

Development of High Carbon HISTORY Steel Tube with Excellent Formability



河端 良和

Yoshikazu Kawabata
技術研究所 鋼管・鋳物研究部門 主任研究員(課長)



岡部 能知

Takatoshi Okabe
技術研究所 鋼管・鋳物研究部門 主任研究員(主席掛長)



小山 康衛

Yasue Koyama
知多製造所 商品技術部 主査(部長補)

要旨

川崎製鉄は、次世代電縫鋼管製造技術としての HISTORY プロセスを開発した。このプロセスでは、世界で初めて電縫鋼管の温間縮径圧延を採用したことにより、多くの新機能を有する鋼管を製造できる。高炭素鋼管の場合には、温間縮径圧延により、従来の焼鈍法では数時間が必要であったセメントタイトの球状化を数秒で完了させることが可能で、高加工性の鋼管を高生産性で製造できる。この高加工性高炭素鋼管を用いることで、冷間で複雑な形状の製品を製造できたり、冷間での加工力を小さくできるなどのメリットが得られる。

Synopsis:

Kawasaki Steel has developed HISTORY process as the next generation technology of manufacturing electric resistance welded steel tubes. Steel tubes with excellent properties can be produced by warm-reducing process which is put into practice in the HISTORY process for the first time in the world. In high carbon steel tubes, spheroiding of cementite that takes some hours in conventional annealing methods can be completed in several seconds by warm-reducing process. This effect of warm-reducing process makes it possible to produce high carbon steel tubes of excellent formability with high productivity. The HISTORY high carbon steel tube having excellent formability enables the cold forming of complicated shapes and the reduction of working force in cold working.

1 緒 言

自動車のスタビライザーやドライブシャフトなどの部品においても、高剛性と軽量化を両立させるために、電縫鋼管を用いて中空化することが進められている¹⁾。これらの部品は、非常に高い疲労強度が必要であるために、高炭素鋼を焼き入れ、焼き戻して製造される。このような用途の高炭素電縫鋼管は、造管時の加工硬化、シーム部の焼き入れ硬化が大きく、加工が必要な場合は、造管後の熱処理が必要となる。

高炭素鋼の熱処理としては、一般に焼準が行われる²⁾。しかし、焼準を行っても、高炭素鋼のミクロ組織はパーライトが多く、必ずしも十分な加工性が得られない。さらに、加工性を向上させるためには、セメントタイト球状化焼鈍が行われるが、熱処理時間が数時間と長く³⁾、脱炭などの問題を生じやすい。

また、スタビライザーやドライブシャフトなどの部品では、一般に細径厚肉が必要とされる。しかし、細径厚肉になると、電縫鋼管の場合は、曲げ成形が難しくなり、製造が困難になる。そのため、中空化を適用できるサイズが限られていた。

当社は、次世代電縫鋼管製造技術としての HISTORY プロセスを

開発した。このプロセスでは、世界で初めて電縫鋼管の温間縮径圧延を採用したことにより、多くの新機能を有する鋼管の製造が可能となった。その新機能の一つとして、短時間でセメントタイトを球状化できることがある。また、太径から温間縮径圧延して製造するために、細径厚肉の鋼管を比較的容易に製造できる。ここでは、開発鋼管の特性について報告する。

2 温間縮径圧延によるセメントタイトの球状化

高炭素鋼の冷間加工性を向上させるためには、パーライトを球状化セメントタイトにすることが有効である。そのために、一般には、700°C 程度の温度で数時間保持することが行われるが、鋼管の工程的な生産には適用が難しい。球状化時間を短縮して、オンラインで完了できる技術が望まれていた。

球状化時間を短縮するためには、パーライト中のセメントタイトを機械的、あるいは、熱的に分断することが有効と考えられる。実際、焼鈍前に冷間加工を行うこと、また、球状化焼鈍前に A_1 変態点直上に加熱して、パーライト中のセメントタイトを一部再固溶させることが有効であることが知られている³⁾。これらの方法を組み合わせた温間縮径圧延により、短時間で球状化を達成できる可能性が考えられる。

