

5 シリンダ油圧複動プレスによる自動車用ヘリカルギヤの成形

Precision Cold Die Forging of Helical Gear for Actual Automobile by Multi-action Press

小倉真義/Masayoshi Ogura・小倉製鉄所 条鋼技術部 専任部長

訓谷法仁/Norihito Kuntani・小倉製鉄所 条鋼技術部 開発室 参事補

要 約

「材料から最終の鍛造製品まで」をオールスルーで、ユーザーとともに検討開発することを目的として、当社は小倉製鉄所に、5シリンダ油圧複動プレス「鍛造シミュレータ」を導入した。このプレスを用いて、自動車のミッション用ヘリカルギヤの成形実験を行った結果、分流法の「捨て軸の原理」を採用することにより、材料の変形抵抗の3.3倍という低い面圧で、歯先まで十分に材料の充満した精度の良い歯車を作ることができた。

以下に、導入した設備の概要と実験の結果について紹介する。

Synopsis

This report deals with a new near-net shape forging process for automobile transmission helical gear by using a multi-action hydraulic press which has been recently set up in Kokura Steel Works.

An actual automobile helical gear with completely filled tooth-tops was formed successfully by adopting divided flow method.

The accuracy for the gear was in JIS 2 or 3 grade and the forming pressure was as low as 3.3 times the material's flow stress.

1. 5シリンダ油圧制御・鍛造シミュレータ

1-1 導入のねらい

バブル崩壊以降の厳しい経済情勢の中で、自動車メーカーを初めとした鍛造関連メーカーは、生き残りをかけて、「地球環境対応」と「低コスト化」のための熾烈な技術開発競争を展開している。「地球環境対応」では、自動車用鍛造部品の高強度化による小型化や軽量化に知恵を絞り、大幅な「低コスト化」を進めるためには、工法の大胆な変更により、これまでできなかった複雑形状部品の2部品の1部品化、あるいはネットシェイプ化、他による工程の省略を進めている。

このようにして、鍛造品の低コスト化、小型・軽量化、高機能化に対する要求がますます厳しくなり、それに応じて、鋼材に対するユーザー側からの要求も、ますます高まり、また、多岐にわたってきている。例えば、冷間鍛造製品用の材料選定に当たっては、成形工程では、変形抵抗と変形能が、切削工程では、工具寿命や切粉の処理性が、熱処理工程では、焼入れ特性や焼入れ歪み特性が、最終製品

については強度特性が、そして全工程にわたっての環境への優しさがそれぞれ要求され、様々な検討がされている。

これらのニーズに鋼材メーカーとして対応して行くためには、「材料から最終製品まで」をオールスルーでユーザーとともに検討し、鋼材の持つ品質、機能、特性を最大限に引き出して行く材料と製品製造工法を選定してゆく必要がある。ここに弊社が写真1に示す鍛造シミュレータを導入したねらいがあり、各ユーザーの最先端の成形条件まで再現でき、実部品の成形が可能なプレスの導入を図ることとなったものである。

1-2 設備の特徴

導入した設備の基本仕様とシステムの構成を第1表および第1図に示す。また、この設備の特徴は下記のとおりである。

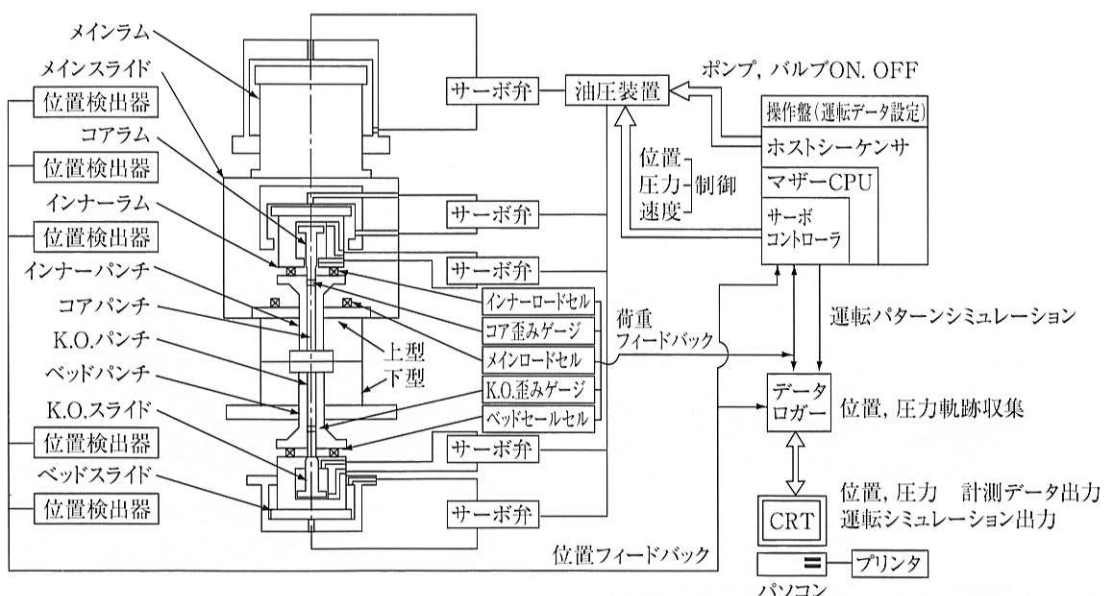
(1) 上に3シリンダ、下に2シリンダを備えた油圧式複動プレスであり、それぞれのシリンダに取り付けられた工具は、あらかじめ設定した線図に基づいて、コンピュータにより任意に制御することができる。したがって、複雑形状部品の閉塞鍛造や各種複合成形が可能となっている。



