論 説

UDC 669.187.2A:658.512.7:681.3

アーク炉最適電力制御装置 ARMS MARK II

江 口 勇*, 稲 垣 悦 郎**
今 川 弘**, 尾 関 信 夫**

Automatic Rapid Melting System Mark II

Isamu Eguchi, Etsuo Inagaki,
Hiroshi Imagawa and Nobuo Ozeki

Synopsis

As for arc furnace, improvement of the productivity and mechanizations of the automatic operation are strongly requested.

In answer to this, our company has developed Automatic Rapid Melting System (ARMS), as an object of the melt-down period since 1968.

By improving and developing the ARMS and using minicomputer, we developed ARMS MARK II, which has program control of melt-down, independent control of each phase, judgment of the end of melt-down with melt-down conditions sensor and data treatment functions of operation. And we will report about its outline and merits.

1. ま え が き

製鋼アーク炉において、生産性の向上、操業の自動化が強く要望されている。当社はそれにこたえるべく昭和43年以来溶解期を対象としたアーク炉最適電力制御装置ARMS (Automatic Rapid Melting System) を開発した。今回 ARMS を改良発展させミニコンピュータを用いて溶解のプログラム制御、各相電極の単独制御、溶解状況センサを用いた溶け落ち判定、操業のデータ処理機能を備えた最適電力制御装置 (ARMS, MARK II) を開発したので、その概要と特徴について報告する。

2. アーク炉の自動制御化

アーク炉操業において、溶解期は材料の状態や電源事情などによって、その溶解の進行は大きく左右される。また、作業者の経験により運転条件が設定される

ことも多いので、その熟練度によって操業結果が変わってくる。さらに最近UHP化されたアーク炉も多く、その場合溶け落ち判定の一瞬の遅れが大きな電力損失につながり、またアークによる炉壁レンガの損傷が大きな問題になってくる。以上のような作業条件下にあるアーク炉操業を自動化するにはつぎのような機能が必要である。

- (1) 作業の自動化、標準化と安定化 (プログラム制御、残時間表示)
- (2) 的確な溶け落ちの判定 (溶解状況センサ)
- (3) 炉壁、レンガの保護 (アーク長さ制御、力率制御)
- (4) 電力量原単位の低減 (電力制御と力率制御)
- (5) 各相溶解進行の均一化 (各相電力制御、各相力率制御)
- (6) フリッカ、デマンドによる電力制御に効果的に対処する (電力制御、力率制御)
- (7) 作業記録の自動化 (データロギング)
- (8) データ集積による管理の高度化 (学習制御、データロギング)

昭和48年 8 月 4 日 受付

*大同製鋼株式会社製作所、工博

**大同製鋼株式会社製作所

Fig. 1. ARMS MARK II system.

以上の要望に対して(1), (3)は従前のARMSでも実施されていることであるが、さらにそれらを高度化するとともに(2), (4)~(8)を満たすためにミニコンピュータと溶解状況センサを用いた ARMS MARK IIを開発した。

3. ARMS MARK II の制御方式と特徴

本装置の系統図を Fig. 1 に示す。本アーク炉制御装置はプログラム制御を主体とし、材料の配合、カサ比重などによって差異のプログラム多数を、ミニコンピュータに記憶させる、各プログラムは溶解の各工程

について電力、力率、工程切替用電力量が与えられている。プログラムの一例を Fig. 2 に示す。抽出されたプログラムは単位重量当りのものであるので、実際の装入重量を設定することによって、実際の装入量に見合ったものに修正される。またこれらプログラムは、実際に操業された実績データを、ミニコンピュータに記憶学習制御させ自動的に順次修正、最適化してゆく。溶解の進行状況をアーク炉各相電極裏の水冷ボックスの冷却水の温度上昇度によって検知し、溶解の進行に差違が生じたときは、各相別にあーク長さ(力率)の制御を行ない、溶解終了を各相同一にする。こ

Fig.2. Basic program.

