

## 論 文

UDC 669.162.263.4 : 669.162.283 : 539.217.4 : 536.24

## 融着充填層における伝熱機構\*

杉山 喬\*\*・八木順一郎\*\*\*・大森 康男\*\*\*

## Mechanism of Heat Transfer in Packed Beds Having Fused and Unfused Layers

Takashi SUGIYAMA, Jun-ichiro YAGI, and Yasuo OMORI

## Synopsis:

Model experiments at low temperature were carried out for the simultaneous gas flow and heat transfer in the packed beds which have the double structure of fused and unfused layers providing different resistances to gas flow in order to elucidate the mechanism of heat transfer in the fused zone in the blast furnace.

Temperature changes were observed at various positions in the bed with unfused layer of spherical alumina and fused layer which was made of polystyrene particles.

In the case of the low degree of fusion, the fused layer is considered to be heated up principally by heat exchange between gas and solid, because the preheated gas can flow through the fused layer. On the other hand, for the high degree of fusion, temperature decreases from the boundary between fused and unfused layers to the core of the fused layer. This temperature gradient allows conductive heat transfer from the alumina layer to the fused layer.

The experimental results show good agreement with the values predicted from the mathematical model which has been developed in the previous paper.

Furthermore, the effective thermal conductivity of the fused layer was measured with various degree of fusion. Results obtained was expressed by an empirical equation with respect to the degree of fusion. The equation was used for the prediction of temperature changes in the bed by the mathematical model.

## 1. 緒 言

高炉下部に存在する融着帯の形状は基本的に高炉の生産性(出銑比)やガス利用率(燃料比)・炉況の安定性(荷下り)を規定し、さらに炉体寿命にも強く影響している。したがって将来この融着帯を制御することによって順調な操業を確保することができると考えられる。将来の原料事情からペレットの多量使用が要請されているが、特にペレット多配合操業においても適正な融着帯の形成と維持が重要である。

この融着帯の形状を決定づける融着層の生成と溶け落ちによる消滅はその近傍のガス流れと伝熱によつて強く影響されると考えられる。

高炉の塊状部におけるガス流れ、および伝熱に関する研究は高炉のシミュレーションモデルならびに充填層

の流れと伝熱の研究として最近かなり提出されている<sup>1)~9)</sup>。桑原ら<sup>1)2)</sup>は水平な層状装入の高炉における炉頂、溶融帯間の伝熱と反応のモデル<sup>1)</sup>ならびに傾斜した層状装入の高炉における同様のモデル<sup>2)</sup>について研究し、実際の高炉と類似した解析結果を得ている。また羽田野ら<sup>8)</sup>ならびに赤松ら<sup>9)</sup>はガス流れ、伝熱、反応を考慮した高炉の半径方向モデルを展開し、高炉の内部状態を推定した。これらの研究において融着帯の形状と位置が推定されている点は注目される。

しかしながら、問題を融着帯近傍に限定した場合にはつぎの点が問題となる。すなわち、高炉内で融着のすすんだ鉱石層の周囲三方向はガスを通しやすいコークス層で囲まれており、融着層近傍のガス流れの研究にはガスを通しにくくなった融着層とコークス層との対照的な二層を考慮する必要がある、伝熱についても鉱石層の融着

\* 昭和52年10月本会講演大会にて発表 昭和53年6月5日受付 (Received June 5, 1978)

\*\* 新日本製鉄(株)基礎研究所 (Fundamental Research Laboratories, Nippon Steel Corp., 1618 Ida Nakahara-ku Kawasaki 211)

\*\*\* 東北大学選鉱製錬研究所 工博 (Research Institute of Mineral Dressing and Metallurgy, Tohoku University, 2-1-1, Katahira, Sendai 980)

状態によつてさまざまな状況が生まれ得る。特に融着が進んでガスが流れにくくなつた場合には熱伝導が重要な役割を果すことが予想される。したがつて融着層がどのような形態になつたとしても、上述のガス流れと伝熱とをカップリングさせた解析が重要となることは言うまでもない。

前報<sup>16)</sup>では円筒軸対称な融着充填層と周辺層の二層を考慮して融着層近傍をモデル化し、低温でのガス流れと伝熱に関する理論解析を行つた。この解析では主として、融着層の融着率の変化が系内におけるガス流れ分布、固体、ガス温度分布にどのような影響をおよぼしているかを考察し、この系における基礎的知見を得た。

本報告においては理論解析の場合と同様の系、すなわち通気性の異なる二層からなる充填層を製作し、ガス流通時の伝熱現象を基礎実験により検証した。さらに前報<sup>16)</sup>で示したモデルを使つて理論と実験との定量的対応関係を把握するためのシミュレーションを試みた。

