

酸素バーナ式ビレットヒータ

谷山公勇*
藤井邦夫**
友澤健一***

概要

現在、非鉄金属の押出処理に使用するビレットヒータの加熱方式としては誘導加熱方式が主流である。これは従来の燃焼炉に比べ、急速加熱、設置スペース、加熱効率の高さ等の点で優位であるためである。しかし本方式では消費電力が大きいため、ランニングコストが高い上、大規模な受電設備が必要となり設備費が増大するという課題を有する。そこで筆者らは、ビレット周囲より高温噴流火炎によりインピング加熱する「酸素バーナ式ビレットヒータ」を開発した。その結果、誘導加熱方式と同等の昇温速度、熱効率を有し、さらにランニングコスト削減を実現できた。本稿では、「酸素バーナ式ビレットヒータ」についてテストデータを中心に紹介する。

1. 緒言

アルミや銅などの非鉄金属及びそれらの合金はビレットと呼ばれる塊の状態で加熱され、その用途に応じて押出成形される。このための加熱装置を一般に「ビレットヒータ」と呼び、押出機や圧延機の前に設置されビレットを必要な温度に加熱する。このビレットヒータに望まれる性能としては熱効率や材料温度分布等の基本項目に加え、急速加熱が可能であること、設置スペースが小さいこと、テーパヒートが可能であることがあげられる。このテーパヒートとは、押出成形時に発生する塑性熱、摩擦熱などの加工熱を考慮し、あらかじめビレット長手方向に温度傾斜を付加することにより、等温押出を可能にするもので品質、歩留を保つ上で非常に重要である。

現在ビレットヒータの加熱方式としては、誘導加熱方式が主流である。この方式はビレットの周りに配した加熱コイルに流れる交流電流による磁界を材料中に通し、ここに発生するジュール熱を利用して加熱する。テーパヒートはコイルの巻線密度をビレット長手方向に変化させることで可能であるが、目標とする精度での温度制御は達成できないのが現状である。さらに本方式では、電気代などランニングコストが高い上、大規模な受電設備が必要となり、設備費が増大するという課題を有する。

一方、従来の空気燃焼方式による燃焼炉は、空気燃焼式バーナによりビレットを加熱するため、ランニングコストが安価になるというメリットを有する。しかし、処理材料のアルミ合金ビレットや銅合金等の非鉄金属は放射率が鉄や鋼に比べ極端に低いため、放射伝熱による加熱に依存する本方式では急速加熱することが困難となり、在炉時間を長くする必要がある。よって押出機の能力に合わせた大量処理を行うためには炉長を長くしな

* 中外炉工業㈱サーモシステム事業部技術部酸素技術チーム係長 K. Taniyama

** 同 課長 K. Fujii

*** 同 K. Tomozawa

表1 バーナ仕様

バーナ型式	OXL型オキシラインバーナ
バーナ長さ	490 mm
バーナ本数	6本 (円周方向)
最大燃焼量	Aゾーン 232.6 kW
	Bゾーン 232.6 kW
	Cゾーン 232.6 kW
	Dゾーン 116.3 kW
Total	814.1 kW
燃料	LPG (プロパン)
低位発熱量	91 MJ/m ³ N
理論酸素量	5.0 m ³ /m ³ N
酸化剤	純酸素
冷却水流量	5 m ³ /h at 0.2MPa

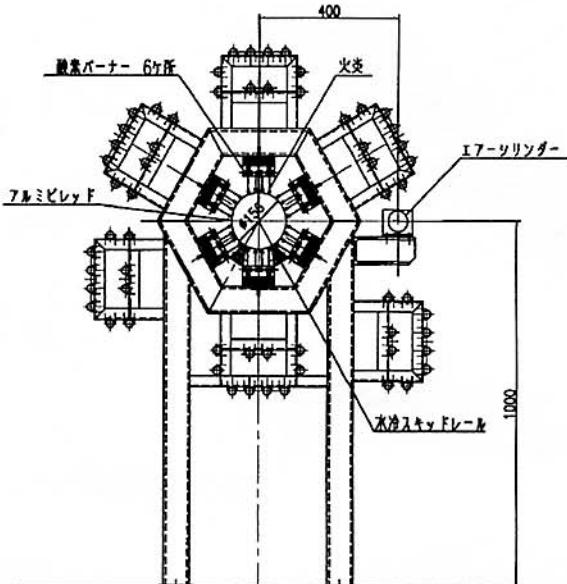


図1 酸素バーナ式ビレットヒータ外観図

ければならず、設置スペースが大きくなるという欠点がある。

さらにテープヒートを実施するためには所定温度に加熱後、高速バーナなどで局部加熱することで温度傾斜を付加する必要があり、別途にテープ加熱するスペースが必要である。

そこで筆者らは、上述の課題を解決する手段として、従来の空気燃焼方式に比べ格段に高い伝熱能力を有する酸素燃焼方式に着目した。この技術を採用した高温噴流火炎による直接加熱は非常に高い加熱能力を得られることが分かっており²⁾、ビレットの加熱にも十分効果があると考えた。

