

歯底レスパークギヤー一体鍛造プーリの成形技術

小野 良介*

大嶋 駿介*

吉水 泰彦*

権 寧照**

抄 録

従来より、無段変速機の固定側プーリでは、部品重量削減のためパークギヤー一体鍛造プーリの採用を行ってきたが、さらなる重量削減のためパークギヤーの歯底レス化に取り組んだ。

本稿では鍛造シミュレーションを活用し、変形抵抗をコントロールすることで歯底レスパークギヤー一体鍛造プーリを実用化した技術内容について報告する。

1. はじめに

近年、無段変速機(以下 CVT)では環境面の視点から燃費性能向上のため更なる部品重量の削減が求められている。特にプーリはCVTにおいて重い部品であるため、重量削減が解決すべき重要な課題である。

従来製品ではパークギヤーは固定側プーリと一体形状とすることで重量削減を行っているが、今回はさらなる重量削減を目的とした歯底レスパークギヤー一体鍛造プーリを実用化したので、その内容について報告する。

2. パークギヤーの要求性能及び鍛造工法

2.1 パークギヤーの機能と構造

パークギヤー一体プーリの形状をFig. 1に示す。



Fig. 1 Integrated parking gear and fixed pulley half

パークギヤーの機能は、シフトレバーをPレンジにすることでパーキングボールの先端がパークギヤーにかみ合い、駐車時のロックがかかる仕組みとなっている(Fig. 2)。

Fig. 3はパークギヤーとのパーキングボールのかみ合いの図を示している。ロック時においてパークギヤーの歯底部とパーキングボールは接触していないため、廃止することで重量削減に寄与することができる。

2.2 密閉鍛造のメカニズム

鍛造の工法はバリ出し鍛造と密閉鍛造との2種類がある(Fig. 4)。

バリ出し鍛造は余肉部分であるバリを出しながら成形する工法であり、成形性が良好であるため欠肉が起りにくく、荷重が低く金型寿命が長い反面、バリの分歩留まりが悪化するため投入重量が増えるというデメリットがある。

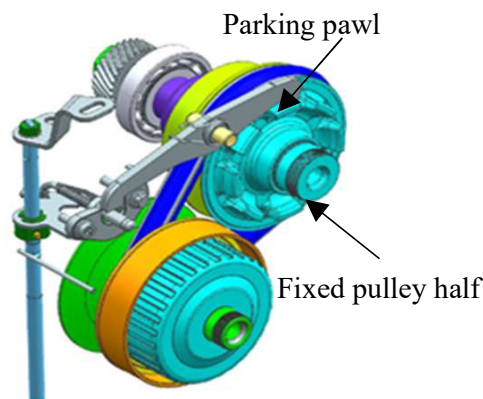


Fig. 2 Pulley assembly

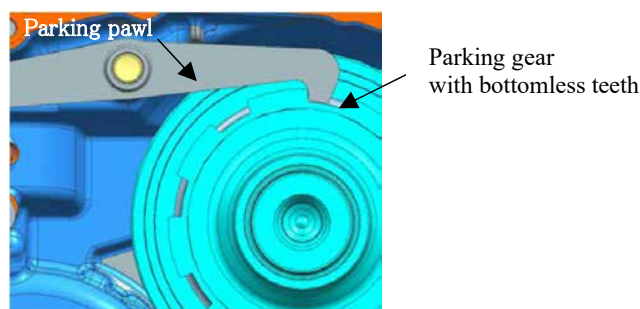


Fig. 3 Parking gear and pawl engagement

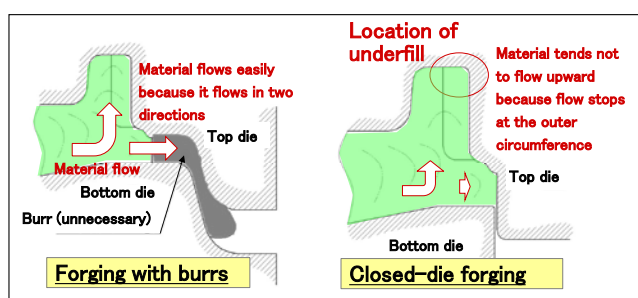


Fig. 4 Forging with burrs and closed-die forging

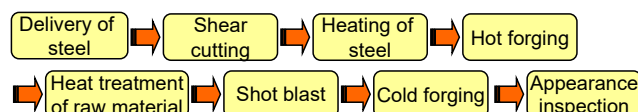


Fig. 5 Pulley production processes

一方、密閉鍛造では上型と下型を噛み合わせ成形を行うためバリが発生せず、歩留まりが向上するメリットがある。その反面、密閉状態で成形するため荷重が上がりやすく、金型の割れや摩耗のリスクが上がることや成形性が低下することで品質不良である欠肉が発生しやすいというデメリットがある。一般的に密閉鍛造の方がより難易度が高い工法である。