## 2. モデル実験装置および実験方法

実験装置は Fig. 1 に示すように高炉の融着層近傍をモデル化したもので、ヨークス層に相当する粒子として 10mm $\phi$  のアルミナボール、融着層に相当する粒子としては低温で軟化融着する 3.6mm $\phi$  の球状ポリスチレンを用いている。また融着層を製作する粒子としてポリスチレン以外に 3.9mm $\phi$  の球状に成型したハンダを用い

た。製作方法についてはのちに述べる。

断熱キャストブルによつて周囲を断熱した円筒の内壁をさらに綿状のアルミナシリケートファイバーで断熱し、その中心部に直径 50mm $\phi$ 、長さ 170mm の融着層を置いた。この融着層はあらかじめ所定の融着率に融着させたポリスチレン融着層であり、周囲をアルミナボールで満たした。

流通ガスとしては一定流量の空気を容量 4kW の内熱型ヒーターで加熱し、層底の金網を通して 75°C で充填層に導入する。充填層は融着層の上下にアルミナ層を数 cm 充填することにより、この部分でのガス流量が半径方向に分布を生じないように配慮した。充填層内に流入したガスは内部の通気抵抗分布にしたがつて流れを変えながら粒子を加熱して上部に排出される。

測温には 1.6mm $\phi$  の C. A. シース熱電対を用い、測温点は層内において高さ方向に 4 レベルとし、各レベルにおいて半径方向に 7 点とり、ガスの入口と出口温度を加えて最大 30 点とした。融着層内、アルミナ層内の各点における温度の経時変化が記録された。

温度の記録は 30 点のうち 24 点を自作のマルチプレキサーで切り替え、記録計に記録させた。マルチプレキサーの切り替えの間隔は 10sec とした。

実験方法は所定の空気流量において充填層入口の温度を室温から 75°C まで 1100sec かけて直線的に上昇させ、その後 75°C で一定に保つた。各位置の温度は送風

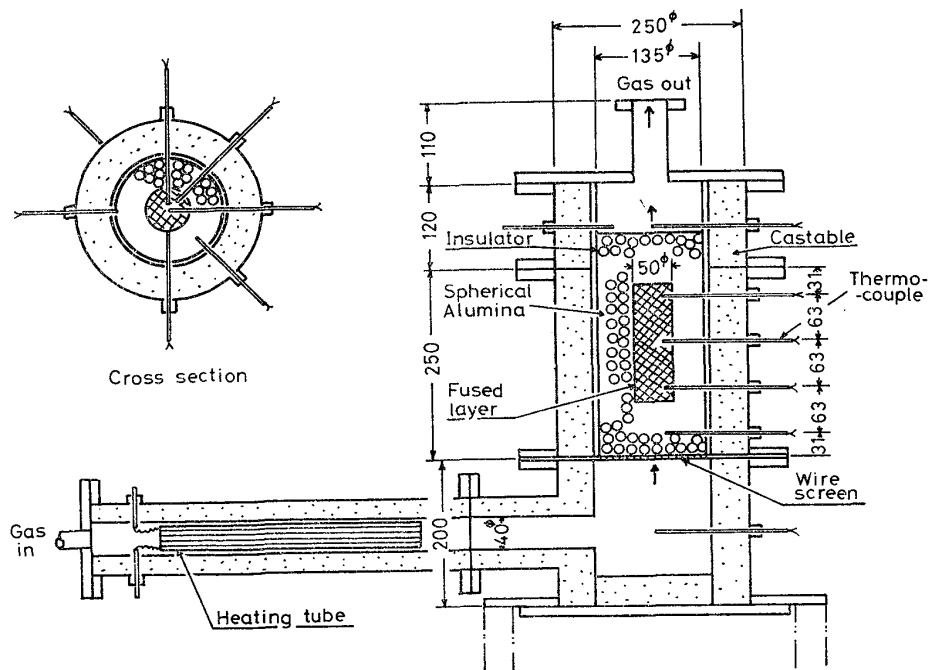


Fig. 1. Experimental apparatus for the measurements of temperature and pressure in packed beds.

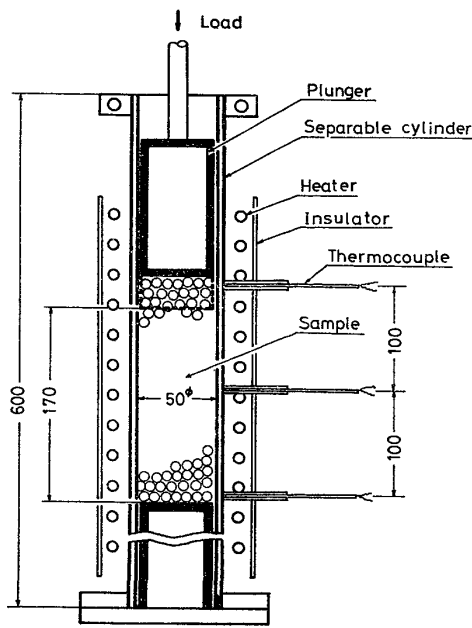


Fig. 2. Equipment for the preparation of the fused polystyrene layer.