本稿では、「酸素バーナ式ビレットヒータ」の性能、特性について、数値計算と実験結果の両面から述べる。

2. テスト装置と方法

2.1 テスト装置

2.1.1 酸素バーナ

本テストに使用した酸素バーナの仕様を表1に示す。このバーナは銅製のブロック形であり、これにより形成される高温火炎の熱から保護するため水冷構造とした。ビレットに対する面には、多数の火炎噴出孔を最適な配置で設けており、これより噴出する噴流速度は最大300 m/sに達する。

また、ビレット長手方向に対して燃焼容量の制御が可能なようにバーナを長手方向にA～Dの4つのゾーンに区画し、ゾーンごとに燃焼量の独立制御が可能な構造とした。特にDゾーンはテープ加熱用に設置しており、局所的に伝熱量を変化させるため他のゾーンに比べゾーン長さが半分であり、そのため最大燃焼量も半分である。

燃料にはプロパンを使用し、酸化剤には純酸素を使用した。

2.1.2 ビレットヒータ

図1に酸素バーナ式ビレットヒータの概要を示す。ビレットの外周面に対して円周方向全面に6台の酸素バーナを設置した。その際、バーナとビレット外周面間の距離は45 mm一定とした。

この距離は加熱能力と密接な関係があることがこれまでの経験から分かっており、この距離が遠すぎるとビレット外周面における高温ガスの噴流速度が減衰し、衝突噴流加熱に十分な運動量が得られず加熱能力が低下してしまう。

逆に距離が近すぎると燃焼反応が十分に完結しない状態でビレット外周面に達してしまい、十分な加熱能力が得られない。よって本テストにおいては最適距離を維持した状態で、ビレット外周面に一様な高温噴流火炎が到達するようバーナを配置した。

また、本装置の加熱原理は衝突噴流加熱である



写真1 燃焼状態（テスト装置）

ため、いわゆる「炉」を形成する必要がなく、そのため耐火材の予熱も不要である。したがって、大気開放状態でビレットを直接加熱する構造とした。

2.1.3 対象ビレット

本テストにおいて加熱対象に使用したビレットは、外径 $\phi 156$ mm、長さ 450 mm のアルミビレットである。このアルミは鉄や鋼と比べ熱伝導率は約 4 倍高く、放射率は約 $1/10$ と非常に低い³⁾。

したがって、通常の燃焼炉のように熱放射による伝熱は期待できない。また、融点も 660°C と低く、直火加熱による溶損が懸念される。

2.2 テスト方法

2.2.1 温度測定

温度の測定は K 熱電対 ($\phi 1.6$ 、接触型) の先端をビレットの両端面に深さ 100 mm の位置まで差し込み、その測定結果を PC に接続し記録した。

端面の温度は誘導加熱式のビレットヒータに広く用いられているのと同様の方式で、先端を尖らせたクロメルとアルメルを端面に直接押し当てるにより計測した。

加熱時間はバーナを点火した時点から、バーナを消火するまでの時間をストップウォッチでカウントした。

2.2.2 テスト方法

写真1にテスト装置の燃焼状態を示す。テストは、ビレット全体を均一な温度に加熱することを目的とするフラット加熱と、前述の傾斜加熱を満足することを目的としたテーパ加熱について実施した。

表2 計算条件

処理材 物性値	材 料	アルミビレット
	外 形 尺 法	$\phi 156 \times 1,000\text{mm}$
	初 期 温 度	20°C
	密 度	$2,700\text{ kg/m}^3$
	比 热	$871 \sim 1,050\text{ J/kg}\cdot\text{K}$
	熱伝導係数	$203.5 \sim 230.3\text{ W/m}\cdot\text{K}$
境 界 条 件	火炎温度	$1,700^{\circ}\text{C}$ (大気開放) $2,000^{\circ}\text{C}$ (炉内燃焼)
	炉温 (周囲温度)	25°C (大気開放) $1,000^{\circ}\text{C}$ (炉内)
	放射率	0.3
	形態係数	1.0
	Sボルツマン定数	$2.041 \times 10^4\text{ J/m}^2\text{hk}^4$

