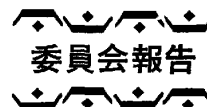


© 1983 ISIJ

加熱炉伝熱研究小委員会報告



山本 育郎*

Report of the Activity of Joint Research Committee on Heat Transfer in Reheating Furnaces

Ikuro YAMAMOTO

1. 背景と目的

「加熱炉の伝熱」の問題は、昭和 43 年 10 月に発足した熱経済技術部会加熱炉小委員会ですぐれた研究が行われており、その成果は「連続鋼片加熱炉における伝熱実験と計算方法」として刊行されている。そのなかで紹介されている総括熱吸収率 (ϕ_{CG}) を用いた炉内の伝熱解析法は、実炉の解析に広く適用されている。

しかるに、近年電子計算機の普及により、数値解析による炉内伝熱解析が急速に進歩し、各種の解析法が研究されて実炉への適用も可能となつてきた。また、実際の加熱炉においても 2 度にわたるエネルギー危機の遭遇により省エネルギーとエネルギー多様化のニーズが一層高まり、操業、工程、設備面に数多くの技術開発とその適用が行われている。その結果、ここ 10 年間で加熱炉の燃料原単位はおおよそ半減しているのが実情である。

そこで本小委員会では、ここ 10 年間の進歩をふまえた加熱炉の伝熱研究を取り上げ、各種炉内伝熱解析法を ϕ_{CG} 法との比較において検討し、また主な省エネルギー技術について理論的解析をも加えて紹介した。これらが今後の熱技術研究や現場応用への参考になればと思つて集大成した。ここでの研究内容は後述する 7 テーマについておこなつた。

2. 小委員会活動

昭和 56 年 4 月に発足し、約 1 年半の間に 8 回の研究会と 5 回の編集会を持ち、昭和 57 年 11 月に終了した。

委員は鉄鋼メーカーの研究所の研究者と現場部門の技術者から構成されており、高度な研究レベルの維持と現場の経験の導入のために好ましい構成となつている。活動はテーマを分担して研究を行い、参加者全員で討議を行った。委員名および参加者名を表 1 に示す。

3. 成果

本委員会の研究報告を B5 判、約 200 ページの報告

表 1 加熱炉伝熱研究小委員会の構成

構成	氏名	会社名	事業所名
委員 会 事 務 員	山本 育郎	神戸製鋼所	本社 機械研究所
	山森 泰三	日本新日鐵	広本大技研 中央研究所
参 加 者	青田 光三	日本新日鐵	煙社分所 浜社 葉山所 戸社 阪
	田久 本	川崎製鉄	和歌山 神本大
	山井 林	住友金属	町部 屋京所 所 阪
	小松 杉	神戶製鋼所	船機名 東 浅 機 中 大
	小佐 高	神日合 大 中 東 神	田 械 研 究 所
	高竹 石	大 同 同	機 械 研 究 所
	岩田 金	大 同 同	機 械 研 究 所
	山新 大	大 同 同	機 械 研 究 所
	川小 渡	大 同 同	機 械 研 究 所
	八橋	大 同 同	機 械 研 究 所

(所属は昭和 57 年 9 月現在)

書にまとめた。まとめに際しては、実用性に重点を置いたため、次のような特長を持つている。

- (1) 図・表を多く取り入れたこと
- (2) 理論的な解説ばかりでなく、実施例、計算例を載せたこと
- (3) 各テーマごとに解析法の基本的な考え方を述べ、計算のフローチャートを示したこと

従つて、本報告書は理解しやすく、炉形状や操業条件などの異なる実炉へ比較的容易に応用できると考えられる。

以下に各テーマの内容、成果について簡単に述べる。

3.1 伝熱解析法

加熱炉の炉内伝熱の解析は主に ϕ_{CG} 法により行われている。しかし、この方法は厳密な伝熱理論展開を行っていないため、炉性能の予測などに使用できない場合がある。このため、予測が可能なゾーン法、モンテカルロ法などの解析法が提唱されており、 ϕ_{CG} 法とともにこれらの解析法を解説した。とくに、今後解析の主流になると考えられるゾーン法の基礎については、計算例をあげ

昭和 58 年 1 月 12 日受付 (Received Jan. 12, 1983)

* 本会共同研究会熱経済技術部会加熱炉伝熱研究小委員会委員長 (株)神戸製鋼所本社 (Kobe Steel, Ltd., 1-3-18 Wakino-hama-cho Chuo-ku Kobe 651)

て詳説した。

また各種伝熱解析法の文献収集を行い、その抄録をつくった。本報告書には文献リストだけを記載している。

3.2 炉長延長と噴流加熱の炉内伝熱特性と最適炉長

最適な炉長をもつ加熱炉は、鋼材への伝熱量を経済的に最大にすることができる。ただたんに炉長を延長しただけでは、鋼材への伝熱量が増えても経済的ではなく、また、最近の操業のようにホットチャージ率が增大している場合は長炉長は不必要である。これらの関係を把握するため ϕ_{CG} 法を発展させた伝熱モデルをつくり、モデル炉を想定して、抽出温度、生産量、装入温度などを変えたときの炉長と燃料原単位との関係を求めた。