開始から層内が一定の温度になるまで2分ごとに出力されるが、これを1測温点につき10点づつ読みとり、零点の補正、気温の補正、温度への変換を行なった。時間的に離散したデータは補間法を用いて等間隔のデータに変換した。

一連のデータ処理は計算機を用いて行ない、結果はライプリンターに温度の時間変化として出力した。

融着層の製作には Fig. 2 に示した内径 50 mmφ のステンレス製の割り型円筒を使用した。この容器内に試料を装入し、電気炉で加熱した。試料が均一に加熱されるようにするため、高さ方向3カ所に設けてある熱電対の

温度が同じになるように昇温をコントロールした。

ポリスチレン球は約 110°C で軟化するが、温度が軟化温度に達した後、上部の押し棒を押して所定の収縮率(融着率)まで試料を圧縮した。また融着させない試料で実験する場合は、ステンレス製の籠を製作し、その中に試料を充填して融着層のかわりに使用した。

実験に使用したポリスチレン球は完全な球形ではなく若干ひずんでいる。しかも粒度がそろっていないために篩目を用いると1カ所の篩目に集中してしまうので篩目による平均粒子径の決定は困難である。そこで粒子を50個サンプリングして一個粒子の表面積と体積を楕円球を仮定して計算によつて求め、表面積基準の平均球相当径を粒子径として採用した。

1個粒子の見掛密度はポリスチレン、アルミナ球ともに内部に気孔がないと仮定してベックマン比重計によつて測定した。また充填層の空間率は嵩密度と1個粒子の見掛密度から計算した。

データ処理は東北大学大型計算機センター NEAC-2200 シリーズ ACOS システムで行なつた。

### 3. 実験条件

実験は主としてポリスチレン層の融着率を変化させて行なつた。その他入口ガス量を変化させた実験、融着層粒子として熱伝導率の高いハンダ球を用いた実験を行なつた。粒子レイノルズ数  $Re_p$  は入口ガス量が 17.8 l/s の場合、下部アルミナ層で 800 程度である。また融着粒子の融着率を  $\eta$  で表わすと  $\eta$  は次式で定義される。

$$\eta = (\epsilon_0 - \epsilon_m) / \epsilon_0 \dots \dots \dots (1)$$

ただし  $\epsilon_0$  は融着前の融着層の空間率、 $\epsilon_m$  は融着層

Table 1. Principal experimental variables for the measurement of temperature and pressure.

Run No.	1	2	3	4	5	6	7	
Measurement	Temperature							
Inlet gas flow rate (l/sec)	8.88	17.76	17.76	17.76	17.76	17.76	17.76	
Fused layer	Material	Polystyrene						Soft solder
	Void fraction $\epsilon$	0.25	0.32	0.25	0.19	0.16	0	0.38
	Degree of fusion $\eta$	0.22	0	0.22	0.40	0.49	1.0	0
	Particle diameter $d_p$	0.36 <sup>cm</sup>	0.36	0.36	0.36	0.36	-	0.39
Alumina layer	$d_p = 1.02 \text{ cm}$ , $\epsilon = 0.37$							

の空間率である。Table 1 に実験条件を示す。

#### 4. 実験結果

Fig. 3~9 に種々の条件で実験を行なった場合の各位置での温度変化を示した。

入口ガスの昇温速度の差および気温  $T_r$  の影響を消去するために時間軸は入口ガス温度が所定の値に達した時間  $t_e$  で無次元化し、温度軸は入口ガス温度の所定の値  $T_{ge}$  および気温  $T_r$  を用いて無次元項で表わした。

##### 4.1 融着率の影響

融着層が融着していない  $\eta=0$  の半径方向の各位置での温度変化の実測値を Fig. 3 に示した。半径方向のどの位置においても同様の温度変化を示しており、半径方向に温度分布はほとんどないことがわかる。融着層内の高さ方向における各位置での温度変化を Fig. 4 に示した。融着層の下部から上部に向けて温度が順次上昇していることがわかる。 $\eta=0$  の場合は前報に示した理論計算からわかるように融着層内にもよくガスが流れており、融着層全体が比較的早く均一な温度になっている。これに対して  $\eta=0.49$  の場合の融着層内における半径方向および軸方向における各位置での温度変化の測定値を Fig. 5, 6 に示した。半径方向にはまず融着層とアルミナ層の境界が加熱され、融着層外部から内部に向かってゆつくりと昇温している。その結果外側から内部に向かって大きな温度勾配がついている。(Fig. 5) また高さ方向においては融着層の中間部より上部の方が高温になつており、熱は融着層の側面からだけでなく上下からも内部へ移動することを示している。Fig. 3~6 の温度変化曲線は数式モデルから得られた固体の温度分布<sup>16)</sup>とよく一致している。したがって理論解析の結果ならびにこれらの実験データから推察すると、融着が進んでいない時には融着層内にもよくガスが流れ、ガス・粒子間の

