軽量化と低コスト化を両立する 高強度コネクティングロッド用鋼の開発

岩間直樹^{*1)} 野村一衛^{*2)} 森元秀^{*1)}
矢野正明^{**2)} 真部豊久^{**3)}

1. 緒 言

自動車の低燃費化，高出力化に対して，特にエンジンのコネクティングロッド(図1，以下コンロッドと呼ぶ)のような運動部品の軽量化は，部品自体の重量低減と合わせて，慣性力，摩擦損失などの低減も加わり，大きな効果が期待できる．一般にコンロッドの多くは鉄系材料の鍛造品から製造されており，比重の小さなチタンやアルミ合金等への置換によって軽量化が達成される⁽¹⁾⁽²⁾が，反面，部品コストの増大を引き起こすため，一般の乗用車への適用は困難であった．そこで筆者らは，従来から使用している鉄鋼材料の高強度化により，薄肉軽量のコンロッドを開発することとした．開発に

図1 コンロッド外観。

* 愛知製鋼株式会社

1) 第1開発部第1材料開発室担当員

2) 第3開発部第1技術開発室室長

** トヨタ自動車株式会社

1) 第4開発センター第1材料技術部金属材料室担当員

2) 第4開発センター第1エンジン技術部第3機能設計室

3) 本社工場鍛造部技術員室

Development of High Strength Steels for the Lightweight and Low Cost Connecting Rod; Naoki Iwama*, Ichie Nomura*, Motohide Mori**, Masaaki Yano**, Toyohisa Manabe**
(*Aichi Steel Works, LTD. **Toyota Motor Corporation)

1997年1月31日受理

あたっては，コンロッドとして要求される部品性能および現状の部品製造工程(図2)を十分に考慮に入れた「コンロッドに最も適した高強度非調質鋼」を目標に，部品設計，材料開発，生産技術の各部門が一体となったコンカレントにて進めた．その結果，従来のコンロッドに比べ約20%の高強度化が低コストにて達成できる高強度非調質鋼を開発し，コンロッドを軽量化することに成功したので，その開発経緯，技術，開発品について紹介する．

2. 高強度コンロッド用鋼の考え方

(1) コンロッドの軽量化設計

コンロッド各部位の名称を図1に示す．小端部はピストンピンを介してピストンに，大端部はクランクシャフトに連結されており，コンロッドはピストンの往復運動をクランクシャフトの回転運動として伝達する機能を有する．そのため，コンロッドには爆発力，鞭打力および回転の慣性力が負荷され，特にコラム部にはそれらに耐え得る座屈強度と疲労強度が要求される．

一方，エンジン性能を左右する往復運動系質量の低減に対しては，コラム部の軽量化が最も効果的である．

以上のことから，本開発においてはコラム部の座屈強度および疲労強度を20%向上させることにより，コラム部断面積を20%減少させる薄肉軽量コンロッドを目標とした．

(2) コンロッド強度と材料開発

座屈強度については，コラム部の圧縮応力に対する弾性変形限界であることから，材料の0.2%耐力と相関があり，降

図2 現状のコンロッド製造工程。

伏比(0.2%耐力/引張強さ)の向上が必要である。

一方、コンロッドの疲労強度については、対象部位のコラム部が熱間鍛造肌のままで切削加工されないことから、材料自身の疲労強度以外に、その表面性状によっても大きく影響される。よって耐久比(疲れ限度/引張強さ)の向上に加えて、コラム部における表面粗さの低減、表面の圧縮残留応力の増加、脱炭による表面硬さ低下の抑制等が必要となる。

(3) 生産性と材料開発

コンロッドは現状図2に示されるような工程で製造され、生産性の点から良好な熱間加工性と被削性とが要求される。

熱間加工性は、材料の変形能および変形抵抗によって決定され、材料自身によっても異なるが、鍛造温度によって大きく変化する。図3に熱間鍛造における材料歩留り、鍛造型寿命と鍛造温度との関係を示すが、鍛造温度の上昇に伴って材料歩留り、鍛造型寿命ともに向上する⁽³⁾ことがわかる。これを実際の部品コストに換算すると、鍛造温度が1000℃の場合に比べ、鍛造温度が1200℃の場合には約3%のコスト低減となる。部品強度面からは、鍛造温度を極力低くして脱炭を抑制することが望ましく、従来品はSMn443相当の鋼を1000℃で熱間鍛造して製造されているが、本開発においては生産性を重視し、敢えて鍛造温度を高めめの1200℃に設定した。

