

製品紹介

Products

強度・靱性バランスに優れた時効硬化型ベイナイト非調質鋼

1. はじめに

近年、自動車は持続可能な社会の実現に向け、カーボンニュートラル（以下、CNという）化のため、化石燃料を使用した内燃機関車から、電気自動車、ハイブリッド車を始めとする電動車への置き換えが進んでいる。電動車はバッテリー重量が重く、車重が重くなるため、走行距離延長や車室内のスペース確保のため、部品の小型化・軽量化が求められる。すなわち素材に対する高強度化ニーズがますます高まっている。同時に、電動車部品の製造工程をCNにする活動も各社で広がっている。

これらのニーズに応えるため、大同特殊鋼株（以下、当社という）では、ガス浸炭工程の「真空浸炭」化^{1)・2)}や熱間鍛造工程の「冷間鍛造」化¹⁾、球状化焼なましや調質処理（焼入・焼戻し）などの「熱処理工程省略」に対応した鋼材^{1)・3)}開発を実施してきた。その中でも、熱間加工後の調質処理を省略することができる非調質鋼は機械構造部品に広く利用されている。従来の非調質鋼の多くは中炭素鋼に微量のバナジウムを添加したフェライト・パーライト型非調質鋼（以下、F+P型という）であり、900 MPa以上の強度を得るためには炭素量を高めなければならないが、靱性や被削性が著しく低下する問題があり、高強度化は困難と考えられてきた。そこで、当社では、F+P型に比べて高強度で、かつ、被削性に優れた時効硬化型ベイナイト非調質鋼（以下、B時効型という）の開発に取り組んできた^{4)・5)}。ただし、従来のB時効型は中炭素合金鋼の調質材に比べ、硬さ見合いの靱性が著しく低下する問題があった。そこで、当社ではさらなる研究を重ね、強度・靱性バランスを従来にないレベルに高めた鋼を開発したので紹介する。

2. 開発鋼の特徴

(1) 開発鋼成分

開発鋼の組成を表1に示す。比較として、一般的な中炭素合金鋼の調質材として広く用いられているJIS-SCM435の代表組成を併記する。なお、開発鋼の成分量

の増減はSCM435を基準として記載している。開発鋼は時効硬化の活用による被削性向上と、高強度の両立を目的にMo、Vを増量している。また、セメントナイト（以下、 θ という）制御・転位易動度向上による靱性向上を目的に、Cを低減、Mn、Niを増量している。

表1. 主な化学成分（mass%）。

鋼種	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	V	調質
開発鋼	減	0.25	増	添加	減	増	添加	無
JIS-SCM435	0.35	0.25	0.8	-	1.20	0.15	-	有

(2) 強度・靱性

図1に油圧サーボ試験機を用いた破壊靱性試験結果を、図2にそのマイクロ組織観察結果をそれぞれ示す。一般に、靱性は硬さ（引張強度）と負の相関があることが知られている。硬さ見合いの靱性を向上させるためには、破壊起点となる θ などの第2相粒子を低減し、き裂の生成を抑制すること、交差すべりを促進することでへき開破壊を抑制すること、などが知られている。

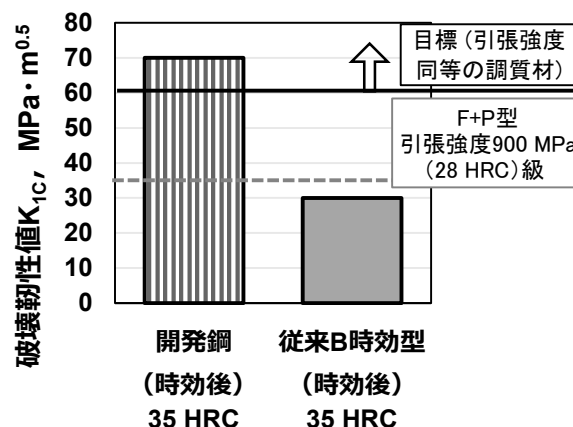


図1. 開発鋼の靱性評価結果。

当社では、B時効型の θ サイズはC量の低減だけでなく、ベイナイト変態開始温度（Bs点）の低下によっても小さくなることを明らかにした。図2に示すように、開発鋼は鍛造後の残留オーステナイト（ γ ）が小さく、かつ鍛造冷却中の残留 γ へのCの濃化が少なくなっ

ており、その結果、時効硬化処理時に分解生成される θ が小さくなることを確認している。従来B時効型に対して、この θ 制御とNiによる母材韌性向上を適用した結果、図1に示すように、開発鋼は従来B時効型およびF+P型に比べて大幅に韌性が向上し、調質材同等以上の優れた韌性を達成している。なお、実部品でも開発鋼は引張強度1050 MPa以上で、優れた韌性を有することを確認している。