そこで、セメントタイトの形状に及ぼす縮径圧延温度の影響を調査

* 平成13年9月17日原稿受付

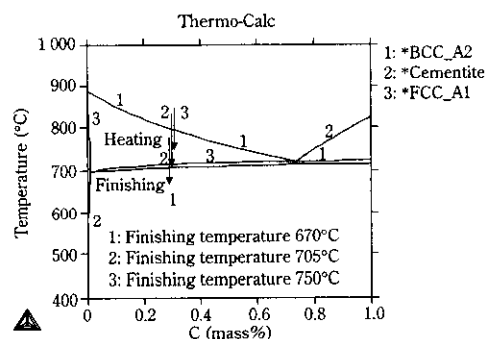


Fig. 1 Reducing temperature and calculated Fe-C-0.2%Si-0.8%Mn phase diagram

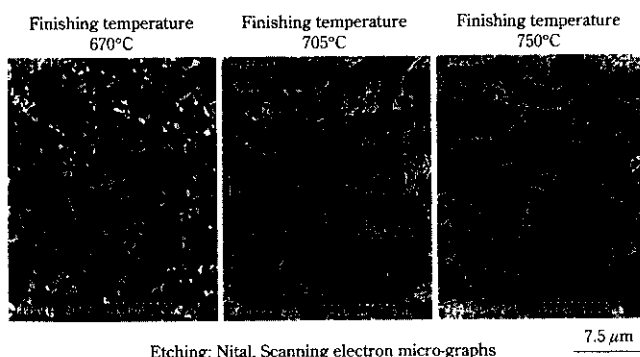


Photo 1 Effect of reducing temperature on microstructure

した。供試材には、0.3%C-0.2%Si-0.8%Mn 鋼を用い、Fig. 1 の平衡状態図上に示すような加熱温度と圧延終了温度で縮径圧延を行った。Fig. 1 のそれぞれの矢印の始点が加熱温度、終点が圧延終了温度である、この図から、圧延がどのような組織で行われているかが推定できる。Photo 1 に、縮径圧延終了後のミクロ組織を示す。縮径圧延温度が低下するほど、セメンタイトの球状化が進み、圧延終了温度が A_1 変態点（約 720°C）以下では、わずか数秒の圧延時間でも、セメンタイトを球状化することが可能である。この効果は、前述したように、 A_1 変態点直上に加熱し、 A_1 変態点直下で圧延することにより、パーライト中のセメンタイトを熱的あるいは機械的に分断できたためと考えられる。

また、このような A_1 変態点直下では、縮径圧延による加工硬化は比較的小さく、圧延ままでも、以上のようなセメンタイト球状化による加工性向上を利用できる。

3 開発鋼管の加工性

3.1 引張り特性

Table 1 に示す化学成分の熱延鋼板を電縫鋼管に成形後、温間で縮径圧延を行い、引張り試験、ミクロ組織および集合組織の観察を行った。また、同じ成分の電縫鋼管を焼準して、引張り特性を比較した。

引張り試験は、鋼管の長手方向から JIS12 号 A の引張り試験片を採取して行った。また、長手方向と幅方向に歪ゲージを添付して、長手方向の歪みが 6~7% の範囲での幅方向歪みと長手方向歪みの傾きから r 値を計算した。

Table 1 Chemical composition

(mass%)		
C	Si	Mn
0.42	0.2	1.4

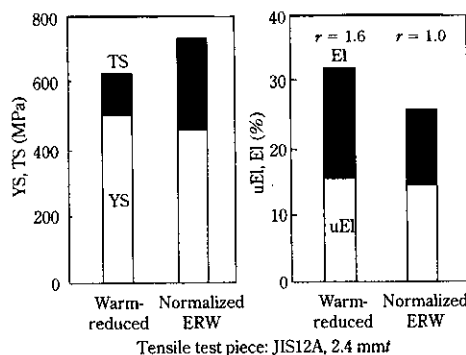


Fig. 2 Tensile properties of warm-reduced high carbon steel tube

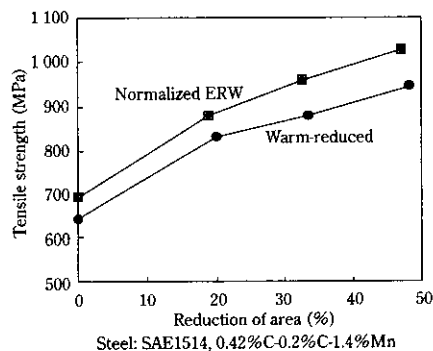


Fig. 3 Tensile strength of warm-reduced high carbon steel tube after cold drawing

温間縮径圧延後の引張り特性を焼準した電縫鋼管と比較して Fig. 2 に示す。温間縮径圧延材は、焼準材と比較して、強度が低く、伸びが高い。また、 r 値も高くなる。伸びに関しては、均一伸び uEl の向上は小さく、局部伸び $El-uEl$ の向上が著しい。この効果は、セメンタイトの球状化により局部延性が改善されるため、および、縮径圧延により形成された圧延集合組織により r 値が高くなったためと考えられる。なお、後者の機構については、別に報告する⁵⁾。

