

鍛造スクロールの製造技術 について

Manufacturing Technology for Scrolls by Forging

林 英 和 * Hidekazu HAYASHI

鍛造スクロールへのニーズの高まりから当社にて量産を開始して 20 年が経過した。量産を開始するまでには、数々のデータの蓄積を行い、それらのデータから量産技術の確立を行ってきたが、現在においてもコスト削減、作業環境改善への取組みは続けている。

1. はじめに

スクロールコンプレッサは高効率、低振動であること、また小型軽量化のニーズから 1990 年ごろから採用されるようになった。特に空調機器は設置スペースに制約がある場合が多いためコンプレッサの各構成部品の小型軽量化が求められている。

近年においても地球温暖化への取組み等で開発は進んでおり、小型軽量化へのニーズはさらに高くなっている。また、最近ではハイブリット車 (HEV)、電気自動車 (EV) の市場ニーズから、従来のエンジン駆動から電動化への変化にともない、形状も複雑化する傾向にある。

スクロール部品は複雑形状や Al-Si 合金であるため低圧鋳造法等で加工されてきたが、巣やピンホールなどの内部欠陥による不良や歩留まりが問

題となっていた。これらの問題からスクロール部品のアルミニウム鍛造が注目されるようになった。当社では 1990 年から鍛造スクロールの開発に着手し、1994 年に家庭用エアコンのスクロールコンプレッサ部品の量産を開始した。2000 年以降はカーエアコン用を中心に生産を行っている。図 1 に当社がこれまでに生産した鍛造スクロールを示す。

本稿では当社の鍛造スクロールの開発から製造

コンプレッサ



図 1 コンプレッサと鍛造スクロール

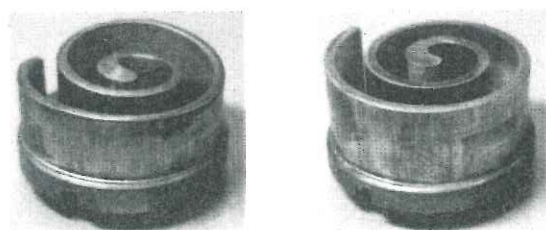
* ㈱ニチダイ 総務部専門部長

技術確立に至るまでを紹介する。また、近年の作業環境改善、生産効率向上に向けた取組み、タイ進出について紹介する。

2. 鍛造スクロールの開発

スクロール成形ではすでに低圧鋳造などの各種成形が実用化されていたが、生産性、寸法精度、機械的性質、内部欠陥による不良などの問題点があり、トータルコストが増加する傾向であった。これらの問題を解決する方法として、鍛造により高品質化と不良の少ない製造技術が要求されるようになり、開発に着手した。

スクロールに使用されている素材は Al-Si 合金である。この材料は変形抵抗が高い為、素材を加熱して熱間鍛造で成形する必要がある。また、渦巻き部は押出しにより成形するが、押出し部先端に背圧を負荷しなければ先端が波打ってしまう(図2)。素材温度や背圧力は成形荷重、金型強度、焼付などに大きく影響する為、量産化に向けては重要な因子となった。また、高い生産性を維持するためには最適な成形条件の把握も必要であった。その成形条件を把握するために当社が所有してい



(背圧なし) (背圧あり)

図2 スクロール鍛造品

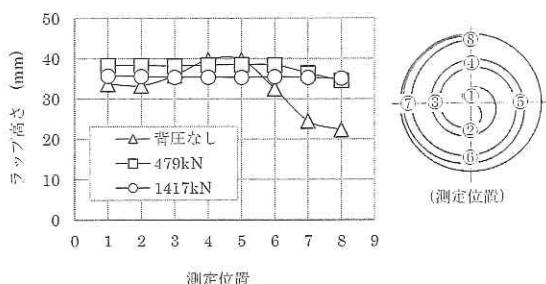


図3 背圧とラップ長さの関係

る閉塞鍛造用の3シリンダの油圧プレスを用い、量産化に向けた評価を行った。ここで得られた成形条件は加熱装置、鍛造用プレス機の選定にあたり重要なデータとなった。

ここでは、開発段階に得られたデータとして、背圧と潤滑に関する結果を示す。

2.1 背圧

鍛造でスクロールの渦巻きを成形する場合、円柱板の素材から押出しにより成形されるが、スクロールの渦巻き高さが不均一になる。そこで、押出し部先端に背圧負荷することで先端を均一にする背圧負荷鍛造法の開発を行った。