のようにミニコンピュータを使用してアーク炉をプログラム制御するアーク炉最適電力制御装置 (ARMS MARK II) の主たる制御方式と機能は、つぎのようである。

3.1 基本プログラムの形態

溶解の基本プログラムは Fig. 2 のように初装、追装1回、または追装2回の2群または3群にわけられる。各群における投入電力、力率、投入電力量をプログラム設定する。基本プログラムは、スクラップの配合、カサ比重によって数種に分けて、ミニコンピュータに記憶させ操縦者の押ボタンワンタッチ操作で抽出する。

(1) 電力制御

電力 (設定) については、通電初期、ボーリング期は炉天井レンガ、炉底レンガの保護を考慮して電力を限定投入し、その後フルパワーを投入する。溶解末期は炉壁レンガの保護を考慮して電力を限定する。電力を設定することによって、一次電圧の変動に無関係に所定の電力を投入できる。またフリッカ抑制、デマンド制御の際、その設定値 (制限電力) を、それら抑制装置からカスケードに結びつけることにより、効果的に制御を行なう。

(2) 力率制御

力率はアーク長に関係があり、溶解初期は力率を比較的高くしてアークを長くし、溶解末期には力率を低くして、アークを短くし溶解を効率よく行なう。アークを長くすれば電極直下のスクラップを局部的に溶解進行させ、溶鋼の湯だまり (プール) を早くつくり、アークを短くすれば、溶鋼の表面にある熔融スラグ層内でアークが埋没されて、炉壁レンガ局部の損耗を防止する。

(3) 溶解の進行制御 (工程切換)

電力、力率の切換は投入電力量および溶解状況センサによって行なう。溶解初期の工程切換えは、投入電力量が初期の溶解量を示すもっとも適切なパラメータであるので電力によって切換える。以後の工程切換えは電力量と溶解状況センサの併用により判断する。

(4) 重量修正

基本プログラムは単位重量のものとして作成し、抽出されたプログラムは重量を入力することにより、装入量に見合った実際の値に修正される。

(5) タップ選定と電圧、電流制御

設定された電力、力率から電圧、電流値を次式によって演算出し、適正タップを選定する。制御された値は、PT、CTにより測定し、設定値と差異がある場合は、タップを自動的に修正する。

$$\text{電圧 } V = \sqrt{\frac{X \cdot kW \times 10^8}{3 \cos \phi \sin \phi}}, \text{ 電流 } I = V \sin \phi / X$$

(X:リアクタンス)

(6) 各相制御

炉の電氣的な幾何学的不平衡、スクラップ装入状態の不平衡によって各相における溶解進行程度に差を生ずることがある。前者は恒常的に表われるものであり、あらかじめ組まれたプログラムによって溶解末期において各相ごとに力率の設定値に差をもたせ、溶解終了時期を等しくする。各相力率の不平衡の幅は、溶解経験を学習制御することにより修正される。スクラップの装入状態の不均一による溶解状況の差は、溶解状況センサによって検知し、各相個別力率制御を行なう。

(7) 電力投入状況による修正

溶解作業中に電極折損、設備事故などによる止電、フリッカ、デマンドによる電力制御は、電力量原単位の低下につながりプログラム制御を困難にする。このため止電の際は、止電時間を検知し工程切換電力量を修正する。溶解作業中、フリッカ、デマンドによる電力制限などにより、設定電力が投入できない場合も同様に修正する。

(8) 溶け落ち判定(残時間表示、溶け落ち通報)

溶け落ちの判定は、溶解状況センサと修正された電力量設定値に達した時期との併用により行ない、警報を発して作業者につぎの作業の開始をうながす。一方溶解の進行中にその時点の電力負荷状況と溶解の終了

までに必要とされる電力量とから、溶解終了までに必要とされる時間を算出してデジタル表示する。

(9) 溶解状況センサと学習制御

炉側に取付けてある水冷ボックスの冷却水の入口、出口の温度差を計ることにより溶解状況を知る。すなわち、スクラップが充満している時は、アークによる発熱は近傍のスクラップに吸収されて冷却水は昇温しないが、溶解進行にしたがい、電極裏のスクラップが溶け落ちると炉壁は直接アークにさらされ、冷却水の温度は急激に上昇する。このように冷却水の温度変化を測ることによって炉内の溶解状況を検知できる。溶解進行状況と水温の関係については Fig. 3 に一例を示す。センサは各相ごとに3組とりつけ、各相の溶解状況を検出し制御する。また操業はあらかじめ組まれたプログラムで行なうが、そのプログラムの適否を溶解状況センサによって判定し、学習制御によって元のプログラムを修正していく。

4. ARMS MARK I による操業と作業記録

4.1 操業

自動運転の場合の工程進行を Fig. 2 について説明する。最初に溶解鋼種、カサ比重を設定することによりプログラムが抽出され、つぎに装入重量を設定すると、装入重量に見合った工程切換電力量が演算される。初めは電力 P_1 、力率 $\cos \phi_1$ を与える電圧、電流で運転し、消費電力量をカウントする。消費電力量が P_2 に達すると、電力 P_2 を与える条件に自動的に

Fig. 3. Change of water temperature of water cooling box.