テストパラメータは、燃焼容量、酸素比、ゾーンごとの燃焼量として、ビレット温度を測定し昇温曲線を観察した。

3. 数値計算

加熱テスト実施に先立ち、数値計算による本計画の妥当性評価を行った。この目的は、アルミビレットの表面を溶解させることなく加熱することが可能であるか、また目標とする加熱能力を達成するために必要な条件は何かを推定するためである。

3.1 解析条件

解析は三次元熱伝導解析にて行った。本計算に用いた材料データ、境界条件を表2⁴⁾に示す。

3.2 解析結果

本計算より下記の結果が得られた。

- ① 気開放状態での直接加熱において、表面温度が融点に達することなく、中心部まで所定温度に加熱することが可能である。
 - ② $0^{\circ}\text{C} \rightarrow 500^{\circ}\text{C}$ を 70 秒で急速加熱するために必要な熱伝達率は $523.4\text{ [W/m}^2\text{K]}$ である。
 - ③ テーパ加熱は、ゾーンごとに燃焼量制御を行うことで十分可能である。
 - ④ また、温度傾斜の程度は、熱伝達率を任意に設定することで自在に調整できる。
- 以上の結果から、本テストにおいて基準とする

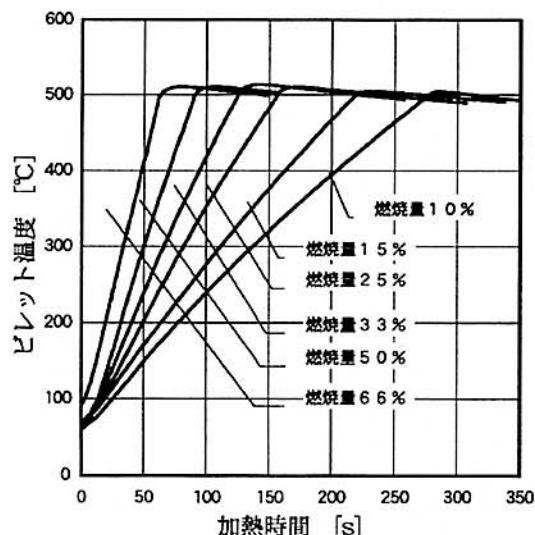


図2 燃焼量と昇温曲線

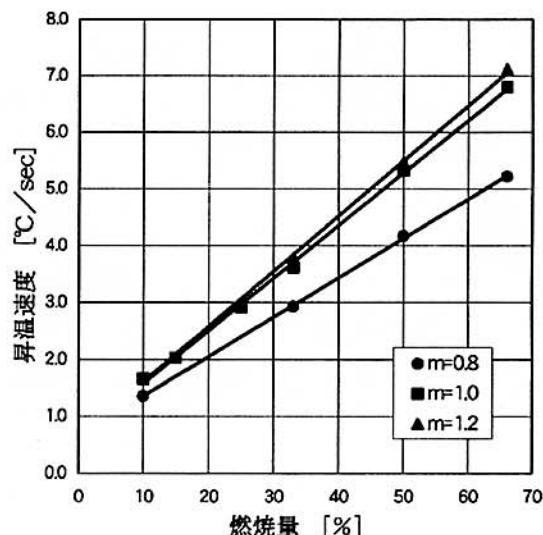


図3 燃焼量と昇温速度の関係

性能は、加熱速度6.9 [°C/s]、熱伝達率523.4とする。この値は、誘導加熱式ビレットヒータと同等の数値である。

4. テスト結果及び考察

4.1 フラット加熱

4.1.1 加熱能力

図2に酸素比を1.0一定とした状態で、燃焼量を変化させた際の加熱パターンを示す。燃焼量66%で90°C→500°Cを約60秒で加熱しており、急速加熱可能であることが確認できた。これにより算出した昇温速度は6.8 [°C/s]、平均熱伝達率は516 [W/m²K] であり、ほぼ設計どおりの値が得られた。

したがって、本テストでは燃焼量66%を上限とした。また、燃焼量の増加と共に加熱能力も増加し、その上昇率もほぼ燃焼量に比例するという結果が得られた。

参考までに、誘導加熱式のビレットヒータは本テストと同サイズのアルミビレットを初期温度20°Cから押出温度500°Cまで60~120秒かけて加熱する。したがって、本装置において50%以上の燃焼量で誘導加熱式と同等の加熱能力が得られることが分かる。