渦巻き部先端の背圧力の影響を確認するために、背圧力の有無による渦巻き高さの変化を調べた。図3は背圧なしとありでラップ高さ(渦巻き高さ)を比較したものである。横軸は渦巻き中心からの外周端までを測定位置である。背圧を負荷しない場合、②と⑧部において高さが小さくなり、④と⑤がもっとも高くなる傾向となった。背圧を負荷すると渦巻き高さのバラツキは低減されるが、⑦と⑧に関しては背圧力を高めてもほとんど変化せず限界があることが明らかになった。この結果から素材の変形抵抗の40~80%程度の背圧力が適切であることが明らかになった。

2.2 潤滑性能

アルミニウム合金は、鋼との親和性があり、特に高圧、高温化では凝着あるいは焼付を起こし易い。そのため、潤滑剤の選定は重要であり、充満性や外観の品質に大きな影響をおよぼす。図4に潤滑剤の違いによる成形荷重の比較示す。開発段階では、数多くの潤滑剤で試験を行ったが、ここでは黒鉛と二硫化モリブデンでの試験結果について示す。

金型潤滑が黒鉛のみの場合、素材温度が300℃、420℃ともに焼付きが発生し、成形荷重が高くなった。黒鉛と二硫化モリブデンの場合では、潤滑状

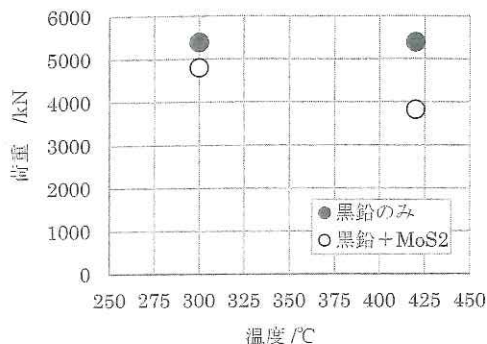


図4 潤滑剤と温度

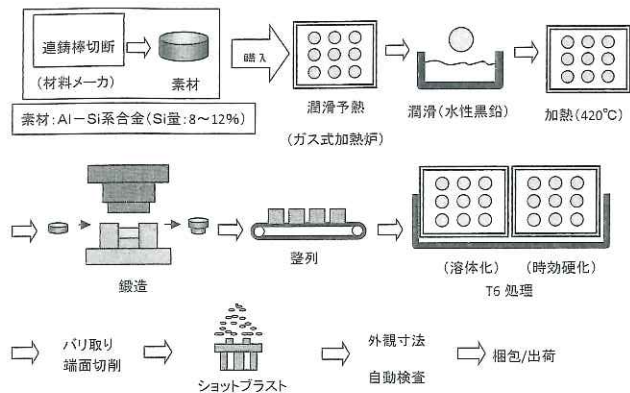


図5 製造工程

態は良好で焼付きの発生もなく、製品の外観も良好であり、成形荷重の増加も見られなかった。しかしながら、二硫化モリブデンについては設備およびコストの問題で量産には使用できなかった。

3. 製造技術の確立

閉塞鍛造用3シリンダ油圧プレスにより、実機に近い評価を行いながら量産できる技術と判断し、1994年から特殊ダイセットを用いた汎用機械プレスによる量産を開始し現在に至っている。

図5は鍛造スクロールの生産工程を示したものである。本部品に使用されるアルミニウム合金素材はシリコン量が8から12%のAl-Si系合金の連続铸造棒であり、外径ピーリング仕上げ後、規格寸法に切断される。材料はガス式加熱炉で加熱し、水性黒鉛で浸漬を行った後、420°Cに加熱する。

鍛造成形では自動送り装置を備えた汎用機械プレスを用いている。鍛造後はT6処理（約10～12時間）、バリ取り、スクロール形状端面の切削、ショットブラスト、外観、寸法検査を経て出荷される。

図6は鍛造時の金型の構造を示したものであり、図7は成形前後の金型の動きを示したものである。円柱の素材を金型にセットし、前方押しによって渦巻き部を成形している。背圧は押し出し部の先端にロックアウトにより負荷している。

4. 改善の取り組み

鍛造スクロールは量産を開始して20年が経過している。生産方法は基本的に変わっていないが、常にコスト削減、作業環境の改善に取り組んでいる。ここでは、これまでに実施した改善事例を紹介する。

