



E. MURAI

鍛造金型および成形技術と海外進出の取組み

村井 映介*

1. はじめに

当社は 1959 年に前社長の田中善昭が大阪市北区に創業した田中合金製作所の超硬合金異形線引きダイス事業が前身となり、1967 年に大阪府寝屋川市にニチダイとして設立された。その後、1971 年に京都府京田辺市に工場を移転し、1988 年に現在の生産拠点である京都府綴喜郡宇治田原町に工場を開設、現在に至っている。

ここでは当社における鍛造金型加工に関する最近の取組み、鍛造成形技術の開発事例、海外進出の実績について紹介する。

2. 金型加工

2.1 生産性の向上と品質の安定化

(1)加工プログラム管理システム 従来、金型加工における加工プログラムは図面を見ながら製造現場で作成をしていたが、図面の QR コードを読み込ませると加工プログラムがサーバからネットワークを通じて指定した加工機へ自動的に送信されるシステム (当社呼称: S-MAX システム) を導入している。これによりミスの無い安定した加工が可能となった。

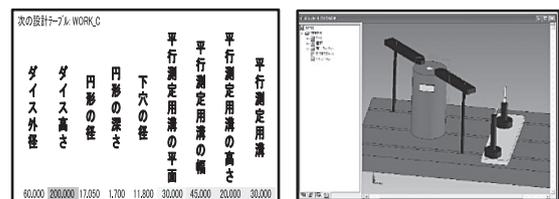
(2)旋削自動化ライン (図 1) 従来、パンチ・ピンなどの軸対称形状の加工は、円筒研削盤にて加工後、ツバや段差部をプロファイル研削盤にて加工していた。旋削自動化ライン+S-MAX システムに加工転換することで工程数を複数工程から 1 工程に削減できた。また、技能を必要とするプロファイル加工が不要となり生産性向上と品質の安定化

が可能となった。

(3)放電加工自動化ライン¹⁾ 超硬金型を放電加工する場合、同寸法の電極で数回の加工が必要な場合や個々の形状別に加工条件を微調整する必要がある。そのため、単純な形状 (丸形状・六角形状など) においても加工条件に対する多くの知識が必要であり、教育にも時間を要していた。

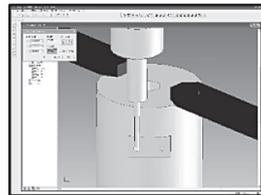
そこで、「加工条件の標準化」を目的に放電 CAM (Computer-Aided Manufacturing)+S-MAX システムを導入した。導入に当たっては、加工条件のみの標準化だけではなく、作業者の能力によって作業時間が変動する段取り作業の自動化も目指した。段取り作業を自動化するためには 3 次元データが必要になるが、作成には時間を要するため、専用ソフト (図 2) を開発した。このソフトによって図 2 の①のようにエクセルに 9 項目を入力すれば、3 次元データの作成が可能となり (図 2 の②)、数ヶ月かかっていた新人教育が、基本操作とチェック項目を 1~2 日教育するだけで熟練者と同等の加工が可能となった。

