加熱炉におけるリジェネレイティブバーナ燃焼制御システム

平松弥幸*，高橋康弘*

Regenerative Burner-combustion-control System for Reheating Furnaces

Mineyuki Hiramatsu and Yasuhiro Takahashi

Synopsis

Regenerative burners- the latest technology for a combustion system- have been applied to industrial furnaces. The Machinery Division of Daido steel Co., Ltd. has applied the regenerative burners to several industrial furnaces, such as reheating furnaces, radiant-tube-type annealing furnaces and stainless strip bright annealing furnaces. This report introduces the control system of a reheating furnace with the regenerative burner combustion system.

【 1 ．はじめに 】 【 2 ．リジェネバーナシステム概要 】

近年，リジェネレイティブバーナ（以下リジェネバーナと呼ぶ）を採用した加熱炉が多くなっている．大同特殊鋼(株)（以下当社という）機械事業部においても，当社川崎工場 圧延加熱炉（1994年稼動）を最初に4基の加熱炉を製作，納入している．また，ラジアントチューブ式（間接加熱式）焼鈍炉，あるいはステンレスストリップ光輝焼鈍炉（マッフル炉）など，多機種の工業炉にリジェネバーナを採用してきた．

リジェネバーナの採用によって，熱効率の向上また炉内の温度分布の改善など従来の工業炉より優れた報告がなされている．

著者らはそれらの制御システムに携わっており，リジェネバーナを使用した加熱炉（ここではスラブ，ビレットなどの鋼片加熱炉）制御システムを，従来炉との比較のなかで解説する．

リジェネバーナはリジェネレータ（以下，蓄熱体という）を有し，最少一対（2台）のバーナより構成され，各バーナを20～40秒のサイクルで交互に燃焼，排気を繰り返す．排気サイクル中に排ガスの顕熱を蓄熱体に蓄積し，燃焼サイクル時に蓄えられた熱で燃焼空気を高温に予熱することを特徴とするバーナである．

バーナー対の構成と流体の流れをFig.1に示す．Fig.1で示されるように，各バーナにはパイロットバーナ，燃料切替弁，空気切替弁，排ガス切替弁が装備されている．

これらの弁は，バーナの切替サイクルに応じて開閉する．

1997年4月11日受付

* 大同特殊鋼（株）機械事業部 (Processing Line Dept., Daido Steel Co., Ltd.)

【3. リジェネバーナを有した加熱炉制御の特徴】

3.1 燃焼制御

燃料流量制御と空気流量制御は、基本的には従来と同様である。

すなわち、炉温制御からの燃焼量指令に基づき、実空気比制御あるいはクロスリミット制御といった空燃比制御の下で燃料流量、空気流量が設定される。

リジェネバーナでは燃焼、排気を繰り返すが、安全のために燃焼開始時にバーナ本体の排ガスを空気で置換（プレパージ）した後、燃料切替弁を開する必要がある。同様に燃焼停止時もパージする（ポストパージ）。

これは燃焼、排気を繰り返すごとに燃料流量が遮断されることになり、流量制御、空気比制御からみれば定期的に外乱が発生することになる。Fig.2に各弁の開閉タイミングを示す。

対策として、以下の2案が採用されている。

切替後ある一定時間は燃料調節弁、空気調節弁、空気比制御出力を切替前の値に固定する。

流量測定信号に移動平均処理などの1次フィルタ処理を施す。

これらの措置は、バーナ対の数や燃焼切替シーケンス（燃焼順方法）により、採用方式を決定している。

炉内酸素分析計は燃焼状態の管理、あるいは空気比制御へのフィードバックとして使用されているが、測定場所により、分析計の値は従来炉とかなり違った傾向を示す。とくに、バーナの燃焼が間欠的であるためバーナ点火、消火の影響を直接受ける場合がある。

3.2 排ガス制御

燃焼排ガスの大部分は、排気ファンで吸引され、蓄熱体を通過する過程で蓄熱される。

吸引率は湿り排ガス量の75～85%が最適といわれている。残りの排ガスは、一般的には炉尻より排出される。

排ガス制御では、排ガス温度制御を基本としたものが多い。これは、1)配管内での結露防止、2)排ガス切替弁など配管取付機器の過熱保護を目的としており、流量制御にカスケード接続される。この場合、湿り排ガス量を計算で求め、流量制御の上下限値を設けている。

Fig.3に制御フローを示す。

蓄熱体出側にはシース熱電対を設置し、温度監視をし

ている。これは、各蓄熱体やバーナ内部の異常を早期に検出し、燃焼遮断などの対策をとるためである。その趣

旨からいえば、熱慣性の少ない細線のシース熱電対を採用すべきだが、1) 経済性、2) 耐久性を考慮してシース径を選定すべきである。

さらに、サクションパイロメータなどの指示値と比較し、警報点を設定するとより安全といえる。

3.3 ターンダウン制御

燃焼負荷の増減、炉温設定の変更などに伴い、燃焼量の制御として炉温調節計がある。

従来バーナでは炉温調節計の出力により、バーナ定格容量の1/4～1/5までターンダウンさせている。さらに燃焼量を絞る場合は、使用バーナ本数を減らすことでバーナ1本あたりの最低燃焼量を確保しつつ、全体の燃焼量をさげている。

リジェネバーナでは、高速噴流によって、炉内雰囲気攪拌効果による良好な炉内温度分布と低公害化を維持するため、バーナ1本あたり40%程度までのターンダウンで使用するようにしている。ただし、保熱時などの燃焼量が極端に少ない場合は別のさらに低い設定となる。(注、バーナ単体の最低燃焼可能範囲は10%程度である)