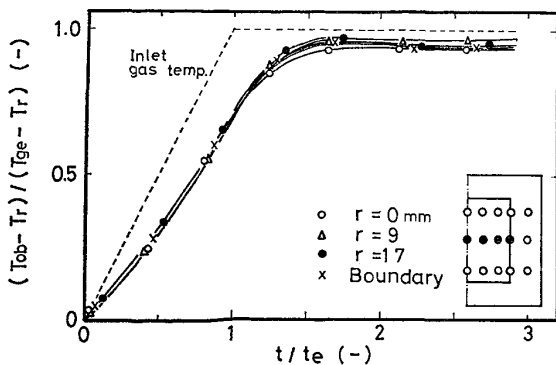


Fig. 3. Temperature changes at various positions in the radial direction in polystyrene layer without fusion.

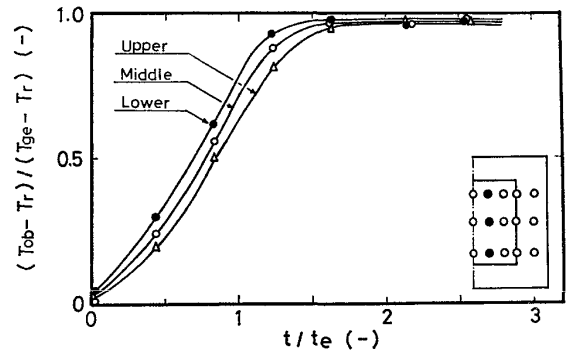


Fig. 4. Temperature changes at various positions in the axial direction in polystyrene layer without fusion.

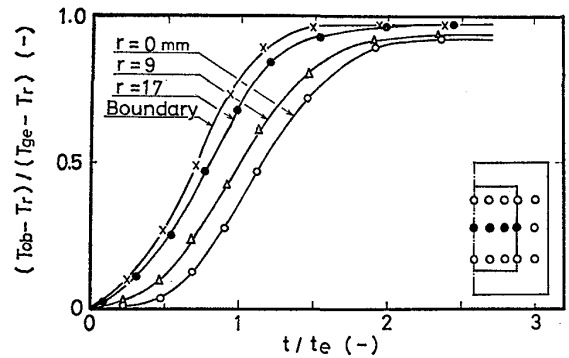


Fig. 5. Temperature changes at various positions in the radial direction in fused polystyrene layer at  $\eta=0.49$ .

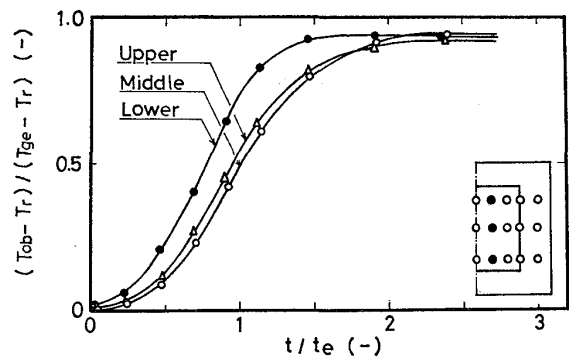


Fig. 6. Temperature changes at various positions in the axial direction fused polystyrene layer at  $\eta=0.49$ .

熱交換により、融着層、アルミナ層ともに下部から上部へと比較的早く、しかも均一に加熱されるが、融着が進むと融着層へのガスの流入が抑制され、ガスは通気性のよい周囲のアルミナ層をまず加熱し、融着層周囲から熱伝導によつてゆつくりと内部に熱が伝わると考えられる。

このように融着層内部の加熱は本モデル実験に関する限り基本的には流入ガスと融着層との熱交換および融着

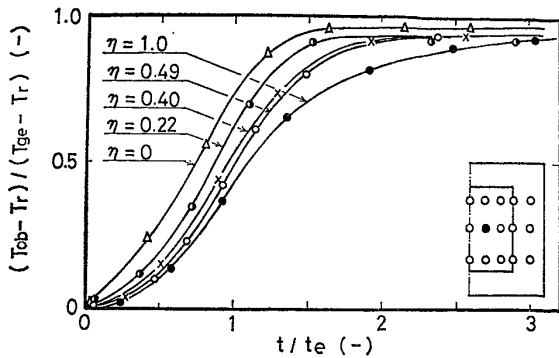


Fig. 7. Effect of the degree of fusion on temperature change in fused layer.

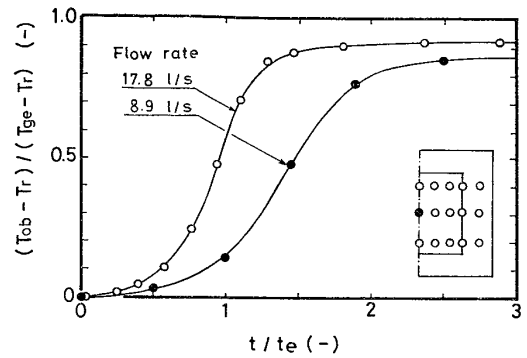


Fig. 9. Effect of flow rate on the temperature change in fused layer.

