RH 水素吹き込み法による極低炭素鋼 脱炭促進技術の開発

山口 公治¹⁾ 岸本 康夫¹⁾ 竹内 秀次¹⁾
藤井 徹也²⁾ 久我 正昭³⁾

1. 緒 言

自動車用外板の一体成型化や部品形状の複雑化に対応するため、伸びや深絞り性など加工性に優れた冷延鋼板の要求が高まっている。このような超深絞り冷延鋼板を製造するためには、製鋼工程で炭素濃度(以下[C]と略記する)を[C]=20 ppm レベルからさらに低下することが望まれる⁽¹⁾。極低炭素鋼は、一般に転炉で[C]=200~500 ppm 程度まで脱炭した溶鋼を、RH 環流式脱ガス装置(以下 RH と略記する)で[C]<30 ppm まで真空脱炭して溶製されている。

RH での脱炭反応速度は、[C]<20 ppm といった極低炭素濃度域では大幅に低下することが知られており、[C]≤10 ppm といった超極低炭素鋼を工業規模で大量生産することは従来困難であった⁽²⁾⁽³⁾。

著者らは、極低炭素濃度域における脱炭速度の増大方法として、水素ガスを溶鋼中に添加・溶解し、いったん溶解させた水素ガスを脱ガス槽内で再び気泡発生させることにより脱炭反応の気液界面積を増大する新規な脱炭促進方法(RH 水素吹き込み脱炭法)を考案し、実機実験を行い、[C]≤10 ppm の超極低炭素鋼を安定して溶製する技術を開発した。

2. RH での極低炭素鋼の脱炭挙動と開発技術の原理

RH での極低炭素濃度域での脱炭反応($\text{C} + \text{O} = \text{CO}$)は、炭

素に関する一次反応で進行するとすれば、系全体の[C]変化は次の式(1)、(2)で表される⁽⁴⁾。

$$\frac{d[C]}{dt} = -K_c[C] \quad (1)$$

$$K_c = \frac{ak \cdot Q}{V(Q + ak)} \quad (2)$$

ここで気相の CO 分圧、 P_{CO} と平衡する[C]、 $[C]_e$ は RH では十分小さいので無視した。また、 a ：反応界面積(m^2)、 k ：物質移動速度定数(m/s)、 V ：溶鋼体積(m^3)、 Q ：溶鋼環流速度(m^3/s)である。これらの式による[C]変化の予測値は、実操業のデータとよく一致することが知られている⁽⁴⁾。

当社の千葉第3製鋼工場の260 ton 規模の RH において得

図1 真空脱ガス槽水平断面積あたりの脱炭反応容量係数と溶鋼中[C]の関係。

* 川崎製鉄株式会社

鉄鋼研究所：1)主任研究員 2)鉄鋼プロセス研究部部長
千葉製鉄所：3)製鋼部部長

Hydrogen Gas Injection for Promoting Decarburization of Ultra Low Carbon Steel in RH Degasser; Koji Yamaguchi, Yasuo Kishimoto, Shuji Takeuchi, Tetsuya Fujii, Masaaki Kuga (Kawasaki Steel Corporation)
1994年1月31日受理

た脱炭曲線から、式(1)、(2)により反応界面積と物質移動係数の積の値、 ak 、(物質移動容量係数)を求めた。 ak を真空脱ガス容器内の横断面積、 S 、で除した値と $[C]$ の関係を図1に示した。 $[C]$ の低下にしたがい ak/S は急減し、 $[C]>20$ ppmの領域に比べ $[C]=10$ ppm付近の脱炭速度はかなり小さい。

脱炭反応は、真空槽内の浴表面、溶鋼の環流ガスとして吹き込んでいるArガスと溶鋼との界面、発生するCOの気泡界面、真空槽内のスプラッシュ表面などで進行すると考えられる。極低炭素領域での脱炭反応は、脱炭反応によって生成されるCOガス気泡が脱炭反応を誘起するといった連鎖反応的な現象と考えられる。極低炭素濃度域での脱炭反応の停滞は、溶鋼中からのCOガス気泡の発生速度が減少することの影響が大きいと推定した。そこで、COガス気泡に代わり、溶解している水素ガスが気泡として脱ガスされる現象を利用すれば、COガス発生が減少する $[C]\leq 10$ ppmの領域においても脱炭速度を向上できるとの考えに至った。

H_2 の供給速度は、 $[C]=20$ ppmの時のCOガス発生速度と同じ H_2 発生速度を得る条件として $3\sim 4$ Nm^3/min とした。なお、極低炭素鋼では $[N]$ の要求レベルも低く N_2 を溶解ガスとして利用することはできない。

3. RH水素吹き込み法による脱炭促進技術

(1) 実験方法

実験は当社千葉製鉄所のNo. 3 RH脱ガス装置を用いて行った。装置の概略を図2に模式的に示す。水素の添加は、RH浸漬管側面の環流用ガス吹き込み羽口から水素ガスをArガスと混合して吹き込む方法で行った。

