



高生産性を実現したVVTスプロケット成形体加工技術

High-Productivity Green Machining for Variable Valve Timing Sprockets

齋藤 謙一*
Kenichi Saito

木口 博文
Hirofumi Kiguchi

五十嵐 直人
Naoto Igarashi

伊志嶺 朝之
Tomoyuki Ishimine

近年可変バルブタイミング機構（以下VVT）の高性能化により、VVT構成部品を生産する焼結メーカーはより複雑な形状の造形が求められている。その一方で、需要増の要求に答えられる高生産性も求められている。当社はこれらの要求を満たす高い造形性と生産性を併せ持った技術として、粉末を押し固めた成形体を“焼結する前に”機械加工を施す成形体加工技術を適用、量産化した。これにより従来焼結後に機械加工していた箇所を約9倍の速度で加工することができ、大量生産を可能にした。

With the increasing performance of variable valve timing (VVT) systems, there is a growing demand for powder metallurgical parts with more complicated geometries. On the other hand, high productivity is also required in the manufacturing process to respond to the increasing demand for VVT parts. Accordingly, we have applied green machining that achieves both high formability and productivity. This technology allows green compacts to be machined "before sintering," which makes it possible to process parts about nine times faster than conventional post-sintering machining and thus enables volume production.

キーワード：可変バルブタイミング機構、焼結部品、成形体加工

1. 緒 言

可変バルブタイミング機構（以下VVT）^{*1}は、自動車エンジンの吸排気バルブの開閉タイミングを可変させることで、燃費向上や排ガス低減を実現する機構である。VVTは駆動方式に基づき油圧式と電気式の二種類に大別されるが、現在の主流は構成部品点数が少なく安価な油圧式である。そして油圧式VVTの構成部品は、形状が粉末冶金に適した物が多いため、焼結事業の主力分野となっている。

しかし近年はコスト低減のため構成部品点数をさらに減らす傾向があり、そのため部品の多機能化及び形状複雑化が一層進んでいる。その複雑形状の造形には機械加工を要するため、焼結部品の生産タクトやコストの増大が問題となっている。そこで今回我々は、油圧式VVTの構成部品であるスプロケット（写真1）について、高生産性を目的とした成形体加工^{*2}の適用の検討を行い、量産化に成功した。

このスプロケットはチェーンによる駆動をクランクシャフト及びカムシャフトに伝達する部品であり、形状的な特徴として全長中央部付近にチェーン逃げとなる大きい横溝を有している。一般に粉末冶金法では金型による横溝成形ができないことから、従来はこの溝部を埋めて成形し、焼結後に削り出して造形していた。そのため機械加工タクトが長く、生産効率の悪化につながっていた。高生産性実現のためには素材段階での形状をなるべく完成品に近づけ、加工取り代を削減することが求められるが、前述の通り形



写真1 対象製品

状的にプレス成形で肉抜きをすることができない。そこで我々は焼結前、すなわち成形体の時点で溝部に加工を施す成形体加工の適用を検討し、高生産性の実現を目指した。

2. 成形体加工技術開発

一般的な焼結部品の製法を図1に示す。製品形状を造形する成形工程では、鉄を主成分とする原料粉末を金型に投入し、成形プレスを用いて500~700MPa程度で加圧することにより“成形体”を作製する。この“成形体”は、金属粉末を押し固めただけの状態であり、粒子間は互いに金属結

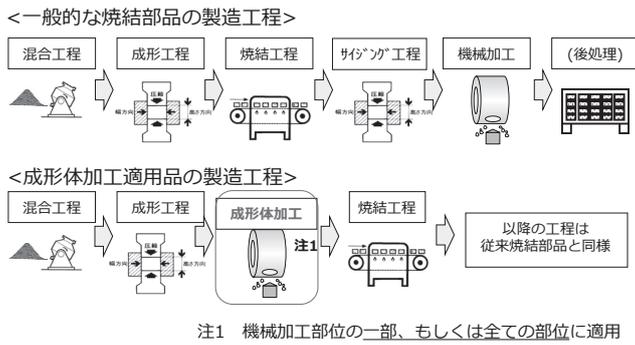


図1 一般的な焼結部品、及び成形体加工適用品の工法

合しておらず、機械的に粒子が絡み合う力のみで形状を保持している。その後、焼結工程において1100~1200℃程度で焼成することにより、粉末粒子は互いに金属結合し、焼結体=焼結部品となる。焼結工程以降では、焼結部品は溶製材等と同様の取扱いが可能となる。

今回適用を検討した成形体加工とは、粉末が金属結合していない“成形体”の状態にて機械加工を行い形状付与する工法であり、一般的な焼結体の機械加工に比べ、より少ないせん断応力で機械加工を行うことができる(図2)。

