

討22

連鑄製硫黄快削鋼の品質特性

上杉浩之 荒木正和 ○山本義治

川崎製鉄(株) 水島製鉄所 西村 隆 和田芳信

技術研究所 岡野 忍 峰 公雄 新庄 豊

本社 大森 尚

1. 緒言

近年、機械加工における高速化、無人化および多軸加工などの急速な発展にともない、快削鋼の需要が急増しており、その品質特性に対する要求も厳しくなっている。このような背景から当社水島製鉄所では低炭素硫黄快削鋼の連続鑄造法による製造技術を確立することにより安定した品質を得ている。¹⁻³⁾ここでは、硫黄快削鋼の連続鑄造化における製造上の問題点の検討ならびに被削性および冷間鍛造性など連鑄材の品質について以下に述べる。

2. 連鑄化の問題点と対策

硫黄快削鋼の品質特性としては被削性の優れていることは勿論のこと、近年では被削性と相反する特性である冷間鍛造性などの加工性も要求されるようになってきた。被削性向上に対しては硫化物形状を考慮して鋼中酸素を高くすることが必要とされている⁴⁾が、これは、一方凝固時における気泡発生および耐火物の溶損に対し極めて不利となる。従つて、鋼中酸素のコントロールは重要な課題となる。

2-1 気泡発生と脱酸調整

鑄片表面の気泡発生限界を調査するため S : 0.003 ~ 0.300%、O : 100 ~ 300 ppm と変化させた溶鋼中に鋼棒を挿入し、これに付着凝固させ、気泡発生状況を検討した。写真1に外観形状を示す。O : 250 ppm のとき、S : 0.010% では気泡が発生しているのに対し、S : 0.300% では全く気泡発生は認められない。これは S の表面活性効果によるものと考えられる⁵⁾。また、O : 350 ppm と高くなると、S : 0.300% でも気泡発生が起こり鋼中の酸素コントロールが重要である。

溶鋼中の自由酸素濃度 (a_o) と気泡発生との関係は図1に示されるように、 $S > 0.100\%$ では、 $a_o \leq 150$ ppm で気泡発生は抑制できる。しかし、脱酸剤として、Al, Si などの使用は切削性の点からも避けなければならず、⁶⁾ 酸素コントロールは出鋼 C により管理している。すなわち、硫黄快削鋼のような高 S, 高 O の溶鋼では a_o と鋼中 O がほぼ一致することから図2に示す出鋼 C により酸素量を 100 ~ 200 ppm にコントロールすれば、気泡発生は防止でき後述するように被削性も良好となる。

2-2 浸漬ノズル材質の検討

硫黄快削鋼は前述の成分系であることから耐火物溶損に対し極めて不利である。特に、浸漬ノズルの溶損は鑄造を継続する上で問題があるばかりでなく、品質面へも悪影響をおよぼす。