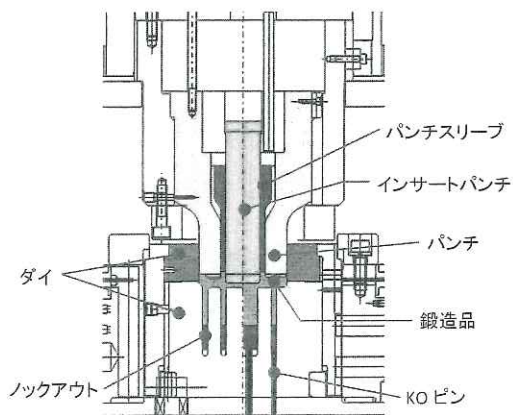


図6 金型構造

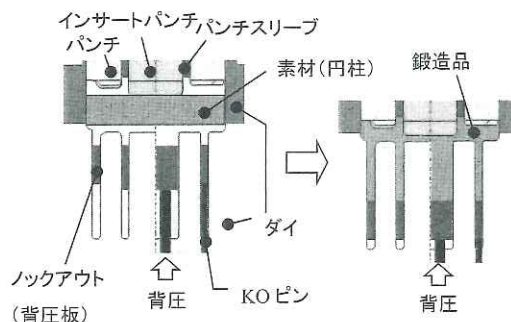


図7 金型構造

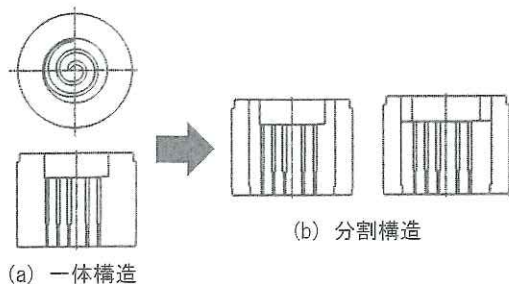


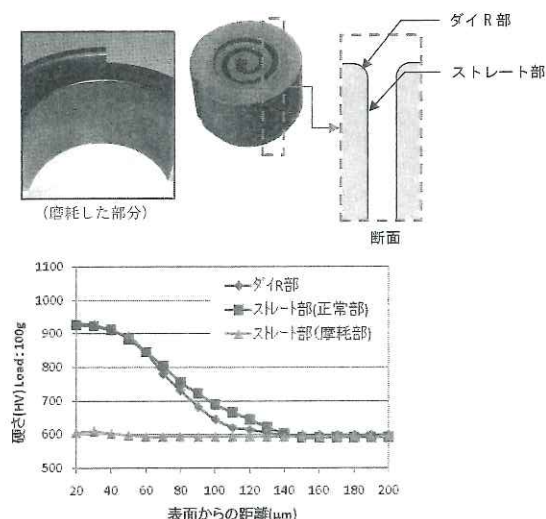
図 8 金型構造

4.1 金型技術

金型は成形温度が 350～400℃となるのである程度の強度が必要な合金鋼やマトリックスハイスが用いられている。改善前の金型構造は図 8 (a) に示すように一体構造であったが、放電加工とミガキの品質を確保した加工時間の短縮が重要な課題となっていた。現在では加工時間とコスト削減が可能な分割構造（図 8 (b)）となっている。

4.2 金型形状

図 9 に金型のスクロール部を示す。スクロール部は複雑形状の為、応力集中が発生しやすい場所であり、早期に割れる問題があった。応力集中が緩和できる金型形状は CAE を用いて検討し、早期割れの問題を解決することができた。



(写真およびグラフの出典：リヒト精光(株)内部資料)
図 10 金型表面処理

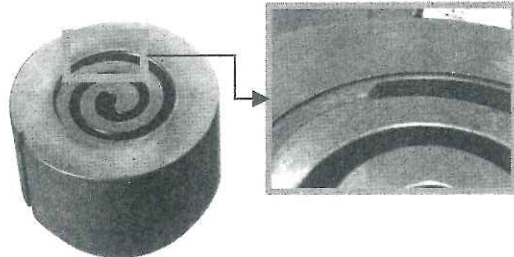


図 9 金型形状

また、金型加工では形状の複雑さから仕上りのバラツキで金型寿命が安定しない。これについては加工方法を放電から直彫りへ変更、あるいは磨き技術の向上によってその安定を目指している。

4.3 表面処理

表面処理は過去にタフトライドやガス窒化を使用してきた。ガス窒化の場合、パンチ隅角部に剥離が発生した。現在は低温ガス窒化に変更し、この問題は解消され、寿命は 7～8 万となっている。

