

川崎製鉄技報

KAWASAKI STEEL GIHO

Vol.33 (2001) No.4

自動車用鋼管・鉄粉特集号

新機能創製を可能とした次世代電縫鋼管製造プロセス「HISTORY」の開発

Development of Manufacturing Process "HISTORY" for Producing Innovative High Frequency Welded Steel Tube with Excellent Properties

豊岡 高明 (Toyooka, T.) 板谷 元晶 (Itadani, M.) 依藤 章 (Yorifuji, A.)

要旨：

自動車工業においては、車体の軽量化、耐衝突安全性の向上、コスト削減の観点より近年部材の中空化が進んでいる。電縫鋼管は、薄肉、高寸法精度、低価格などの面で優れた自動車部材として、高く評価されて、利用が増加している。最近ではさらなる高強度と高加工性が求められている。しかし、従来の電縫鋼管では、強度と加工性の両立は極めて難しいと言われていた。川崎製鉄は、次世代電縫鋼管製造技術として「HISTORY プロセス」を開発し、従来の電縫鋼管では両立が困難であった高強度と高加工性を兼ね備えた高機能電縫鋼管「HISTORY 鋼管」の製造に世界で初めて成功した。このプロセスでは、新しいメタラジーに基づくオンライン温間域加工熱処理技術を実用化し、オンラインでの鋼管の材質創製を世界で初めて実現した。HISTORY 鋼管の製造設備は、川崎製鉄知多製造所に建設され、2000 年 10 月から工程生産を開始した。その後、HISTORY 鋼管は、自動車用鋼管への適用拡大を進めている。

Synopsis：

Aiming at weight reduction, the improvement of collision safety and manufacturing cost reduction in the automobile industry, the amount of steel tubes used for automotive parts has been increasing in recent years. The increase of strength and formability of ERW steel tubes is essential for further weight reduction and wider application. However it was difficult to concurrently realize high strength and formability in a conventional ERW steel tube. The formability of ERW steel tubes is not sufficient because the sheet material is subjected to work-hardening in the cold roll forming and the welded portion is subjected to weld-hardening during the electric resistance welding. In order to overcome these incompatible circumstances, Kawasaki Steel has developed a new steel tube manufacturing method termed the HISTORY (high speed tube welding and optimum reducing technology), which consists of a newly developed thermo-mechanical control process based on new metallurgy by means of the world's first warm stretch reducing. The HISTORY tube with high strength and excellent formability has been successfully manufactured in a production line which was built in

October 2000 at Chita Works.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

新機能創製を可能とした次世代電縫鋼管 製造プロセス「HISTORY」の開発*

川崎製鉄技報
33 (2001) 4, 145-150

Development of Manufacturing Process “HISTORY” for Producing Innovative High Frequency Welded Steel Tube with Excellent Properties



豊岡 高明
Takaaki Toyooka
技術研究所
鋼管・鋳物研究部門
長・工博



板谷 元晶
Motoaki Itadani
知多製造所
商品技術部
品質保証室長



依藤 章
Akira Yorifuji
技術研究所
鋼管・鋳物研究部門
主任研究員(課長)

要旨

自動車工業においては、車体の軽量化、耐衝突安全性の向上、コスト削減の観点より近年部材の中空化が進んでいる。電縫鋼管は、薄肉、高寸法精度、低価格などの面で優れた自動車部材として、高く評価されて、利用が増加している。最近ではさらなる高強度と高加工性が求められている。しかし、従来の電縫鋼管では、強度と加工性の両立は極めて難しいと言われていた。川崎製鉄は、次世代電縫鋼管製造技術として「HISTORY プロセス」を開発し、従来の電縫鋼管では両立が困難であった高強度と高加工性を兼ね備えた高機能電縫鋼管「HISTORY 鋼管」の製造に世界で初めて成功した。このプロセスでは、新しいメタラジーに基づくオンライン温間域加工熱処理技術を実用化し、オンラインでの鋼管の材質創製を世界で初めて実現した。HISTORY 鋼管の製造設備は、川崎製鉄知多製造所に建設され、2000 年 10 月から工程生産を開始した。その後、HISTORY 鋼管は、自動車用鋼管への適用拡大を進めている。