変わる。同様に P_3 , P_4 へ進行する。溶解末期に入れば、溶解センサにより各相別の力率を制御する。通電が開始されれば、その時の負荷状況により追加装入までの所要時間を表示し操炉者につぎの作業準備をさせる。追加装入後は、同様に電力 P_5 , 力率 $\cos \phi_5$ を与える条件で運転を開始し, P_7 , P_8 , P_9 へと進行する。溶解センサをもとに学習制御に必要なデータを計算機が記憶する。したがって作業者の適正プログラム抽出の2種の押ボタン操作と装入重量設定だけで最適溶解が行なわれる。

4.2 作業記録

本装置は、ミニコンピュータのデータロギング機能を利用して種々の作業記録をタイプアウトする。

(1) 装入の自動記録

スクラップ種類 (配合, カサ比重), 装入重量, 溶解所要時間, 溶解消費電力量

(2) 諸動作の自動記録

ABB ON, OFF (通電, 止電) 動作とその時間, 炉蓋開閉動作 (装入作業) とその時間, 炉体傾動動作 (出鋼) とその時間

(3) 操作盤の操作による作業記録

操作盤上の該当押ボタンを押すと動作内容とその時の時間が記録される。電極折損, ピークカット, 設備事故など

(4) 操業データ記録

本記録はアーク炉操業詳細データ収集などに利用さ

Photo. 1. Control board for ARMS MARK II.

れるもので1 minごとにつぎの値を記録する。(日常操業でこの記録を除外することもできる)

電力 (3相と各相), 電圧 (各相), 電流 (各相), 力率 (全体と各相), リアクタンス (全体と各相), 冷却水温度 (3個所)

(5) その他の記録

溶鋼温度 (消耗熱電対から信号が入ったとき)

ARMS MARK II 操作盤と制御盤を Photo. 1 および 2 に示す。

(注) 使用機器

ミニコンピュータ: CAI 製 ALPHA16, 8 K

テレタイプライタ: TELETYPE社製 ASR33

5. 自動制御の効果

本自動制御装置による効果はつぎのようなものである。

(1) プログラム操業による操炉者の省力と作業の均一化

(2) 効率的電力投入による生産性の向上と電力量原単位の低減

(3) 溶解状況を検出し各相力率制御による均一溶解

(4) 基準電力量原単位の補正による適正な溶け落ち判定

(5) 終了時間予告による次作業への遅滞のない準備

(6) 操炉データの記録による改良進歩と管理の精密

Photo. 2. Control cubicle for ARMS MARK II.

化

(7) 学習制御による基本プログラムの適正化

6. あとがき

本装置はアーク炉操業（溶解期）における操業の自動化、迅速均一溶解、電力量原単位の向上、耐火物の保護、作業管理の精度向上のため、ミニコンピュータにプログラムを記憶させ、ワンタッチ操作により演算制御を行なうとともに、溶解状況センサをとりつけ、溶解の進行に応じてダイナミックに応答させ、操炉状況をタイプアウトする。一方、プログラム設定値を学

習制御手法によって自動的に最適値になるよう研究中であり、本装置の定量効果が求められる日も近い。

なお製鋼工場全体のスーパーバイサリシシステムにおけるサテライトコントローラとして考慮されるときのセントラルコンピュータとの関連について、今後引き続き検討していきたい。

(文 献)

- (1) 曾根，今川：電気製鋼，42 (71) 1, 61
- (2) 第53回計測部会資料，昭48，2

TS型・CF型 CFO型

DAI-OXIL-BURNER

ダイオキシルバーナーは、
画期的な燃焼方式を採用したOXY-OILバーナーであります。製鋼用高炉、アーク炉をはじめ、あらゆる工業炉に於いて生産性の向上によるコストダウン、新製品の開発等に大きく貢献しております。

* T S 型——低酸素方式
C F 型——中酸素方式
C F O 型——全酸素方式

* 燃油量：
3L/H～5,000L/H

ガスバーナーの製作もいたしております。

大同酸素株式会社

大阪市南区鰻谷中之町72番地の1 TEL 06-252-1381(大代表)
東京・横浜・名古屋・大阪・堺・和歌山・坂出・
高砂・広島・北九州・岡山・富山・千葉

CF型バーナーの炉内の火焰