(4)放電加工自動搬送ロボット¹⁾ 当社の保有の放電加工機のほとんどが AWC (オートワークチェンジャー) 仕様になっ

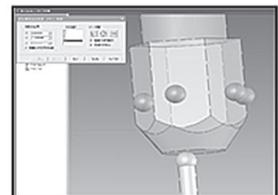


① エクセル入力

② 3DCAD作成



③ 製品基準設定



④ 電極基準設定



⑤ 加工条件設定



⑥ 放電CAM作成

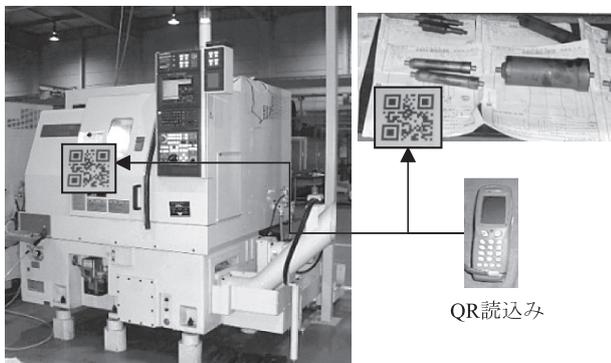


図 1 内外旋削自動化ライン

原稿受付 平成 26 年 5 月 30 日

* (株)ニチダイ宇治田原工場

〒 610-0201 京都府綴喜郡宇治田原町禪定寺塩谷 14

図 2 放電 CAM (Computer-Aided Manufacturing) システム

ているが、現状の稼働率は60%前後である。そこで設備の有効利用を目的として、自動搬送ロボット仕様の放電加工機(図3)を導入した。放電加工搬送ロボットは放電加工機3台・3次元測定機(基準測定用)・搬送用ロボット・製品パレット15枚・電極ホルダー64個で構成されている。これを使用することで、平均稼働率80~90%達成している。

このシステムにより加工後に誤差がある場合には3次元測定機で誤差を検知し、再加工をすることができる。そのため、放電後の磨き代が適正となり品質も安定した。

2.2 マシニング加工

(1)放電加工から直彫りへの加工転換 放電加工では、個々の金型形状・寸法に合わせた電極を複数製作する必要があるが、直彫りに加工転換できれば大量の電極製作と管理が不要となる。特に試作型で有効であり、形状が変更となった場合はプログラム変更のみで加工が可能となる。また、放電硬化層がないため、ラップ仕上げ加工の削減による品質の安定化に有効である。

(2)5軸加工機による加工事例 図4は5軸加工機による加工事例を示している。(a)は現状の放電、ワイヤ、R手加工、ラップ作業などの複数工程での加工を同時4軸により一体加工に転換した事例であり、加工工程の削減と品質の安定が可能となった。(b)は現状の研削から割出し4軸加工に加工転換した事例である。(c)は歯切り加工を割出し4軸

加工に加工転換した事例で、歯面形状を自由に補正することが可能となる。

2.3 超硬合金金型の直彫り加工とその問題点

近年、ダイヤモンド系工具(ダイヤモンドコート工具、PCD(Poly Crystalline Diamond)工具、NPD(Nano-Polycrystalline Diamond)工具)により直彫りで鍛造金型を加工した事例が多く報告されている^{2),3)}。ここでは当社での取組みを紹介する。

当社では、まず直彫りによる問題点の検証を行った。荒加工を放電で行い仕上げ加工において直彫りテストを行った。図5は仕上げ加工で使用した工具を示している。図5(a)は3軸加工機により中仕上げ、最終仕上げともに電着工具を使用した場合であり、先端部に早期に剥離が見受けられる。

図5(b)は中仕上げに電着工具、最終仕上げにPCD工具を使用した場合である。電着工具は先端の早期剥離の原因となった工具中心の周速0を回避するために先端の中心部にスリットを追加したことにより、早期剥離に対して改善がみられ、PCD工具の破損等の問題も発生しなかった。

また、同時4軸加工においても周速0を回避するために工具側面で加工し、先端部における早期剥離を防止できた。図6はこの方法で加工した金型である。

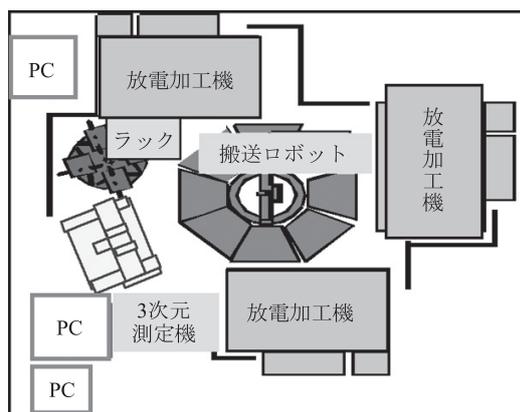
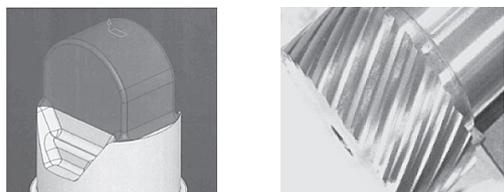
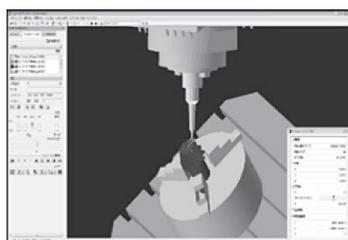