Synopsis:

Aiming at weight reduction, the improvement of collision safety and manufacturing cost reduction in the automobile industry, the amount of steel tubes used for automotive parts has been increasing in recent years. The increase of strength and formability of ERW steel tubes is essential for further weight reduction and wider application. However it was difficult to concurrently realize high strength and formability in a conventional ERW steel tube. The formability of ERW steel tubes is not sufficient because the sheet material is subjected to work-hardening in the cold roll forming and the welded portion is subjected to weld-hardening during the electric resistance welding. In order to overcome these incompatible circumstances, Kawasaki Steel has developed a new steel tube manufacturing method termed the HISTORY (high speed tube welding and optimum reducing technology), which consists of a newly developed thermo-mechanical control process based on new metallurgy by means of the world's first warm stretch reducing. The HISTORY tube with high strength and excellent formability has been successfully manufactured in a production line which was built in October 2000 at Chita Works.

1 緒 言

環境問題の深刻化にともない、自動車の燃費向上がますます求められている。この燃費向上のために、自動車の軽量化やエンジンの改良が進められているが、軽量化を実現する効果的な手段の一つとして、電縫鋼管を用いて部品を中空化することがある。

電縫鋼管は、比較的安価であり、高寸法精度を有し薄肉化も可能

であることから近年ますます利用が高まっている。自動車部品としての鋼管に要求される特性はさらに厳しいものとなっており、高強度でかつ高加工性を有する鋼管の開発も待望されてきた。しかし、強度と加工性（延性）は、一般的に相反特性であり、両立は極めて難しい。特に、従来の電縫鋼管は、帯板を冷間でロール成形して製造するため、成形歪みによる加工硬化が材料に生じ、鋼管の延性が素材帯板に比べ劣化する²⁾とともに、溶接部は、急冷により焼き入れ硬化するため高強度と高加工性を両立することは困難であった。

このような状況の中で、当社は次世代電縫鋼管製造技術として「HISTORY プロセス」を開発し、従来の電縫鋼管では両立が困難

* 平成13年9月17日原稿受付

であった高強度と高加工性を兼ね備えた高機能電縫鋼管「HISTORY 鋼管」の製造に世界で初めて成功した。このプロセスでは、世界初のオンライン温間域加工熱処理技術を開発、実用化し、鋼管製造の分野では初めてのオンラインでの鋼管の材質創製を実現した。HISTORY プロセスは、当社知多製造所に建設され、2000 年 10 月に工程生産を開始した。

本報告では、高機能 HISTORY 鋼管開発の着想と高機能特性を可能とした HISTORY のメタラジーについて述べるとともに、実用的な特性についても紹介する。

2 HISTORY 鋼管の開発とその着想

自動車工業においては、車体の軽量化、耐衝突安全性の向上、コスト削減の観点より近年電縫鋼管の利用が増加している。この電縫鋼管は、薄肉、高寸法精度、低コストなどの面で自動車部材としての仕様を満たし、最近ではさらなる高強度と高加工性が求められている。

自動車用途を含めた機械構造用の小径電縫鋼管の製造においての一番の問題点は、Fig. 1 に示す高周波溶接部の内外面ビード切削である。特に、内面のビード切削は、造管機を止めて溶接した鋼管の一部を溶断除去した後、内面切削バイトの高さ調整を行い、ビード切削面と母材部との高さを規定値内に入れる。厳しい精度を要求される場合には、この調整を何度か繰り返すことになる。これは、電縫鋼管が抱える長年の最大の課題であり、電縫鋼管の品質に大きく影響した。

HISTORY 鋼管の開発の原点は、この「電縫鋼管のビード切削をなくす」といった発想にある。ビード切削は、帯板の両エッジを溶かし、溶けた溶鋼（スラグ）を内外面へ排出するために必要となる。この溶鋼をなくせば、アップセットで増肉した部分をロール圧延で平滑化でき、ビード切削が不要になると考えた。そして、高周波電縫溶接を利用して帯板エッジを溶かさずに接合する方法として、溶接前の素管全体を温間域に加熱した後、帯板エッジを融点直下に加熱しエッジを圧接すれば拡散接合が可能になると発想した。