2.3 パークギヤー体プーリの工法

パークギヤー体プーリの生産工程をFig. 5に示す。

本製品は前項にて述べた密閉鍛造を採用し、熱間鍛造と冷間鍛造の組み合わせにより成形を行っている。

本製品は熱間鍛造3工程、冷間鍛造1工程の計4工程にて成形している(Fig. 6)。熱間鍛造では断面減少率の高い軸部と難形状のパークギヤーの成形を行い、冷間鍛造工程にてパークギヤーのしごきを行い、高精度に歯形を成形している。

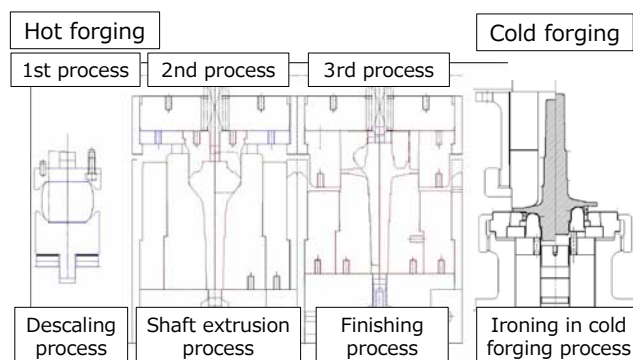


Fig. 6 Role and geometry of each process in hot and cold forging

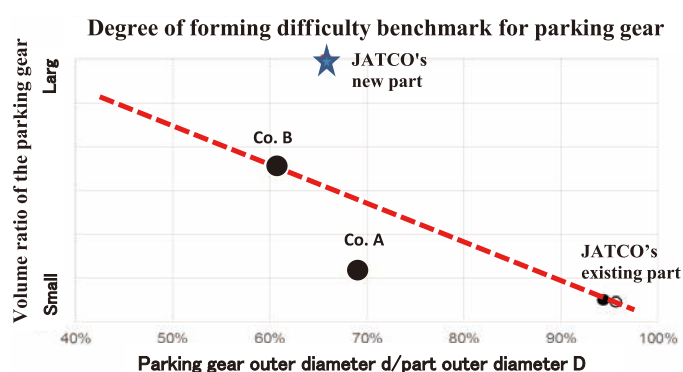


Fig. 7 Degree of forming difficulty of integrated parking gear and fixed pulley half

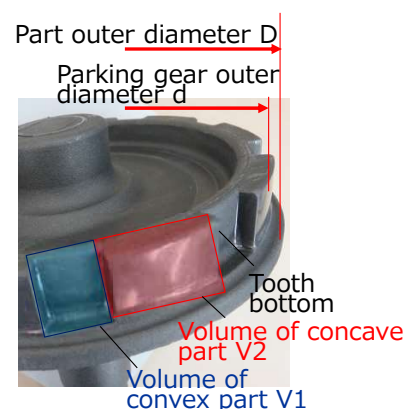


Fig. 8 Parking gear geometry

2.4 パークギヤー体プーリの成形難易度

Fig. 7はパークギヤー体プーリの成形難易度を示す。

横軸は部品外径とパークギヤーの外径比(d/D)を示し、縦軸はパークギヤー体積比($V1/(V1+V2)$)を示している(Fig. 8)。 d/D が大きいほど、パークギヤーは外側に位置することを示し、外側にボリュームを配分する必要となり、パークギヤー