図 10 は金型の硬度を測定した結果である。硬度が低い場合は図に示すように金型に磨耗が発生する。逆に硬度が高い場合には磨耗は発生していない。

4.4 潤滑

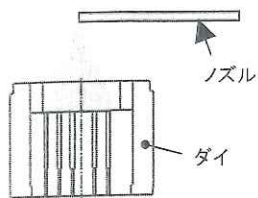
1) 金型潤滑

図 11 は潤滑方法と潤滑装置を示している。改善前は精製鉍物油＋黒鉛を使用していたが、潤滑性能がよい反面、発火しやすいという問題点があった。このことから、現在では潤滑性能はやや劣るものの火災の危険性が少ない合成油に変更した。

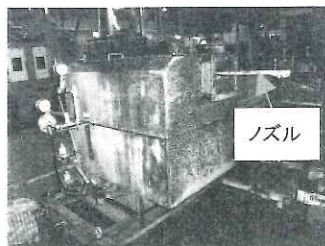
2) 素材潤滑

素材潤滑には水性黒鉛を使用しているが、潤滑装置に以前は標準的なラインポンプを使用していた。しかし、潤滑剤のつまりが発生し





(a) 金型潤滑方法



(b) 金型潤滑装置

図 11 金型潤滑装置

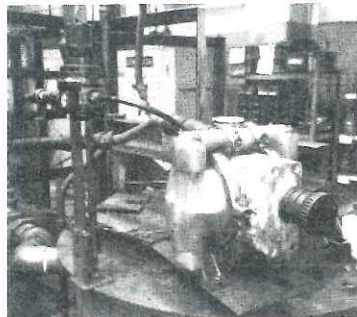
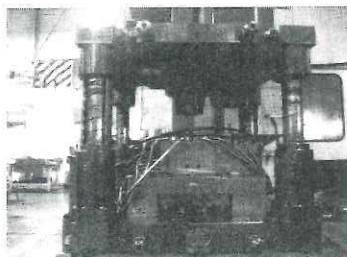
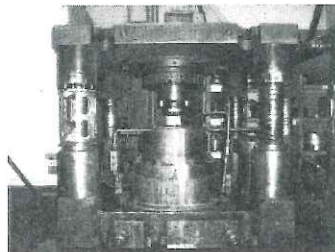


図 12 ダイアフラムポンプ

部品劣化を早くしていた。これらの問題を解決するために現在はダイアフラムポンプ（図 12）を使用している。このポンプでは潤滑材の液量を調節できるので、潤滑剤のつまりを防止することができ、潤滑装置の部品劣化も改善することができた。



(a) ガス式



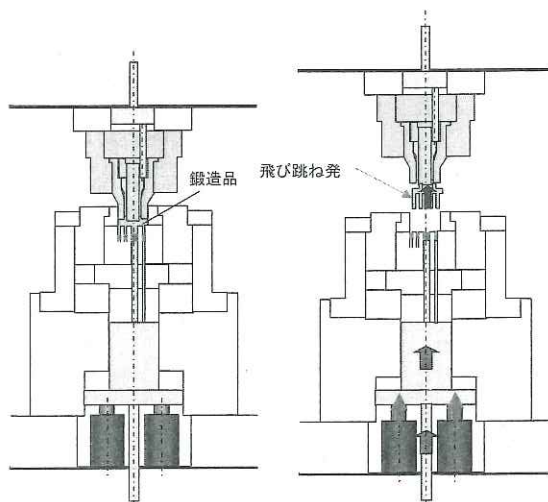
(b) 油圧式

図 13 ダイセット

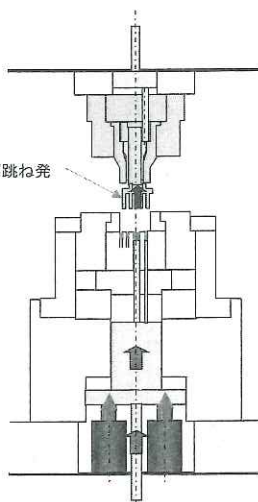
4.5 ダイセット構造

鍛造スクロールは背圧負荷成形を必要とする為、背圧機構が必要となる。図 13 に背圧負荷機構を有したダイセットの写真、図 14 にガス式ダイセットの構造を示す。当初は背圧を負荷する機構にガスシリンダ（ガス式）を用いてきた。ガス式の場合、

合、ロックアウト時にガスシリンダの圧力で鍛造が飛び跳ね、金型を傷つけてしまう問題が発生した。その為、現在では図 15 に示す油圧式のダイセットを用いている。この場合、図に示すように鍛造後に背圧を除荷することができるので、ロックアウト時に鍛造品の飛び跳ねを防止することが