この素管を温間域に加熱する考えが、溶接後の鋼管を温間域縮径圧延することに結びついた。この温間域縮径圧延を着想した 1994 年当時では、温間域（700°C 前後）を利用した加工プロセスは、実施例³⁾がほとんどなく、一部研究報告^{4,5)}が見られる程度であった。

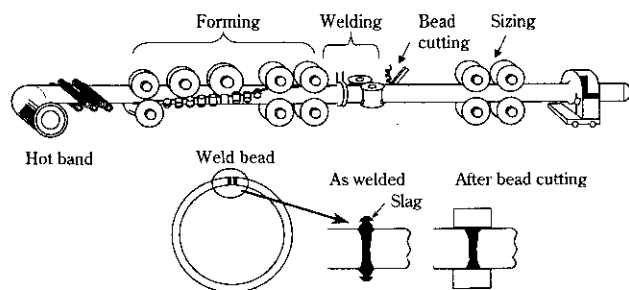


Fig. 1 Schematic illustration of bead cutting in electric resistance welding steel tube manufacturing process

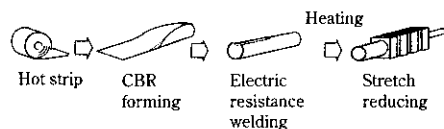


Fig. 2 Manufacturing process of the HISTORY tube

さらに、現在国際的にも大きな注目を集め国家的プロジェクト活動として推進がなされている STX21（元科学技術庁金属材料研究所）⁶⁾ やスーパーメタル（元通産省金属系材料研究開発センター）⁷⁾ による温間域大圧下圧延を利用した超微細粒鋼の開発（1997 年スタート）もまだ開始されていなかった。

高機能 HISTORY 鋼管では、現段階では Fig. 2 に示すように上流の帯板のエッジ溶接は、当初発想した電縫拡散接合の適用にはいっておらず、従来の電縫溶接を採用している。しかし、下流の鋼管の縮径圧延においては、温間域を用いた高縮径圧延を開発し、新しいメタラジーに基づいた高機能を有する鋼管の創製を世界で初めて実現した。

本開発では、これまで温間加工の価値があまり評価されていなかった未調査の領域に果敢に挑戦したことにより、大きなメタラジー的な発見に繋がった。

3 HISTORY 鋼管の新メタラジーとそのメカニズム

HISTORY 鋼管の製造プロセスを Fig. 2 に示す。帯板を当社が開発した CBR (chance-free bulge roll) 成形ミル^{8,9)} を用いて、冷間状態でオープン管に成形した後、両端を電気抵抗溶接する。CBR 成形ミルでは、薄肉管の成形と溶接を安定して行うことができる。その後、この電縫鋼管を加熱し、ストレッチレデュサで縮径圧延する。縮径圧延は、通常、熱間圧延鋼板の圧延のように、変形抵抗の小さい熱間域（900~1100°C）で行われる。HISTORY 鋼管製造では、Fig. 3 に示すように、あえて、熱間域に比べて圧延負荷が数倍となる温間域（650~900°C）で圧延することにより、以下の種々の特長を有する鋼管を高い生産性で製造することを可能とした。このような温間域の圧延、特に、二相域圧延は、鋼板では実施困難であり、HISTORY 鋼管で、初めて実用化された技術である。鋼板では、幅方向端部の温度低下のために、二相域のような変態点近傍で圧延すると形状不良が生じやすいことや、さらに、後述するように、温間域で圧延すると、鋼板では n 値などの材料特性が低下することなどのため、二相域圧延は実施できない。Fig. 4 に、鋼管の強度と加工性に及ぼす温間縮径圧延の効果を模式的に示す。HISTORY 鋼管は、温間域で縮径圧延することで、結晶粒を微細化し高強度を得るとともに、第二相、析出物の微細分散、二相組織化や圧延による集合組織の制御により高加工性を得ることができる。温間縮径圧延は、ミクロ組織、集合組織を制御して、Fig. 5¹⁰⁾ に示すように、同じ成分の鋼を用いて、従来の電縫鋼管や鋼板では得られなかった高強度材から高加工性材までを作り分けできる画期的な製造方法である。Fig. 5 の低炭素鋼の例では、縮径圧延温度を制御することにより、電縫鋼管と比較して、同じ強度では、伸びが約 20%、同じ伸びでは、強度が約 20% 高い鋼管までを製造できる。また、その強度、