写真1 5シリンダ・鍛造シミュレータ
Photo 1 5 cylinder multi-action press

油圧式複動プレスとしては、上2,下1シリンダが通常であるが、上下に各1シリンダを増やしたのは、分流鍛造法や複合鍛造を考慮したものである。

(2) 各シリンダの制御は、位置制御を基本としているが、メイン、インナ、ベッドシリンダは、荷重制御への切り替えも可能となっており、したがって、背圧を利用した成形法もできるようになっている。また、工具荷重、位置、速度をリアルタイムで監視できるので、新工法の開発に最適なものとなっている。



第1図 鍛造シミュレータのシステム構成
Fig. 1 System of multi-action press

第1表 鍛造シミュレータの基本仕様
Table 1 Specification of multi-action press

項目	閉塞鍛造	通常鍛造
動作ラム	上側：メイン、 インナ、コア 下側：ベッド、KO	上側：メイン 下側：KO
加圧能力	メイン：max500ton インナ・ベッド：max200ton コア・KO：max15ton	
ストローク	メイン：400mm(加圧200mm) インナ・ベッド：200mm(加圧200mm) コア・KO：150mm(加圧150mm)	
加圧速度 データ採取	max250mm/sec～min10mm/sec 全軸荷重・変位同時測定可能	

(3) 加工速度は、通常の油圧プレスの10mm/sec から、最大でメカニカルプレス並の250mm/sec までの広い範囲で可変であり、開発した工法をメカプレスへ置き換えるときの加工速度の影響も把握できるようになっている。

(4) シリンダのスライドモーションは、三角波、台形波、余弦波と各種設定でき、したがって、ユーザーのさまざまな鍛造条件の再現が可能となっている。

2. 自動車用歯車鍛造の開発状況と課題

2-1 クラッチギヤ、ベベルギヤの歯形鍛造

自動車用歯車の歯形鍛造は、はじめにスタータピニオンで実用化され、続いて、クラッチギヤやベベルギヤで本格化した。

スタータピニオンでは、歯部および背面の異形状クラッ

技術報文

チ部も同時成形することにより、大幅な切削省略のコストメリットが達成できたものであるが、マニュアルミッション用のクラッチギヤでは、切削加工の廃止に加えて、シフトフィーリングが良いという商品価値の向上が着目された(80年代後半)ため、各自動車メーカーが採用するようになった。

続いて、クラッチギヤとスピードギヤ用ボスとの一体成形品(写真2¹⁾)が開発、採用されたが、これは、前記効果に加えて、①二部品が一体成形でき、溶接工程が省略できる、②形状自由度が大きく、トランスミッションの小型化が可能である、という設計上のメリットが大きかったためである。これらの製造工法は、熱間鍛造+冷間サイジングの複合鍛造法である。

デフギヤ等のベベルギヤの歯形鍛造は、同じく、熱間鍛造+冷間サイジングの複合工法で60年代末に開始されたが、80年代後半の4WD車の急増により、鍛造でしか成形できないフランジ付きの特殊形状のデフギヤ(写真3²⁾)が採用されたために脚光を浴び、急速に採用が拡大した。現在では、通常のデフギヤにおいても、鍛造成形が主流となっており、工法としても、生産性の高い冷間鍛造が広がりつつある。

このように、スタータピニオンや、クラッチギヤ、ベベルギヤの歯形鍛造の採用の歴史を見ると、①切削加工の大幅省略によるコストメリット、またはそれに加えて、②機

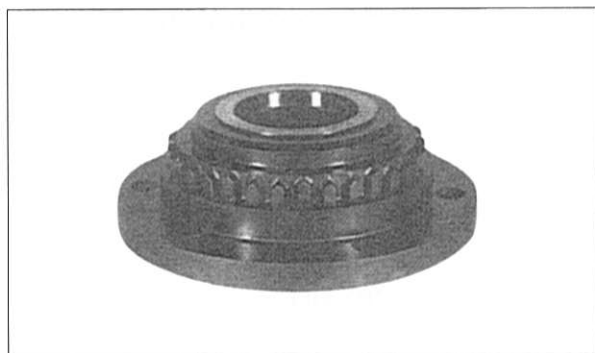


写真2 ボス部一体成形クラッチギヤ鍛造品¹⁾
Photo 2 Precision forged clutch gear with boss

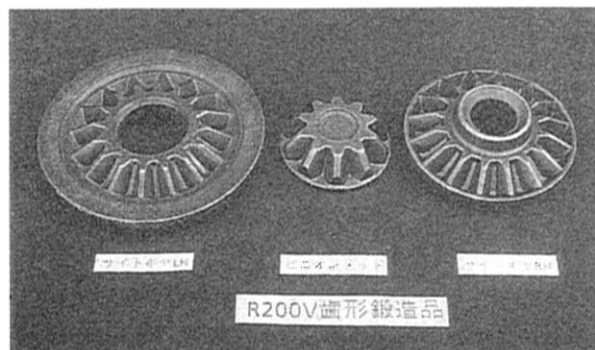


写真3 フランジ付きベベルギヤ鍛造品²⁾
Photo 3 Precision forged bevel gear with flange

能上あるいは設計上のメリットがあって、はじめて、急速に採用が進んできたことが理解できる。

2-2 ヘリカルギヤの歯形成形の開発の現状と課題

ヘリカルギヤの歯形成形方案としては、熱間・冷間複合鍛造法、冷間押し出し鍛造法、分流法による成形法、その他があり、それぞれ特徴があるので、以下に見るように、対象歯車の種類によって適用工法を選定し、各社がこぞって開発に挑戦しているのが現状である。

(1) 熱間・冷間複合鍛造事例

熱間鍛造と冷間鍛造を組み合わせた複合鍛造法は、クラッチギヤやベベルギヤの歯形鍛造の採用を可能としたものであるが、その長所としては、①成形荷重が小さい、②歯部以外の箇所成形において形状自由度が大きいという点がある。克服すべき課題としては、①冷間鍛造1工程に較べると工程が長いこと、②熱間鍛造型の歯部の熱負荷が大きいために、必要な精度と金型寿命を確保するのが難しいこと、の2点があると考えられる。