図3 放電加工ロボットシステム



(a) 同時4軸直彫り加工 (b) 割出し4軸ヘリカル電極

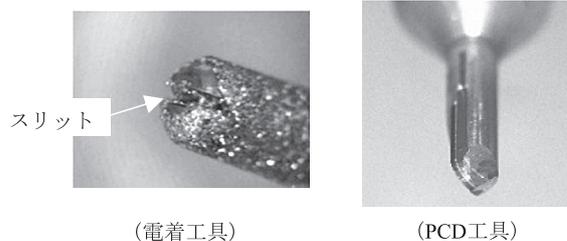


(c) 割出し4軸スパイラルベベル電極

図4 5軸加工機による加工事例



(使用前) (使用後)
(a) 中仕上げ・仕上げ：電着工具



(電着工具) (PCD工具)
(b) 中仕上げ：電着工具(形状変更)，仕上げ：PCD工具

図5 超硬直彫り工具

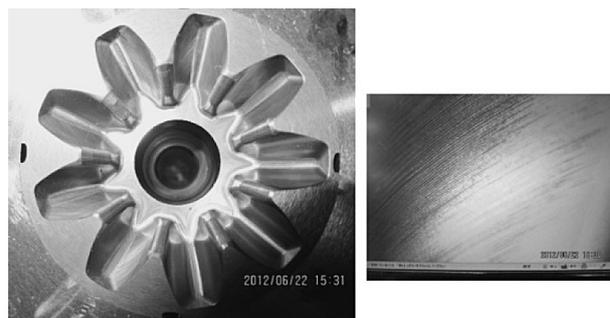


図6 5軸加工機による超硬直彫り事例

3. 鍛造成形技術

3.1 閉塞鍛造スパイダーの精度向上⁴⁾

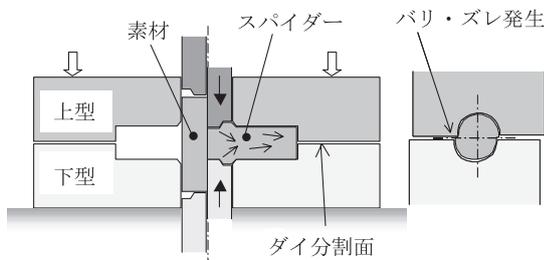
自動車用等速ジョイントの部品であるクロスジョイントなど軸付き部品の鍛造には、上下対称に分割された金型による閉塞鍛造が用いられている。しかし、金型分割面に微少であるがバリの発生が避けられない(図7)。また、成形時に金型軸部のひずみ不均一になり軸の真円度が悪化するため鍛造後に機械加工が必要となっている。

ここでは、鍛造後の機械加工の削減を目的とした事例について紹介する。

(1)縦4分割金型の概要 金型の分割方法を上下対称2分割から縦4分割に変更することで、軸部にバリの発生させず、また、成形時に発生する金型の弾性変形をコントロールすることで真円度を向上させることが可能となる。図8に示す4分割したダイスによって金型を閉塞し、円柱素材に上下パンチで側方へ軸を押し出す。その際、ダイの穴は内圧によってX方向に扁平した形状に弾性変形する(図9)。そこで、4分割したダイの4方向から閉塞力を加え金型分割面に互いに押合う力を発生させ、穴の内面をY方向に扁平した形状に変形させることで真円度を制御できる。