層自身を伝わる熱伝導によつて決定されると考えられる。融着率  $\eta$  の上昇は熱伝導率を高くするが、ガスの流入を抑制するため、粒子流体間の熱交換を減少させることになるので両者は互に相反する作用を有している。これらの寄与の程度を調べるために  $\eta$  を種々変えた融着試料について同一観測点における温度変化の測定値を Fig. 7 に示した。Fig. 7 は  $\eta$  の増加とともに昇温速度がゆるやかになることを示している。したがつて融着層の加熱には熱伝導率の増加による効果より、粒子・流体間の熱交換の減少効果の方が大きく現われていることがわかつた。この現象は融着層へのガスの流入が支配的であることを示している。

4.2 融着物質の影響

Fig. 8 はガスがよく融着層へ流入している  $\eta=0$  の場合において融着物質として熱伝導率の大きいハンダ球と熱伝導率の小さいポリスチレン球を使用した場合の温度変化を比較した。有効熱伝導率は後に示す方法で測定したところ、ハンダ球充填層が約 10 倍大きい値を示した。また層単位体積当りの熱容量はハンダ球はポリスチレン球の約 1.5 倍である。Fig. 8 は両者の昇温カーブを比較したものであるが、類似の傾向を示している。したがつて融着層内をガスがよく流れている限り熱伝導率

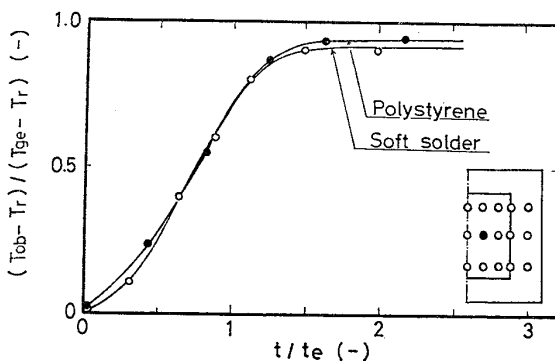


Fig. 8. Effect of the material composing fused layer on the temperature change at  $\eta=0$ .

の違いによる効果は現われず、粒子流体間の伝熱による加熱の効果が大きいことを示している。しかし、ハンダ球では融着した試料を作ることが困難であるため融着した試料間の比較はできなかつた。また融着層にガスがどの程度流れているかは数式モデルによる計算結果から推定した。

4.3 入口ガス流量の影響

Fig. 9 から入口ガス流量が増加するにしたがつて融着層への伝熱速度は増加していることがわかる。

5. 数式モデルによるシミュレーション

本実験のように充填構造の異なる 2 種の層からなる充填層にガスが流れる系における測定結果を実験式で整理することは困難であり、前節でも述べた通り、流れと伝熱を考慮した数式モデルをたててシミュレーションを行い、現象の規則性を判断する方法が適当と考えられる。

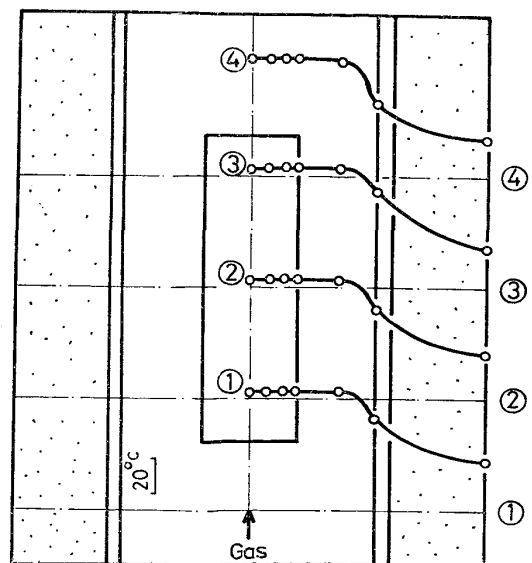


Fig. 10. Temperature distributions for the gas flow rate of 8.9 l/s at the steady state.

前報<sup>16)</sup>では同様の系における流れ、圧力、ガス温度、固体温度に関する4つの2階の偏微分方程式を同時に解いた数値解を示した。ここではモデル実験に使用した実験条件を数式モデルに適用し、得られた数値解と実測結果の比較を行なった。

### 5.1 定常状態における温度分布と管壁の総括伝熱係数

まず数式モデルに含まれている物性値および速度定数値が必要となるが、その一つである管壁の総括伝熱係数の値をつぎのようにして定めた。

使用した実験装置においては、定常状態になると層内半径方向で壁近傍以外はほとんど均一温度になり、側壁近傍のわずかな領域でのみ温度はやや低下することがわかった。実測した温度分布の一例を Fig. 10 に示す。

