

討 8 リ ム ド 鋼 塊 の 凝 固 と 介 在 物

八幡製鉄（株） 技術研究所

梶 岡 博 幸

I 緒 言

リムド鋼塊の凝固が他の脱酸形式の鋼塊のそれと異なる点はリミングアクションによる溶鋼の攪拌運動があることである。従つて、リムド鋼塊内の介在物の分布や量はリミングアクションとの関係、すなわち、リミングアクションの強さや持続時間との関係で論じられなければならない。

一方、生産現場で問題となるのはリムド鋼塊内のすべての介在物ではなく、成品板の表面疵や加工時の割れの原因となる介在物である。表面性状の美麗さが要求されるリムド鋼では、リム部にある介在物は致命的な欠陥と云える。又、加工技術の進歩と関連して成品板の加工が苛酷になるにつれ、コア部底部に存在する巨大介在物がプレス割れの原因として問題となつていくことは、生産現場で経験されているところである。

そこで、成品板の疵に強く関係していると推定されるリム部の介在物やコア部の巨大介在物におよぼすリミングアクションの影響を著者らの研究結果をもとにまとめてみた。

II リム部の介在物

1. 介在物の分布、量

リム部に残留している介在物の量は残溶鋼中に浮遊している介在物量の時間的变化とそれが凝固層にまき込まれる確率とによつて定まる。まき込まれる確率は定量的には把握されていないが、成分元素のリム部負偏析曲線と同じように考えると、凝固速度が最も強く影響していると推察され、鋼塊間での差は小さいとみなされる。リム部介在物におよぼすリミングアクションの影響は残溶鋼中の介在物量の時間的变化から説明される。

リミングアクション改善剤を用いてリミングアクションの強さを変更した同一取鍋の2本の鋼塊のリム部の介在物の分布状況をトレーサーとして用いた¹⁴⁰La₂O₃の濃度変化で図1に示した。同図では、森らが考えているように、リミングアクション中の介在物の浮上分離速度は1次則 ($dx/dt = -kx$) に従うとして、縦軸に介在物濃度の対数、横軸に肌からの距離を凝固則 ($D = K\sqrt{t}$) に代入して算出した凝固時間を選んだ。同一取鍋の鋼塊であるので、凝固速度の大きい $t = 0$ の介在物濃度は等しいと考え、同図の曲線を得た。

リミングアクション改善剤を用いたリミングアクションの強い鋼塊では、凝固開始後1分までの介在物量の減少速度が大きく、それだけリム部での介在物量は少なくなっている。1分以後の介在物の減少速度は両鋼塊間でほとんど差がなく、リミングアクション以外の要因が強く働いているようである。

鋳型内での介在物の浮上分離速度には、攪拌の強さ

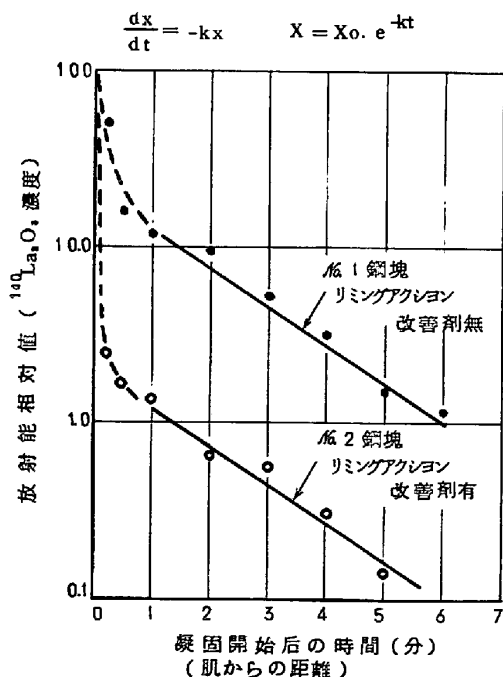


図1 リム部での介在物の分布状況

や気泡による洗じょう効果のようにリミングアクションの強さに関係ある因子と残溶鋼の粘度のような因子とが関係している。一般に、CO ガス放出量は凝固の進行とともに少くなるが、残溶鋼の粘度は逆に増加するので、リミングアクションの影響は残溶鋼の粘度の小さい凝固初期に顕著にあらわれるのであろう。