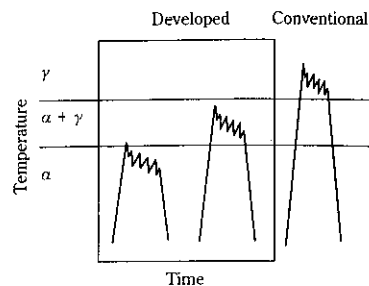


Fig. 3 Comparison of rolling temperature between the developed process and conventional process

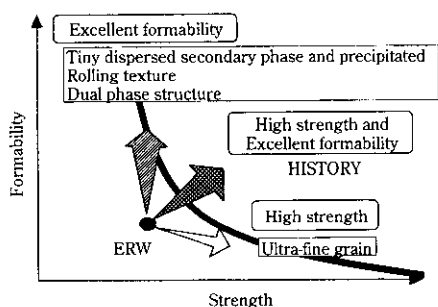


Fig. 4 Concept of warm reducing for high strength and excellent formability

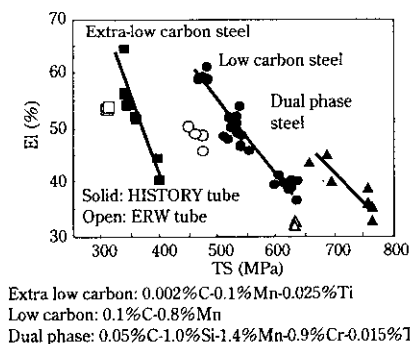


Fig. 5 Mechanical properties of the HISTORY steel tube and ERW steel tube

伸びは、二相組織鋼を用いた高グレード電縫鋼管より良好な伸びー強度バランス上にある。以下では、これらの効果について紹介する。

4 HISTORY 鋼管の特長

4.1 電縫溶接部の焼入れ硬化の解消

HISTORY 鋼管と通常電縫鋼管の溶接部近傍の硬さを Fig. 6 に示す^{10,11)}。電縫鋼管の溶接部は、電縫溶接で焼き入れ組織となるために硬く、加工性に乏しい。従来の電縫鋼管では、溶接部の硬化をなくすために、オフラインでの焼準熱処理を必要としていた。一方、HISTORY 鋼管の溶接部は、温間縮径圧延によって、焼き入れ組織が母材と同じフェライトと微細な炭化物に分解するため、硬さも母材と同程度となって、加工性が向上する。

4.2 結晶粒微細化

HISTORY 鋼管と電縫鋼管のマイクロ組織を Photo 1 に示す。HISTORY 鋼管では、温間域の高縮径圧延により、結晶粒（サブグレイン）

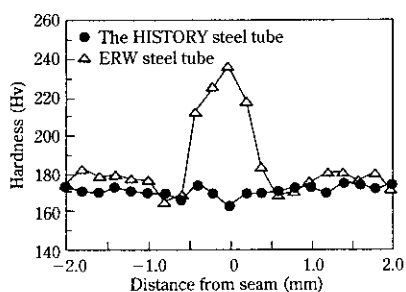


Fig. 6 Hardness distribution of welded portion

ンも含む) が $1\sim 2\mu\text{m}$ 程度に微細化して、高強度が得られる。この効果は、フェライトの連続再結晶という新しいメカニズムであり、現在行われている STX21 やスーパーメタルでの研究に先駆けて、当社が発見したものである^{12,13)}。結晶粒の微細化により高強度を得るため、HISTORY 鋼管は、Cu, Cr, Mo, V, Ti などの特殊元素を用いる必要が少なく、リサイクル性にも優れていると考えられる。しかし、加工性が要求される自動車部品用途材料に、単純な微細粒鋼を適用することは困難である。これは、結晶粒が微細化すると、高強度が得られるものの、加工性が著しく低下するという問題があるためである。温間縮径圧延では、結晶粒の微細化に加えて、以下に述べるような、第二相の微細分散と縮径圧延に特有の集合組織の発達による高 r 値化で、加工性を向上させ、高強度と高加工性を両立させることができる。HISTORY 鋼管は、新しいメタラジーを用いることにより、従来にない高強度、高加工性という相反する特性を世界で初めて実現した鋼管である。