図2 RH水素吹き込み法の実機実験模式図。

水素の吹き込みは脱炭速度が急激に低下する脱炭処理開始10分前後から開始し、Alを添加して脱炭処理を終了するまで継続した((A)法)。このとき $[H]$ は6分間程度で約3 ppmまで上昇し定常となった。脱炭処理終了後はArガスのみで

環流して脱炭処理を行ったが、その間に $[H]$ は2 ppm以下まで低下した。典型的なガスの吹き込みパターンと $[H]$ の変化を図3(a)に示す。

さらに $[H]$ を上昇することを目的とし、脱水素を抑制するために処理途中で約5分間脱ガス容器内の圧力を $4\times 10^3\sim 1.3\times 10^4$ Paに上昇して低真空度処理を行い、 $[H]$ を増加させた後に高真空度下での脱炭処理を約5分間行うパターンも試みた((B)法、図3(b)参照)。

図3 水素吹き込み実験時のガス流量パターンと溶鋼中 $[H]$ の変化。

(2) 実験結果および考察

脱炭処理時間と到達 $[C]$ 値の関係を、(A)法、(B)法についてそれぞれ図4、5に、工程法と比較して示す。ここで $[C]$ は約1 gのブロック状試料をポンプサンプルより切出し、電解研磨した後、燃焼赤外線吸収法により分析した。

工程法ではばらつきは大きい、到達 $[C]$ 値の分布は $[C]<20$ ppmでは、脱炭がおおむね一次反応速度式にしたがっていることを示しており、その脱炭速度定数は約 $0.05\ min^{-1}$ である。

これに対して(A)法では $[C]<20$ ppmにおいても脱炭が迅速に進行し、脱炭処理間20分で $[C]=10$ ppm程度まで脱炭が可能であった。この間の脱炭速度定数は約 $0.1\ min^{-1}$ であり、工程法に比べ約2倍に向上した。さらに(B)法では、脱炭処理開始後15~20分の低真空度処理間に脱炭速度が大きく低下しているにもかかわらず、約25分の脱炭処理時間で $[C]<10$ ppmまで脱炭しており、最終的に(A)法、(B)法ともに最低到達 $[C]$ 値4 ppmが複数ヒート得られた。

図6に脱炭処理時間20分および25分における各方法によ

図4 水素吹き込み(A)法と従来法との脱炭挙動の比較。

図5 水素吹き込み(B)法と従来法との脱炭挙動の比較。

図6 水素吹き込み法と従来法との到達[C]の比較。

表1 各脱炭精錬法の[C]≤10 ppmの達成率比較。

精錬法	従来法	H ₂ 吹き込み(A)法	従来法	H ₂ 吹き込み(A)法	H ₂ 吹き込み(B)法
精錬時間	20分	20分	25分	25分	25分
[C]≤10 ppm達成率	26% (8/31)	50% (8/16)	67% (10/15)	100% (8/8)	100% (10/10)

る到達[C]値の平均値と標準偏差を、また表1には[C]≤10 ppmの達成率をまとめて示す。水素吹き込み法では、20分の脱炭処理時間で平均約10 ppm、25分で平均約7 ppmまで脱炭可能であり、(A)法、(B)法とも25分の脱炭処理時間で[C]≤10 ppmを安定して溶製可能である。

4. 特 許

本技術について、基本特許は特公昭60-21207(登録No. 1461205)として登録されており、ここで紹介したRHにおける極低炭素鋼溶製方法についても特開平4-333513他10件の関連特許を出願している。

5. 結 言

[C]≤10 ppmの超極低炭素鋼の大量安定生産を目的とし、RH脱ガス装置での水素ガスの吹き込みを利用する新規な技術開発を行い、以下の結果を得た。

- (1) [C]<20 ppmの極低炭素濃度域の脱炭速度が、RH水素吹き込み法により従来法の約2倍になることを見いだした。
- (2) 本技術により工業生産規模で、最低到達[C]=4 ppmを複数ヒート得ることができた。
- (3) 本技術により25分の脱炭処理で、[C]≤10 ppmを安定して(100%の確率で)溶製できることを示した。
- (4) COなどの気泡発生条件、適正な水素供給速度などの検討により水素吹き込みによる脱炭速度増大の理由を明確にした。

文 献

- (1) 角山浩三, 小原隆史, 佐藤 進, 阿部英夫, 柴崎 治, 上杉 暢彦: 川崎製鉄技報, **22**(1990), 178.
- (2) K. Yamaguchi, Y. Kishimoto, T. Sakuraya, T. Fujii, M. Aratani and H. Nishikawa: ISIJ International, **32**(1992), 126.
- (3) T. Kuwabara, K. Umezawa, K. Mori and H. Watanabe: Trans. ISIJ, **28**(1988), 305.
- (4) 住田則夫, 藤井徹也, 小口征男, 森下 仁, 吉村啓助, 数土 文夫: 川崎製鉄技報, **15**(1983), No. 2, p. 152.