焼結鍛造コンロッドの開発

大西 利美¹⁾、高橋 昭夫²⁾
積木 千明³⁾、永礼 一郎⁴⁾

1. 開発の背景および経緯

焼結鍛造は、鉄粉などの金属粉末を圧縮成形し、これを加熱・鍛造する加工法である。焼結鍛造は、従来の粉末冶金の靱性が低いという欠点を補うとともに、その利点を合わせもち、一般の熱間鍛造品と同等の強度をもつ新しい加工法である。

すなわち、(イ)粗形材精度がよい、(ロ)材料歩留りがよい、(ハ)重量配分・コントロールが容易、(ニ)溶製材では得られない材料特性を付与できる、などの特徴をもち、省資源、省エネルギー的な加工法として注目されている。

当社では、この加工法に着目し、1960年代後半から鉄粉の製造を含めた開発に着手した。焼結鍛造に適した材料の検討、粉末成形技術、加熱方法、鍛造方法といった個々の技術を開発していく中で、対象部品としては、まず炭素鋼相当部品を取り上げ、最終的には技術的波及効果の大きなコンロッドの焼結鍛造化を目的とした。

本開発での最大のポイントは、コンロッドのような複雑形状の量産部品を、いかに安定した品質で、安価に製造するかという、量産技術の確立であった。このため、工程ごとの技術確立はもちろんのこと、それらを設備、自動化を含め、いかに有機的にひとつの量産システムとして成立させるかに最も留意した。特に加熱炉については、コンロッドのような複雑な形状のものを、成形後、炉で加熱し直ちに鍛造する方式で量産自動ラインとして実現したのは、世界に例がない。

その結果、焼結鍛造コンロッドの実用化がはかれ、さらに他部品展開への足がかりができた。

2. 開発の概要

(1) 材 料

焼結鍛造材の特性として、鍛造後の密度上昇とともに、引張強さ、伸び、衝撃値などの機械的性質は向上

し、溶製材と同程度になるが、焼入れ性は一般に劣る(溶製材に含まれている Mn, Si などの微量元素が、鉄粉中にほとんど含まれていないため)(図1)。このため、種々の添加元素および合金粉末を検討した結果、安価でかつ溶製材と同等の焼入れ性をもつ、Fe-Cu 系の成分を得た(図2)。また、焼結鍛造材の被削性は、一般に鋼材より優れているが、快削鋼に比べると若干おちる。このため硫黄を添加し対処した(図3)。溶製材と異なり、硫化

図1 鋼材と焼結鍛造材の炭素含有量と中心部かたさ(SAC法)。

図2 焼結鍛造材(Fe-3Cu-0.55C-0.3S)と鋼材(S55L)の焼入れ性比較。

図3 穴明け時の工具摩耗

* トヨタ自動車株式会社

1) 取締役生産技術開発部長 2) 本社工場車体部次長

3) 生産技術開発部管理課課長

4) 生産技術開発部第3グループ担当員

Connecting Rod by Powder Forging: T. Ohnishi, A. Takahashi, C. Tsumuki, I. Nagare (Toyota Motor Corporation)

1983年1月31日受理

物が球状に点在しているため、強度低下は少ない。

鉄粉には一般に、還元鉄粉と噴霧鉄粉とがあるが(イ)非金属介在物が少ない(理論密度に上昇すると、疲労強度は含まれる非金属介在物の影響をうける)、(ロ)製造エネルギーが少ない、ことから噴霧粉を使用した。

(2) 加工工程

従来の熱間鍛造と比較した加工工程を図4に示す。従来は鍛造時、荒加工、仕上加工と数工程要していたが、焼結鍛造の場合、粉末成形後1工程で完了する。このためには、後述のように、粉末成形体(プリフォーム)形状をどう決めるかが重要である。また、機械加工は、従来仕上加工の前に荒加工が必要であったが、本加工法の場合、粗材材精度が高くなったことから、荒加工を省略できるようになった。図5に鍛造後および機械加工後の形状を示す。以下主な工程について説明する。