この工法については、熱間鍛造から出発したメーカーが、現在、盛んにトライアルを繰り返しており(例えば、写真4³⁾)、数千個の寿命を確認したとの情報もあるが、いずれにしろ、モジュールの大きめのヘリカルギヤがその対象となると思われる。

(2) 冷間押し出し成形法

自動車用プラネタリアピニオンの冷間押し出し成形法については、かつてフォードが提案して各社が競ってトライアルしたが、材料の歩留まりが悪いこと他の理由で採用には至らなかった。しかし、最近、写真5⁴⁾に示すようなヘリカルギヤ付きシャフト(ステアリングピニオン)において、ホブ加工品よりも高い精度で安定して生産できるようになり、大量に自動車用として採用されようとしていることが報告されている。このギヤは、焼入ひずみを見込んだ精度

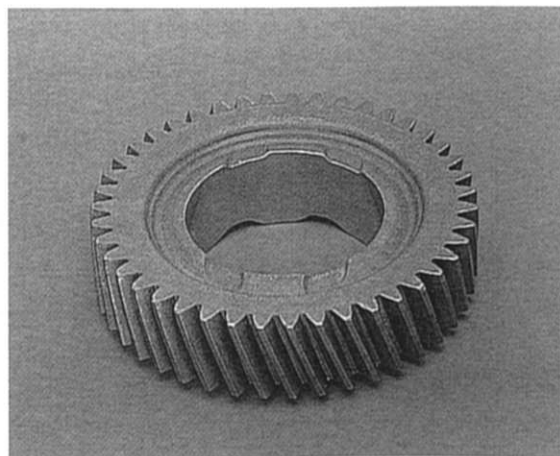


写真4 熱間・冷間・複合鍛造ヘリカルギヤ³⁾
Photo 4 Helical gear precision forged by combination process of hot or warm die forging and cold sizing

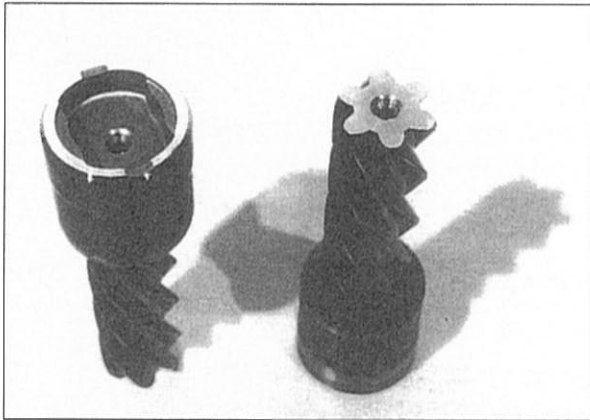


写真5 ヘリカルギヤ付きシャフト⁴⁾
Photo 5 Precision forged shaft with helical gear

の良い金型を用いて、冷間にて押出し成形し、歯部の後加工を加えずに完成品にしている。

この結果を見ると、要求特性の極めて厳しい自動車のトランスミッション用歯車においても、近い将来に軸付きギヤでの採用が期待できそうで、冷間押出し法も注目すべき工法の一つである。

(3) 分流法による成形

分流法とは、例えば第2図⁵⁾に示すような歯車の成形方案において、中央部に、捨て軸または逃がし穴を設けることにより、加工中に、内向きの流れと歯部を形成しようとする外向きの流れとを生じさせ、歯部の成形最終段階においても内向き流れの先端部に自由表面部を確保することにより、成形荷重の増大を防ごうとする方案である。発明者である大賀、近藤らは、非常に低い面圧で平歯車を成形し、「密閉鍛造と分流鍛造を組み合わせる2段階加工は、実用的な複雑形状部品の加工に積極的に利用し得る技術である」としている⁶⁾。

また、AIDA-NSF工法では、大賀、近藤らの分流・2段階加工法を更に進めて、段付きマンドレルを用い、それを引き上げ、当初は太径部分を用いて圧縮していたも

のを、順次、細径部に置換してゆくことにより、ヘリカルギヤをJIS3級レベルの精度で、冷間成形できると報告している⁷⁾。

これらの報告を見ると、この分流法によってヘリカルギヤを冷間にて一回で成形できれば、前項で記した熱間・冷間複合鍛造法の課題、すなわち①工程を短縮し、②高い製品精度と金型の長寿命を達成することが期待できそうである。

3. 分流法によるヘリカルギヤの成形実験

3-1 実験テーマの選定と実験の目的

ネットシェイプ成形の対象として、塑性加工関係者の関心が最も高く、種々のトライアルが実行され、研究成果の報告や論議が盛んなのは、自動車用のヘリカルギヤである。現状は、前項で見てきたように、各社が、開発競争にしのぎを削っているが、技術上の課題の難しさと相俟って、切削加工の廃止メリット以外の機能上あるいは設計上の大幅なメリットが見つからず、苦戦しているのが実状である。

当社としては、先に導入した鍛造シミュレータを用い、ユーザーとともに何を開発するか考えたとき、ユーザーの関心度、将来性、ある程度のハードルの高さから前項の「分流法によるヘリカルギヤの成形」をテーマとして取り上げ、その開発に取り組むことにした。