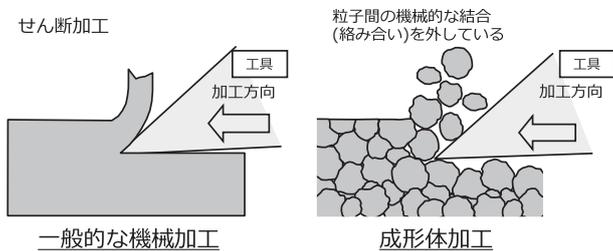


図2 一般的な機械加工と成形体加工の比較

成形体加工の主な特徴としては、①生産性が高い、②工具寿命が長い、③加工設備がコンパクト、④金属粒子が塑性変形しないため加工バリが発生しないこと等が挙げられる。特に、加工バリが発生しないという特徴を活かし、バリ処理が困難な交差穴等へ成形体加工を適用する事例が見られる。

その一方、加工する対象が脆い成形体であるため、加工時に製品欠けが容易に発生してしまうことが、成形体加工を行う上で最も大きな課題となる。

この成形体欠け対策として有効な手段としては、①成形体の強度向上、②成形体加工条件の適正化の2つがある。このうち①は原料変更を要するため、素材原価高騰などコスト

面での背反が多い。そこで我々は材質は変えず、②加工条件の適正化により成形体加工を適用することを目指した。

2-1 成形体加工工具

成形体加工条件の検討にあたり、まず工具選定を行った。工具選定のポイントとしては、加工時に製品の欠けをできるだけ発生させないことは勿論だが、大量生産の実現のため、短いタクトで加工できることも重要である。一般に溝を加工する際の工具としては、旋削チップやエンドミルが用いられる。だが検討の結果、今回のスプロケット成形体加工に使用する工具としては、これらとは別の特殊工具を選定した。この工具は旋削チップよりも高速にて加工が可能、かつエンドミルよりも広範囲の加工が可能という利点がある。よって今回の溝部の加工について、より短いタクトでの実現が見込める。以上によりこの特殊工具をスプロケット成形体加工用の加工工具として採用した。

ただし実際の製品へ適用するにあたっては、工具によってはもう一つの課題である製品欠けを十分に抑えきることができない。そこで工具の材質/寸法/形状といった各種パラメータを適正化することで、加工時のせん断応力の発生を抑え、欠け低減につなげることが出来る条件を探った。その結果本品の成形体加工に最適な工具を見出した。

成形体加工のツールレイアウトを図3に示す。この加工により、重量ベースで成形体の約15%を削り出している。従来のやり方である焼結後に機械加工する方法と比較し、加工タクトを1/9と大幅に短縮させることに成功した。

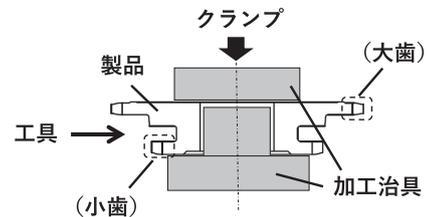


図3 成形体加工ツールレイアウト

2-2 成形体加工治具

工具の適正化によりせん断応力を抑えることで、製品欠け低減を実現したが、実際の加工では歯部と工具が当たる時の角度により、過大な応力発生が避けられない箇所ができる。そのため欠けの問題は依然残っていた。特に小歯部において、加工工具が抜ける側の部分で大きい欠けが発生していた。そこでさらなる欠け低減のため、工具が動く方向とは逆方向の力を外部から製品に与え、加工時に製品に発生するせん断応力を相殺するという根本的な対策を検討した。

大きい欠けが発生している小歯部に対策を施すべく、加工

時のワークチャックとは別に、小歯部をチャックできる治具を設計した。この治具は製品を保持する当て金、及びその当て金が固定される台座からなる専用加工治具である。当て金は製品を内側に保持できる筒形状をしており、内側に配置した突起によって製品歯部を当て止めする。これにより加工時のせん断応力を受け止め、製品欠け低減が図れる構造である。当て止めをする位置は、特に欠けが多い加工工具抜け側部で行うことで大きな効果が得られる。さらにその当て金に別の治具をかませ、コレットチャックの要領で引き込むことで、小歯全体に当て金の突起が当たり、当て止めされて欠け防止が図れる構造となっている。

この歯全体を当て金で抑える方式の場合、製品と当て金の間クリアランスがないため、搬送面においてロボットによる自動着脱ができないという問題があった。そのため製品を抑える範囲を加工で欠けが発生する部位に限定し、必要がない部分はクリアランスを持たせた当て金を設計した。これにより当て金によるせん断応力相殺の効果は残しつつも自動搬送を可能にし、大量生産を実現した。この治具を使用して加工することにより、欠け発生面積を対策前と比較して約半分に減少させることができた(写真2、図4)。

