

## 自動車軽量化に寄与する鉄鋼材料 PART 2

エンジン部品の高強度化に  
貢献する鉄鋼材料

## エンジンの進歩を支える高強度部品

自動車の心臓部であるエンジンは、自動車全体の軽量化においても重要な役割を担っている。エンジンでは、部品が高強度化されることによって、エンジン性能が向上し、エンジンの小型・軽量化を図ることができ、他部品の軽量化という波及効果が期待できる。これまでエンジン部品では、とくに特殊鋼の高品質化、低コスト化、高強度化などが図られ、その結果、燃費向上にもつながら、自動車の技術進歩に大きな貢献をしてきた。

今回は数多くのエンジン部品の中から、弁ばね（バルブスプリング）とコネクティングロッド（以下、コンロッド）を取上げ、それぞれの部品に使用されている鉄鋼材料、技術について紹介する。

## 弁ばね

高強度弁ばねに要求される  
疲労強度と耐へたり性

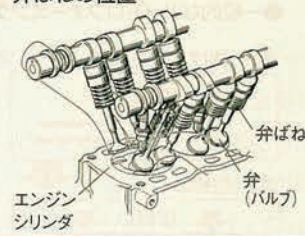
エンジンは数百点の部品によって構成されており、多数のすり合わさる部品の間で生じるフリクション（摩擦）によりエネルギーのロスが発生している。エンジン内で発生するエネルギーロスのうち、フリクションが原因となるエネルギーロスは、熱損失以外の損失の約4割を占めるといわれるが、その中でも大きいのが動弁系でのロスである。動弁系とは、エンジンの中で、クランク軸の回転に同期して給排気バルブを開閉させるための機構の総称である。

動弁系の中で弁ばねは、エンジン運転時の弁（バルブ）周りの慣性力に対して弁を正常に作動させる役割を果たし、1分間に数千回という繰り返しの荷重を受ける部品である。エンジンの高回転化に伴い、弁ばねにはいっそうの高疲労強度が求められている。



最近の高性能エンジンでは、性能向上のため弁ばねのいっそうの高強度化が図られている。（写真は日産VQエンジン。資料提供：日産自動車（株））

エンジンにおける  
弁ばねの位置



((株)神戸製鋼所「KOBELTEEL NOW 2005」より)

高強度化により細径の弁ばねを使用するようになると、弁ばねの体積を減らすことができ、軽量化とコンパクト化、ひいては燃費向上の効果が得られる。最近では衝突安全性能向上の要請が高まり、歩行者がエンジンフード上に衝突しても硬いエンジンに直接衝突するのを防ぐため、エンジンを小型化し、エンジン上部のスペースを確保するようになっている。

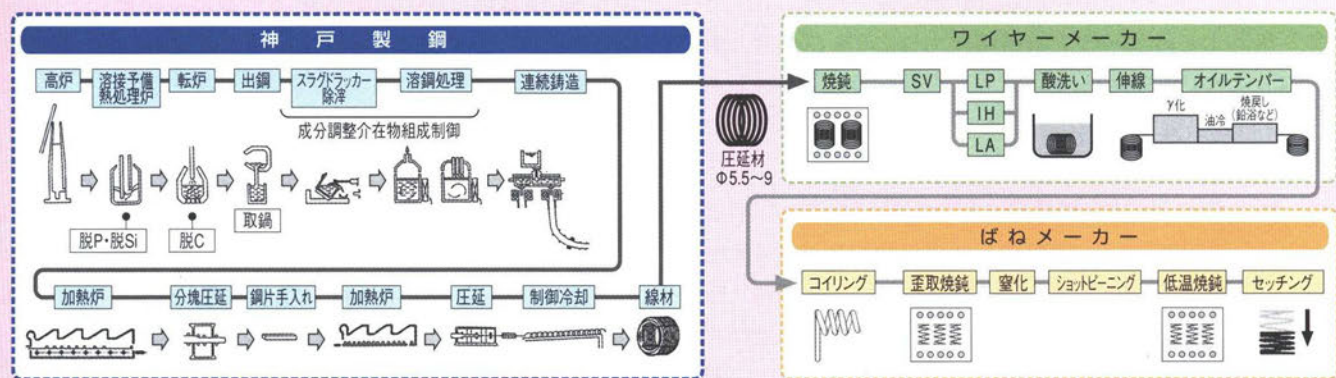
また弁ばねにとって、耐へたり\*性も重要な性能である。経年変化でばねの荷重が低下すると、エンジン高回転時の弁作動への影響が生じ、エンジン性能に影響するからである。