「分流法によるヘリカルギヤの歯形成形」が、まだ実用段階には至らず、種々の未解明の課題があるので、実験の主な目的として、以下の点を設定した。

(1) 分流法によるヘリカルギヤの歯形成形用の最適金型方案を検討し、金型への負荷や寿命の推定、歯部精度、歯部以外の箇所成形性、等を調査すること。

(2) 分流法の「捨て軸の原理」と「逃がし穴の原理」の違いを確認すること。

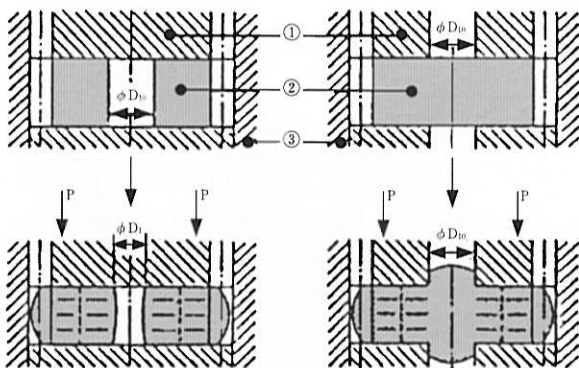
(3) 分流法による歯形成形法の実生産への適用の現実性と採用に至るまでの課題を明らかにすること。

3-2 試作対象歯車

試作対象歯車の諸元を第2表に示す。これは、乗用車のマニュアルミッション用のスピードギヤの諸元と同等のものである。

第2表 歯車諸元
Table 2 Gear data

大 径	65.6mm
小 径	55.5mm
歯 数	30
モジュール	1.75
圧力角	17° 30′
ネジレ角	30° 30′



(a) Flow relief hole principle (b) Flow relief axis principle
①: Punch ②: Blank ③: Container

第2図 分流法の加工原理⁵⁾

Fig. 2 Working principle utilizing divided flows

技術報文

3-3 実験方法

3-3-1 金型方案

(1) 金型の構成

採用した金型の方案とその写真を第3図および写真6に示す。この方案は、分流法の「捨て軸の原理」に基づいたもので、以下の構造とした。

ダイは下側からスプリングで支えられたフローティング式とし、ダイスリーブには歯部を設け、ダイと噛合いながら、製品の歯部を直接加圧成形する方式とした。この噛合いがあるために、ダイスリーブとダイおよびパンチは、相互に、容易に回転できる構造とした。

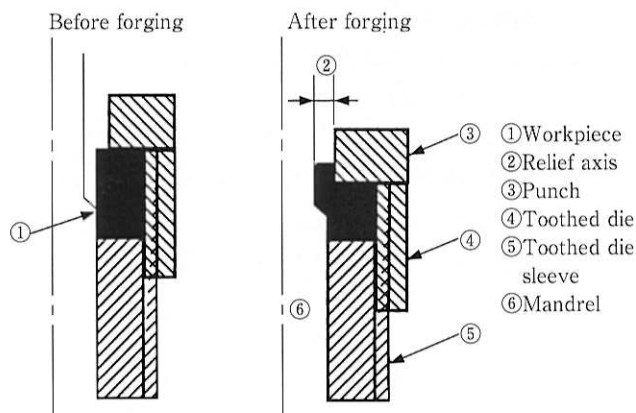
キャビティ内に置かれた材料は、加圧され、外向きに流れた材料は、ダイの歯部に流れ込んで歯先部を形成し、内向きに流れた材料は、上方に向かい、捨て軸を形成する。

(2) 「捨て軸の原理」と「逃がし穴の原理」

第3図の金型方案は、分流法の「捨て軸の原理」を基本としたが、パンチを交換し、捨て軸部を塞ぐことにより、分流法の「逃がし穴の原理」による成形も可能な構造とした。

(3) 内向き流動抵抗制御

パンチインサートを変更することにより、捨て軸部の外



第3図 金型方案

Fig. 3 Forging process and tooling utilizing flow relief axis principle



写真6 実験に用いた金型(ダイ、ダイスリーブ)
Photo 6 Die and die sleeve used for experiment

径を変更し、内向きの材料流れの流動抵抗を制御できる構造とした。

3-3-2 金型の破壊防止

金型の材質としては、ダイは超硬合金、ダイスリーブはセミハイス系の材料を採用した。これらの工具の成形中の破壊対策として、次の3点を考慮した。

- イ) ダイ閉塞面の絞り詰め応力の確保
- ロ) 製品蹴り出し時のダイ上端部の破壊対策
- ハ) ダイスリーブ上端面歯部の荷重低減策

イ)とロ)は、本件とは別の成形実験で金型を破壊させた経験からの処置で、写真7の放射状の金型のワレの対策として、ニブ部上端面をその外側の二つのリング上端面より下げることにより、ニブ部上端面でも、絞り詰め応力を確保できるようにしたものである。

写真8の金型の破壊は、上端面の鋭角側の歯のカド部が、加工後の製品蹴り出し時に、上からの押さえがないために、過大な曲げ応力を受けたために発生したと考えられ、対策としては、鋭角側の歯のカド部に面取りを施して、蹴り出し時の曲げ応力の緩和をはかったものである。