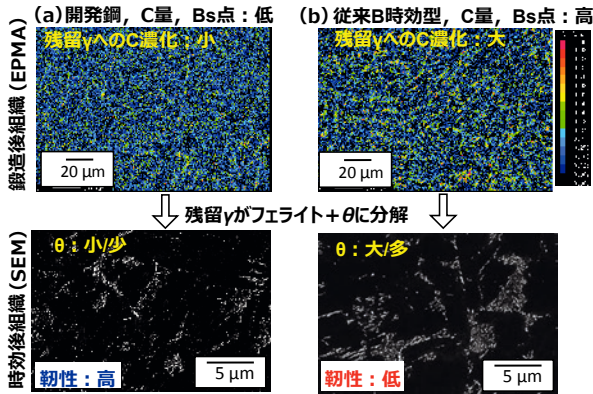


図2. 開発鋼のマイクロ組織（上：鍛造後，下：時効後）。

(3) 切削加工性

一般に機械構造部品は多くの切削加工が施されるため、強度特性に加えて切削加工性が要求される。開発鋼は時効硬化処理を活用することで1050 MPa以上の強度を得ながら、切削加工時の硬さを低減することができる。

図3にドリル加工試験結果を示す。切削加工時の組織がベイナイトである開発鋼は、組織がフェライト・パーライトの場合に比べ、良好な切削加工が可能であることを確認している。本結果は、ベイナイトは微細炭化物が均一に分散した組織であるため、真直性に優れていたこと、せん断応力が低減したこと、によると考えられる。

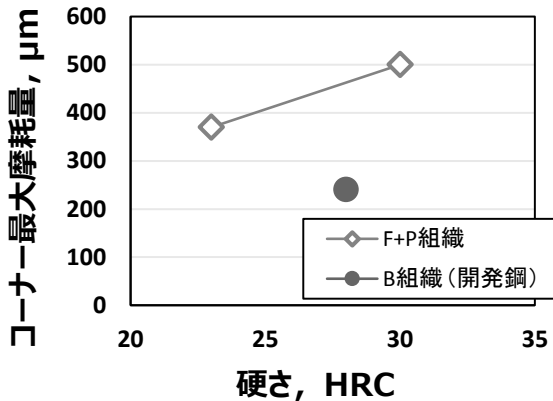


図3. 開発鋼のドリル加工性評価結果。

(4) 耐水素脆化特性

一般に引張強度が1000～1200 MPa以上の高強度鋼では水素に起因する遅れ破壊が発生しやすくなると言われている。そこで、耐水素脆化特性を評価するため、陰極水素チャージ試験を用い、侵入水素量を評価した結果を図4に示す。図4から、開発鋼は一般的な調質材より高い水素トラップ能を有していることがわかる。また、昇温脱離水素分析より、200℃以上のピーク（強くトラップされている非拡散性水素）が大きいことを確認している。本結果から、時効硬化処理により析出したNaCl型のナノサイズのMo、V複合炭化物が、水素トラップサイトとして作用することで、開発鋼は耐水素脆化特性に優れると推察される。

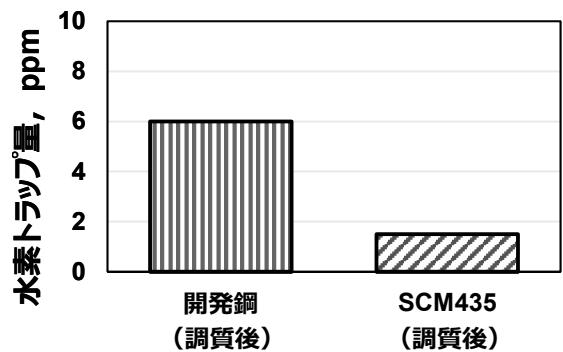


図4. 開発鋼の水素チャージ特性評価結果。

3. おわりに

今回、強度・韌性バランスを大幅に向上させ、中炭素合金鋼の調質材を置き換え可能な、時効硬化型ベイナイト非調質鋼の諸特性を紹介した。現在、本開発鋼は噴射系部品として実用化されている。

近年、機械構造部品に対して高特性化や低コスト化に加え、環境負荷低減（カーボンニュートラル）の要求が高まっている。当社においては、今後も新しい技術を取り入れた鋼材・プロセス開発を行い、ユーザーの多様なニーズに応え、競争力向上に貢献し続けていく所存である。

（文献，引用）

- 大同特殊鋼(株)：電気製鋼，84(2013)，67.
- 井上圭介：電気製鋼，90(2019)，79.
- 梅森直樹，藤原正尚，松村康志，保母誠：電気製鋼，81(2010)，123.
- 木村和良，高田勝典，保母誠：電気製鋼，79(2008)，61.
- 山崎歩見，宮崎貴大，増田大樹：電気製鋼，84(2013)，39

(問合せ先)

大同特殊鋼(株) 鋼材営業本部
材料技術サービス部
名古屋技術サービス室
酒井康明
TEL : 052-308-5473
FAX : 052-608-5981
e-mail : y-sakai@ds.daido.co.jp



大同特殊鋼(株) 技術開発研究所
構造材料研究室
大橋亮介
TEL : 052-611-9416
FAX : 052-611-7399
e-mail : r-oohashi@ac.daido.co.jp