この温度分布から志垣ら<sup>10)</sup>が示した方法にしたがって管壁の総括伝熱係数  $h_w$  を求めた。この方法によると  $h_w$  は (2) 式で表わされる。

$$h_w = - \frac{\left(\frac{RG_0}{2}\right) \int_{T_{gin}}^{T_{gout}} \left(C_g + T_g \frac{dC_g}{dT_g}\right) dT_g}{\int_0^L (T_g - T_{am}) dZ} \dots (2)$$

実際の計算には高さ方向に4点ずつある温度計による測定値のうち炉の中心の温度を  $T_g$  とし、外部温度を  $T_{am}$  として、これらの測定値を使つて (2) 式を数値積分し、 $h_w$  を求めた。その結果  $h_w$  として  $1.794 \times 10^{-4}$  cal/cm<sup>2</sup>s°C を得た。

### 5.2 融着層の有効熱伝導率の測定

流体が流通しない充填層における有効熱伝導率の測定については数多くの研究がある<sup>11)~15)</sup>。KUNII と SMITH<sup>11)</sup> は空間率が 0.26~0.476 の充填層について有効熱伝導率に関するすぐれた理論式を提出している。その中で空間率の変化に対応する効果として接触点近傍における流体境界膜を通して起こる伝熱を考慮しており、空間率が 0.26 より小さくなった場合は大粒子の間に小粒子が

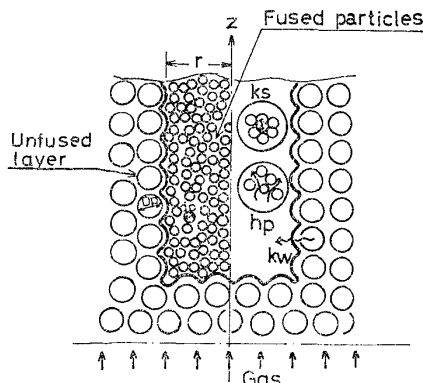


Fig. 11. Schematic model of heat transfer in the fused layer.

入った状態を想定している。また矢木、国井<sup>12)</sup>は接触面の伝熱現象を考慮しているが、流体が充填する場合は無視しうるオーダーとしている。

Fig. 11 は融着層近傍の伝熱現象を模式的に表わしたものであるが、融着層の伝熱機構は①融着粒子と流通するガスによる対流伝熱 ( $h_p$ )、②融着層自身を伝わる伝導伝熱 ( $k_s$ )、③ コークス層と融着層との境界面における伝熱 ( $k_w$ ) を考慮する必要がある。中でも②に関して融着層特有な現象は融着によつて接触面が増大することであり、有効熱伝導率  $k_s$  は融着率  $\eta$  によつて大きく影響される。

しかし融着現象にともなう物性値の変化に着目した研究はほとんどない。

そこで融着層の有効熱伝導率におよぼす融着率  $\eta$  の効果を模型実験によつて求めた。

#### 5.2.1 測定装置

融着層の有効熱伝導率は標準物質との比較法によつて測定した。実験試料は種々の融着率に融着させた断面が  $50 \times 50$  mm で高さが 50 mm の角型試料をポリスチレン球 ( $3.6$  mm  $\phi$ ) を用いてつくり、この試料の高さ方向 20 mm ごとに穴をあけ、測温用熱電対が試料の中心まで埋め込むことができたようにした。標準試料として断面寸法が同じで高さが 100 mm の鉛ブロックを製作し試料と同様に熱電対孔をつくつた。実験方法は Fig. 12 に示すように静止流体中において融着試料と鉛ブロックを重ね、下部に銅製の水冷板、上部に 200W のシーヒータを埋め込んだ銅製のブロックを設け、側壁を断熱キャストブルならびにアルミナ・シリケート・ファイバーで

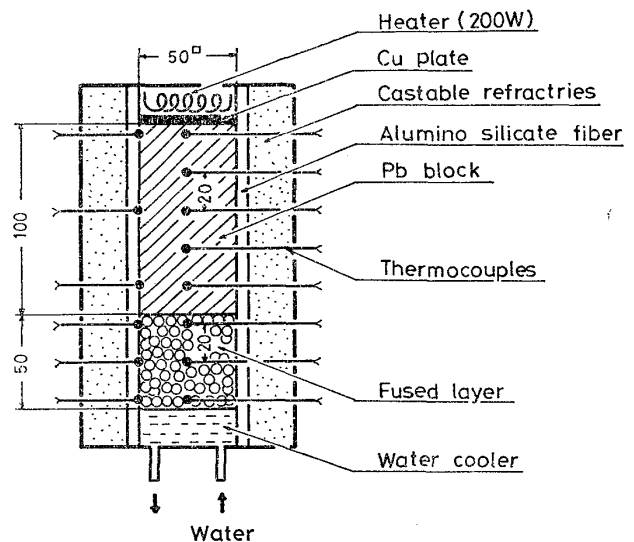


Fig. 12. Experimental apparatus for the measurement of effective thermal conductivity of fused layer.