(a) 鍛造品



(b) 金型構造

図7 従来工法

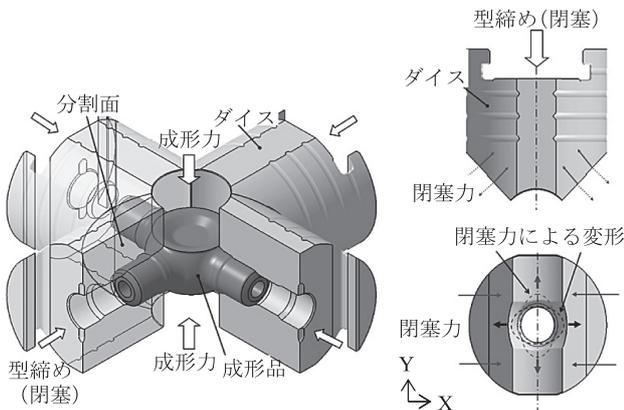


図8 縦割り閉塞の概要

図9 金型の変形状態

(2)閉塞荷重と軸の真円度 図10に押し出された軸の閉塞力による真円度の変化を示す。2750kN付近で真円度±0.01mmと最も良い結果となった(−はY方向に扁平、+はX方向に扁平)。

3.2 中空化工法

長尺中空のシャフト系の部品を加工する場合、中心部の深穴をガンドリル等による切削で加工しているのが現状である。近年は冷間鍛造で中空部品を成形した例が報告されており^{5)~8)}、当社でもこれらの開発を行っている。

図11は当社で行った後方押し出しの試験結果(材質:SCM415)である。穴の細長比(L/D)は17、断面減少率は50%である。最終段階でパンチに座屈が発生し、穴が振れている。穴の細長比が高くなるにつれ、座屈荷重は低くなるため、深穴成形のためには成形荷重の低減が必要である。

荷重を低減させる方法として、篠崎らは押し出された部分に張力を加えてパンチ圧力を低減させる方法を提案している⁹⁾。この方法は素材にフランジを設けて、素材を宙釣り

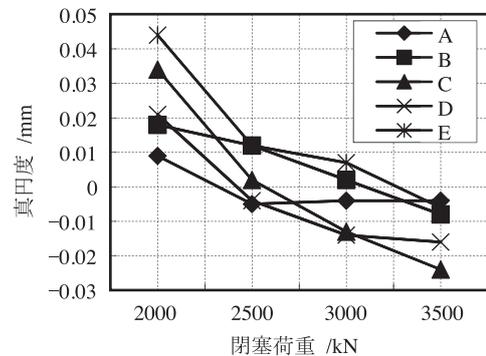
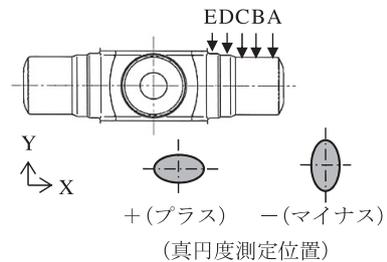