2. 介在物の種類、大きさ

前述の鋼塊と同一要領で製造したリミングアクションの異なる2本の鋼塊のリム部から、介在物を抽出し、各種調査を行つた。介在物の大きさを 図2 に、分析結果を下表に示す。

表1 リム部介在物分析結果 (No. N-1)

リミング アクション	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	MnO %	FeO %
良	0.002	0.003	0.012	0.094
	0.002	0.004	0.013	0.090
不良	0.006	0.030	0.032	0.090
	0.010	0.035	0.032	0.092

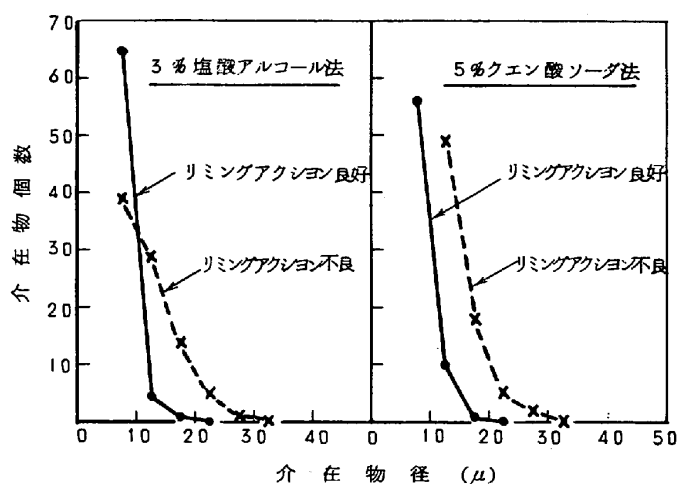


図2 リム部介在物抽出残渣の検鏡結果

リミングアクションの良好な鋼塊では、介在物が小さいことおよびFeOを除く他の酸化物系介在物量が低いことが認められ、先の¹⁴⁰La₂O₃の試験結果と一致している。顕微鏡下での調査結果でも、リミングアクションの良好な鋼塊では、介在物が小さいことおよびガラキサイト系介在物が小さいことが認められた。

リミングアクション時の介在物の浮上分離速度には、介在物の性状（濡れ性）も関係しており、介在物の種類によつて浮上分離しやすさが異なることは考えられる。2次脱酸生成物はその生成量や生成時期がリミングアクションの強さと関係があるので、リミングアクションの影響を浮上分離のみで考えることはできない。かかる理由からFeO系の介在物におよぼすリミングアクションの影響は不明瞭になつたのであろう。

Ⅲ コア部の巨大介在物

1. リミングアクションの強さの影響

サルファプリントを撮る前の研磨状態で肉眼で識別できる巨大介在物の個数や分布範囲とリミングアクションの強さとの関係を図3および図4に示した。リミングアクションの強さをあらわす尺度としては、リム部負偏析度を選んだ。