焼結鍛造

熱間鍛造

図4 加工工程比較。

鍛 造 後

機械加工後

図5 コンロッド。

(i) 粉末成形

粉末成形自体は、コンロッドのような複雑形状部品では、それなりの難しさはあるものの、通常の粉末冶金と全く同様である。

プリフォームとして、次の3つを満足させる必要がある。

① 鍛造後の各部の密度が一樣に上昇できるように、各部の重量バランスを考える(バランスが悪いと低密度の部分が生じる。型寿命が悪くなる)。

② プリフォーム強度は低いので、鍛造中クラック発生のないような形状にする(鍛造後にワレが残る)。

③ プリフォームを、搬送に十分耐えうる強度にする。

これらに対して

① 重量バランスは、コラム部を多くし大小端部からの材料流れを防ぐ。

② 形状は、鍛造後のインプレッションとほぼ同じにする。

③ 各部の密度を 6.5 g/cm^3 以上にする。
となるようにした(図6)。

図6 プリフォーム。

(ii) 加 熱

生産量の少ない時は、手でプリフォームの搬入出ができ、加熱炉の問題はないが、プレスサイクルとの連動(6秒タクト)を考えると設備が大きくなるとともに、搬入出の自動化が必要となり、急にむづかしくなってくる。加熱方法は、プリフォームを直接加熱して、炉から搬出し直ちに鍛造する方法と、いったん焼結したプリフォームを別途再加熱する方法が考えられる。後者の場合、再加熱時プリフォームはすでに焼結されているため、搬送は楽である。しかし、エネルギー的に、また、工程の流れからみても、前者の直接加熱の方が有利である。当社はこの方式を採用することを考え、加熱炉としては下記の点から、炉床回転タイプの電気炉とした。

① プリフォームの搬入搬出が容易にできる。

② 搬送途中にプリフォームが破損しない。

③ 加熱エネルギーを効果的に利用できる。

特にプリフォームを炉内へ投入する時、その強度不足から破損する恐れがあるので、回転部と固定部の段差をなくすように工夫した。加熱温度、時間は焼結に必要な最少限の 1150°C - 10分とし、雰囲気は従来使用されているRXガス(エンドサーミックガス)とした。なお加熱時、プリフォーム中のZnSt.の分解が大量に生じるので、多くのガスを流す必要がある。

(iii) 鍛 造

基本的には、密閉鍛造そのものであるが、寸法精度を確保するために、

① ワークの温度(出炉から鍛造までの時間は10秒)

② 金型温度(150°C)

③ 金型のインプレッション形状、深さをおさえる必要がある。

なお、金型寿命向上のためイオン窒化処理を施している。潤滑は水溶性グラファイトを使用している。

表 1 に、従来法と比較した粗形材精度、歩留り、重量バラツキなどを示す。

表 1 コンロッドの粗形材精度。

	焼結鍛造	熱間鍛造
寸法精度 (100 mm)	± 0.2 mm	± 1.5 mm
抜きこう配	0°	7°
歩留り (粗形材重量/原単位)	$>99.5\%$	70%
歩留り (製品重量/原単位)	80%	45%
重量バラツキ	$\pm 0.5\%$	$\pm 3.5\%$

図 7 コンロッドのコスト比較。

図 8 コンロッドの製造エネルギー比較。

3. コスト、エネルギー比較

熱間鍛造コンロッドと焼結鍛造コンロッドのコスト比較を図 7 に示す。焼結鍛造の場合、粗形材精度向上による機械加工費低減の効果が大きい。また、鋼材あるいは、鉄粉からそれぞれ加工する時の製造エネルギーをみると(図 8)、焼結鍛造の場合、従来の半分ですみ、本質的に省エネルギー的な加工法であることがわかる。

4. 生産実績および今後の展開

焼結鍛造コンロッドは、1981 年後半から乗用車の量産エンジン用として生産を開始し、現在月産約 10 万個の量産を行なっている。また、その後、自動変速機の 1-ウェイクラッチアウトレースも焼結鍛造化しており、今後さらに対象を拡大していく予定である。焼結鍛造は、コスト低減のみでなく、焼結の特性をうまく生かした魅力ある商品づくりの上からも、期待される加工技術であるといえる。

文 献

- (1) 橋本亀太郎, 中谷憲二, 積木千明, 大杉与史郎: 昭 46 春粉体粉末冶金協会概要集, 51.
- (2) *ibid*, 46.
- (3) 特許 特公昭 51-35365.
- (4) C.Tsumuki: Modern Developments in Powder Metallurgy, 7 (1974).
- (5) K.Imahashi *et al.*: SAE paper 750409 (1975).
- (6) 高橋昭夫: 塑性と加工, 19 (1978), No. 215.
- (7) 鈴木隆充: 塑性と加工, 22 (1981), No. 250.