図10 閉塞荷重による真円度の変化

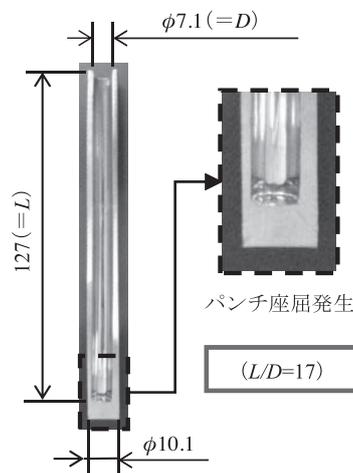


図11 後方押し出し

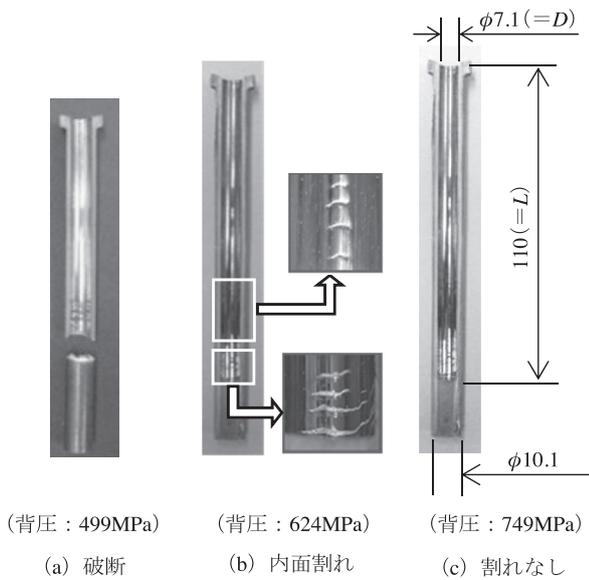


図12 補助張力押し出し

状態として、押し出し部に張力を発生させるものである。しかし、宙釣りのままでは張力が引張強さを超えてしまうため、背圧を負荷させる必要がある。

当社は下端面から上に向かって背圧をかける補助張力押し出しの試験を行った。図12はSCM415を使用し、断面減少率50%で行った試験結果である。(a)は背圧499MPaの結果であり、穴底から完全に破断している。(b)は624MPaで行った結果であり、破断には至っていないが、内面に割れの発生が認められた。(c)は749MPaで行った結果であるが、内面に割れの発生はなかった。

内面に割れの発生しなかった背圧749MPaでは側壁に発生する張力は引張強さ以下となったが、内面に割れが発生した背圧624MPaでは引張強さを超えた。この結果から内面の割れを防止するには側壁の張力が引張強さ以下になるように背圧を設定する必要があることが明らかになった。しかし、背圧が高すぎるとパンチ面圧の増加につながり、パンチの座屈につながってしまうため、設定は非常に重要である。

図13は後方押し出しと補助張力押し出しで成形荷重を比較したものである。図の後方押し出しは図11、補助張力押し出しは図12(c)の成形荷重である。これら成形荷重とオイラーの式で計算した座屈荷重と比較すると、後方押し出しでは穴の細長比約9.7、補助張力押し出しでは約11で座屈荷重に達している。

図14は同軸度を比較したものであるが、両者ともに成形荷重が座屈荷重に達したあたりで同軸度が急激に悪化している。急激に悪化する以前は穴深さに関係なく同軸度は安定した値を示しており、後方押し出しで0.04、補助張力押し出しでは0.01～0.02となり穴の精度が向上している。

これらの結果から断面減少率50%の補助張力押し出しでは穴の細長比約11までは穴深さに関係なく穴の精度は安定すると考えられることから、細長比8の実用アイテムの成形を試みた。図15はその事例であり円柱素材からフランジを成形した後、深穴成形と抜きを1工程で行い、最終工程でスプラインを成形したものである。