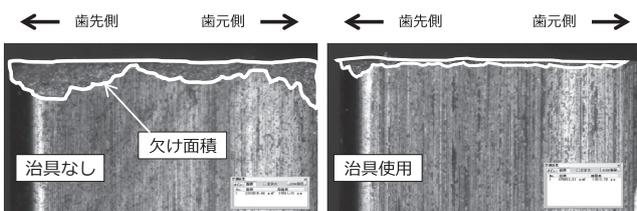


写真2 製品欠け写真 (工具抜け側歯面)

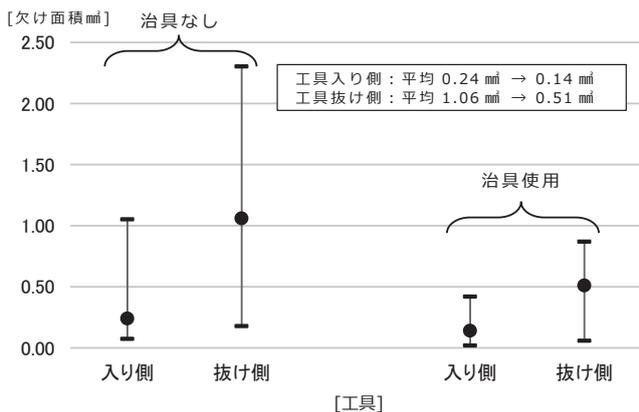


図4 成形体加工時の製品欠け面積

2-3 成形体加工パラメータ

成形体加工パラメータについては、図5に示すプロセスウィンドウ評価により良品条件を確立した。横軸に工具回転速度を、縦軸に送り速度を取り、各条件での欠け発生有無を確認することで良品条件の範囲を見極めた。実際の量産では、この良品条件範囲をさらに圧縮した範囲内で条件管理をすることで、十分な安全率を確保している。

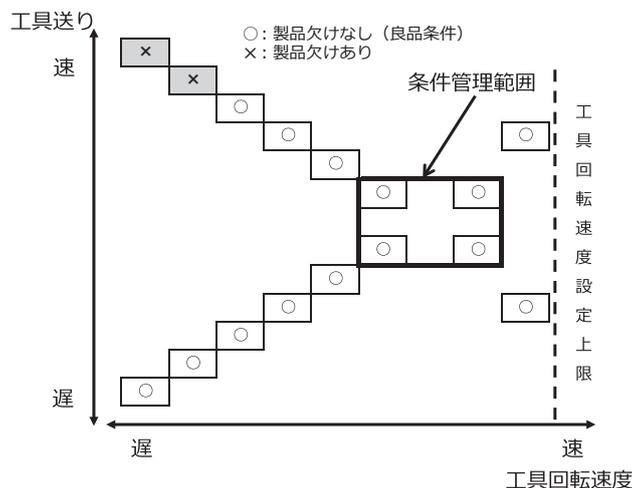


図5 成形体加工パラメータ プロセスウィンドウ

2-4 成形体加工切り粉の再利用

成形体加工により発生した切り粉は、焼結による粒子結合が進んでいないため、再度原料粉末として再利用することが可能である。切り粉を無駄にせず再利用できる成形体加工は、省資源にも貢献できるクリーンな技術と言える。

3. 結 言

油圧式VVTの拡販によりさらなる大量需要が見込まれるスプロケットについて、生産性に優れた成形体加工による量産を開始し、安定供給を実現した。我々としては本開発にて培ったノウハウにより、今後成形体加工技術の一層の普及に貢献できるものと確信している。

用語集

※1 可変バルブタイミング機構

4サイクルレシプロエンジンにおいて、従来は一定であった吸排気バルブの開閉タイミング（バルブタイミング）を可変とした機構。

※2 成形体加工

粉末冶金法において、固相焼結する前の、粉体を押し固めた“成形体”の状態にて行う機械加工。

参考文献

- (1) 日本粉末冶金工業会・工業会賞（令和元年度）
 - (2) 五十嵐直人 他、「成形体加工を用いた高生産性・高品質を両立する可変バルブタイミング部品生産ライン」、SEIテクニカルレビュー第191号、pp.47-52（2017年7月）
-

執筆者

齋藤 謙一*：住友電工焼結合金㈱ 主任技師



木口 博文：住友電工焼結合金㈱ 参与



五十嵐直人：住友電工焼結合金㈱ グループ長



伊志嶺朝之：アドマンストマテリアル研究所
グループ長



*主執筆者