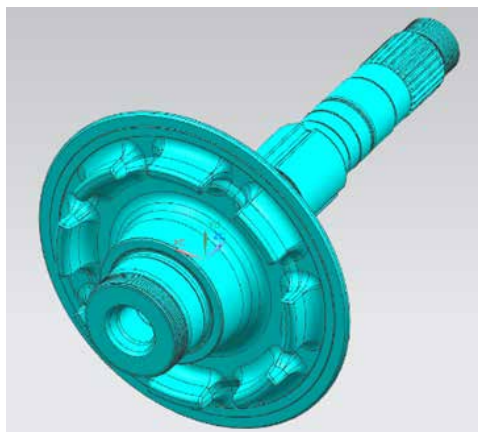


Fig. 9 Integrated parking gear with bottomless teeth and fixed pulley half

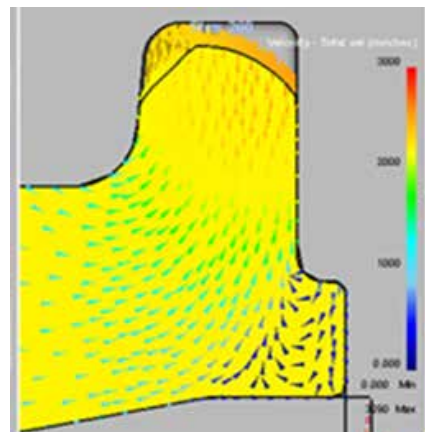


Fig. 10 Results of defect analysis by simulation

の成形は難しくなる。また、V1が大きいほどパークギヤ部の凸凹の差が大きいことを意味しており、より成形は難しくなる。今回採用した歯底レスパークギヤー体プーリ(Fig. 9)は、業界においてもトップベンチマークレベルの部品形状であるため、成形難易度が高く、焼き付き、欠肉や金型寿命低下等の不具合が想定される。

本稿ではこの難形状の歯底レスパークギヤー体プーリの密閉鍛造方案について報告する。

3. 鍛造の工程設計

3.1 鍛造のシミュレーション

鍛造部品の成形解析では成形時の材料のフローと成形タイミングを予測するために有限要素法(Finite Element Method)を利用している。本解析では金型を剛体、材料を弾性体とし、パラメータとして摩擦係数、材料温度、金型温度及びプレスによる圧縮方向の力と速度を設定することで鍛造シミュレーションを行っている。

鍛造部品の各工程の金型形状を決める判断基準は主に成形荷重、成形フロー、金型応力があり、シミュレーションの成形荷重が低いほど優れた形状である。

固定側プーリでは短軸、長軸、パークギヤ、部品外径の順に充填していくのが理想的な肉流れであるため、シミュレーションを行い最適な金型形状を決定する。不適切な金型形状では前述の成形タイミングが異なることで、パークギヤの欠肉や成形フローの逆流が発生する場合がある。逆流が発生すると製品に傷や凹みが発生し、品質不良となるため金型形状は鍛造において非常に重要なポイントである。ま

た応力が高いと金型の破損につながるため、応力は閾値以下になるように形状を決定する必要がある。

3.2 パークギヤ歯底レス化の課題

パークギヤの歯底レス化に伴い、はじめに鍛造成形シミュレーションを行った。歯底レス化によりパークギヤのボリウムが減少することで外径の充填タイミングが早まるため、従来の金型形状では前項で述べた欠肉不良の悪化とシーブ背面のへこみが発生することが事前のシミュレーションで判明した。

鍛造3工程目のパークギヤ部の成形シミュレーションの結果がFig. 10であるが、上部に充填してなく、欠肉が発生しやすいことが予想される。

なお矢印は成形の流れの向きを示しており、通常の鍛造の成形の向きは、内側から外側に向かうのが一般的である。しかしFig. 10ではパークギヤの背面側に矢印の向きが逆の部分があることが分かった。これは成形時に肉が逆流していることを示し、肉の逆流が発生すると、傷やへこみになることが知られているため、対策を行う必要がある。

欠肉不良と背面のへこみの対策のため、鍛造の2工程目の金型形状を変更し、再度成形解析を行った。その結果、欠肉及び背面の凹みは発生しないことを確認することができた。

対策前後のシミュレーション結果の比較をFig. 11に示す。左から時系列順になっており、黄色い部位は充填していない部位を示している。対策前のFig. 11(a)ではパークギヤ部の角部が充填していないが、対策後のFig. 11(b)では角部まで充填していることが分かる。

4. 鍛造シミュレーションの改良

4.1 実験結果と鍛造シミュレーションの改良

3.2のシミュレーションに基づき変更した金型にて試作を実施したところ、パークギヤ部の欠肉不良が発生し(Fig. 12), 実機とシミュレーションの成形性に有意差があることが分かった。

シミュレーションと実機による結果が異なった理由として、歯底レス化に伴いパークギヤ部の形状が薄くなり熱エネルギーが低下し、さらにパークギヤ表面積が増加したため冷却されやすくなり材料温度が低下する。この材料温度の低下により、ワークの変形抵抗が上がり、シミュレーションの予測より肉流れ不良が発生したと考えられる。