噴流加熱については、排ガスを予熱帯に循環させて鋼材へ衝突させる場合と、均熱帯天井に設置したバーナにより鋼材の均一加熱を行つた場合について説明した。

これらの結果は図に示して利用しやすくするとともに、実施例を詳しく説明した。

3.3 空気比と伝熱量の関係

これまで加熱炉の操業は、空気比をできるだけ 1.0 に近づける努力がなされてきた。これは、理論空気比近くで完全燃焼が達成できれば加熱能力が最大になると考えられていたためである。しかし、ガス燃料にあつては空気比 1.0 以下で最大の伝熱量が得られることが判明した。

最適空気比について、ゾーン法により理論的検討を行うとともに実験的に証明した。またモデル炉を想定して、空気比と加熱効率の関係および最適空気比分布を求めた。実炉での実績値の一例も示した。

参考までに、燃焼ガス温度を推定する炉内伝熱解析プログラムのフローチャートについて簡単に説明した。

3.4 ホットチャージ時の加熱炉操業形態

ホットチャージは加熱炉の最も効果の大きい省エネルギー対策である。その装入温度も年々上昇し、最近では 800~900°C のものもある。しかしホットチャージ時の炉内伝熱特性は、鋼材の昇温状況の測定が困難なためあまりよくわかっていない。このため伝熱モデルにより、装入温度、生産量、レキュペレータ効率、稼動炉数などの要因を変化させたとき、これらが燃料原単位におよぼす影響について調べた。

3.5 各種燃料の伝熱特性

近年、製鉄所のオイルレス化は急速にすすみ、加熱炉の燃料は COG, BFG, LDG などの副生ガスが主体になつてきた。これらのガス燃料は単独、もしくは混合されて使用されているが、実炉へ適用するに当たって加熱や伝熱効率の面から混合比率や発熱量の検討は少なかつたのが実情である。そこで副生ガスを中心に、液体燃料も含めて 6 系統 16 種類の燃料について実験を行い、その伝熱特性を把握した。

実験を行つた試験炉は住友金属工業(株)の水冷試験炉

Fuel (Lower heating value)*	Relative heating efficiency	
	η_{95}	η_{10}
LPG + Air	12000	100%
	8000	100%
BFG + LPG	12000	100%
	8000	100%
	4600	100%
	2500	100%
BFG + COG	4600	100%
	3500	100%
	2500	100%
	2000	100%
	1800	100%
LDG + COG	2600	100%
	1970	100%
Kerosene Fuel oil	8500	100%
	9000	100%

* Unit of lower heating value : kcal/Nm³ or kcal/g
Combustion air temperature : 300°C
Air fuel ratio : 1.05

Fig. 1. Relative heating efficiency of fuels

で燃焼量は 1.8×10^6 kcal/h である。Fig. 1 に結果の一例を示す。このように実験的に燃料単味や混合を行つた時の伝熱特性があきらかになつた。また、断熱火炎温度とガス放射率から燃料の伝熱効率を評価する方法や、実炉での燃料転換例も説明した。

3.6 その他の伝熱効率向上技術の紹介

「通気性をもつ固体の輻射による伝熱促進法」、[伝熱変換装置]、「エマルジョン燃焼」、[酸素富化燃焼]、「燃料添加剤」の概要を紹介した。これらは本小委員会での検討課題ではなかつたが、今後有望と考えられる伝熱促進技術である。

3.7 加熱炉の伝熱測定のための温度計測法

加熱炉の操業や伝熱解析に必要な計測は、炉内温度、ガス温度および鋼材温度である。これらの計測方法は、加熱炉小委員会終了時点(昭和 46 年 5 月)から今日までに技術上の進歩は少なく、測温の簡便さの点でシース熱電対やデータロガの採用が行われているにすぎない。本章では加熱炉の測温上の問題点にふれるとともに、共同実験を行うときなどに最も個人差が少なくなるような鋼材内部温度測定方法を提案した。またシース熱電対のシャントエラーについても解説した。

4. おわりに

本小委員会活動において各社の実炉を使つた共同実験を試みたが、実操業への阻害などの問題があつて、所定の成果を得ることができなかつたことは残念であつた。しかし、実質の活動期間がわずか 1 年の短期間のうちにかなりの成果をあげることができた。これもひとえに、委員および参加者各位のご努力のおかげであり、深く感謝申し上げたい。

なお、本小委員会の報告書は「加熱炉炉内伝熱解析法の基礎と応用」と題して鉄鋼協会から出版されている。