テーパロッド加工機の開発

斉藤 誠¹⁾ 葛西 靖正²⁾ 伊藤 幸生³⁾

1. 開発の背景および経緯

FF車(前エンジン前輪駆動)はプロペラシャフトが不要なため、FR車(前エンジン後輪駆動)に比べて居住空間が広く、かつ軽量化による燃費改善ができ、そのうえ操縦性も向上するなど多くの利点を持っている。このため中・小型乗用車のFF化が急速に進行している。

いっぽう、FF車はFR車に比べて前後輪の荷重分担が大幅に異なるため、1名乗車時と最大乗車時とは後部サスペンションにかかる荷重の変化率が大きくなり、車輛姿勢や乗心地に悪影響を及ぼす。そこで、このようなFF車特有の問題を解決する手段として非線形ばね特性を持ったテーパコイルばねが開発され実用に供されている⁽¹⁾。このばねは、両端に緩いテーパを有するテーパロッドを螺旋状に巻いて作られるが、荷重増加に伴って細径の部分から密着が進み非線形特性が得られるようになっていくものである。

現在、このテーパロッドの生産はNCピーリングマシンを使った切削やスウェーピングマシンによる熱間塑性加工などによっているが、前者では材料歩留が70~90%と低いことや被削性をあげるため軟化焼鈍が必要といったコストアップ要因があり、また後者では材料歩留は良いが加工速度が遅いといった生産上の欠点がある。

このような情勢から、材料歩留が良くかつ生産性の優れた塑性加工法の検討を進めた結果、このたび全く新しい発想になる引張塑性加工法の開発に成功した。この方法の特徴は、材料自身に与えた温度分布を利用して希望するテーパを瞬時に引張成形する点にあり、成形工具を使わないいわゆるダイレスフォーミング法の範疇に属するものである。

本開発の最大のポイントは、長い棒材にいかにして所定の温度分布を正確かつ迅速に与えるかというハード面と、材料の変形抵抗の温度依存性をどのようにしてテーパ形状へ組込んでゆくかというソフト面の開発の2点にあった。このため、メインメモリ256KBのミニコンを導入し、昇温カーブ、冷却分布パターン、引張速度パターン等を自動制御し加工条件の変動を抑えるとともに、寸法測定結果をオンラインで風冷制御バルブへフィードバックするシステムを完成させテーパ形状の安定性を高めた。

工業的規模で鉄鋼製品をダイレスフォーミング法により生産するラインを実現したのは世界にも例がない。この結果、テーパコイルばねの低廉化に寄与するとともに、ダイレスフォーミング法の今後の展開に一つの力を与えるものと考えられる。

2. 開発の概要

(1) 加工原理

金属材料の変形抵抗が温度および加工速度⁽²⁾に依存している点を巧妙に利用した塑性加工法である。まずあらかじめ加工しようとする棒鋼にたいし軸方向に温度分布をもたせておき、引続きこれを急速に引張ることにより各部分に温度に応じた伸びを生じさせ、結果的にテーパを形成せしめる方法である(図1)。テーパは温度分布をコントロールすることにより任意の形状のものが得られる。両端が細くなったテーパロッドを作るためには、連続した棒材を片端から順送りに引張加工を施し最小直径部分で切断すればよい。

図1 新加工法の原理図。

(2) システム構成

加工ライン全体は、コイル素材から最終製品まで連続したシステムを構成している(図2)。まず、コイル状のばね鋼鋼線(SUP7, $\phi 10 \sim 13$ mm)が整直機で矯正されたのち、フィーダーにて加工機本体に送り込まれる。ここで材料は直接通電加熱によって均一に加熱されるとともに、引続き圧縮空気流によって温度分布が与えられ、さらに引張加工が加えられる(図3)。引張加工が完了した部分は、新しい材料がフィーダーによって送り込まれる時同時に寸法を測定されながら系外へ送り出され、切断されて製品となる。

加熱は、均一急速昇温を実現するため、昇温パターンを制御した直接通電加熱方式をとっており、目標温度の750~800°Cに7秒前後で到達する。なお测温には赤外線放射温度計を用いている。

温度分布付与装置は、本システムの心臓部ともいえるべきものでありテーパ形状を直接左右する重要な役目をはたしている。冷却には圧縮空気流を利用しているが、所定の温度分布を与えるため、小口径のノズルを材料の両側面に向け数百個配置している。ノズルから吹出す圧力は電磁比例制御弁とセレクト弁にて最大数気圧から最小0.001気圧まで任意にコントロールすることができ、

* 大同特殊鋼株式会社

1) 中央研究所副主席研究員 2) 星崎工場線材加工課副主査

3) 中央研究所研究員

New Tapered-Rod Forming Process for Coil Springs;
M.Saito, Y.Kasai, Y.Ito(Daido Steel Co., Ltd.)

1984年1月31日受理

図2 量産機模式図.

図3 加工機本体模式図.