3.2 冷間加工性

3.2.1 引き抜き加工性

高炭素鋼管は、寸法精度や表面粗度を調整するために、冷間引き抜きを行い、焼鈍、または、焼準して用いられる場合が多い。温間縮径圧延ままでセメンタイトの球状化が進んだ開発鋼は、冷間加工に必要な力を小さくできる。Fig. 3 に種々の減面率で冷間引き抜きを行った後の引張強度を示す。減面率が大きくなるにしたがって、いずれの鋼管も加工硬化により、引張り強度が高くなり、冷間加工に必要な力が大きくなる。しかし、温間縮径圧延した開発鋼は、焼準した電縫鋼管に比べていずれの減面率でも引張り強度が低く、冷間加工に必要な力も小さいと推定できる。

3.2.2 押し込み加工性

電縫鋼管の加工方法の一つとして、内面にプラグを入れて増肉を

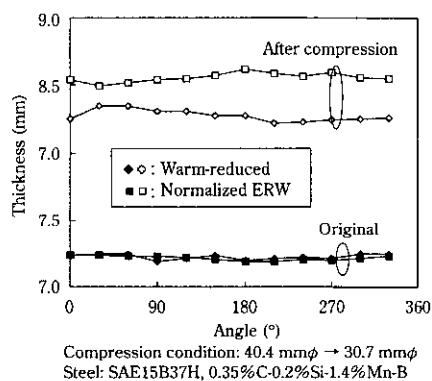
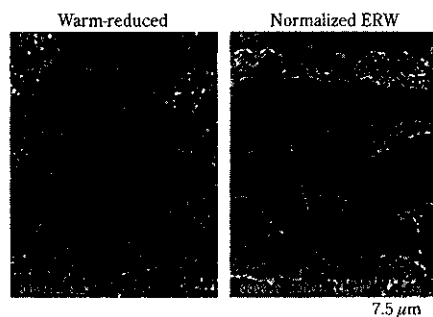


Fig. 4 Effect of warm-reducing on increasing thickness in compression



Steel: STKM15A, 0.3%C-0.2%Si-0.8%Mn, Etching: Nital

Photo 2 Effect of warm-reducing on microstructure after cold drawing and annealing

抑制しながら行う押し込み縮径がある。このような加工では、縮径加工における増肉が小さい方が加工に必要な力を小さくできる。Fig. 4 に、内面のプラグなしで行った押し込み縮径加工時の肉厚変化を示す。供試材には、HISTORY 鋼管と同じ成分の焼準した電縫鋼管を用いた。HISTORY 鋼管は、焼準した電縫鋼管に比べて増肉が小さく、加工に必要な力を小さくできると考えられる。この効果は、別に述べる HISTORY 鋼管の圧延集合組織⁹⁾と関係していると考えられる。すなわち、加工によって、その変形が容易になるような変形集合組織が形成されると考えると、縮径されて、肉厚が増加せずに長手方向に延びる縮径圧延で形成された HISTORY 鋼管の集合組織は、本実験の押し込み加工で縮径される場合にも、肉厚が増加せずに長手方向に延びやすい性質を有していると考えられる。

3.3 冷間引き抜き焼鈍後の引張り特性

Photo 2 に、冷間引き抜き、焼鈍後のミクロ組織を示す。焼準材では、一部にラメラ状のセメンタイトが観察されるのに対し、温間縮径圧延材では、セメンタイトの球状化がほぼ完了している。Fig. 5 に焼準した電縫鋼管と温間縮径圧延した電縫鋼管を冷間引き抜き後、焼鈍した時の引張り特性を示す。強度は、いずれの鋼管もほぼ同じであるが、伸びについては、温間縮径圧延した電縫鋼管の方が焼準した電縫鋼管より高く、特に、局部伸び El-uEl の向上が著しい。また、温間縮径圧延した電縫鋼管の方が焼準した電縫鋼管より r 値が高い。これらの引張り特性の差は、Fig. 2 に示した冷間引き抜き前の差と同じである。すなわち、本実験の冷間引き抜き焼鈍後にも、温間縮径圧延により得られた集合組織形成やセメンタイトの球状化の効果が残っており、高い加工性が得られたと考えられる。

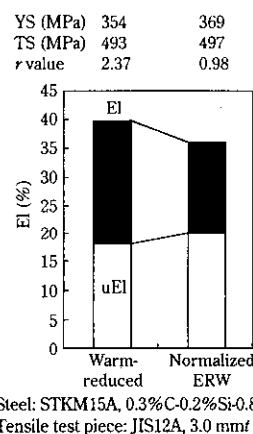


Fig. 5 Effect of warm-reducing on tensile properties after cold drawing and annealing

