

吸収式温水機の吸収器用伝熱管「ディンブコ[®]」の製造方法および伝熱性能

石川 守・佐伯主税・高橋宏行

アルミ・銅事業本部・桑野工場

Manufacturing Process and Heat Transfer Characteristics of Heat Exchanger Tube as called 「DIMPKO」 for Absorber of Absorption Chiller

Mamoru Ishikawa・Chikara Saeki・Hiroyuki Takahashi

Non-freon type absorption chiller system has widely attracted attention from the view point of Global environmental problems. Absorption chiller is made up of four types of heat exchanger. The absorber is one of the most important heat exchanger for heat transfer performance of the absorption chiller system. We developed a special flute shape heat exchanger tube as called a DIMPKO for absorber. DIMPKO has a complicated tube shape and is formed by a special ball die drawing process. In this paper, we describe the manufacturing techniques of the DIMPKO and its heat transfer characteristics.

まえがき = 吸収式冷温水機は、水を冷媒としてもちいる熱交換システムで、フロンを使用しないため、環境にやさしい空調システムとして注目されており、ビル、公共施設、地域冷暖房などに使用されている。

この吸収式冷温水機は、吸収器、蒸発器、凝縮器、再生器の四つの主要熱交換器からなる。なかでも吸収器は吸収式冷温水機の効率に及ぼす影響がもっとも大きく、高性能な伝熱管が要求されている。

吸収器は、蒸発器と連続する真空容器となっており、内部に伝熱管を水平に複数段設置し、最上段から吸収液(臭化リチウム溶液)を流下させる構造が一般的である。吸収器では、蒸発器で発生した水蒸気を、伝熱管表面で吸収液に吸収させて熱交換をおこなうとともに、水蒸気の吸収によって、容器内の真空度を維持している。

したがって、吸収器用の伝熱管に要求される特性は、水蒸気の吸収が十分おこなえるように、吸収液が伝熱管全体に広がりやすく、かつ、吸収液を伝熱管表面である程度保持できるとともに、吸収液が下方の伝熱管に流下する際に偏流を生じないことである。

当社では、各種の熱交換器に適した伝熱管の研究開発を進めており、本稿では、吸収器用に開発した伝熱管ディンブコの製造方法と伝熱性能について報告する。

1. ディンブコの特徴

1.1 ディンブコ開発の背景

吸収器の熱交換メカニズムの詳細についてはまだ十分に解明されておらず、吸収器専用の高性能伝熱管は数少ない。その一つとしてダブルフルート管¹⁾が知られている。ダブルフルート管は断面が星形で、へこみ部に吸収液を滞留させてマランゴニ対流²⁾を促進させ、吸収効率を高めるものである。

しかしながら、ダブルフルート管ではへこみ部が管軸方向に連続する構造のために、伝熱管の曲がり、設置時の水平度などにより吸収液の流下に偏流をきたす場合がある。また、伝熱管設置時に星形断面の方向を考慮しな