すべてミニコン指示によりドライバユニットによって駆動される。

引張装置は、油圧サーボにより速度制御されており、温度勾配の与えられた素材をあらかじめプログラムされた速度パターンに従って最高 500 mm/s の速度で引張変形させ、テーパを形成する。

寸法測定装置は、加工機の出口側に設置しており、10 mm ピッチでテーパの直径を非接触で読取る。測定したデータはミニコンの内部バッファに格納しておき、製品の良否判定および風冷パターンのフィードバックデータとして使用する。

3. 量産設備の性能

図4に加工機本体の外観を示す。この装置で加工できる製品は表1に示す範囲の寸法のものであり、主に中・小型乗用車の懸架用テーパコイルばねの母材として使われる。

(1) 寸法精度

テーパ加工された部分の寸法は CRT 画面上に図5のように描出される。図の例では製品の直径が 10 mm 間

図4 加工機本体外観.

表1 製品の仕様.

項 目	最 小 値	最 大 値
素 材 長	2 0 0 0 mm	4 0 0 0 mm
外 径 寸 法	φ 1 0	φ 1 3
加 熱 長	8 0 0 mm	2 0 0 0 mm
引 張 長	0 mm	6 0 0 mm
製 品 長	2 2 0 0 mm	4 0 0 0 mm
減 面 率 (%)	0 %	3 6 %

$$(\%) \text{ RGA} = \left[1 - \left(\frac{D_s}{D_0} \right)^2 \right] \times 100\%$$

D_s, D_0 : 冷間状態での最大径と最小径

図5 テーパロッドの寸法精度.

隔で 195 点プロットされており、さらに図の下段にはモデルパターンとの偏差が表示されている。テーパ部分の寸法誤差は ± 0.15 mm 以内に収っており、ばね特性上従来の切削ばねと何ら変らない。なお、冷却空気が丸棒の断面上の両側面から吹付けられているので真円度の劣化が懸念されたが、変化は 3/100 mm 以下であり無視できる値であった。

(2) テーパロッドの内質

引張加工は、温間領域で行なわれるが、加工後のミクロ組織は図6に示すような延伸されたフェライト・パーライト組織を呈している。なおパーライトの一部は分断されてソルビチックパーライトに変化している。断面減少率 35% の引張加工を受けた部分から切出した試験片の調質後の引張強さ(図7)および疲れ強さ(図8)は非加工材と比べ何ら劣化は認められない。

(3) テーパコイルばねの特性

引張加工によって製造したテーパロッド(図9)を量産ラインに流してテーパコイルばね(図10)を作り、従来の切削法によるテーパコイルばねとの特性比較を行なった。その結果、ばね定数(表2)、へたり特性・疲れ寿命(表3)のいずれも遜色ないとの評価が得られた。

図6 ミクロ組織.

(a) 引抜きまま (b) 加熱+引張加工後

図7 引張加工された部分の機械的特性.

図8 引張加工された部分の疲れ強さ.

図9 試作テーパロッドの形状.

(4) 生産性

表1に示した製品寸法のテーパロッドの生産速度は20~25秒/本である。これはスウェーピング法の60~90秒/本に比べて格段に速く、また切削法の25~35秒/本に比べても優れている。なお全体のシステムがミニコンにより集中制御されているので、スタート時のコイル

図10 テーパコイルばね.

表2 ばね特性比較.

加工法	試験に供したばね個数	自由高さ (mm)	たわみ $\phi=137.5$ mmでの荷重 (kgf)	たわみ $\phi=232.5$ mmでの荷重 (kgf)	ばね定数* (kgf/mm)
新加工法	40	392.7 $\pm$ 1.4	241.8 $\pm$ 2.60	521.9 $\pm$ 3.55	1.717 $\pm$ 0.023
切削法	80	394.4 $\pm$ 1.4	248.9 $\pm$ 2.84	527.2 $\pm$ 3.14	1.734 $\pm$ 0.023

*試験荷重 0~230 kgf

表3 テーパコイルばねの特性.

特性	新加工法	切削法	実験条件
へたり $\phi=137.5$ mmでの荷重損失 (kgf)	5.5	5.5	初期付荷重: 580 kgf 初期破断応力: 96.1 kgf/mm ² 試験時間: 72 hr
疲労	2 $\times$ 10 ⁵ まで破断せず (n=3)	2 $\times$ 10 ⁵ まで破断せず (n=3)	負荷サイクル: 248 kgf $\pm$ 110 mm 負荷速度: 60 cpm 試験機: 電気油圧式 (4 tonf)

セットとコイル端末の処理の時以外は人手を必要とせず、操作員1名が定期的に見回るだけでよい。

4. 生産実績および今後の展開

量産1号機は国内最大手のばね製造メーカーに1983年(昭和58年)3月に納入され、順調な稼働が続いている。現在までに累計50万本以上のテーパロッドが生産され乗用車に搭載されている。

本加工法は、パイプや異形断面材のテーパ加工あるいは段付加工などに応用が考えられ、今後の発展が期待できる。

文 献

- (1) 大野 明, 柴田昌治: 機械の研究, 29(1977), 1, 123.
- (2) 井上勝郎: 日本機械学会誌, 58(1955), 434, 177.