

加工性と板厚精度に優れる高炭素熱延鋼板 (スーパーホット-F)の開発

中村展之¹⁾ 仮屋房亮¹⁾ 小林 崇¹⁾
梶ヶ谷充敏²⁾ 金本規生³⁾

1. はじめに

高炭素鋼板は、機械構造用鋼として自動車の駆動系部品やシート部品などに幅広く使用されている。これらの部品は複雑形状を呈しており、加えて、強度、耐磨耗性および寸法精度など高い品質が求められる重要保安部品が多いため、非常に多くの工程を経て製造される。

一方、近年、自動車メーカーでは、部品製造コスト低減のため工法変更による工程省略の検討が活発になされている。例えば図1に示すように、CVTの油圧部品は、従来、高炭素鋼の鑄・鍛造および切削加工後、電子ビーム溶接で一体化していたが、最近では、高炭素鋼板を用いてバーリング加工と圧縮といった、板金プレスと冷間鍛造の組合せにより差厚一体成形する工法が開発されている⁽¹⁾⁽²⁾。さらに、熱処理もバッチ熱処理(浸炭、窒化)から高周波焼入れ導入によるインライン化によってコスト削減を図っている場合も多い。しかし、従来の高炭素熱延鋼板では、バーリング加工時などに割れが発生するため、圧縮前に端面の切削加工を追加しているのが現状である。加えて、コイル内の板厚変動に起因して、成形時に肉引けや余肉が発生し、ニアネットシェイプ成形が困難になる場合も少なくない。また、普通鋼に比べて硬質なため金型寿命上も好ましくない。

したがって、自動車部品への高炭素鋼板の適用が進むと、優れた加工性と板厚精度を兼ね備え、かつ高周波焼入れ性に優れた高炭素鋼板の開発が期待される。本報告では、このような背景から加工性を大幅に向上させ、かつ板厚精度に優れ

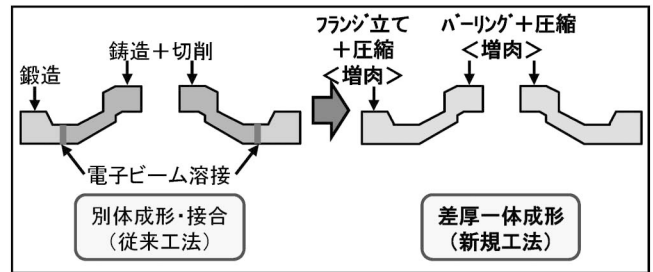


図1 板金プレスと冷間鍛造の組合せによる工法変更例。

た高炭素熱延鋼板について紹介する。

2. 開発経緯および基本設計

本報告の高炭素熱延鋼板は、主としてCを0.35 mass%含有し(JIS S35C)、熱間圧延したのち、A₁点直下でセメントタイトの球状化焼鈍を施して製造される。自動車の駆動系やシート部品用素材として適用される場合、次のような材料特性が要求される。

- (1) 延性、軟質性
- (2) バーリング加工性、打抜き性、ファインブランク性
- (3) 焼入れ性
- (4) 板厚精度

まず、上記課題(1)~(3)を解決するため、セメントタイトを均一かつ微細に分散させることに着目し、熱延板の組織制御を積極的に行った。従来の製法では、熱間圧延後の冷却速度が遅いため、熱延板は初析フェライトとパーライトの粗大混合組織を形成し、球状化焼鈍材は粗大なセメントタイトが不均一に分散した組織を呈してしまう。これを回避するため、熱間圧延後に急速冷却が可能な設備を用いて、初析フェライトを抑制し、微細パーライト単一組織に制御した。急速冷却を実施する場合、図2に示すように、変態開始点は、従来の冷却に比べて、核生成頻度の増大により短時間側へ移行するため、冷却速度の制御が重要となる。また、焼入れ防止のた

* JFE スチール株式会社

1) スチール研究所 自動車鋼板研究部 主任研究員
東日本製鉄所 2) 千葉地区熱延部 熱延技術室 主任部員
3) 商品技術部 薄板室 主任部員

Development of High-Carbon Hot-Rolled Steel Sheet with Excellent Formability and Thickness Accuracy "SUPERHOT-F"; Nobuyuki Nakamura, Nobusuke Kariya, Takashi Kobayashi, Mitsutoshi Kajigaya, Norio Kanamoto (JFE Steel Corporation) 2008年10月31日受理