また、図3に燃焼量と昇温速度の関係を、図4に酸素比と昇温速度の関係を示す。酸素比はm=0.6~1.5に変化させた。図3を見ると、どの酸

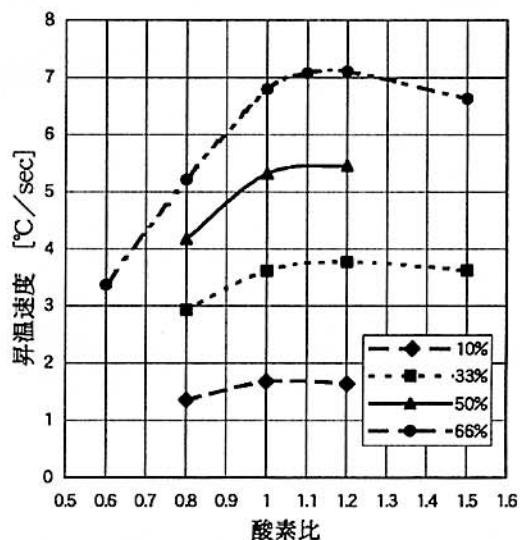


図4 酸素比と昇温速度の関係

素比においても燃焼量と加熱能力の関係は同様で、ほぼ直線で近似できることが分かる。

これは、燃焼量が上がった分だけ投入熱量も当然大きくなるが、ビレットがその増加分も受熱していることを示す。すなわち投入熱量を増加してもアルミの熱伝導性が高いため、表面が溶損することなく熱を受け入れることが示されている。

また、酸素比に着目すると、m=1.2では昇温速度において若干m=1.0を上回っており、m=0.8では大きく下回っている。これはm=1.2ではm=1.0よりも酸素過剰分だけ高温ガス噴流のビレット表面における衝突速度が上昇したことによ

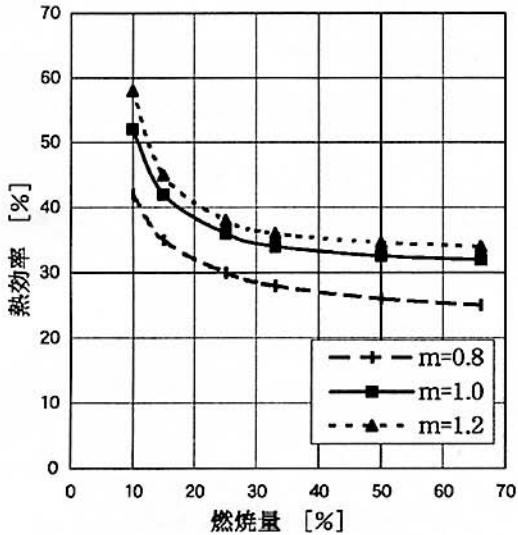


図5 燃焼量と熱効率の関係

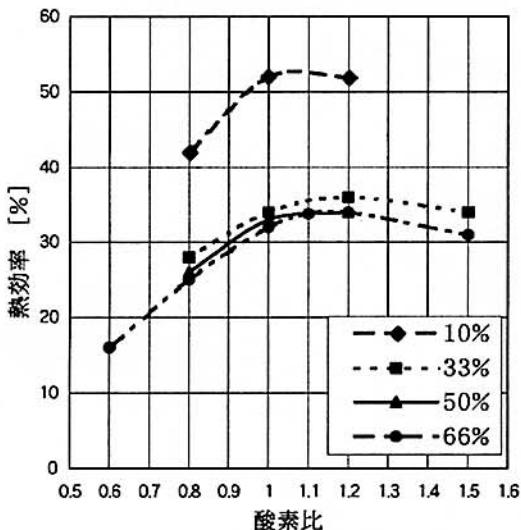


図6 酸素比と熱効率の関係

り熱伝達率が増加した結果であり、ガス噴流の温度低下よりも衝突速度の上昇の方が加熱能力においてはより効果的であることが分かる。

逆に $m = 0.8$ では、噴流速度が低下する上、酸素不足により加熱に有効な熱量も低下したため加熱能力も大きく低下している。 $m = 1.0$ と比較すると、酸素量の低減率と同程度、加熱能力も低下している。図4に着目しても、上記の傾向が表れている。