リミングアクションが強くなると、介在物

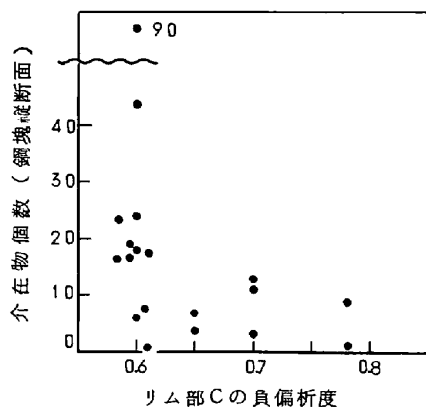


図3 巨大介在物に及ぼすリミングアクションの影響

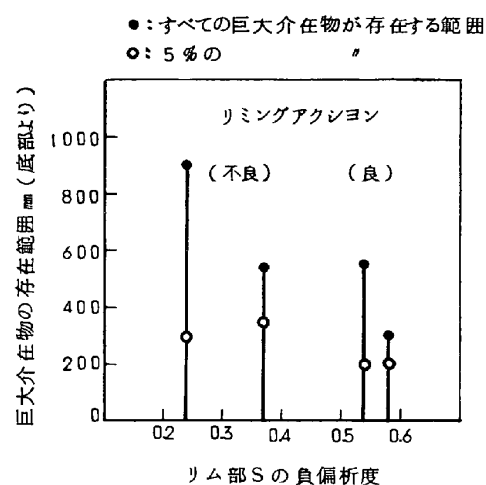


図4 リミングアクションと巨大介在物の存在範囲

は少く、且つ分布範囲が狭くなるような傾向がある。リミングアクションが強くなると、リミングアクション時の介在物の浮上分離量が多くなるため介在物量は少なくなる。鋼塊内に残留している介在物量は注入される溶鋼内の介在物量とリミングアクション時の浮上量の差によって定まり、リミングアクションのみの関数でないため、図3に示されているようにリミングアクションの強さと介在物個数との関係にはバラツキがあるのであろう。又、リミングアクションが強くなると巨大介在物の分布範囲が狭くなることは後述の湯動きにより説明される。

森らの研究によると、リミング末期には凝固層ではないが、リミングアクションによる湯動きのない粘稠な相が鋼塊底部に生成することが認められている。リミング末期に ^{199}Au を添加してもとめたリミング終了時の粘稠層、リミングアクションによる攪拌範囲、凝固層厚さを、巨大介在物の分布範囲とともに図5に示した。介在物が多量存在している範囲はリミングアクション停止直前の粘稠層の生成範囲と全く一致している。残存溶鋼内に懸濁している介在物が何らかの原因（結晶細片に捕捉され鋼塊底部に沈降する、リミングアクションによつて運搬される）で鋼塊底部に到達し、粘稠層に捕捉され浮上できなかつたため、鋼塊底部に巨大介在物が偏在したと考えられる。

粘稠層が鋼塊底部に滞留するためには、粘度の高い相が残存溶鋼内に生成し、それがリミングアクションによる湯動きに逆つて鋼塊底部に下降する必要がある、リミングアクションが強いほど粘稠層は生成しがたくなる。すなわち、リミングアクションが強いほど、巨大介在物は鋼塊底部に偏在しがたい。

2. リミングアクション持続時間の影響

リミングアクション中介在物は浮上分離するので、リミングアクション持続時間が長いほど、鋼塊内の介在物は減少すると考えられる。リムド鋼塊内の介在物量とリミングアクションを早期に抑えたメカニカルキャップド鋼塊内の介在物を比較し、キャップド鋼塊の介在物が多いと報告されている。