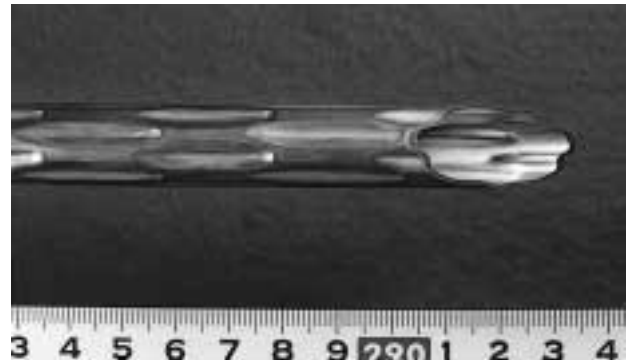


写真1 吸収器用伝熱管ディンブコ

Photo.1 Heat exchanger tube DIMPKO

い場合には、吸収液が飛散して下方の伝熱管に液が十分流下しないこともあり、伝熱管の設置には細心の注意を要する。

ディンブコは、とくに吸収液の流れを安定させることに着目して開発した伝熱管である。

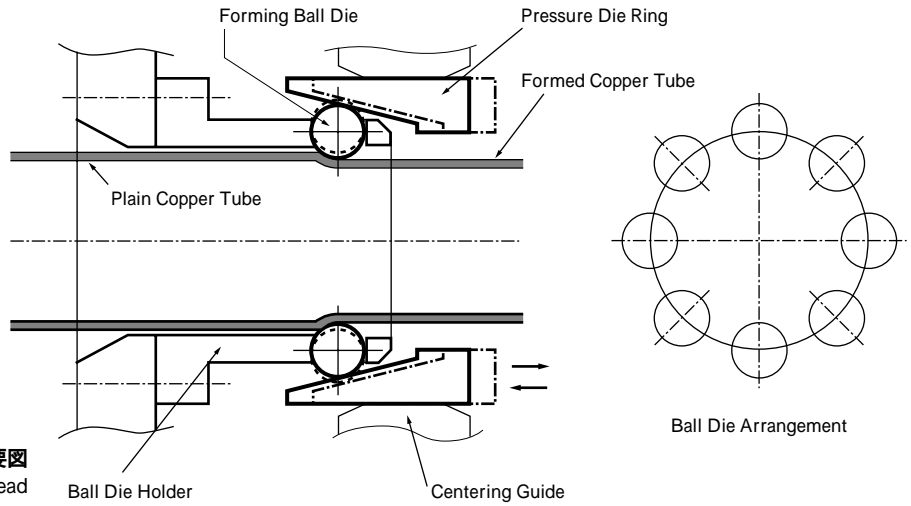
1.2 ディンブコの形状

写真1にディンブコの外觀形状を示す。ディンブコは管表面に位相の異なるへこみを設けた伝熱管で、一つのへこみは、幅：3~8mm、深さ：0.3~1.0mm、管軸方向長さ：50~150mmである。このへこみを管円周方向に等ピッチで6~12個設けてあり、さらに、これらを管軸方向で、管円周方向ピッチを1/2ピッチだけずらせて交互に配置している。また、それぞれのへこみの両端部は互いに入り組みオーバーラップしている。

2. ディンブコの製造方法

2.1 加工方法の選定

引抜き加工で管にへこみを成形する方法としては、ボールダイス法³⁾、異形ダイス法⁴⁾⁵⁾などがある。吸収器に使用される伝熱管は比較的薄肉の銅管(通常 15~20mm, t=0.5~0.6mm)であるため、これにへこみを設けるには、引抜き荷重が極力小さくなる成形方法を選定しなければ引抜き時に材料破断が生じやすくなる。この



第1図 加工ヘッド部の概要図
Fig. 1 Image of forming head

点を注視してボールダイス法と異形ダイス法の比較試験を実施した。

試験では、銅管の管軸方向に連続する8個のへこみを成形する16mmのフルート管の引抜き加工において、ボールダイス法および分割開閉式異形ダイス法で種々の深さでへこみを成形し、このときの引抜き荷重と成形状態を比較した。

ボールダイス法を第1図に示す。ボールダイス法では8個の成形ボールを放射状に均等配置し、成形ボールを銅管の半径方向に同時に進退させる構造の加工ヘッドをもちいた。分割開閉式異形ダイス法では、8分割ダイスをもちいダイス突起の先端は成形ボールの曲率と等しい形状とした。また、いずれの加工法ともプラグを使用しない、空引き加工でへこみ成形をおこなった。

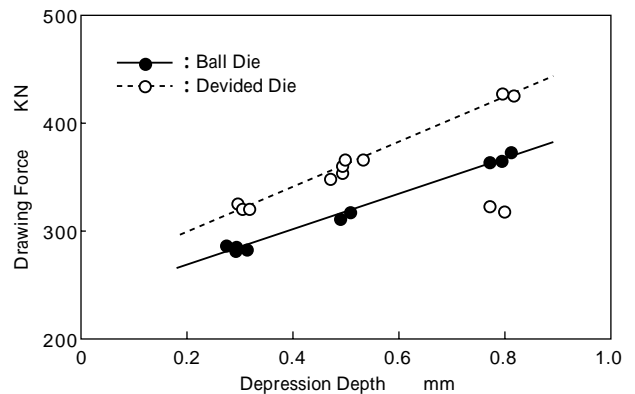
なお、素管は19mm、 $t=0.5\text{mm}$ の焼鈍した銅管をもちいた。

2.2 試験結果

引抜き力の測定結果を第2図に示す。へこみ成形中の引抜き荷重は、ボールダイス法のほうが分割開閉式異形ダイス法より約10%小さな値となり、へこみ深さの増加につれ、荷重差も大きくなる傾向であった。また、分割開閉式異形ダイス法ではへこみ深さが0.8mmを越えると、管周方向の隣接するへこみが連なる現象が生じて良好な成形ができなかった。