このような弁ばねを実現するため、使用される弁ばね用鋼には、高い性能が求められてきた。材料は、古くはピアノ線であったが、1980年代以降は高強度Si-Crオイルテンパー線が実用化された。オイルテンパー線とは、常温で伸線した鋼線を、連続的にまっすぐな状態で油などの冷媒を用いて焼入れした後、焼戻ししたものである。オイルテンパー線は微細な炭化物を析出させた焼戻しマルテンサイト組織を持ち、高い強度と靱性を発揮する。

弁ばね用鋼の疲労強度向上のためには、Si、Cr、Vなどの合金

\*へたり：ある一定の荷重が長時間負荷されることにより、ばねに加わる応力が弾性限度以内でも、永久変形する現象

## ■弁ばね製造工程



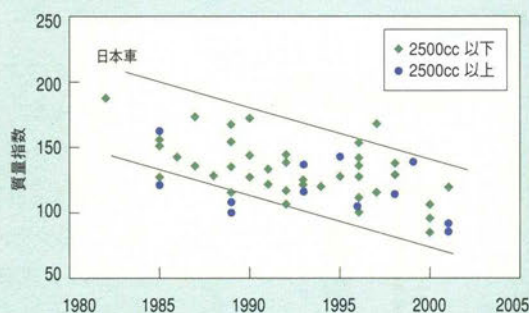
((株)神戸製鋼所ホームページより)

## ■弁ばねの例



一般的な弁ばねは線径2~5mm程度、重量は30~50g/個程度であるが、エンジン内では1分間に数千回もの荷重を受けている。((株)神戸製鋼所ホームページより)

## ■コンロッドの軽量化の変遷



元素の添加量を調整する方法がある。また、組織内部にある硬い非金属介在物 ( $Al_2O_3$  など) が破壊の起点となり疲労強度が低下する場合があるため、非金属介在物の形態を制御して軟質低融点介在物とし、疲労強度の低下を防止する技術などが実用化されている。

## ■表面処理により疲労強度を向上

弁ばね製造の段階で行われるショットピーニングも、疲労強度を高めるための有効な方法である。ショットピーニングとは、無数の鉄球などのショット材を高速度で金属表面に衝突させる処理であるが、これにより表層部に圧縮残留応力が付与されて、疲労強度が増す。最近では、ショットピーニングの多段化で、1段目より2段目のショットピーニングを比較的小径で硬い粒子を用いるなどの方法で、圧縮残留応力を向上し、いっそうの疲労強度向上が図られている。

窒化処理は、疲労強度を高めるための有効な手法として用いられている。窒化処理は、ばねの表面に、窒素を浸入拡散させ窒素化合物を形成させることにより、表層部を硬化させる方法である。

現在最も疲労強度の高い材料の1つに、窒化処理を前提とした高強度弁ばね用鋼がある。たとえば、窒化時の加熱による軟化を防ぐためSi-Cr-V鋼にSi、Crを増量したり、高強度化に伴う靱性低下を抑えるためC量を低減するなど、細かな成分の改良が図られている。