断熱した。ついで上部を加熱し下部を冷却することにより、1次元の熱フラックスを作る。2~3h後内部まで定常状態に達している試料内ならびに標準物質中の温度分布を測定した。

5.2.2 測定結果

標準物質の熱伝導率を  $k_{el}$ 、融着試料の有効熱伝導率を  $k_s$  とし、それぞれの部分で測定された温度勾配を  $(\Delta T/\Delta l)_{std}$ 、 $(\Delta T/\Delta l)_{fuse}$  とすると  $k_{el}$  は既知であるから ( $P_b$  では  $0.0823 \text{ cal/cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$ )、 $k_s$  は(3)式によつて求められる。

$$k_s = k_{el} (\Delta T/\Delta l)_{std} / (\Delta T/\Delta l)_{fuse} \dots\dots\dots (3)$$

もし側壁からの熱損失がない場合は同一物質中の温度は高さに対して直線的に変化しなければならないが、観測値は直線からわずかにずれていた。厳密には各部分での熱損失を考慮した熱伝導方程式から計算すべきであるが、ここでは簡単のため直線近似をした。そのために生じる誤差は微小であると推定される。

ポリスチレン充填層の種々の融着率に対して測定した有効熱伝導率の値  $k_s$  を純物質 ( $\eta = 1.0$ ) の熱伝導率  $k_p$  で無次元化し Fig. 13 に示した。ただし  $k_p$  は実測結果である  $k_p = 1.16 \times 10^{-3} \text{ cal/cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$  を用いた。

$k_s/k_p$  は  $\eta$  の増加とともに顕著な増加を示し、結果を多項式近似すると、本模型実験においては(4)式で表わされる。

$$k_s/k_p = 0.283\eta^2 + 0.512\eta + 0.205 \dots\dots\dots (4)$$

この結果から融着しない充填層の有効熱伝導率は完全に融着した場合のほぼ 1/5 の値を示した。またステンレス真球 (SUS 304) からなる充填層と同一材質からなるブロックを使用して同様の測定を行つたがやはり 1/5 の関係を示した。

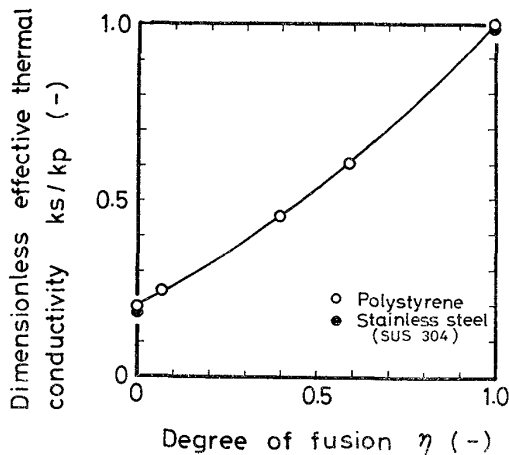


Fig. 13. Relationship between effective thermal conductivity of fused layer and degree of fusion.

5.3 実測値と数式モデルによる計算値の比較

前述の実験によつて測定された管壁の総括伝熱係数  $h_w$  および融着充填層の有効熱伝導率  $k_s$  を用いて数式モデル<sup>16)</sup>から計算された各点の温度変化とその実測値を比較した。なおモデル中、アルミナ層の有効熱伝導率は KUNII and SMITH<sup>11)</sup> の式を用いて計算している。

実測値と計算値の比較は  $\eta = 0.4$  の場合における融着層中央レベルでの固体温度の時間変化について行なわれた。結果の1例を Fig. 14(a)~(c)に示した。

まず融着層とアルミナ層との境界 (a) においては計算値と実測値はきわめてよく一致している。つぎにアルミナ層中央部 (b) においては若干計算値の方が高めにあるがこの位置では半径方向の温度勾配が大きく、層内における位置のわずかのずれによつて温度が変りやすいことや実測値における初期の測定誤差を考慮するとかなりよく一致していると考えられる。また融着層内部(c)では融着層試料の半径方向における融着率の不均一性が誤差の原因と考えられるが、全般的にみて数式モデルによる計算結果と実測値とが良好な一致を示していると判断され数式モデルの妥当性が検証されたと考えられる。

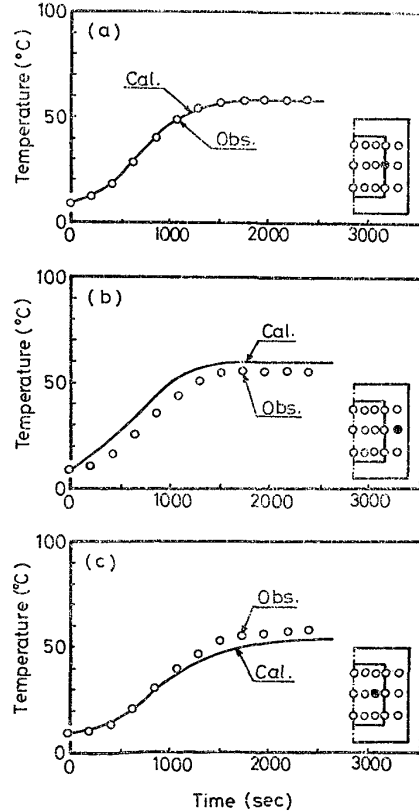


Fig. 14. Comparison of observed and computed temperature changes at  $\eta = 0.40$ , (a) at the boundary between fused and unfused layers, (b) in the alumina layer, (c) in the fused layer.

