

論文の内容の要旨

論文題目 自動車部品への塑性加工ネットシェープ技術の適用に関する研究

氏名 小島久義

著者は、勤務している日産自動車(株)において、物作りの基本を集大成したのものとして、日産生産方式をまとめ上げてきた。塑性加工ネットシェープ技術はこの日産生産方式の本質的なアプローチと認識し、開発を進めてきた。又一方時代の要請である省資源、省エネルギーに対応するためにもネットシェープ技術が注目されている。

まず鍛造ネットシェープ成形技術の発展には、工法そのものの開発の貢献度はもちろん大きいですが、加工材料、潤滑方法、潤滑剤、金型材料、熱処理技術、プレス機械など周辺技術の発展の寄与度も無視できない。著者はそれらの周辺技術の組合せによって適用技術を育み、実際のライン適用を行ってきた。具体的な事例としては、(1)等速ジョイント部品のネットシェープ化、(2)スプラインシャフトの鍛造成形技術の開発、(3)歯形鍛造デファレンシャルギヤの開発等が挙げられる。これらの研究開発から、鍛造用シミュレーションを主体としたCAEの開発が必要であること、専用CADの開発、活用が必要であることなどの課題が抽出された。

また焼結については、多段金型におけるハブシンクロのネットシェープ成形についての開発例について述べると共に、続いて本研究において焼結のネットシェープ化技術開発の発端となったアンダーカット形状部品の発展について記述した。

まず鍛造ネットシェープ成形技術の開発を進めるに当たり、分流法によるヘリカルギヤ(自動車用トランスミッションメインギヤ)のネットシェープ成形を取り上げた。ここでは有限要素法による変形解析において、金型方案を最適にするための手法について提案した。最初にシミュレーションによる解析誤差と計算時間を極小にする計算パラメーター水準を実験計画法にて選定した、その後本部品の鍛造方案において、設計変数となる2変数につき25の組み合わせについて、シミュレーションを行い最適の組み合わせを求めた。このシミュレーションにおい

では、格子探索法と応答曲面法を組み合わせることにより、最適化への大幅な効率改善が可能なることを提案した。図1に本製品の鍛造工程図と、設計変数となる2変数を示す。

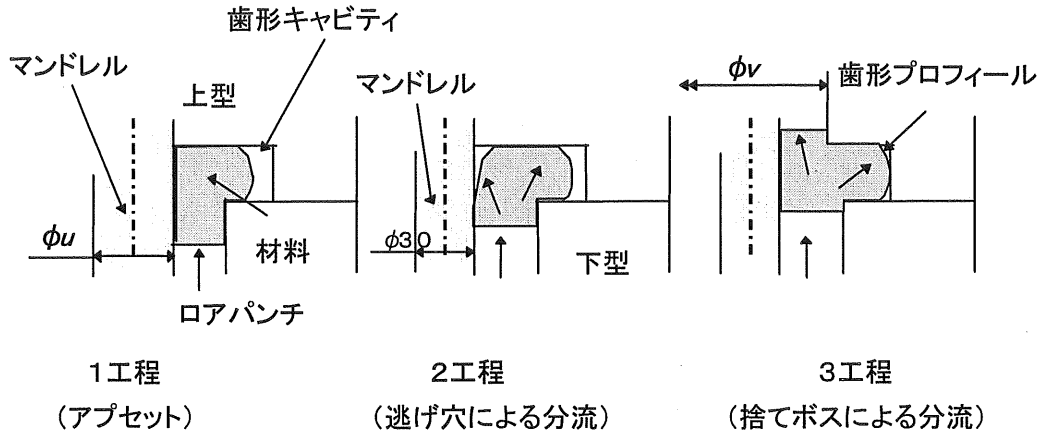


図 1. メインギヤの鍛造工程図

つぎにCADとCAEを結合した軸対称の鍛造部品を対象とした、最適工程設計システムの開発を行った。まず著者らは現場のデータを基に、シミュレーションで得られるパラメーターから摩耗量を計算するアルゴリズムを開発した。