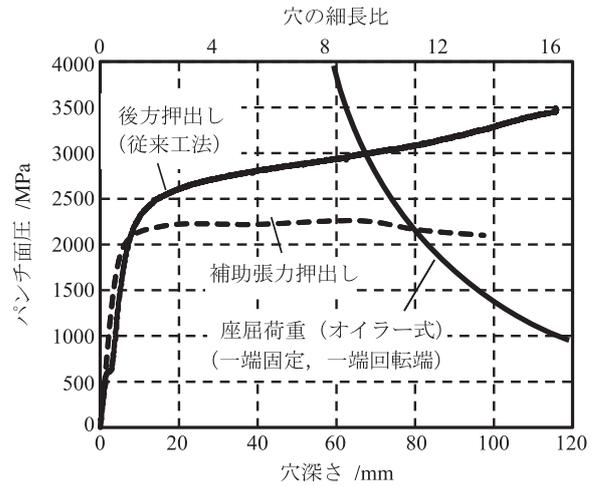


図13 成形荷重

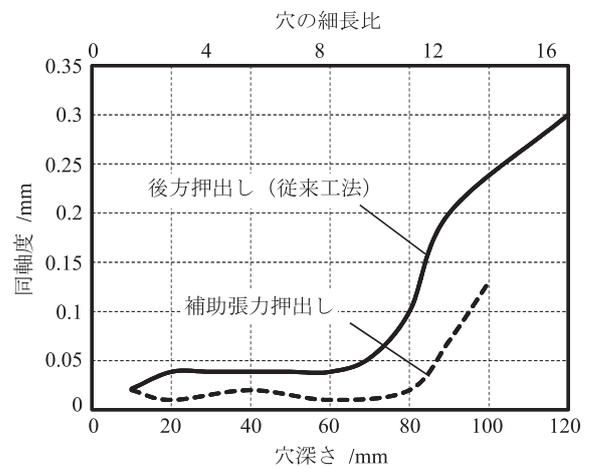


図14 同軸度



図15 実用化部品に適用した事例

4. 海外進出

国内の自動車部品メーカーのアジアを中心とした海外進出が進み、この地域の重要性は高くなっている。今後も量産部品の海外への生産移管が進むことが予想される。

当社においても取引のある顧客が海外進出を加速させており、海外展開は重要であると考えている。

4. 1 ターボチャージャー部品とスクロール

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. を設立し (図 16)、ターボチャージャー部品 (図 17) の海外生産を開始、2012年12月にコンプレッサの部品であるスクロール (図 18) の生産を開始している。

海外進出の際は生産移管が問題になるが、これら部品は国内で既に量産自動化がされており、また、個々のノウハウに頼る部分が少なかったため、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る。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



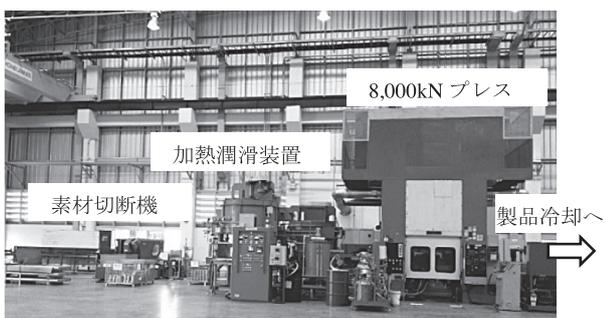
図 16 NICHIDAI (THAILAND) LTD.



図 17 ターボチャージャー部品



図 18 スクロール



(a) 素材切断機, 加熱潤滑装置, 8,000kN 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



図 20 鍛造金型生産ライン

ている。プレス機は宇治田原工場から移設、技術サポートは国内より行っており、国内と同等の高品質とその安定供給を達成している。

4. 2 鍛造金型

ターボチャージャー部品とスクロールの生産でタイに進出していたことから、タイでの金型生産の検討を開始し、2013年9月に NICHIDAI (THAILAND) LTD. で金型の生産を開始した。

鍛造金型は一品一様の完全受注生産であるため、完全な自動化は不可能である。特にラップ仕上げ工程は技能的な面があり、この伝承に時間を要する。

海外進出にあたり国内においてできる限り加工の標準化、自動化を進め、暗黙知の形式知化をはかることにより作業者個人の能力に依存しない金型生産を可能とした。また、生産機能をフルセットで移管するのではなく工程を選択した段階的な移管を行い、2013年9月より早期に生産を開始した。国内で金型生産プロセスを構築し、標準化された技術を移管することにより国内と同等の高品質とその安定供給を達成している。図 20 は NICHIDAI (THAILAND) LTD. の金型生産ラインである。

5. おわりに

鍛造金型技術および成形技術と海外進出の取組みについて紹介した。金型および成形技術については依然として多くの課題を残しており、これまでの経験と新しい技術を融合させながら解決しなければならない。また、近年はグローバル化により海外進出が進んでいるが、国内および海外それぞれの強みを生かして当社発展につなげていきたい。

参考文献

- 1) 伊藤正人：型技術, 27-11 (2012), 54-57.
- 2) 福井雅彦：型技術, 28-6 (2013), 18-23.
- 3) 吉武理人：型技術, 28-6 (2013), 28-31.
- 4) 石原義弘：型技術, 26-5 (2011), 34-37.
- 5) 加古恵造：第 293 回塑性加工シンポジウムテキスト, (2011), 9-13.
- 6) 小沢孝：第 293 回塑性加工シンポジウムテキスト, (2011), 23-30.
- 7) 田崎賢児：第 293 回塑性加工シンポジウムテキスト, (2011), 31-34.
- 8) 土肥雅宏：第 293 回塑性加工シンポジウムテキスト, (2011), 45-50.
- 9) 篠崎吉太郎・工藤英明：塑性と加工, 14-151 (1973), 629-636.