## 6. 結 論

高炉の融着層近傍をモデル的に考え、通気性の異なる二層からなる充填層を製作し、この充填層に加熱ガスを流通した時の伝熱現象に関する基礎実験を行なった。その結果融着層を加熱する伝熱のメカニズムとして定性的にはガス・固体間の対流伝熱の効果が支配的であることが明らかになった。

また融着層の有効熱伝導率  $k_s$  におよぼす融着率  $\eta$  の効果は模型実験系ではつぎの実験式で表わされることがわかった。

$$k_s/k_p = 0.283\eta^2 + 0.512\eta + 0.205$$

また、実測値と数式モデルによる計算値との比較を行い良好な一致を得た。この結果は前報<sup>16)</sup>の数式モデルが妥当であることを示している。

本研究の遂行にあたり、終始熱心に御指導していただいた東北大学選鉱製錬研究所長 大谷正康教授、ならびに高橋愛和教授、貴重な御示唆、御助言を賜わった東北大学工学部 菊地淳 助教授に心から感謝いたします。

## 記 号

$C_g$ : ガスの比熱	(cal/g·°C)
$G_0$ : 充填層入口ガスの質量速度	(g/cm <sup>2</sup> ·s)
$h_w$ : 管壁の総括伝熱係数	(cal/cm <sup>2</sup> ·s·°C)
$k_{el}$ : 標準物質の熱伝導率	(cal/cm·s·°C)
$k_p$ : $\eta=1.0$ における融着試料の熱伝導率	(cal/cm·s·°C)
$k_s$ : 融着層の有効熱伝導率	(cal/cm·s·°C)
$L$ : 充填層の高さ	(cm)
$r$ : 半径方向距離	(cm)
$R$ : 充填層の半径	(cm)
$t$ : 時間	(s)
$t_e$ : 入口ガス温度が所定値 (75°C) に達する時間	(s)
$T_{am}$ : 外部温度	(°C)
$T_g$ : 充填層内ガス温度	(°C)

$T_{gin}$ : 充填層入口ガスの温度	(°C)
$T_{gout}$ : 充填層出口ガスの温度	(°C)
$T_{ge}$ : 入口ガス到達温度	(°C)
$T_{ob}$ : 充填層内の実測温度	(°C)
$T_r$ : 気温	(°C)
$Z$ : 高さ方向の距離	(cm)
$\epsilon_0$ : 融着していない充填層の空間率	(-)
$\epsilon_m$ : 融着層の空間率	(-)
$\eta$ : 融着率	(-)

## 文 献

- 1) 桑原 守, 鞭 巖: 鉄と鋼, 61 (1975), p. 301
- 2) 桑原 守, 鞭 巖: 鉄と鋼, 61 (1975), p. 787
- 3) A. K. LAHIRI and V. SESHADRI: JISI, 207 (1969), p. 293
- 4) V. STANEK and J. SZEKELY: Can. J. Chem. Eng., 51 (1973), p. 22
- 5) J. RADESTOCK and R. JESHAR: Chem. Ing. Tech., 43 ((1971), p. 355
- 6) J. RADESTOCK and R. JESHAR: Chem. Ing. Tech., 43 (1971), p. 1304
- 7) J. YAGI and J. SZEKELY: Trans. ISIJ, 17 (1977), p. 569, p. 576
- 8) 羽田野道春, 栗田興一: 鉄と鋼, 63 (1977), S 432
- 9) 赤松経一, 羽田野道春, 栗田興一: 学振 54 委 No. 1428 (1977)
- 10) 志垣一郎, 八木順一郎, 高橋礼二郎, 大森康男: 東北大学選鉱製錬研究所彙報, 32 (1976), p. 32
- 11) D. KUNII and J. M. SMITH: AIChEJ, 6 (1960), p. 71
- 12) 矢木 栄, 国井大蔵: 化学工学, 18 (1954), p. 576
- 13) 木村 允: 化学工業, 21 (1957), p. 472
- 14) 杉山幸男, 藤津正則: 化学工学, 24 (1960), p. 12
- 15) 西村 誠, 稲葉由大, 架谷昌信, 杉山幸男: 化学工学, 35 (1971), p. 1354
- 16) 杉山 喬, 八木順一郎, 大森康男: 鉄と鋼, 64 (1978), p. 1676.