酸素比については $m = 1.1$ 付近にピークがあり、 $m = 1.2$ 以上では下降する。 $m = 1.0$ 以下の還元領域においては著しい低下が見られる。

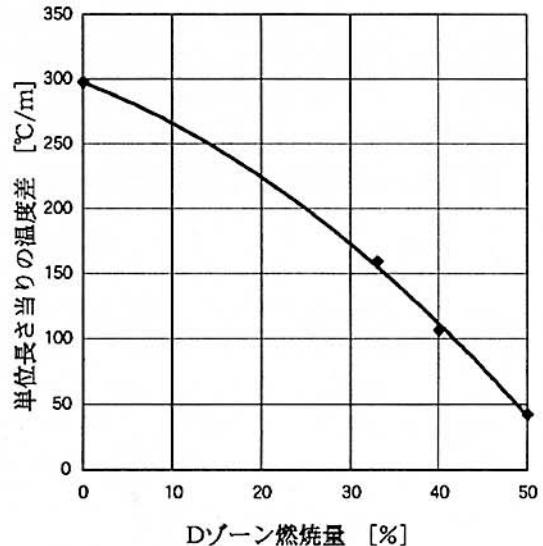


図7 局部的に燃焼量を変化させた場合の長手方向温度差

4.1.2 熱効率

図5に燃焼量と熱効率の関係を示す。どの酸素比においても本テストにおける最低燃焼量である10%に熱効率のピークがあり、燃焼量の増加について低下する傾向にある。特に10%~20%間において極端に低下しており、それ以降はほぼ横ばい傾向を示している。これは燃焼量が小さければ火炎体積も小さく、ビレット表面積に対して高温ガス量が少ないためである。

つまり、火炎からの投入熱量に対して、ビレットの受熱能力が勝っている状態である。逆に燃焼量が大きくなるとビレットから火炎の反射やはみ出しも大きくなるため外部に逃げる熱量が増え、熱効率は低下する傾向にある。

図6に酸素比と熱効率との関係を示す。傾向は加熱能力の場合と同様に、 $m = 1.0 \sim 1.2$ 付近にピークがあり、それ以上では若干の下がり傾向を示す。還元側ではやはり大きく低下する傾向があり、燃焼効率との関連が表れている。

実際の使用域と考えられる燃焼量33~66%，酸素比 $m = 1.0$ では、33~35%の熱効率が得られた。この値はビレット内部の平均温度より算出した値であり、誘導加熱方式と同様に端面の温度計のみで算出すると約40%となる。これは誘導加熱式ビレットヒータとほぼ同等の値である。

4.1.3 温度分布

ビレット内の温度分布は、長手方向ではほぼ均一であった。内部において、加熱終了直後は受熱面であるビレット表面と中心部間において約60°C程度の温度差が生じる。が、加熱終了から25秒後では3°C程度まで温度差は小さくなり、60秒後ではほぼ均一となる。

4.2 テーパ加熱

図7に酸素比 $m = 1.0$ で、ゾーンごとの燃焼量を変化させた場合の結果を示す。このテストではA～Cゾーンの燃焼量を66%一定として、Dゾーンの燃焼量を変化させた。横軸にDゾーンの燃焼量を、縦軸に単位長さ当たりの温度傾斜を示す。Dゾーンの燃焼量の増減に応じて、温度差が変化することを確認できた。よって、ビレットの長手方向に対して最適な温度傾斜を任意に付加することが可能である。

5. 結 言

以上、酸素バーナ式ビレットヒータの性能についてテストデータを基に述べてきた。本テスト結果は、酸素燃焼技術の新たな用途への可能性を示すという点において非常に有意義である。本テスト結果により得られた酸素バーナ式ビレットヒータの特長は以下のとおりである。

- ①従来の燃焼方式では困難であった非鉄金属の急速加熱を、高温火炎を直接材料に衝突させるインピング加熱の採用により実現した。
- ②ゾーンごとに燃焼量を制御することで、フラット加熱、テーパ加熱共に温度制御が自在にでき、様々な製品に広く対応することができる。
- ③急速加熱が可能なため、設置スペースをコンパクトにすることができる。
- ④加熱能力を低下させることなく電気からガス燃焼への転換を行うため、ランニングコストを大幅に削減することができる。
- ⑤トータルエネルギー効率を試算すると、誘導加熱方式では12.8%，酸素ジェットヒータでは30.6%となる。よって、約60%のCO₂を削減できる。

以上のように、多くの利点を持つ装置であり、これを普及させることで社会に貢献していく所存である。