ハ)のダイスリーブの上端面(写真6参照)は、加工荷重を全面的に受ける構造になっており、とくにその歯部は、ダイと同様に、ねじれのために下側に空間ができ、加工中

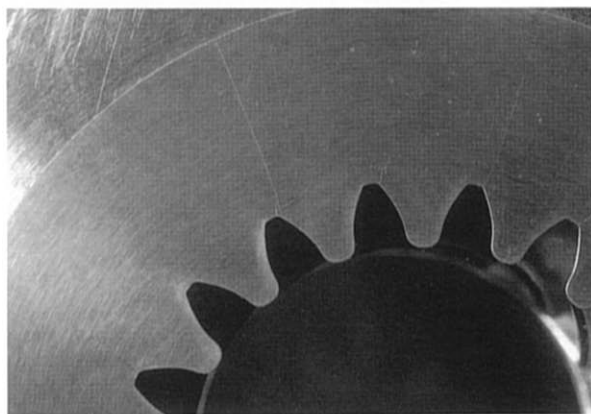


写真7 金型の破壊事例-1
Photo 7 Die fracture example 1

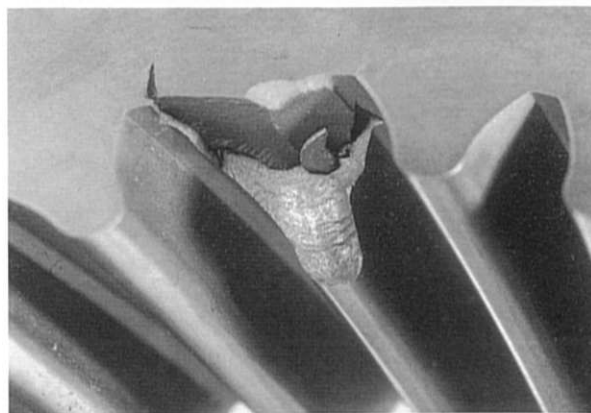


写真8 金型の破壊事例-2
Photo 8 Die fracture example 2

に過大な曲げ応力が発生して破壊に繋がるおそれがあるために、①鋭角側歯部の面取り、②PVDの前のファインショットピーニング処理(金型材料はセミハイス)を行って、その対策とした。

3-3-3 供試材料

供試材料の材質としては、S10C、SCr420HNの2種類を用いた。それぞれの成分分析結果を、第3表に示す。ここで、SCr420HNは、代表的な歯車用鋼であるSCr420HにNbを添加して、熱処理時の結晶粒の粗大化を防止した鋼である。S10Cは、変形抵抗が小さいので、材料の変形プロセスの確認用として用いた。

第3表 供試材料の成分と変形抵抗

Table 3 Chemical composition and flow stress of specimen

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Nb
S10C	0.07	0.01	0.34	0.018	0.02	0.04	—
SCr420HN	0.19	0.23	0.87	0.019	0.02	1.03	添加

3-3-4 材料の変形抵抗と鍛造温度

これらの材料の変形抵抗の測定結果を第4図および第5図に示す。変形抵抗の測定は、小坂田らの端面拘束圧縮による方法⁸⁾に基づいて行った。

第4図、第5図からわかるように、300℃に加熱することにより材料の変形抵抗は、約15%低下するという結果が得られたため、金型保護の観点からの成形時の材料温度は300℃とし、金型は200～250℃に加熱した。また、材料は鍛造前に、球状化焼鈍を行い、更に潤滑処理として、ボンデ処理+二硫化モリブデン処理を行った。

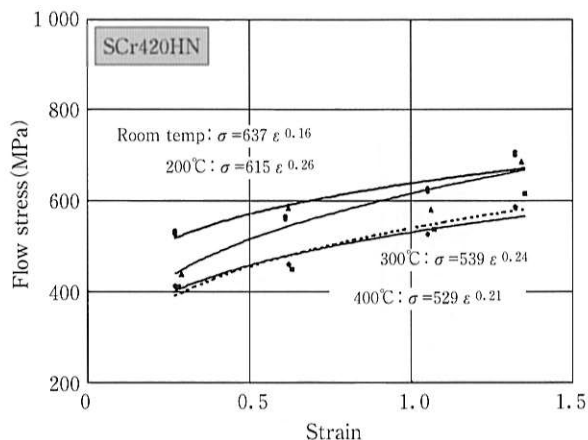
3-4 実験結果と考察

3-4-1 捨て軸の原理による成形

(1) 試作品外観

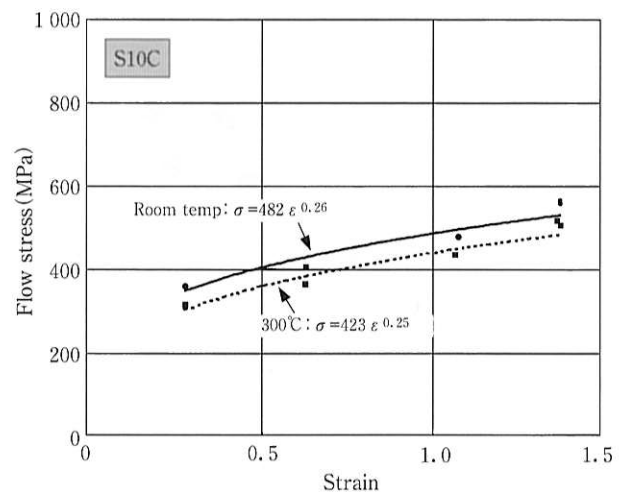
写真9に試作した歯車の外観写真を示す。

使用した材料はSCr420HN材、鍛造温度は、300℃で



第4図 SCr420HN材の変形抵抗測定結果

Fig. 4 Flow stress of SCr420HN



第5図 S10C材の変形抵抗測定結果

Fig. 5 Flow stress of S10C

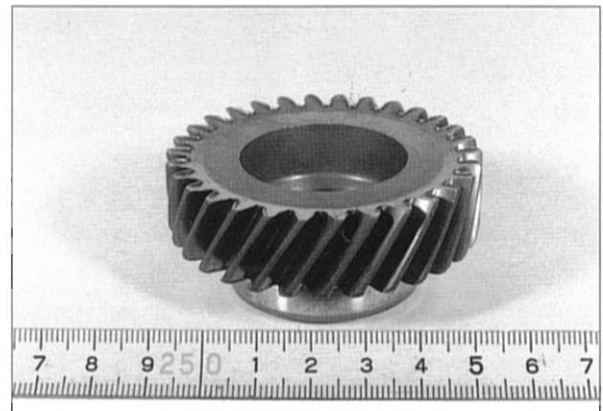


写真9 試作品例(SCr420HN)