2.3 考察

1) 引抜きによるへこみ成形において、ボールダイス法



第2図 へこみ成形時の引抜き荷重
Fig. 2 Drawing force at depression forming

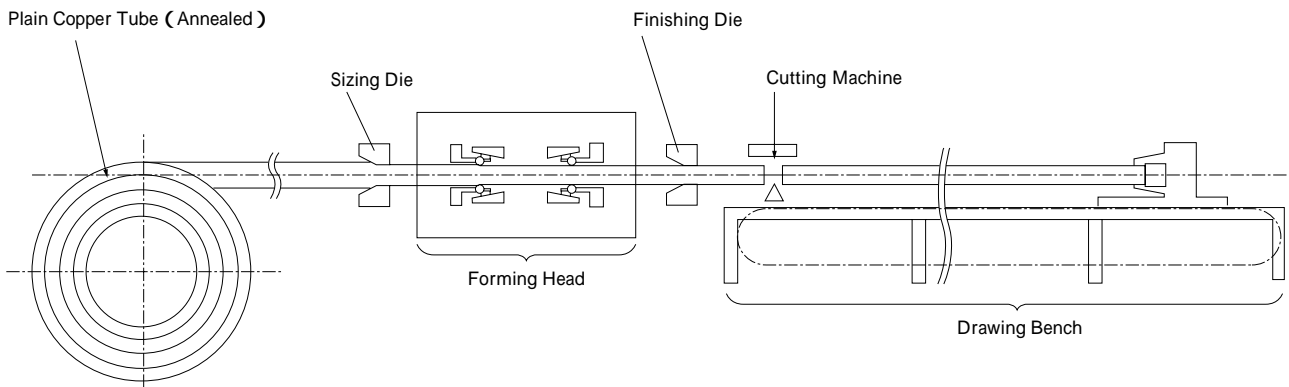
の引抜き荷重が分割開閉式異形ダイス法に比較して小さくなるのは、へこみ成形部における摩擦形態が、転がり摩擦と滑り摩擦の差異による。

2) 分割開閉式異形ダイス法で、深いへこみ成形をおこなった場合に隣接するへこみが連なる現象が生じた原因は、ダイス先端部の微妙な仕上りの状態、および摩擦の影響などにより、管軸方向へのへこみ変形の進行に方向性が生じたと推定する。

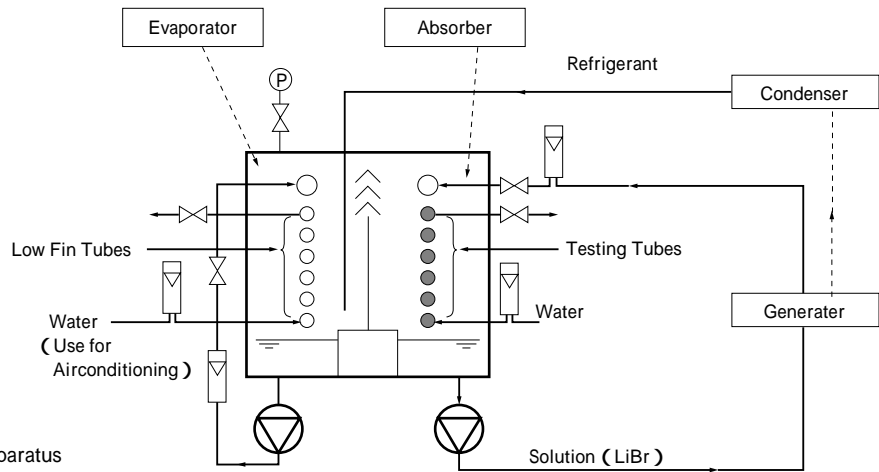
2.4 ディンプコの製造装置

前記の試験結果にもとづいて、当社ではボールダイス法によるディンプコの製造方法の開発を進めた。

第3図にディンプコの製造装置の概略図を示す。ディンプコの製造装置は、ディンプコ加工ヘッドと、ヘッ



第3図 ディンプコの製造装置概略図
Fig. 3 Process of manufacturing DIMPKO



第4図 伝熱性能測定装置
Fig. 4 Heat transfer testing apparatus

ド前後に配置した引抜きダイスと、引抜き装置で構成されている。

加工ヘッドは第1図の構造のものを2組配置し、それぞれ成形ボールの円周方向ピッチを1/2だけずらせることで位相が異なるへこみの成形を可能としている。また、テーパ状の押込み工具の作動量、作動時間を調整することで、へこみの形状を任意に設定できるとともに、管軸方向の任意の位置に平滑管部を設けることも可能としている。