$$W(t) = k \cdot \int_0^t p(t) \cdot V(t) \cdot (t_c + d)^2 dt + C$$

ここで $W(t)$ は時刻 t までの摩耗量、 k は摩耗比例係数、 p は圧力、 V は接触部分の金型面滑り方向の速度成分をしめす。

この解析が可能になったことにより、仕上形状とこれに呼応する摩耗最小化のための粗地形状の関係が数式化でき、仕上形状を入力すると、自動で最適の粗地形状やその他の工程設計条件を決定する CAD システムを開発することができた。さらに得られた条件により、仕上鍛造のシミュレーションを自動で行い、オペレータに鍛造欠陥の有無をCAD画面上で確認させることにより、最適設計を自動で行う CAD/CAE 統合型システム”YOURS-PRO”を開発した。

焼結によるネットシェープ成形技術の開発は、焼結接合とアンダーカット成形について行った。まず自動車用エンジン部品のアイドルスプロケットを対象とした焼結接合の研究においては、以下の研究成果が得られた。

①特別な添加材を用いず従来から鉄系の粉末冶金で用いられている Fe-Cu-C 系の材料をベースに内側材、外側材の Cu, C の濃度をコントロールすることにより十分な焼結接合強度が得られること。②部品設計上からは、回り止めのキー形状等の新設計が有効なこと。③捻じり疲労試験により十分な機械的強さを保証できること。④超音波探傷がこのような固相拡散接合の評価にも有効なこと。⑤実生産では 成形体の強さを増し、黒鉛中の灰分により熱膨張をコントロールする粉末の利用が有効なことなどである。図2. に本開発の対象となった、焼結接合スプロケットの基本形状を示す。

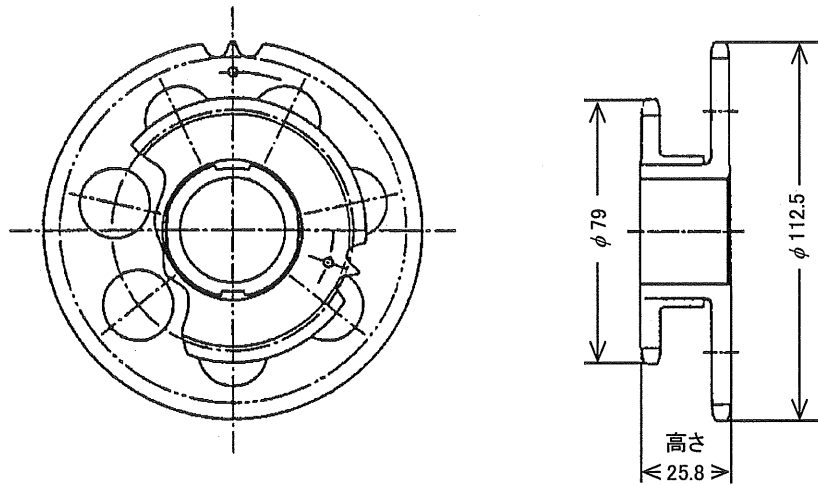


図2. 焼結接合スプロケットの基本形状

次にCNC(Computerized Numerical Control)プレスの特徴を生かし、アンダーカット形状を有する自動車用焼結部品のネットシェープ成形(アンダーカット成形)の開発を行い以下の成果が得られた。

①アンダーカット成形を成立させるためにクローズドループ構造を持った CNC 粉末成形プレスが有効であること. ②アンダーカット成形の基礎として『コ』字型テストピース製造においてプレスの成形方向と直角に作動するカムダイスが有効であること. ③アンダーカット成形の基礎として『コ』字型テストピース製造において割れの無い成形体を得るためにカムダイスの上下で通常のダイスも分割することが有効であること. ④実際の全周にアンダーカット部を持った自動車エンジン用クランクスプロケットにおいて金型機構としてはカムダイスおよびカムダイスを境とした通常のダイスの分割が有効なこと. ⑤アンダーカットスプロケットの実生産では 成形割れ防止のためにパンチ, カムダイスを含めた圧力のコントロール, オーバーフィル等の粉末充填, 成形時の粉末のトランスファーが重要なこと, 金型の破損防止が重要なこと等である. 図3. に本研究開発により得られた, 自動車用エンジンのクランクスプロケット外観形状, およびその断面形状を示す.