Photo 9 Test product by flow relief axis principle

ある。この写真から分かるように、いわゆる分流鍛造法の「捨て軸の原理」によって、歯先まで十分に材料の充満した、自動車用の実ヘリカルギヤを成形することができた。

(2) 工具面圧、捨て軸径の影響

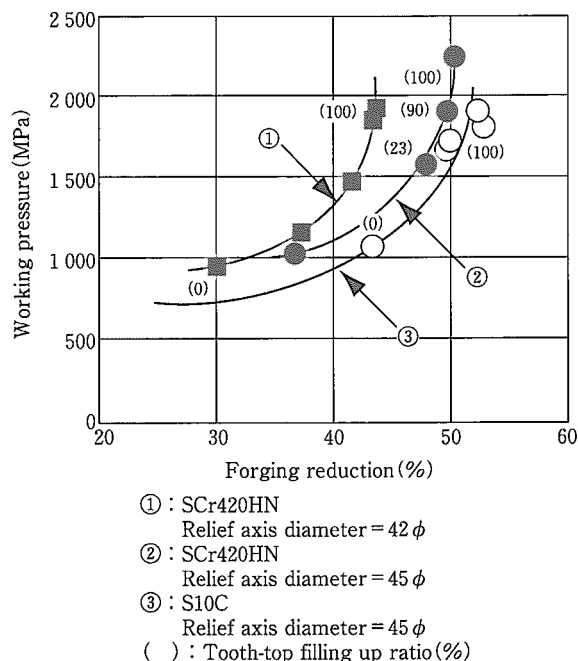
第6図に、歯車の成形時の据込み率と工具面圧の関係を示す。SCr420HN材で、捨て軸径をφ42としたとき、歯先充満率が100%となる工具面圧は、約1800MPaである。この面圧は、工具寿命が十分に長く、安定して成形できるレベルの低い値である。

(3) 面圧比と成形に必要な変形抵抗値

歯車の成形に用いた材料SCr420HNの300℃における変形抵抗式は、第4図に示すように、下記のように近似した。

$$\sigma = 539 \varepsilon^{0.24}$$

ひずみ1における変形抵抗(539MPa)を、この材料の変形抵抗の代表値とすると、前項の工具面圧1800MPaから、この鍛造方案の面圧比(パンチの平均面圧÷材料の変形抵抗代表値)は、3.3となる。すなわち、「今回の鍛造方案は、変形抵抗の3.3倍の工具面圧でヘリカルギヤが成形でき



第6図 据込み率と工具面圧

Fig. 6 Effect of forging reduction and relief axis diameter on working pressure

る」ということができる。この面圧比3.3という数字は、小坂田らのコンテナを駆動する鍛造方法での外歯スプラインでの実験結果⁹⁾と同じ値となっているが、モジュール1.5、圧力角20°、ねじり角15°のヘリカルギヤでの実験結果の値¹⁰⁾4.0より、小さい値となっている。

今回は、安全のために材料を300℃に加熱して成形したが、歯車が成形できる限界の変形抵抗の値を求めることを考えた場合、金型寿命を保証できるパンチ面圧を2200MPaと仮定すると、パンチ面圧(2200MPa)÷面圧比(3.3)=670MPa以下となる。

すなわち、この方で歯車を生産するために必要な材料の変形抵抗は、670MPa以下と推定できる。この値は、歯車用鋼としては、一部の高強度用を除けばほとんどがク

リアしている値である。ただし、3-4-3項で述べるが、変形抵抗が低い方が成形中の金型の変形量が小さく、製品精度が良くなることを考えると、変形抵抗は、より小さい方が望ましい。また、上記の、2200MPa以下で金型寿命が保証できるかは、あくまでも仮定であり、材料の変形抵抗は、より小さい値のものを選定したい。

3-4-2 「捨て軸の原理」と「逃がし孔の原理」の成形法比較

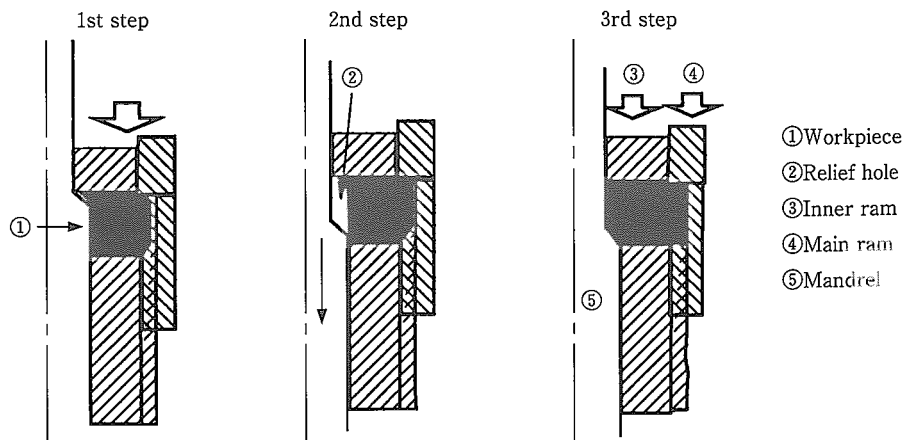
第3図に示した金型のパンチを変更して、分流法の「逃がし穴の原理」での歯車成形が可能となるように第7図のような構造とし、「逃がし穴の原理」と「捨て軸の原理」の比較を行った。その結果を第8図に示す。これを見ると、「捨て軸の原理」では、据込み率が上がるに従って、工具面圧は、緩やかに上昇しているが、「逃がし穴の原理」では、工具面圧の上昇が極めて急で、歯先充填率が5%の段階で、「捨て軸の原理」での歯先充填率100%の時の工具面圧に達しており、試作品を見ると、すでに内側の逃がし穴は、材料で埋まっていた。