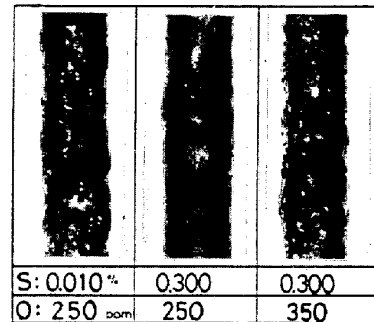


Photo. 1. Some examples of blow hole

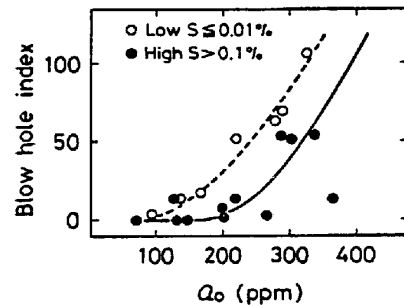


Fig. 1. Influence of blow hole on a_o

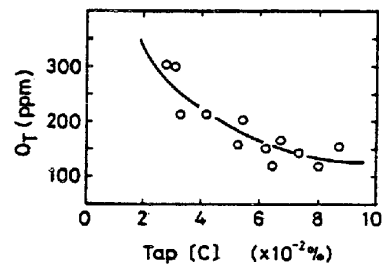


Fig. 2. Relation between C at tapping and O_r in tundish

浸漬ノズルの溶損量については、 SiO_2 質、 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-C}$ 質および ZrO_2 質から、 $25 \times 25 \times 150 \text{ mm}$ の角材を切り出し鋼浴に浸漬回転し調査した。試験条件は、溶鋼温度 $1560 \sim 1570^\circ\text{C}$ 、浸漬時間20分、回転速度 8 rev/min とした。ノズルの溶損量と溶鋼S量の関係を図3に示す。 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-C}$ 質および ZrO_2 質ノズルの溶損量はS量に依存せず一定である。これに対し、 SiO_2 質ではS量の増加にともない溶損量が増加し、 S:0.300\% で ZrO_2 質の5倍程度となる。さらに、酸素量によっても大きく影響され図4に示すように高酸素量になるほど溶損量は増加する傾向にある。この理由として、 SiO_2 質ノズルは溶鋼との濡れ性が大きく、また表面に低融点の MnO-SiO_2 層が生成するため表面活性成分であるS、Oの影響を受け易いものと考えられる。従って、浸漬ノズル材質に対しては連铸操業上および品質面からも溶損の最も少ない ZrO_2 質が好ましい。

2-3 鑄片サイズと硫化物粒徑

鑄片断面寸法と硫化物の平均粒徑の分布を図5に示す。連铸材の硫化物粒徑は造塊材よりも小さくなっている。これは、凝固速度のちがいによるものである。また連铸材において、硫化物粒徑におよぼす鑄片サイズの影響は小さい。これは各モールドサイズの凝固速度差が通常の連铸操業条件下では小さく、硫化物粒徑のちがいが出るまでには至らないためと考えられる。

3. 連铸材の品質特性

3-1 内質および表面性状

硫化物の形状比(l/d)が被削性に影響することは良く知られている。図6には製品丸棒における硫化物形状比と酸素量の関係を示す。被削性に対して好ましい紡錘形の硫化物を得るに必要な酸素量は、一般に造塊材の場合、 $200 \sim 300 \text{ ppm}$ であるといわれているのに対し、連铸材の場合、造塊材と同程度の硫化物形状比を確保するために必要な酸素は、 100 ppm 以上でよいことになり酸素を低減できる。これは、同一製品径に至るまでの圧下比が造塊材よりはるかに小さいため硫化物の延伸が少ないことによるものである。

さらに造塊材の場合、硫化物形状を考慮して酸素量 200 ppm 以上を狙うため、 MnO-SiO_2 系の介在物による表面疵、地疵が発生し易く、製品の引抜き、切削時の割れなどの欠陥原因となる。図7には磁気探傷による丸棒製品の表面疵評点と酸素量の関係を示すが、連铸材の場