一方、被削性については、一般に硬さの増加に伴って低下することから、被切削加工部位である小端部と大端部の硬さを現用品と同等以下にすることを目標とした。

3. 高強度コンロッド用鋼の開発

(1) 耐久比および降伏比に及ぼすV量と組織の影響

材料自身の耐久比向上に対しては、「V量の増加により非調質鋼の耐久比が向上する」という過去の知見⁽⁴⁾に基づき、更に添加量を0.2%以上にまで増加させた高V鋼を用いて、組織が耐久比に及ぼす影響を検討した。その結果、図4に示されるように、旧オーステナイト粒が微細でかつフェライト・パーライト組織を有する場合に、非調質にて調質低合金鋼

図3 鍛造温度と材料歩留り、鍛造型寿命との関係。

図4 耐久比に及ぼす旧オーステナイト粒径と組織の影響。

図5 旧オーステナイト粒径に及ぼす熱間加工温度とV量の影響(加熱温度1473 K(1200℃))。

よりも優れた耐久比を示し⁽⁵⁾、目標を満足することが確認された。また、高Vのフェライト・パーライト鋼は、0.7以上の優れた降伏比を示し、目標を満足することが確認された。

(2) 旧オーステナイト結晶粒径に及ぼすVの影響

鍛造温度を1200℃に上昇させることにより、旧オーステナイト結晶粒の粗大化が懸念されるため、V鋼の旧オーステナイト粒径に及ぼす熱間加工温度の影響について検討した。結果を図5に示すが、V添加量の増加により旧オーステナイト粒径が著しく微細化されることが確認された⁽⁶⁾。この効果は、V炭窒化物の加工誘起析出によるものと考えられる。

(3) 表面脱炭硬さに及ぼすC量およびV量の影響

表面脱炭による疲労強度の低下は、図6に示すように、脱炭層の硬さと良い相関があることが示されている⁽⁷⁾。そこで表面脱炭層の硬さ低下量に及ぼす合金元素の影響を検討した結果、図7に示されるように、低C化およびVの添加が表面硬さ低下を抑制する⁽⁸⁾ことを知見した。これは、低C化により脱炭層と芯部とのC量の差が小さくなること、およびV炭窒化物により脱炭層のフェライトが析出強化される

図6 表面層の硬さと耐久限度の関係。

図7 表面硬さ低下量(表面硬さ－芯部硬さ)に及ぼすC量とV添加の影響(加熱温度1200℃)。

表1 開発鋼の化学成分。

(mass%)				
C	Si	Mn	Cr	V
0.20	0.25	0.80	0.20	0.25

ことに起因するものと考えられる。

(4) 開発鋼を用いたコンロッドの強度評価

以上の検討より、コンロッドの部品強度向上と生産性向上を両立させる高強度コンロッド用鋼として、表1に示す低C高V鋼を開発した。開発鋼は実コンロッド評価において、座屈強度および疲労強度が従来品に比べて20%向上することが確認された。また図8に実コンロッドの各部位における断面平均硬さを示す。コラム部においては従来品と開発品は同等の硬さであるのに対し、小端部および大端部においては開発品の方が低下しており、良好な被削性が得られている。これは高V鋼における硬さの冷却速度依存性が高いことと、大小端部とコラム部の冷却速度の差をうまく活用することにより、達成されたものである。

図8 実コンロッドの各部位における断面平均硬さ。

図9 従来コンロッドと開発コンロッド。

4. 実用化状況、将来性および特許

開発されたコネクティングロッド用高強度非調質鋼は、現在トヨタ自動車のカローラ、マークIIをはじめ、各種乗用車のエンジンにコンロッドとして適用されており、低燃費と高出力化に大きく貢献している。一例として、図9に従来コンロッドと開発コンロッドとの比較を示す。開発品は、従来品に比べて特にコラム部が細く、往復運動系重量にて19%の軽量化となっている。また製造コストは4%低減されている。

開発鋼の現在の生産量は月産約500tであり、今後も更にコンロッド用として急速な普及が見込まれている。またコンロッドと同様、熱間鍛造肌にて使用される自動車足廻り部品(ロアアーム等)へも適用が検討されている。

なお、本開発および技術に関連する出願特許は、特開平2-327478を含め、合計6件となっている。

文 献

- (1) 椎名治男, 他: 自動車技術, 44(1990), 81.
- (2) 斎藤 卓, 他: まてりあ, 34(1995), 611.
- (3) 真部豊久, 他: 自動車技術会学術講演会前副集, 961(1996), 9632686.
- (4) 野村一衛, 他: 材料とプロセス, 1(1988), 1713.
- (5) 岩間直樹, 他: 材料とプロセス, 9(1996), 504.
- (6) 野村一衛, 他: 鉄と鋼, 82(1996), No. 11, 941.
- (7) 青山威恒: 自動車構造用鋼の強度評価に関する研究(豊田中央研究所における学位論文), (1967), 94.
- (8) 森 元秀, 他: 材料とプロセス, 9(1996), 505.