## ■コンロッド

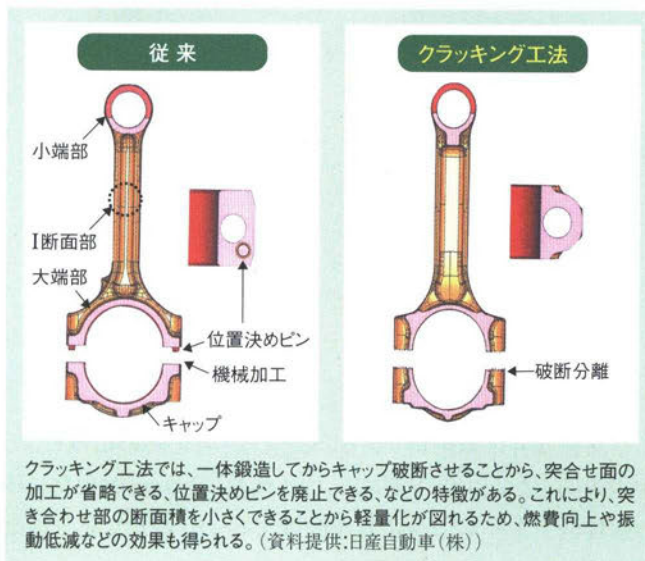
## ■周囲への波及効果が大きいコンロッド軽量化

エンジンでは、燃料圧力によるピストンの往復運動を、ピストンピン、コンロッドを介し、クランクシャフトの回転運動に変換する。コンロッドなどの運動部品の軽量化は、エンジンの慣性質量低減につながり、エンジン性能向上やクランクシャフトへの負荷低減などを可能とする。またエンジン振動の抑制、静粛性向上、さらにクランクシャフトの軽量化、摺動時のフリクション低減など、幅広い波及効果がある。その結果、燃費向上にもつながる。このような理由から、コンロッドの軽量化は長年にわたり取り組まれている大きな課題である。

コンロッドは、ピストンの往復運動をクランクシャフトに伝える役割を果たすため、エンジンの燃焼圧力による座屈強度と慣性質量による引張圧縮入力に対する疲労強度が要求される。そこで材料の高強度化を図ることが軽量化のために不可欠である。

コンロッドの材料には、特殊鋼を用いた鍛造品や、粉末焼結品などの種類があるが、コストの点で優位な鍛造品が多く用いられている。以前は炭素鋼を鍛造した後に焼入れ焼戻しの調質熱処理が施されたものが多かったが、現在では非調質鋼が主流となっている。非調質鋼は、熱間鍛造後の冷却中に調質鋼と同等の硬さになる鋼であり、焼入れ焼戻し処理の省略が可能のため、製造コスト低減と生産性向上に有効である。

#### ■コンロッドのクラッキング工法の原理



#### ■クラッキングコンロッドの軽量化の例



現在は、炭素鋼にVを添加しV炭窒化物の析出硬化を利用したフェライト・パーライト型非調質鋼が主流である。

材料強度を高めることによって軽量化できる部位は、おもにロッド部(I断面部)である。疲労強度向上のためには、ショットピーニングによる圧縮残留応力の付与が有効である。

座屈強度を表す指標として降伏強度があるが、Vを0.1%程度含む汎用的なフェライト・パーライト型非調質鋼は降伏比が低く、軽量化のためには高耐力化が必要となる。この解決策として、低炭素マルテンサイト型非調質鋼、高V非調質鋼(0.25%V)などが実用化されている。

#### クラッキング工法により加工工程を省略

最近のコンロッド製造技術として注目されるのが、クラッキング工法である。

通常コンロッドは、コンロッドとキャップに分けて別々に機械加工され、最終的に突き合わせてボルト締結により組み立てられる。これに対しクラッキング工法では、キャップと一体で鍛造、機械加工した後、大端部に大きな外力を加え破断分離させ、これを再度組付けする。クラッキング工法の大きな特徴は機械加工工程省略が図れることである。また同時にコンロッドの軽量化にも効果がある。それは、破断面でコンロッドとキャップを突き合わせ、位置がずれることなく締結することができるため、従来使用していた位置決めピンを省略することができ、それにより突き合わせ部の断面積を減らすことができるからである。

北米では焼結コンロッドが多くクラッキング工法はあまり用いられていない。ヨーロッパではC量0.7%の高炭素鋼(DIN C70S6)を使用したクラッキング工法が普及しているが、この材料は切削性が劣るなどの問題があった。これに対し、日本では、成分の調整により切削性を改善し、材料強度を高めるとともに、破断面が塑性変形せずクラッキング工法に適した非調質鋼が開発されている。

コンロッドの軽量化については、これまでスポーツカーなどでチタン合金やアルミニウム合金などが実用化された例がある。しかしコストの面などから、非調質鋼を始めとする鉄鋼材料が今後も多く使われるであろう。自動車に求められる運動性能向上や、社会的要請の高い地球環境問題解決や安全性の向上などをいっそう進めていくために、鉄鋼材料の高強度・軽量化とその利用技術は重要な役割を果たしていくことだろう。

- 取材協力 日産自動車(株)、日本発条(株)
- 取材・文 杉山 香里