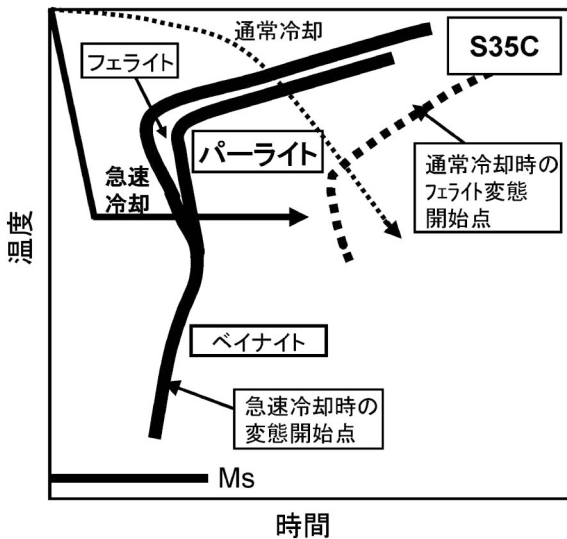


図2 S35C材の熱間圧延後の変態組織図(模式図)。

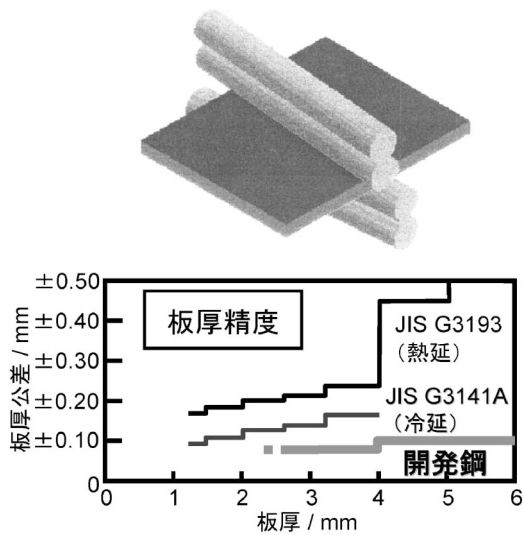


図3 ペアクロス圧延概念図および板厚精度。

め、マルテンサイト変態開始点(Ms)以上で急速冷却を停止させることも不可欠である。このようなプロセス上の課題を解決することにより、鋼板の開発を工業的に実現した。

また、課題(4)の板厚精度は、図3に示すように、ペアクロスミルを有する最新鋭の熱間圧延設備で、高精度板厚制御により、熱延鋼板でありながら、板厚4mm未満で、±80μmと冷延鋼板に匹敵する高板厚精度を工業的に実現した。

3. 組織制御と加工性の向上

自動車の駆動系部品やシート部品などの一体成形では、バーリング加工性、延性および軟質性が要求される。バーリング加工(伸びフランジ変形)は、打抜き加工された材料端部に加工硬化層やマイクロボイドを含む過酷な条件下で行われる⁽³⁾。したがって鋼板が極限変形を受けた場合、延性破壊の起点となるマイクロボイドの生成や伝播が生じにくい材料ほど優れており、ボイドの起点となるセメンタイトが球状微細

でかつ均一に分散した組織ほど好ましい。一方、延性は、フェライト粒が整粒かつ等軸であるほど、軟質性は、フェライト粒が粗大であるほど良好であるが、過度な粗大化は延性の低下を招く。以上のようなことから、均一微細に分散したセメンタイトと均一な等軸フェライトからなる組織が最も適している。

図4にS35C材のマイクロ組織を示す。従来鋼では、熱延ままは初析フェライトとパーライトの混合組織を呈するため、焼鈍後もセメンタイトが不均一分散した組織となる。一方、開発鋼では、熱間圧延後の急速冷却により、熱延板は微細パーライト単一組織が形成されるため、焼鈍後はセメンタイトが均一微細に分散し、かつフェライト粒も均一で等軸な組織が得られる。

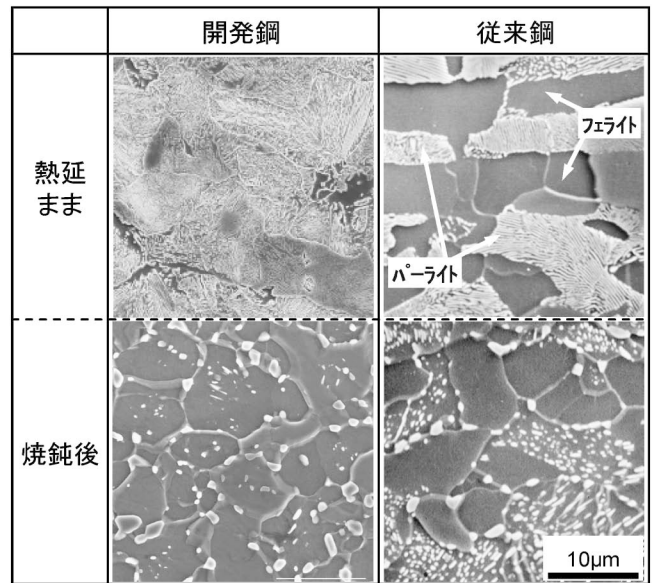


図4 開発鋼と従来鋼の断面マイクロ組織(S35C)。

4. 開発鋼の特性

(1) 開発鋼の組織と機械的性質

JIS S35C相当の開発鋼は、図4に示したように、等軸で均一なフェライト粒とともに均一微細に分散したセメンタイト粒からなる組織を呈している。開発鋼の特性は、表1に示すように、引張強さ(TS)は440MPa以上を確保しながら、従来鋼に比べて硬さ(Hv)は低く、伸び(E1)は40%の高い値を示し優れた成形性を有する。バーリング加工性の指標となる穴拡げ率(λ)は、従来鋼に比べて相対値で50%程度も高い。なお、 λ の評価条件は以下の通りである。