これは、近藤らの「製品輪郭形状が複雑で、遠心流動抵抗が高い場合、穴径の収縮のみで対処しようとする」と、穴径閉塞が考えられ、この現象発生後は、密閉方式になるため、充填完了の実現は不可能になる¹¹⁾との指摘のとおり現象であった。

すなわち、「捨て軸の原理」では、捨て軸部に常に自由表面が存在するために、加工終了まで分流が継続され、ヘリカルギヤが成形できるが、「逃がし穴の原理」では、穴径閉塞が起り、ヘリカルギヤの成形が不可能になってしまう。したがって、自動車用のヘリカルギヤの成形に関しては、「逃がし穴の原理」よりも「捨て軸の原理」の方が有利であると言えそうである。

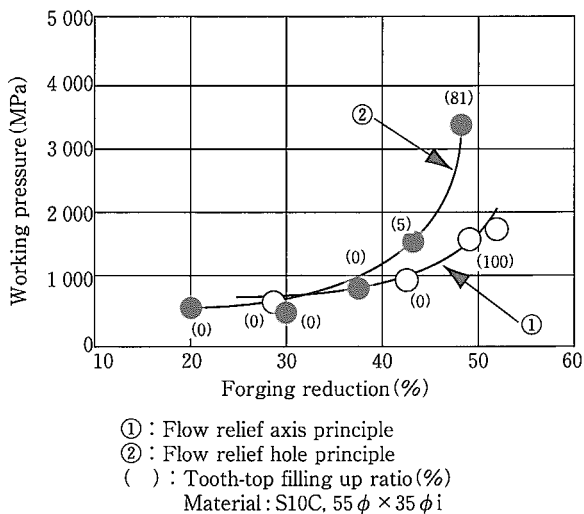
3-4-3 歯車精度

第9図に鍛造後の歯車精度の3次元立体表現した測定例を示す。上端部の膨らんだ部分は、蹴り出し時の金型の

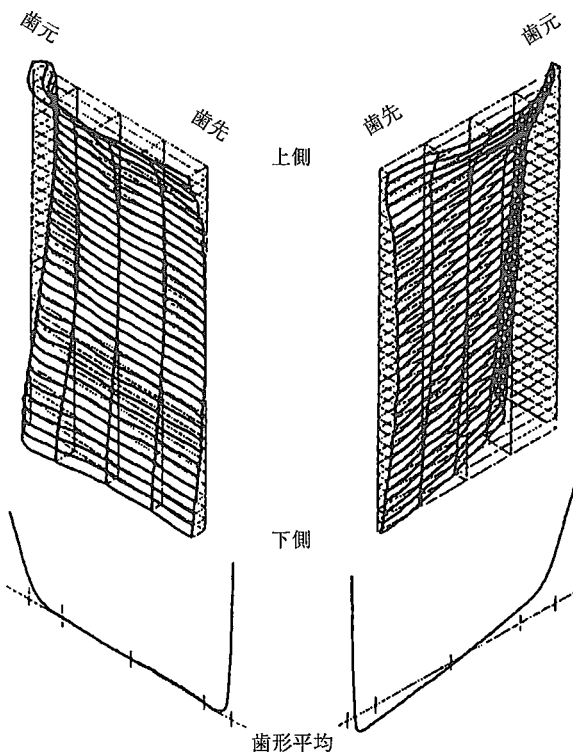


第7図 「逃がし穴の原理」による成形方案

Fig. 7 Forging process and tooling utilizing flow relief hole principle



第8図 逃がし穴および捨て軸の原理の比較
 Fig. 8 Comparison of relief hole principle and relief axis principle



第9図 歯車精度測定例
 Fig. 9 3-dimensional expression of inspected gear accuracy

破壊防止のために実施した面取り部が転写されたものである。この部分を除去することを想定して、精度を測定した結果を第4表に示す。

第4表を見ると、この方案で成形した歯車の精度に関して、下記のことが言えそうである。

(1) 歯車精度は、金型諸元を基準にして、歯筋精度で JIS 0～2 級、歯形精度で JIS 2～4 級であり、歯溝の振れは、JIS 2 級の精度であった。あらかじめ鍛造時の変形

第4表 鍛造後の歯車精度測定結果
 Table 4 Gear accuracy after forging

			S10C	SCr420HN
			上	上
右	歯形誤差	中央	-0° 03'	-0° 10'
		下	+0° 07'	+0° 05'
		歯元	-0° 03'	-0° 04'
	歯筋誤差	中央	-0° 03'	-0° 02'
		歯先	+0° 01'	+0° 04'
		歯元	-0° 01'	-0° 04'
左	歯形誤差	上	+0° 11'	+0° 13'
		中央	+0° 13'	+0° 14'
		下	+0° 13'	+0° 09'
	歯筋誤差	歯元	-0° 01'	-0° 04'
		中央	±0° 00'	-0° 04'
		歯先	±0° 00'	-0° 02'

量を金型に織り込めば、更に良い精度で作ることができると考えられる。

(2) 歯筋誤差は、いずれもマイナスになっており、ネジレ角が小さくなる方向に変化している。

(3) 歯形誤差は、左歯面では、すべてプラス、すなわち圧力角が大きくなる方向に変化しているが、右歯面では、下はプラスであるのに対して上と中央部でマイナス、すなわち圧力角が小さくなる方向に変化している。ただし、左右を平均すると上、中、下いずれも圧力角はプラスの方向に変化したことになる。

(4) 歯形、歯筋の誤差量を SCr420HN と S10C で比較すると、いずれも SCr420HN 鋼の方が大きくなっている。これは、変形抵抗の差から工具面圧が異なるために、成形中の金型の変形量がその分だけ大きくなったためと考えられる。