ヘッド前方の引抜きダイスは、素管の外径を微調整するもので、へこみの均一性を確保し、後方のダイスは仕上がりの外径を調整する。

引抜き装置は、測長機能を有するドローベンチで、測長信号を加工ヘッド部にフィードバックし、2組の加工ヘッドを作動させる。このとき、管軸方向に平滑管部を設け、この部位より加工材を切断、排出することで連続的な加工を可能としている。

3. ディンプコの伝熱性能

前記の装置をもちいて種々の形状のディンプコを製作し、吸収器性能を測定した。

本稿では、ディンプコの性能に及ぼす、へこみ長さの影響について報告する。

3.1 試験装置

第4図に性能評価試験装置の概略図を示す。吸収器は蒸発器と連続する真空容器中にあり、容器上部に水蒸気供給口が設けてある。蒸発器で発生した水蒸気は、水蒸気供給口より連続的に吸収器に供給される。供試管は吸収器内に水平に取付け、鉛直方向に段ピッチ24mmで6段配置した。供試管内には冷却水を流し、最上段部の供試管上方より吸収液（臭化リチウム溶液）を流下させる構造となっている。

3.2 試験方法

供試管は第1表に示す外径16mmのディンプコと平滑管を使用し、第2表の条件で試験をおこなった。

試験は、吸収器の供試管内に一定流量の冷却水を流し、冷却水入口温度が第2表に示す条件になるように、冷却水供給温度を調節した。いっぽう、蒸発器の伝熱管には一定温度の冷水を流し、器内圧力が試験条件になるよう

第1表 供試管
Table 1 Dimension of testing tubes

No.	Number of Depression	Depression Depth mm	Depression Length mm
1	8	0.8	50
2	8	0.8	100
3	8	0.58	150
4	Plain Tube		

第2表 試験条件
Table 2 Testing conditions

Pressure in Testing Chamber	6 mmHg
Concentration at Solution Inlet	63 mass%
Temperature at Solution Inlet	46
Solution Flow Rate	0.017 ~0.035 kg/m·s
Water Velocity	1.5 m/s
Temperature at Water Inlet	32

に冷水流量を調節した。その後、吸収器の伝熱量が定常状態になったときに、器内圧力、冷却水の出入口温度および流量、冷水の出入口温度および流量、吸収液の出入口温度、および出入口濃度、ならびに流量を測定した。なお蒸発器の伝熱管にはローフィンチューブを使用した。

測定値に基づき、吸収器の総括伝熱係数 K_0 、蒸発器の冷凍能力 Q_0 を以下の式(1),(2)により算出した。

1) 吸収器の総括伝熱係数

$$K_0 = Q_a / (\Delta T_m \cdot A_0) \dots\dots\dots (1)$$

$$Q_a = G_a \cdot C_{pa} \cdot (T_{aout} - T_{ain})$$

$$\Delta T_m = (T_1 - T_2) / \ln(T_1 / T_2)$$

$$T_1 = T_{Lin} - T_{aout}$$

$$T_2 = T_{Lout} - T_{ain}$$

ここに、 K_0 ：吸収器の総括伝熱係数 kW/m²·K

Q_a ：冷却水熱交換量 kW

ΔT_m : 対数平均温度差	K
A_o : 供試管外表面積	m ²
G_a : 冷却水流量	kg/h
C_{pa} : 冷却水比熱	kJ/kg·K
T_L : 吸収液温度	K
T_a : 冷却水温度	K

2) 蒸発器の冷凍能力⁶⁾⁷⁾

$$Q_e = Q_a - (Q_{Lin} - Q_{Lout}) \dots\dots\dots (2)$$

$$Q_{Lin} = G_{Lin} \cdot H_{Lin}$$

$$Q_{Lout} = G_{Lout} \cdot H_{Lout}$$

ここに、 Q_e : 蒸発器の冷凍能力 kW

Q_a : 冷却水熱交換量 kW

Q_L : 吸収液熱量 kW

G_L : 吸収液流量 kg/h

H_L : 吸収液エンタルピ kJ/kg

3.3 試験結果

3.3.1 総括伝熱性能 (吸収器)