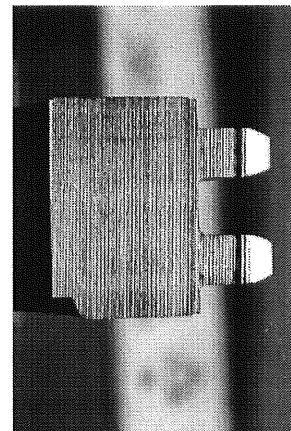
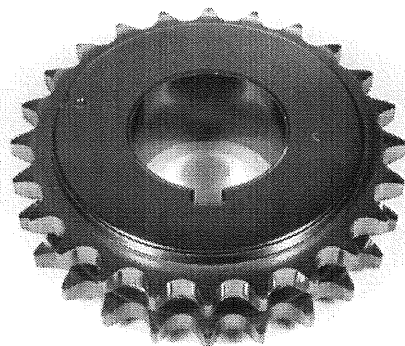


図3. アンダーカット成形スプロケットの外観, および断面

最後にこれらの塑性加工ネットシェープ成形技術の実適用例について示した。まず鍛造ネットシェープ成形においては、本研究で得られたような、CAEを用いた新しいアプローチにより、ネットシェープ化が促進され塑性加工工程と機械加工工程の同期化を実現できるようになった。その結果日産生産方式のねらいである同期生産のレベル向上が一層加速されることとなった。具体的な事例として、オートマチックトランスミッションの部品である、プラネタリーピニオンの生産プロセス例を示す。すなわちネットシェープ成形を採用することにより、小型鍛造プレスで機械加工ライントップに設置することが可能となり、リードタイムの短縮などの同期生産レベルの向上ができた。

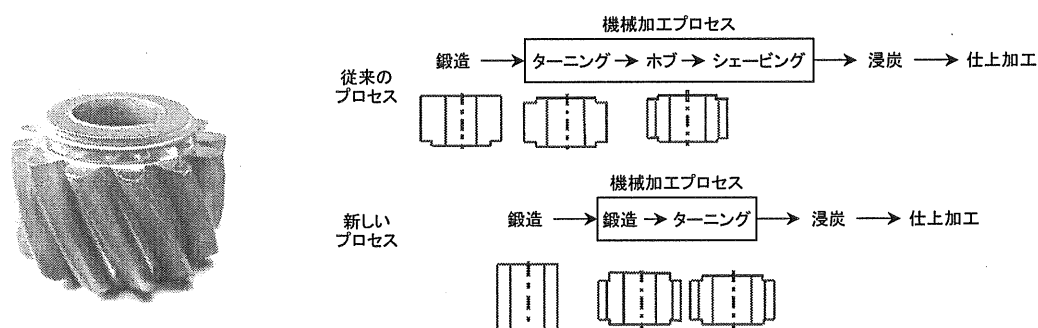


図4. プラネタリーピニオンの新旧工程比較

また、本論文で述べた焼結接合によるエンジンプロケットは、当社の主力エンジンに採用され、現在では月間6万個以上の生産を行っている。又アンダーカット成形によるプロケット部品も実生産されているが、CNCプレスが一般化されていないこともあり、拡大採用が遅れている。更なる拡大には簡易CNCプレスの導入など必要であろう。又近年温間粉末成形による成形体の強度向上による、成形体後加工も開発されつつあり、アンダーカット成形技術の重要な要素になると思われる。

以上のように自動車製部品製造に利用される塑性加工技術の中で、著者が日産自動車(株)に入社以来行ってきた鍛造、粉末冶金のネットシェープ技術につきその一端を整理した。そして最近の鍛造ネットシェープ成形のためのシミュレーションの研究、又アンダーカット形状の焼結部品を生産するための焼結接合、或いはアンダーカット成形技術の研究につき述べた。今後ともネットシェープ成形技術は、自動車産業のみならず、日本の産業発展に欠くべからざる技術であることを実証した。

以上