さらに燃焼量を絞る方法を、以下に示す。

時間比例制御

燃焼本数は変えずに、燃焼指令により所定バーナ燃焼量の基で燃焼時間を制御するものである。

この場合、ターンダウン比は大きくとれるが、炉内 O_2 制御を含めた空気比制御は炉内雰囲気の流れ、流量制御時間の変動により困難であり、各調節計はホールドしている。

燃焼ペア数制御

従来の間引きと同様に燃焼ペア数を変えることによりバーナ最低燃焼量を確保しつつ、全体の燃焼量を制御するものである。

各ゾーンのペア数にもよるが、ターンダウン比は限られる。例えば、3ペアの場合、最低燃焼量を40%とすると約13%までのターンダウンとなる。

しかし、流量制御、空気比制御など連続して制御できるメリットがある。

反面、測定精度、調節弁レンジアビリティの制約があり、ターンダウンを大きくとりたい場合は流量発信器の大小レンジ化、親子調節弁の採用などを配慮しなければならない。

3.4 燃焼シーケンス制御

従来、燃焼シーケンス制御は圧力スイッチ、火炎検出器などの安全装置の信号を入力し、メイン遮断弁やゾーン燃料カット弁の遮断シーケンスなどが主体であり、炉計装制御からみればわずかであった。

リジェネバーナ燃焼システムでも安全回路部は同様であるが、概要で示したとおり、電磁弁の数は比較にならないほど多くなり(1ペアで最低6個の弁が装備される)、そしてターンダウン制御で説明したように燃焼指令値との関連もあり、燃焼シーケンス制御は、大規模でかつ計装制御部と密接した制御となる。

安全回路

切替弁の動作不良は、バーナでの空気比の乱れ、蓄熱体の過負荷、さらには重大な事故につながる。各切替弁には最低1個の近接スイッチなどのセンサーを設け、インターロックをとることになるが燃料切替弁と排ガス切替弁の各開条件は十分に討議され、決定されている。

切替弁動作不良を含め、異常時の処理として、1) どの程度遮断させるべきか、2) 調節弁をどのタイミングで閉とすべきのかなど、燃焼制御システム全体での安全回路の検討が常に必要である。

バーナローテーション(特許出願中)

燃焼ペア数制御は、燃焼指令により燃焼ペア数を決定する方式である。負荷が小さい場合は、燃焼ペア数は少なくてもよい。このとき燃焼ペアが固定であると、炉内材料の一部のみが加熱され、炉内雰囲気温度の均一性を損なうことになる。また切替弁、蓄熱体の寿命が偏ってしまうことになる。

バーナローテーション方式は、燃焼バーナのペアリングを変更することにより、上記の課題に対処するものである。

Fig.4に3ペア時におけるバーナローテーションの概要を示す。

M.M.I. (Man Machine Interface)

異常時の処理とともに、異常個所をいかに早く、簡単に操業者に知らせるかが、炉を保守するうえで大切となる。その手段としてのタッチパネルは、グラフィック画作成も容易でシーケンス制御部と直結しており入出力の増加にならないのが重宝する。

異常が起こった場合、グラフィック画の弁はプリンキングするようにしている。なお、タッチパネルは、他に

タイマー変数、モード変更などの操作にも使用される。

Fig. 4. Rotating combustion system in three pairs of burners.

【以上、リジェネバーナを課した加熱制御の特徴を記してきたが、制御上の課題も存在する。】

その主なものを記述する。

O₂制御

燃焼制御のところでも述べたが、炉内の代表雰囲気測定することは機械的な制限もあり、困難である。燃焼、排気の繰り返し、ターンダウン時の消火など、連続制御系での外乱が多すぎる。

ノズル冷却

リジェネバーナの場合、燃焼ノズルは常に高温にさらされる。そのため、ノズル外周部を空気で冷却することが多い。

ノズル冷却用空気は燃焼空気流量計の2次側より分岐されるが、燃焼量を絞ってくると、非燃焼バーナ数が増え、炉内燃焼での空気として寄与しているのか疑問が残る。

他方、空気流量計の1次側より分岐する場合は、低燃

焼時、炉内は空気過剰となる。

メーカーにおけるノズル冷却の不要なバーナ開発(材質、構造などの検討)を期待したい。

耐久性

制御部品の電氣的寿命は、無接点化することによりさほど問題とはならないが、電磁弁を含めて切替弁は電気、機械的寿命があり、流体を含め使用、環境状態によりそれらは異なってくる。

現在は使用メーカーの実績作りの段階といえる。

【いままでEI(C)統合を考えたリジェネバーナ(Electrical)は搬送系であり、I(Instrumentation)は炉計装であった。】

ジェネバーナ制御はEにおける扱うものこそ異なるが、まさしくEI統合であり、この統合なしには、リジェネバーナを使った燃焼システムとしての性能が発揮できない。

リジェネバーナを工業炉に採用することは、高効率化、低公害化というコンセプトのなかで時流になりつつある。

本文が、リジェネバーナ燃焼を知るうえで、多少とも参考になれば幸いである。

なお、今後も燃焼制御全般にかかわり、新技術の開発に寄与できるよう、努力する所存である。

(文 献)

- 1) 架谷昌伸, 木村淳一編著: “燃焼の基礎と応用”, [共立出版株式会社] (1986)
- 2) 茂田英次ら: 工業加熱, 29(1992), No.4, 12
- 3) 特願平09-053151