そこでシミュレーションで用いる金型とワーク間の摩擦係数を見直し、再度解析を実施した。その結果、現物とシミュレーションが一致し、本歯底レスパーキヤー体プーリでも鍛造シミュレーションによる鍛造不良の予測が可能となった。

4.2 凸形状追加金型による肉流れの改善

3.1で前述した通り、固定側プーリでは短軸、長軸、パークギヤ、部品外径の順に充填していくのが理想的な肉流れである。一方、4.1にて実施した試作ではパークギヤ部が冷却されやすくなったことによる変形抵抗の上昇により、パークギヤより先に部品外径が充填した結果、欠肉不良が発生したと考えられる。

そのため、部品外径方向の変形抵抗を高めることで、部品外径の充填タイミングを遅らせ、パークギヤ部への肉流れ性を向上させる方案を検討した。

部品外径の成形タイミングを遅らせることを目的として、Fig. 13に示すように金型に凸形状を設ける金型形状を考案した。本対策形状にて再度シミュレーションを実施した結果をFig. 14に示すが、欠肉不良につながる鍛造フローの不良は見られず、良好な結果となった。

4.3 改良した鍛造シミュレーションの検証結果

1回目の試作では欠肉が発生していたが、2回目の試作では前回と同等の成形荷重において欠肉発生率0%を達成することができ、その他の欠肉や傷等の品質不具合の発生も見られなかった(Fig. 15)。

また量産後の不良率においても0.2%以下と低い値を継続して維持できており、良好な結果を確認できた。

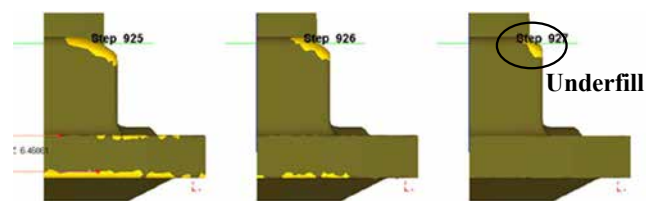


Fig. 11(a) Simulation results before corrective measure

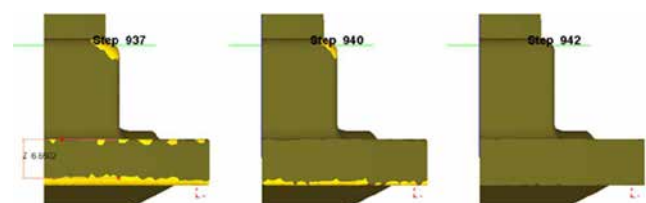


Fig. 11(b) Simulation results after corrective measure



Fig. 12 Parking gear underfill defect

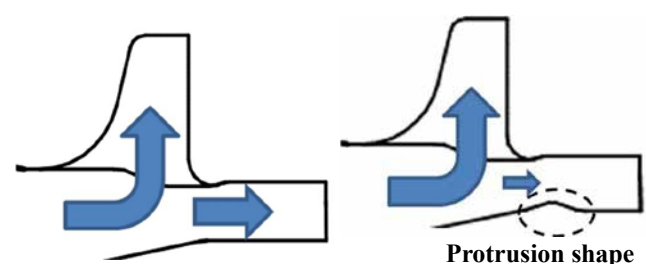


Fig. 13 Material flow with addition of small protrusion to modify finishing die geometry

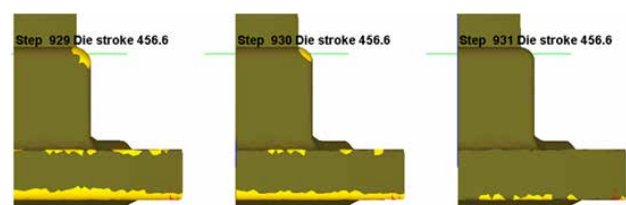


Fig. 14 Simulation results following addition of protrusion to finishing die



Fig. 15 Parking gear after addition of small protrusion

5. まとめ

密閉鍛造にて業界トップレベルの成形難易度となる歯底レスパークギヤー一体鍛造プーリの成形技術について以下の知見を得た。

- (1) 歯底レスパークギヤー一体鍛造プーリの解析ではパークギヤー部が冷えやすいため、金型との摩擦係数を大きくする必要があることが分かった。
- (2) 金型に凸形状をつけることで外周方向の変形抵抗を高め、パークギヤー部への肉流れを向上させることができた。

6. 参考文献

大嶋 駿介, 権 寧照: 鍛造金型, 特開2019-76943, 2019.

5.23

■ 著者 ■



小野 良介



大嶋 駿介



吉水 泰彦



権 寧照