつた砂きず) Photo. 8 (省略)

(2) 砂きずの分析

Photo. 1 (省略) に示すような砂きず発生材より砂きず部を摘出して分析した二、三の例を示す。

(i) 砂きず部摘出法: 適当な大きさに切つた Bioden R.F.A (電子顕微鏡 filmy replica system 用) をピンセットではさみ、かるく片面を溶媒 (たとえば酢酸メチル) につけ速やかに砂きず部に貼り、溶媒が揮散したのち、できるだけ先の細いタガネで砂きず部を掘り出す。

抽出した試料は技術上どうしても砂きず部の周辺に 1 mm程度の地金がつくがこの程度で十分である。別に鋼材の健全部より比較のために同程度の大きさの試料を摘出する。

(ii) 分析法: 砂きず部より摘出した試料と健全部より摘出した試料をそれぞれ小さなビーカに入れ溶媒でよく洗浄して Bioden R.F.A をとかし去り、乾燥したのち秤量し、種々の方法で試料を分解し、得られた残留物中より介在物構成元素を定量する。そして地金を含んだ砂きず部と地金のみからなる健全部について得られた定量値を比較した。

分析例 4 例省略

V. 砂きずの生成

本項においては砂きずの原因である介在物の生成に関する一見を述べる。精錬過程中、還元期において生ずる主な化学反応を考えてみると、

(1) 内生的介在物の生成反応: ケイ素、マンガンの添加によるマンガン化合物、ケイ酸塩の生成反応。

(2) 外来的介在物の生成反応: 鋼浴の運動による耐火材ならびに鋼滓の機械的破碎によつて酸化物 (refractory oxide) が鋼浴中に介入する反応と鋼浴による耐火材の侵蝕によつて種々の酸化物を生成する反応。

(3) 相互反応: 内生的介在物と耐火材の相互反応および内生的介在物と侵蝕によつて生成された化合物との相互反応。

などがあげられる。これらの反応によつて多種多様の介在物が生成するが、還元期を通じてかなり長時間、鎮静状態に保持されるので、ある程度の大きさをもつた大部分の介在物は浮上分離し、鋼浴中に残るものは比較的微細な介在物で量も少い。出鋼前に仕上脱酸剤としてアルミニウムを添加した場合には、鋼浴中に残存する酸素ならびに種々の酸化物との反応によつてアルミナ、アルミン酸塩 (Al_2O_3 , $FeAl_2O_4$) などを生じ、それらの一部は浮上分離していわゆる脱酸の目的が達せられる。

出鋼に際しては、はげしい溶鋼の運動のために鋼滓が微細な粒となつて溶鋼中に介入したり、出鋼と湯道あるいは取鍋を構成している耐火材が侵蝕されたり破碎されたりして入るので介在物の量は急激に増加する。普通の製鋼法では、この間に若干大気による酸化がおこる。一方溶鋼の温度の低下とともにケイ素、およびマンガンと酸素との反応も活発になり、ここに新たに酸化物が形成される。つぎに取鍋より鑄込んだ場合、溶鋼中の介在物の一部が浮上分離していわゆるスカムとなる。溶鋼は鑄型の壁から冷却されて最外層にチル自由晶を晶出し、

これに引きつづいて柱状品が晶出成長する。この間マクレ込みのない限り介在物の分布は鑄型に鑄込んだときの溶鋼中における状態に近いと考えられる。ところが柱状品の末端を結晶核として樹枝状品が晶出成長するので、これらの樹枝状品の間介在物が凝集し、しかもこの部分では冷却速度がかなり遅くなっているため介在物の析出、成長がさかんに起こり、比較的大きな介在物ができるとともに、その偏析の程度も大きくなる。鋼塊の中心部に近いところでは、さらに冷却速度が遅く、温度勾配も小さい状態で凝固するために溶鋼中に浮遊する介在物が結晶核となつて自由品を品出するので介在物の凝集偏析の程度は少くなる。つぎに上下における介在物の分布を考えてみると、鑄型の形状が上拡がりになっているため上記の現象も上部の方がいちじるしく、しかも溶鋼中における介在物自体の浮上性も手伝つて上部に比較的大きな介在物が偏析する。したがつて鋼塊の表面と中心の中間部、しかも上部に欠陥の原因となるような介在物が偏在することになる。このような比較的大きな介在物の分布と砂きずのあらわれ方とは實際上ほぼ一致している。また砂きずがゴーストゾーンに沿つてあらわれる傾向も、介在物の生成ならびに溶鋼の凝固過程から考えればけだし当然といふことができる。