総括伝熱係数の測定結果を第5図に示す。へこみ長さ100mmの供試管は、吸収液流量0.02kg/m·sにおいて、平滑管比約1.3倍の性能向上を示した。へこみ長さ150mmの供試管は、平滑管よりも性能が低下する傾向であった。

3.3.2 蒸発器の冷凍能力

蒸発器冷凍能力の測定結果を第6図に示す。へこみ長さ100mmの供試管は、吸収液流量0.02kg/m·sにおいて、平滑管比約1.13倍の性能向上を示した。へこみ長さ50mmの供試管においても低流量域で平滑管よりも性能向上を示した。

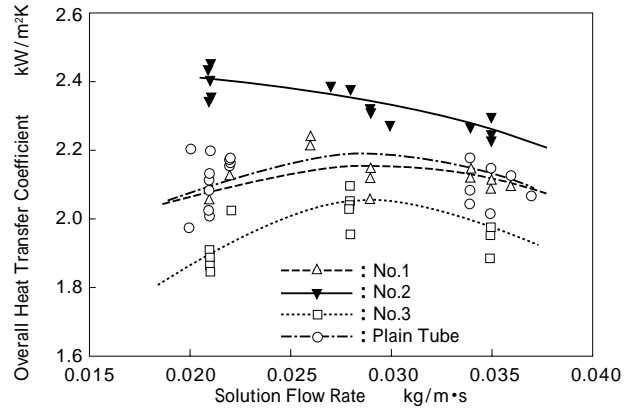
3.4 考察

1) 吸収器にディンブコをもちいることで、吸収器性能の向上が確認できた。これは伝熱管表面のへこみ部で吸収液が保持され、マランゴニ対流が促進され、水蒸気の吸収が活発におこなわれたものと推定する。

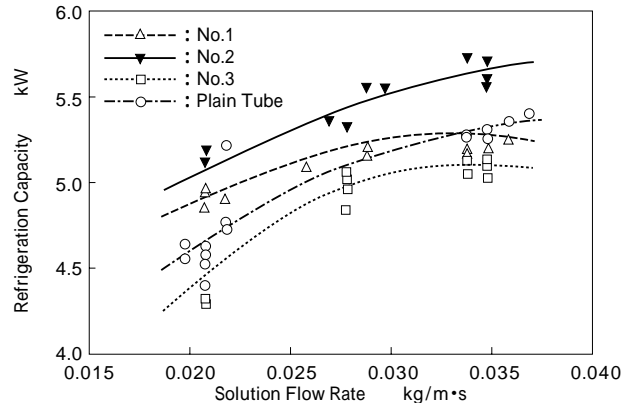
2) へこみ長さ150mmで平滑管より吸収器性能が低下する原因は、下方の伝熱管で液膜切れが観察されたことから、吸収液の流下ピッチが広くなりすぎ、液膜厚さに不均一が生じやすくなったことによると推定する。

むすび= ボールダイスヘッドをもちいて、へこみ成形をおこないながら管を引抜き加工法では、分割開閉式異形ダイス法と比較して引抜き荷重は約10%小さくなる。この結果、より複雑な断面形状を有する薄肉管を生産することが可能になる。

前記の方法で製造したディンブコは吸収器の性能を大



第5図 総括伝熱係数
Fig. 5 Overall heat transfer coefficient (Absorber)



第6図 冷凍能力
Fig. 6 Refrigeration capacity

幅に向上させ蒸発器の性能向上、吸収式冷温水機の小型化および高性能化に寄与することが期待される。

吸収器の熱交換現象についてはまだ未解明な部分が多いので、今回の結果をもとに解析を進めて、さらなる伝熱管の高性能化を図っていく。

参考文献

- 1) 佐々木直栄ほか：伸銅技術研究会誌，33巻（1994），p.237．
- 2) 藤田稔彦：日本冷凍協会論文集，Vol.5 No.1（1988），p.15．
- 3) 吉田一也ほか：伸銅技術研究会誌，28巻（1989），p.55．
- 4) 公開特許，平6-159859．
- 5) 金山公三ほか：名古屋工業技術試験所報告別冊，Vol.33 No.11（1984），p.417．
- 6) 植村 正：冷凍，Vol.52 No.600（1977），p.65．
- 7) 高田秋一：吸収式冷凍機とヒートポンプ，（1989），p.29，日本冷凍協会．