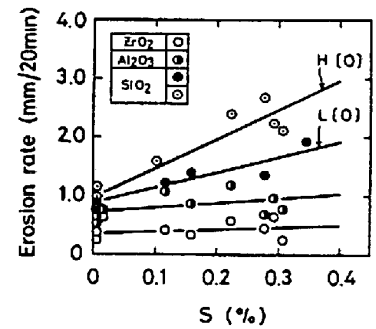


Fig. 3. Effect of S contents on erosion rate

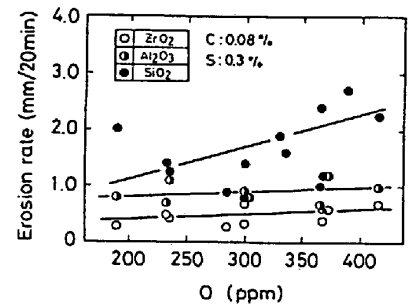


Fig. 4. Effect of O contents on erosion rate

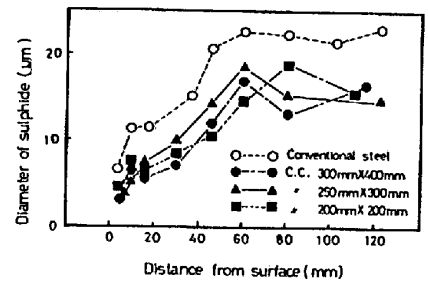


Fig. 5. Diameter change of sulphide in C.C. bloom and ingot

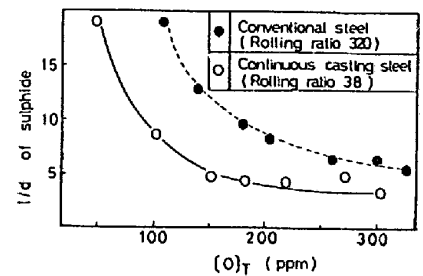


Fig. 6. Relation between oxygen content and shape of sulphide

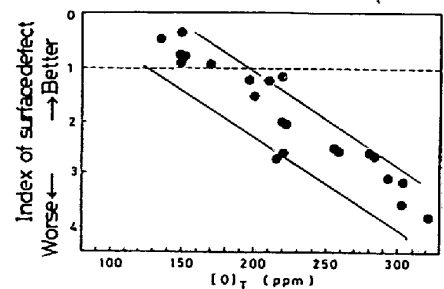


Fig. 7. Relation between oxygen content and index of surface defect

合、酸素量を 150 ppm 程度に管理することで優れた表面性状を得ることができる。

3-2 被削性

連鑄材と造塊材についての被削性を長手旋削試験および突切り切削試験により比較した結果を図 8, 図 9 に示す。被削性は、連鑄材と造塊材でちがいのないことがわかる。図 10 には丸棒製品の径方向各位置における長手旋削試験結果を示す。連鑄材の表層部は硫化物が微細であるにもかかわらず造塊材と比較して被削性の低下が認められない。

切削加工工程における硫化物の作用は切屑剪断域における内部応力集中源および工具と切屑間の粘性体潤滑作用が考えられ、一般に硫黄快削鋼の場合、前者の効果が大きいといわれている⁷⁾。そのため、硫化物形状は糸状に延伸したものより紡錘形の方が好ましいことになる。

連鑄材の被削性が造塊材と同等の特性を示すのは、硫化物の大きさが総体的に小さいにもかかわらず、紡錘形の硫化物が安定して得られるためであろう。さらに、連鑄材表層部の硫化物微細域においても被削性が低下しないのは、硫化物の数が多くしかも均一分布するため硫化物のミーンフリーパスが小さくなることによる効果と考えられる。

3-3 冷間鍛造性

一般に冷間鍛造性と被削性は相反する特性であると言われているが、最近では本鋼種においても冷間鍛造性を要求されることが多くなってきた。

図 11 には低速歪法による冷間鍛造性試験結果を示す。連鑄材は造塊材に比較して加工限界までの圧縮歪量が大きく冷間鍛造性が優れている。写真 2 には冷間鍛造性試験後の割れ部のミクロ観察結果を示す。造塊材は連鑄材に比べて表層部から粗大硫化物が多く存在しており比較的小さい歪量で硫化物を起点に割れが発生し歪量の増加に伴い硫化物を伝播しつつ割れが進展する。これに対し、表層部に微細な硫化物の存在する連鑄材では、割れ感受性が小さい。図 12 には限界圧縮歪量におよぼす供試材表層部の硫化物微細域厚さの影響を示す。硫化物の微細領域が増加するほど冷間鍛造性が向上することから、連鑄材の冷間鍛造性に対する優位性が硫化物の微細域厚さから説明される。さらに、冷間鍛造性に対しては酸化物系介在物も悪影響を及ぼす。この点連鑄材は酸素量の低減