初期穴：10mmφ、打抜きクリアランス20%

ポンチ：50mmφの円筒平底ポンチ

穴拡げ率： $\lambda(\%) = (d - d_0) / d_0 \times 100$

ここで、 d_0 ：初期穴径、 d ：板厚貫通割れ時の穴径

(2) 開発鋼のファインブランク性

バーリング加工性が高い開発鋼は、極限変形を受けた際のマイクロボイドの生成および伝播が生じにくいことから、打

表1 開発鋼と従来鋼の機械特性(S35C, 板厚 5.0 mm).

	YP(MPa)	TS(MPa)	El(%)	Hv	λ (%)
開発鋼	304	466	40	146	66
従来鋼	317	506	33	156	44

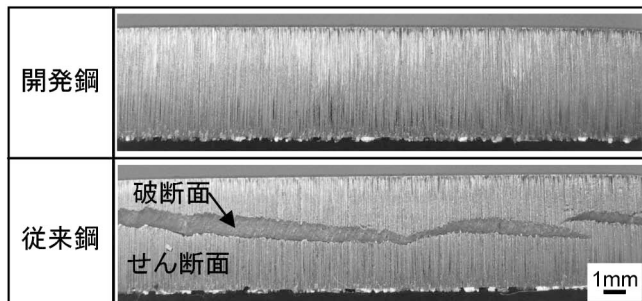


図5 開発鋼と従来鋼のファインblank端面(S35C, 板厚 5.0 mm).

抜きやファインblankにも適している。

図5にファインblank端面の外観を示す。従来鋼では、板厚中央部付近に大きな破断面が認められるのに対して、開発鋼では、板厚全面にわたってせん断面が得られ、優れた端面性状を示す。また、板厚精度に優れた開発鋼は、ファインblankにおいて重要なクリアランス制御の観点からも有利である。

さらに、表1に示したように、軟質であることから、金型寿命の向上に伴うメンテナンス低減の観点から部品の高生産性にも寄与する。

(3) 開発鋼の高周波焼入れ性

開発鋼は、微細炭化物を均一に分散させることで、加工性の向上とともに焼入れ性の向上も図っている。開発鋼の焼入れ性は、高周波焼入れ装置を用いて、270°C/sの速度で950°Cまで急速加熱後、保持時間0sで即水冷し、断面硬さを測定することにより評価した。

開発鋼は、独自の成分設計により加熱中の γ 粒成長性を向上させることにより、図6に示すように、最表層から板厚中央部まで高い焼入れ硬さを確保することが可能になり、高周波焼入れによる高生産性と省エネルギー化にも寄与する。

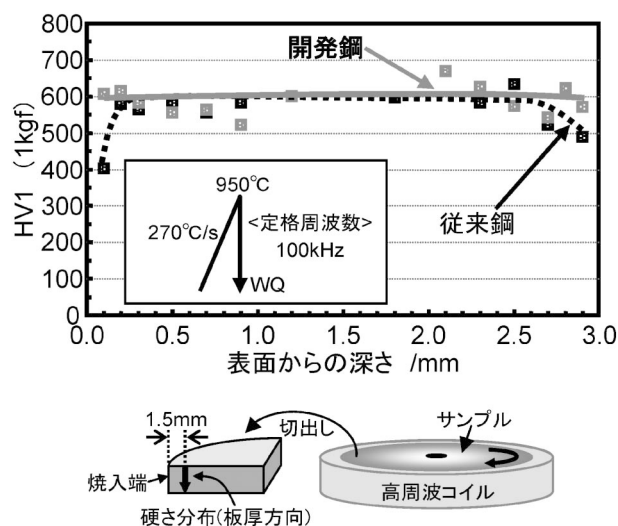


図6 開発鋼と従来鋼の焼入れ特性比較(S35C, 板厚 3.0 mm).

5. 開発鋼の工業的意義と将来性

開発鋼は、良好な加工性による一体成形化、優れた板厚精度によるニアネットシェイプ成形および製品歩留りの向上、さらには優れた高周波焼入れ性による熱処理工程の短時間化などに貢献し、工業生産上極めて大きな意義を持つ。

開発鋼は、現在、ユーザーにおいて成形性および焼入れ性などに対して、種々の試験がなされており、良好な評価を受けている。

6. 特 許

特許出願2件(特開2008-156712, 特開2007-039796)ほか出願中。

文 献

- (1) 大西道成：第38回金属プレス加工技術研究会(2002), 11.
- (2) 石原貞男, 峯 功一：第216回塑性加工シンポジウム(2002), 15.
- (3) 木下正行, 木村 浩, 大沢紘一, 大北智良, 大和田 浩, 堀雅司：NKK 技報 No. 145(1994), 1.