3-4-4 実生産採用のための課題とボス部の成形

(1) 実生産採用のための課題

分流法によるヘリカルギヤの成形方案の実生産採用を考えたとき、コスト面で影響の大きいファクターとして、①金型の寿命、②歯面精度(歯面のシェービング代)、③ボス部、歯部両端面、内スプライン部等の歯面以外の切削代、ほかがある。

これまでの実験の結果から、①の金型の寿命については、分流法の「捨て軸の原理」を採用することにより、材料の変形抵抗の3.3倍の工具面圧で成形することができ、十分に実用的な寿命が期待できることが分かった。また②の歯面精度も、蹴り出し時の金型の破壊防止のために施した歯部上端の面取り部を除去することを前提にすれば、鍛造時の変形をあらかじめ金型に反映させれば、十分に JIS 3 級レベルの精度の鍛造品が生産できることが推定される。

したがって、実生産採用の最大の課題は、③項の歯部以外の切削代をいかに少なくするかということになる。

(2) ボス部の成形

今回の試作対象としたヘリカルギヤには、本来、歯底径(小径)相当のボス部が設計されているものであるが、写真

9に示した試作品のボス部(捨て軸部)は、歯底径よりもはるかに小さい径のものとなってしまった。これは、捨て軸部を歯底径と同じにした場合には、加圧面積が不足してしまい、歯部の成形ができないために、止むを得ずにとった措置である。また、写真9の捨て軸の先端は、分流法の原理からも自由表面となっており、本来、歯車のボス部として必要な形状を得ることは、できていない。

これらの問題点を解決すべく、試作した写真を、写真10に示す。これは、ボス部を所望の形状とするために、背圧法を適用したもので、第7図の「逃がし穴の原理」による成形法案において、インナパンチをあるタイミングで、位置制御から圧力制御に切り替えることで、ボス部先端を工具で押さえているにも関わらず、分流を継続し、歯車を成形したものである。

問題点としては、①捨て軸の方案に比較して、工具面圧が上昇する、②ボス部と歯車本体部の量のバランスによっては、歯部にかぶりキズが発生する、等の問題が予想され、詳細の調査は、これからのものである。

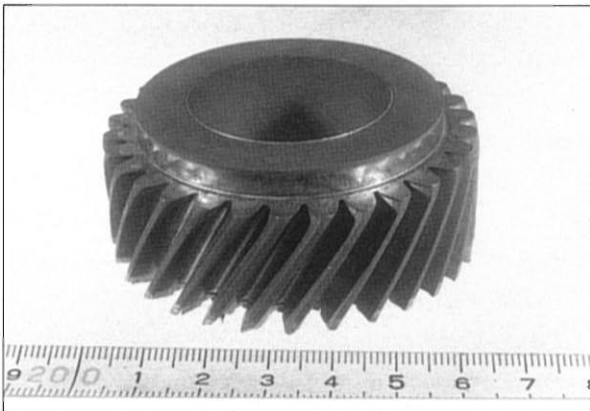


写真10 分流法+背圧法によるヘリカルギヤの試作品例
Photo 10 Test product by divided flow method and back-pressure one

4. まとめ

新たに導入した5シリンダ・油圧制御・鍛造シミュレータを用いて自動車のトランスミッション用実ヘリカルギヤの試作を行った結果を要約すると、以下ようになる。

(1) 分流法の「捨て軸の原理」を採用することにより、歯先まで十分に材料の充満したヘリカルギヤを成形することができる。

(2) このときの工具面圧は、材料の変形抵抗の約3.3倍のレベルであり、変形抵抗が、670MPa以下の歯車用材料ならば、2200MPa以下の工具面圧となり、十分に長い工具寿命が期待できる。

(3) パンチ形状を変更することにより、分流法の「逃がし穴の原理」と「捨て軸の原理」を比較したところ、前者では、加工の初期の段階で、逃がし穴が閉塞して工具面圧が急上昇するが、後者では、加工終了まで分流が継続し、低い面圧で歯車が成形できる。

(4) 成形したヘリカルギヤは、蹴り出し時の金型の破壊防止のために施した面取りの転写部を除けば、JIS 3級の精度で、成形できる。

(5) 分流法によるヘリカルギヤの量産実用化を考えたときの最大の課題は、歯部両端面、ボス部、内スプライン部等の歯面以外の切削代の削減である。

(6) ボス部の切削代を削減する目的で、「逃がし穴の原理」に用いた金型構成で、インナパンチをあるタイミングで位置制御から圧力制御に切り替えて成形したところ、ボス部先端を工具で押さえているにも関わらず、分流が継続し、張り出しの良い歯車が成形できた。分流法に背圧制御を加えた成形法は、所望の形状を精度良く得るための現実的で有望な成形法と考えられる。



小倉真義/Masayoshi Ogura

小倉製鉄所 条鋼技術部
専任部長

(問合せ先: 093(583)6639)

参考文献

- 1) 長谷川平一、鍛造技法、40(1990.1)p.19~31
- 2) 藤川真一郎、島村三郎、特殊鋼38-12、(1989)p.9
- 3) ㈱メタルアート、カタログ
- 4) 沢井謙一、鍛造分科会・第24回鍛造実務講座(1997)p.8
- 5) 近藤一義、塑性と加工24・271(1983-8)805
- 6) 大賀喬一、安藤弘行、近藤一義、塑性と加工36・412(1995-5)504
- 7) 小林一登：プレス技術32-11、(1994)49

- 8) Osakada,K.,Kawasaki,T. & Mori,K. : Ann. CIRP, 30-1 (1981), 135
- 9) 小坂田宏造・花見真司・王欣：鍛造分科会第63回研究集会(1997)p.18
- 10) 小坂田宏造・花見真司・王欣：鍛造分科会第63回研究集会(1997)p.22
- 11) 近藤一義・大賀喬一：塑性と加工、27・300(1986)、125