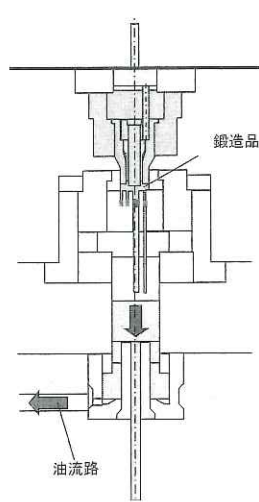


(a) 成形完了

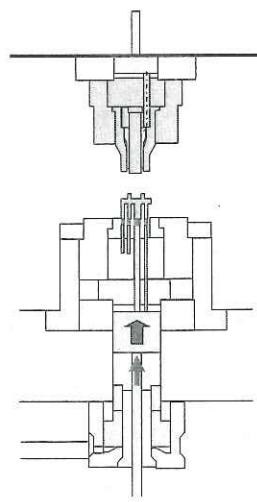


(b) ロックアウト時

図 14 ガス式ダイセットの構造



(a) 成形完了



(b) ロックアウト

図 15 油圧式ダイセットの構造

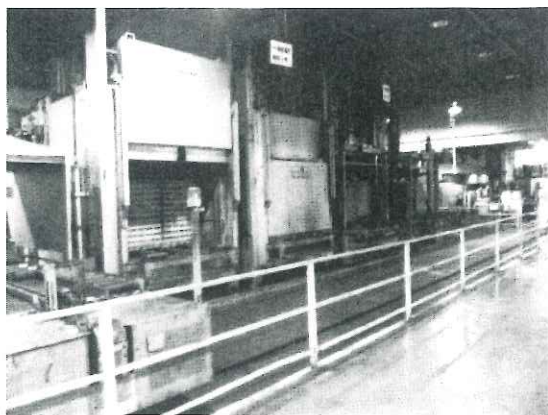


図 16 T6 処理設備



図 17 浄化装置

できる。また、油圧式は段取りの効率化にも効果的である。

4.6 装置の環境改善

1) プレス機内の排煙装置

金型潤滑の際にスプレー装置を使用している為、プレス機内は鋳物油と黒鉛のミスト状態であった。このミストは集塵後、水槽で油分とスラッジを分離していた。現在は電気集塵機でフィルターに吸着させることで、廃液処理が不要となった。

2) T6 処理の焼入れ用水槽

T6 処理では、溶体化処理後に焼入れ工程ある。図 16 は T6 処理設備であるが焼入れに用いる水槽は、溶体化処理後のスラッジによる汚れのため、年に 2~3 回程度の廃液処理を行っていた。現在では図 17 に示す浄化装置を設けて、水槽の水を

常時循環させている。

5. タイ進出

取引メーカーがタイに進出していることから、2008 年にタイ子会社の NICHIDAI (THAILAND) LTD. (図 18) を設立した。当初はターボチャージャー部品のための生産を行っていたが、2012 年 12 月にスクロールの生産も開始した。国内で既に量産自動化がされていた為、早期に生産を開始することができた。図 19 はスクロールの生産ラインであり、図に示した以外にも T6 処理装置と切削加工ラインを保有している。図 19(a) に示すプレス機は当社の宇治田原工場から移設したものである。技術サポートは国内で行っており、国内と同等の高品質とその安定供給を達成している。

6. 最後に

当社における鍛造スクロールの開発から製造技術確立までを紹介した。また、近年の作業環境改善、生産効率向上に向けた取組み、タイ進出について紹介した。スクロールコンプレッサーに対するニーズの高まりから鍛造スクロールの開発を開始し、1994 年に量産を開始して 20 年が経過したが、コスト削減あるいは作業



図 18 NICHIDAI (THAILAND) LTD.



(a) 素材切断機，加熱潤滑装置，8,000 kN プレス



(b) 製品冷却，端面加工，ショットブラスト，バリ取り

図 19 スクロール生産ライン

環境改善の為の技術的課題は多い。現在取組んでいる技術的課題を下記に示す。

- 金型作製が容易な構造
- 歩留り向上を狙った金型の最適補正方法と加工技術
- 背圧負荷成形ダイセットのコンパクト化と簡易化

- 寿命向上に向けた金型材料、表面処理

これらの課題への取組みも重要であるが、近年においてもより高効率、低振動のスクロールコンプレッサーの開発は進んでおり、スクロールの部品も複雑化、小型化が進んでいる。このような複雑化、小型化のニーズに答えることができるよう、今後も取組んでいきたいと考えている。