超高電力 (UHP) 電気炉高速製鋼技術

杉山 信明*

1. ま え が き

われわれは炉殻内径 5.8 メートル (装入量 96 t), トランス容量 60 MVA のエルー式電気炉を使用して, 月間 44000 t (溶鋼) の良質特殊鋼を製造している。送電開始から第 1 回試料採取までの所要時間が 54 分, それ以降, 出鋼までの所要時間が約 20 分で, 1 日平均 16 チャージの出鋼回数を維持している。1 時間当りの純生産速度は 65 t (溶鋼) となっている。上述の容量の電気炉で, この生産性は従来の特殊鋼溶製速度の概念をはるかに越えるものと考えられる。主要条件および主要原単位は下記の通りである。

溶製鋼種: 低炭素, 中炭素構造用合金鋼

高炭素クロム軸受鋼

出鋼温度: 1710~1650°C

酸素-灯油バーナ: 3 本装着

水冷炉壁: 全炉壁面積の約 75%

消費電力量: 465 kWh/liquid steel ton

電極消費量: 3.4 kg/liquid steel ton

炉壁耐火物: 0.39 kg/liquid steel ton

酸素 (バーナ): 14.5 Nm³/liquid steel ton

灯油 (バーナ): 5.8 l/liquid steel ton

2. 操業の原理

鉄鋼精錬においては各種の反応速度を取扱う場合, バルクは常に一樣だと前提を採っている。エルー式電気炉においても同様である。固体 (スクラップ) を溶融する場合, 溶融体バルクを一樣だと判定できる状態をいずれの時期で保証するか, 保証のための所要時間をどの程度にすればよいか, またどのような手段あるいはインデックスをもって保証しうるのか, といった問題は従来あま

り関心を持たれなかったし, 解析もなされていなかった。いっぽう溶融体バルク様の条件は人為的に配慮する必要はなく, 当然保証されるものと考えられる傾向も見受けられるが, これは明らかに誤りである。特にスクラップの高速溶解を主眼とする UHP 電気炉においては, 2 次側の出力設計にあたって, 比較的高い電圧が選定されるので, 上述の条件が重要になってくる。

筆者らの開発した高速製鋼技術は, 日常作業において, 何等のセンサを必要とすることなく固体 (スクラップ) が 70~80% 溶融した時期に, バルク様の状態を保証する原理の上に立っている。しかもその原理を実操業に適用するためのインデックスは式 (1) のように簡単な式で表現される。

$$\frac{\sum V_A \cdot t}{\sum t} \leq \text{可変常数} \quad (1)$$

V_A は無負荷時のアーク電圧を, t は時間をあらわしている。右辺は 2 次側の電圧, 電流および主回路のインピーダンスによって定まる実験的定数である。対象とする電気炉の装入重量, トランス容量, 主回路の特性によって, それぞれ異なる値をとる。

この式はアーク電圧の時間による加重平均値をあらわしている。

実操業に際して式 (1) は 2 次側の使用されるべき電圧, 電流およびそれらの切換時期を指示することになる。炉内にスクラップが多量にある間は高い電圧を使用し (電流は容量によってきまる), 溶解期の特定の時期に, 右辺を満足するように, 特定の電圧, 電流が選定されなければならない。式 (1) の主なる適用時期はスクラップが完全に溶解し終るまでである。

図 1 はスクラップが 70% 程度溶解した時期のバルクの状態と $\sum V_A \cdot t / \sum t$ との関係を示す一例である。

θ_x / θ_s はバルクの縦方向の温度比で, θ_s は表面の温度, D_x / D_0 はバルクの深さの比で, D_0 は表面から炉床までの距離をあらわしている。パラメータの $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$,

* 山陽特殊製鋼株式会社製鋼部長
Ultra Rapid Melting in the UHP Arc Furnace; N. Sugiyama (Sanyo Special Steel Co.)
1978 年 5 月 31 日受理

……は $\sum V_A \cdot t / \sum t$ の値で、たとえば 200 とか 250 などの値をとる。

スクラップがほぼ溶融し終る時期に、溶融体バルクがいわゆる境界層に似た様相を呈すれば熱移動抵抗および物質移動抵抗は測り知れぬほど過大となり、高速製鋼操作が成立しなくなる。また品質上あるいは操作上のトラブルの原因ともなる。

図1 $\sum V_A \cdot t / \sum t$ とバルクの関係。

3. 実際の操作

式(1)にしたがって電力の投入プログラムが組立てられる。それに伝統的冶金操作——たとえば石灰の投入など——を加味すればよい。プログラムを組むにあたって、力率は常に71%を下まわらないように配慮される。また送電開始から第1回試料採取までの必要電力量は250~300 kWh/溶鋼 t 程度とみればよい。

図2は電力投入プログラムの一例である。主装入期および追加装入期を通じて式(1)が適用されるが、電力の配分の仕方はいく分経験的要素によっている。第1回試料採取以降は可能な限り昇温律速操作になるように配慮し、所定の出鋼温度まで昇温する。これによって十分良質の特殊鋼を製造しうる。さらに高級な品質の鋼については、これに脱ガス操作を加える。

図2 電力投入の模式的な一例。

4. 酸素-灯油バーナと水冷炉壁の役割

ホットスポット部の各相の平衡化は近年その改善対策が進歩しつつあるが、ホットスポットとコールドスポットとの平均化は不可能であろう。この状態を補完するのがバーナである。したがって、それぞれコールドスポット部に装着される。UHP 電気炉においてはアークエネルギーの代替としての役割りはごく小さい。

水冷炉壁は近年世界的に常識化しつつあるが、UHP 電気炉にとっては必要欠くべからざる装置である。

5. 結 言

UHP 高速製鋼技術の操作原理と実際操作の一例を紹介した。この技術は、最適の効率で、最大の溶解、精錬速度をうる目的で、電気工学的要素と化学工学的要素を組み合わせることによって開発された。

そして特殊鋼の電気炉製鋼の生産性を飛躍的に向上せしめることができた。

さらに2項に述べた概念は、トランスの2次側の出力設計に応用されるものである。

現在この技術は諸外国に技術輸出されている。