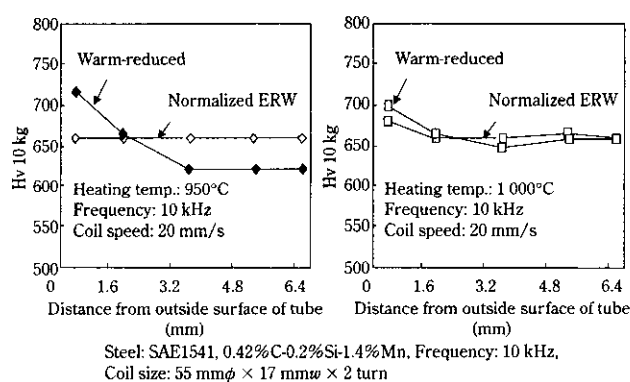


Fig. 6 Effect of heating temperature on induction quenched hardness of warm-reduced steel tube

4 開発鋼の高周波焼き入れ性

パーライト組織を球状化セメンタイト組織とすることにより、加工性が向上する一方、高周波焼き入れ性は低下することが知られている。これは、球状化にともなって、セメンタイトの総表面積が減少するために、高周波焼き入れのような短時間加熱では、セメンタイトの再固溶が完了できないためと考えられる。そのため、球状化セメンタイトの鋼では、パーライト組織の鋼と比べて高周波焼き入れ温度を高くするなどの対策が必要である。

ここでは、開発鋼の適正焼き入れ条件を検討するために、開発鋼とパーライト組織の電縫鋼管の高周波焼き入れ深さに及ぼす加熱温度の影響を調査した。供試材には、40 mmφ × 6.9 mmφ の 0.42%C-0.2%Si-1.4%Mn 鋼を用い、表面温度が 950、1000°C になるように出力を調整しながら、高周波焼き入れを行って、板厚方向の硬さ変化を調査した。なお、パーライト組織の比較鋼は、開発鋼を 900°C で焼準したものを用いた。結果を Fig. 6 に示す。加熱温度が 950°C の場合、球状化セメンタイト組織の開発鋼管は、パーライト組織の焼準鋼管に比べて高周波焼き入れ深さが小さい。しかし、加熱温度を約 50°C 高くして、1000°C にすると、開発鋼管と焼準鋼管の焼き入れ深さの差を解消できる。

5 製造可能寸法

開発鋼管は、太径から温間縮径圧延して製造するために、細径厚

Thickness (mm)	Outside diameter (mm)							
	31.8	34.0	38.1	42.7	45.0	48.6	50.8	54.0
10.0								
9.5	Limit of thickness in conventional electric resistance welded steel tubes							
9.0								
8.5							○	○
8.0		○	○	○	○	○	○	○
7.5		○	○	○	○	○	○	○
7.0	○	○	○	○	○	○	○	○
6.5	○	○	○	○	○	○	○	○
6.0	○	○	○	○	○	○	○	○
5.5	○	○	○	○	○	○	○	○
5.0	○	○	○	○	○	○	○	○
4.5	○	○	○	○	○	○	○	○
4.0	○	○	○	○	○	○	○	○

Fig. 7 Available manufacturing size of warm-reduced steel tube

肉の鋼管を比較的容易に製造できる。Fig. 7 に、開発鋼管の現在の製造可能寸法範囲を示す。一般に行われている例と比較して、いずれの外径でも、約 1 mm 程度大きい肉厚まで製造が可能である。

6 結 言

当社は、次世代電縫鋼管製造技術としての HISTORY プロセスを開発した。このプロセスでは、世界で初めて電縫鋼管の温間縮径圧延を採用したことにより、以下のような新しい冶金学的効果を見出した。開発鋼管は、自動車のドライブシャフト、スタビライザーなどを中空化するために適した材料と考えられる。

- (1) 温間縮径圧延によりセメントタイトの球状化が促進できる。
- (2) 温間縮径圧延により製造した高加工性高炭素 HISTORY 鋼管は、冷間引き抜き時の加工力を低減できる。
- (3) 温間縮径圧延により製造した高加工性高炭素 HISTORY 鋼管は、冷間引き抜き、焼鈍した後も良好な加工性が得られる。
- (4) 温間縮径圧延により従来の電縫鋼管では製造が困難であった細径厚肉鋼管が製造できる。

参 考 文 献

- 1) 日新製鋼(株)：特開昭 57-126917
- 2) 水沢昭三、藤村 仁：「技能指導熱処理作業」，(1977)，46，[工学図書株式会社]
- 3) 水沢昭三、藤村 仁：「技能指導熱処理作業」，(1977)，51，[工学図書株式会社]

株式会社]

- 4) 後藤 學：「塑性学」，(1995)，108，[コロナ社]
- 5) 西森正徳，荒谷昌利，小高幹男：川崎製鉄技報，33(2001)4，151