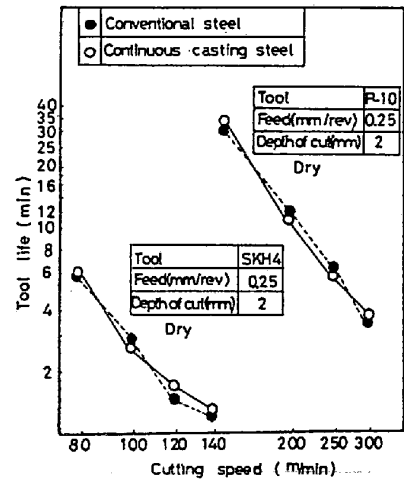


Fig. 8. Comparison of V-T curves in turning test

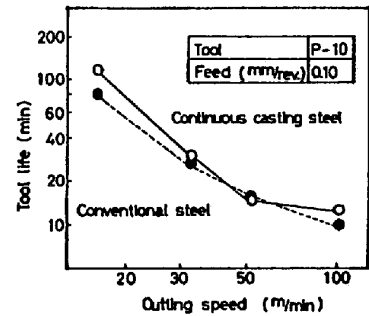


Fig. 9. Comparison of V-T curves in cutting-off test

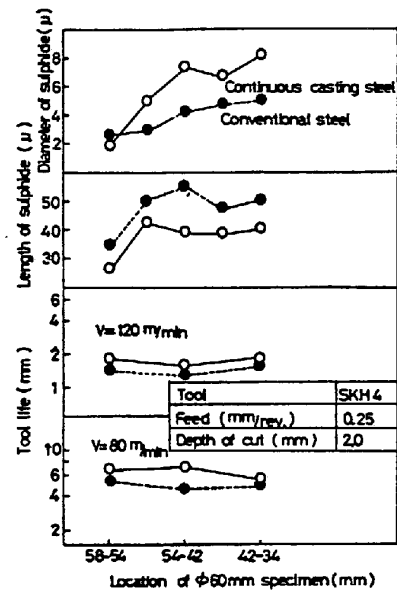


Fig. 10. Shape of sulphide and tool life in each location of phi 60mm specimen

が可能であることから酸化物系介在物も少なく、図11に示した造塊材（高酸素）のように冷間鍛造性が極端に低下することもない。

以上の如く連铸材は酸素を低減しても被削性に対して好ましい紡錘形の硫化物が得られることから酸化物系介在物も少なく、さらに表層部に硫化物の微細域が存在することにより冷間鍛造性も優れている。つまり、連铸材は造塊材に対し被削性は同等でかつ冷間鍛造性が優れていることが判明した。

4. 結言

当社では、従来より困難とされていた低炭素硫黄快削鋼の連続铸造化に成功した。連続铸造化に際しての主な問題は、①ブローホールの発生、②耐火物の溶損などがあり、それらに対して、①脱酸コントロール技術の確立、②耐火物材質の選定などにより健全な鑄片の製造が可能となった。連铸材の品質特性としては、造塊材に比較し素材から製品までの圧下量が小さいことから鋼中酸素を低減しても紡錘形の硫化物形状が得られ、さらに酸化物系介在物も減少できる。そのため、被削性は造塊材と同等の特性が得られる。さらに冷間鍛造性については表層部の硫化物が微細であること、および酸化物系介在物が少ないことから造塊材に比較して大巾に向上する。被削性と冷間鍛造性とは相反する特性であると言われていたが、連铸で製造することにより可能となる。

以上のことから、連铸製硫黄快削鋼は被削性、冷間鍛造性が優れ、省エネルギー、歩止り向上の観点からも今後の主流プロセスになると考えられる。

文 献

1) 松野, 岡野, 新庄, 佐藤, 大森, 和田	鉄と鋼	67 (1981) 5, S 195
2) 山本, 西村, 和田, 上杉, 新庄, 岡田	鉄と鋼	67 (1981) 5, S 196
3) 小石, 荒木, 西村, 山本	鉄と鋼	67 (1981) 13, S 1372
4) 例えば T. J. Baker et al	JISI	210 (1972) P 686
5) R. B. G. Yeo	J.Metal	19 (1967) 7, P 23
6) 藤田, 山口, 萩原, 金田, 柳	鉄と鋼	57 (1971) 13, P 2100
7) 山本, 山口	マシニスト	13 (1963) 5, P 31

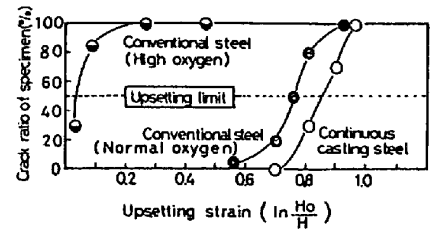


Fig.11. Relation between deformation and crack ratio of specimen surface after upsetting

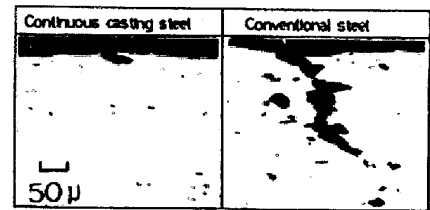


Photo. 2. Typical micrographs of crack (cross section)

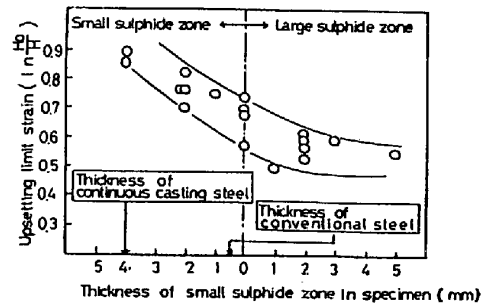


Fig.12. Relation between upsetting limit strain and thickness of small sulphide zone