VI. 砂きず防止に関する二、三の所見 (省略)

VII. 結 言

要するに砂きずの発生を防止するためには鋼浴中の酸素、硫黄、リンならびにその化合物をできるだけ少くし大気による酸化を防ぐとともに優秀な耐火材の研究開発が必要である。

(60) 砂疵(毛疵を含む)防止を目的とした鋼の無酸化鑄造

Non-Oxidizing Casting of Steels for Prevention of Sand Marks (Including Hairline Cracks)

日本特殊鋼

工 石原善雄・工 安藤公平・理博○森脇和男

K. Moriwaki, et alii.

I. 研究の概要

鋼材の砂疵の原因としては製鋼原料中の微滓、脱酸生成物あるいは耐火物の熔損物あるいはブローホールなどが数え挙げられるのであるが、われわれは出鋼後取鍋受湯の際および鑄込の際の溶鋼の空気酸化が主因であると予想して無酸化鑄造を行い好結果を得た。無酸化鑄造に

用いた装置は数種あるが

Fig. 1 に示したものを最も多く使用した。この装置上に軽く取鍋を吊り下げるとき、3コのパネの作用によりノズル下、覆蓋、押湯棒は完全に外気から遮断され、かつ取鍋の自重により押湯棒などの耐火物がこぼれ落ちることは無い。鑄造に際してはあらかじめパイプ

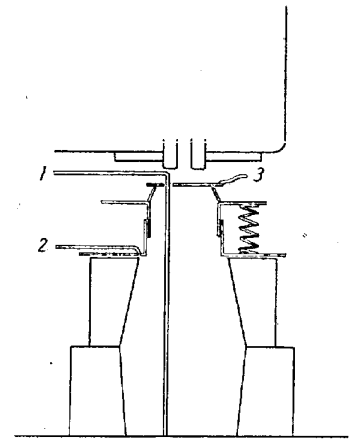


Fig. 1.

(1) を通して N_2 ガスを通じ鑄型内の空気を完全に置換後、ストッパーを開く直前にパイプ (1) および蓋 (3) を取り除きパイプ (2) を通して N_2 を送りながら鑄造を行う。窒素の使用量は置換に $1m^3$ 、鑄造中に $1m^3$ の程度である。なお研究はすべて 800 kg 鋼塊に一定した。

II. 第1回試験熔解

まず最初に砂疵の原因がすでに溶鋼中に存在するものかあるいは鑄造中に発生するものであるかを明らかにするために同一取鍋中の溶鋼を一は N_2 中で完全に酸化をさけつつ、他は通常のごとく空気中にていずれも上注法により鑄造した。使用鋼種は肌焼鋼 SCM 22 であつて丸型 800 kg 鋼塊9本を鑄造し中央の第5本目の鋼塊のみを N_2 中鑄造し他は普通鑄造した。 N_2 鑄造の際型内空気の置換中および鑄造中のガス組成はつぎのごとくである。

	CO_2	O_2	CO	H_2	$N_2\%$
置換中	1.61	1.02	ナシ	ナシ	97.37
鑄造中	0.83	2.21	21.27	14.08	61.61

ただしこの際使用したボンベ中の N_2 は 1.4% O_2 を含んでいたため空気の置換は完全であると考えてよい。

1) 砂疵 鋼塊は表面約 10 mm 削つた後 (この点は後にふたたび論及する) $150\text{ mm}\phi$ に分塊圧延し、疵検査後さらに $65\text{ mm}\phi$ に圧延し精密なる砂疵検査を行った。試料採取箇所は頭部 (記号 T)、底部 (B)、中央部 (C)、および中央部と頭部の中間すなわち頭部より $1/4$ 処 (M) の四カ所であつて各カ所より圧延方向に長さ 70 mm の試料を採り、 $65\text{ mm}\phi$ の試料を直径 5 mm 削るごとにその表面の砂疵の大きさおよびその数を数へ、直径 15 mm にいたるまで計 10 表面について検査した。

No. 5 の N_2 中鑄造のものとその前後の No. 4 および No. 6 のものを比較すると Table 1 のごとくなる。