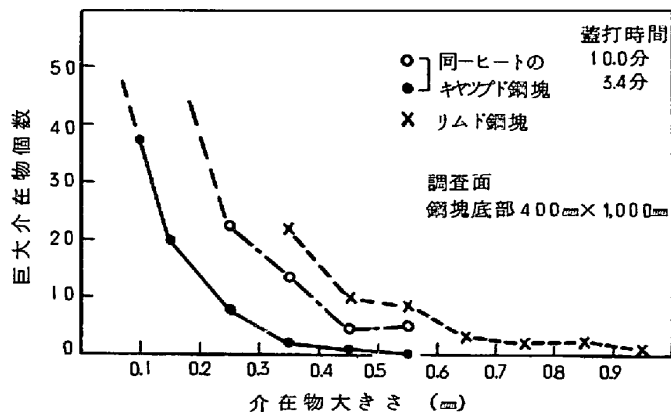


図6 介在物大きさに及ぼすリミングアクション持続時間の影響

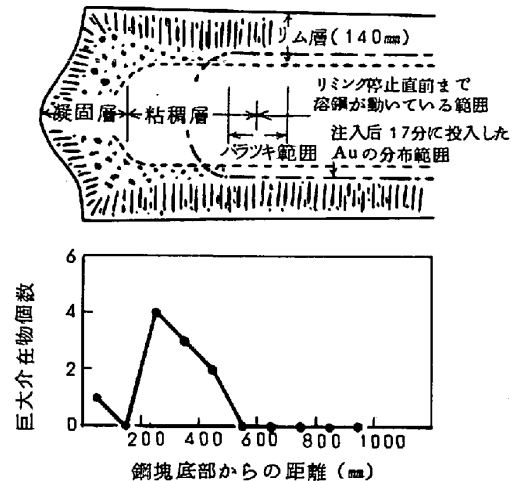


図5 巨大介在物の分布とリミングアクション停止直前の凝固状態

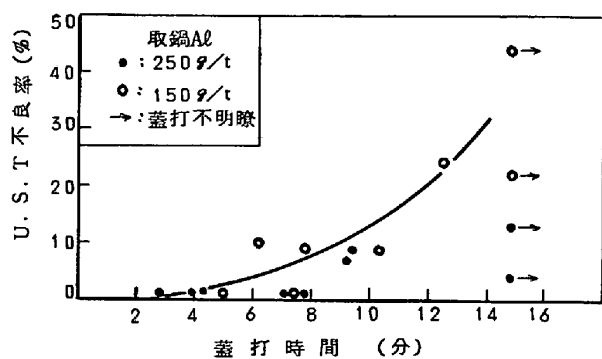


図7 U.S.T不良率と蓋打時間の関係

又、リミングアクション中介在物は凝集、肥大、成長するので、リミングアクション持続時間が長いほど、介在物は大きくなると考えられる。⁴⁾ リムド鋼塊及び蓋打時間の異なる同一ヒートのキャップド鋼塊のコア部底部の巨大介在物の大きさを比較したのが 図 6 である。リムド鋼塊に比較し、キャップド鋼塊の介在物が小さいことおよび同一取鍋のキャップド鋼塊でも蓋打時間の短い（リミングアクション持続時間の短い）ほど、介在物が小さいことが認められる。

コア底部の粘稠層は注入後 5 分頃より生成しはじめるので、介在物がコア底部へ偏在するのもその頃より始ると予想される。リミングアクションを予め定めた時間に機械的に停止させた鋼塊（キャップド鋼とし、蓋打時間をコントロールした）をつくり、0.8 mm の成品板とし、成品板の U.S.T. を行うことにより、介在物の分布範囲を調査した。成品板全長に対する U.S.T. 欠陥の発生範囲を U.S.T. 不良率とし、それとリミングアクション持続時間との関係を示したのが 図 7 である。リミングアクション持続時間が 7 分以上になると、U.S.T. 不良率が発生しやすくなっており、粘稠層の生成時期と全く一致している。

結局、リミングアクション持続時間が長くなると、鋼塊中の介在物の総量は減少するが、大きな介在物がコア底部に偏在しやすくなると云える。

IV 結 論

リムド鋼塊の介在物におよぼすリミングアクションの影響を定性的に説明した。すなわち、

- (i) リム部の介在物におよぼすリミングアクションの影響は凝固初期に現れる。リミングアクションが強いほど凝固初期に介在物が浮上分離するので、リミングアクションが強いほどリム部の介在物は少くなる。
- (ii) コア部底部の巨大介在物におよぼすリミングアクションの影響は介在物の浮上分離と粘稠層の生成から説明できる。リミングアクションが強いほど介在物は浮上分離するし、粘稠層の生成時期が遅れるので巨大介在物は減少する。リミングアクション持続時間を短くしても同じような効果がある。

リミングアクションの介在物におよぼす影響を一層明らかにするためには、注入溶鋼の清浄度や 2 次脱酸生成物の生成量や生成時期と製鋼要因との関係につき広範囲な研究が必要であろう。

文 献

- 1) 森 鉄と鋼 53 (1967) No. 10 S543,
- 2) 同 左 S541
- 3) H. Hopf et al. studei 76 (1956) 1442/1452
- 4) 浅野他 鉄と鋼 54 (1968) 643/671