4.3 第二相微細分散 (セメントタイトのオンライン球状化)

0.42%C の高炭素 HISTORY 鋼管と電縫鋼管のマイクロ組織を Photo 2 に示す¹⁰⁾。HISTORY 鋼管は、温間縮径圧延まで、セメントタイトが球状化、微細分散している。温間縮径圧延では、機械的にパーライト中のセメントタイトラメラを分断できるため、熱間圧延鋼板では十数時間が必要な球状化焼鈍を行うことなく、数秒で球状化を完了させることが可能であり、熱間圧延鋼板に比べて加工性を向上させることができる。

4.4 高 r 値化

HISTORY 鋼管の集合組織を Fig. 7 に示す。圧延では、その変形を容易にするような圧延集合組織が発達する。そのため、縮径圧延では、Fig. 8 に示すように、圧下方向の円周方向に縮みやすい、すなわち、長手方向 r 値 (= 引張り試験における板幅方向歪/板厚方向歪) の高い圧延集合組織が得られる。一方、通常の板圧延では、

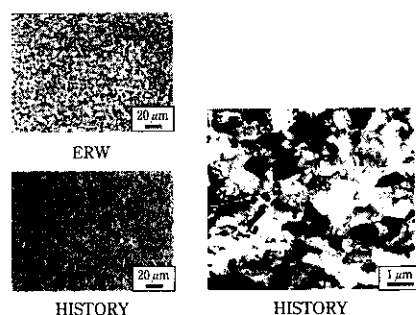


Photo 1 Microstructure of the HISTORY steel tube and ERW steel tube

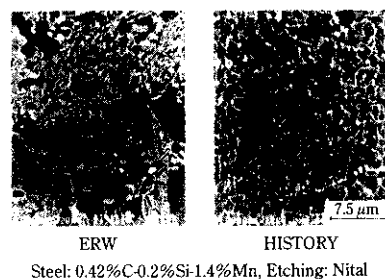


Photo 2 SEM of the HISTORY steel tube and ERW steel tube

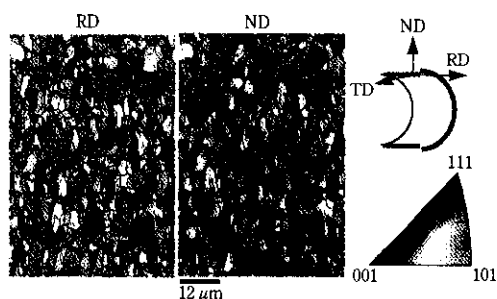


Fig. 7 Texture of the HISTORY steel tube, EBSD

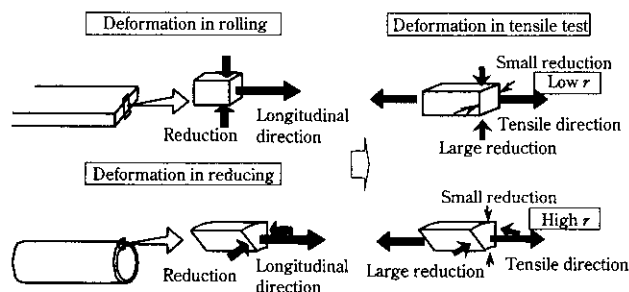


Fig. 8 Comparison of deformation between in reducing and rolling

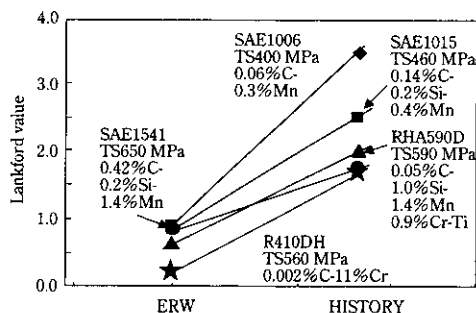


Fig. 9 Lankford value of the HISTORY steel tube

圧下方向が板厚方向であるため、逆に、 r 値の低い圧延集合組織となる。このことが、鋼板で温間域の圧延が行われない理由の一つである。圧延集合組織の発達、再結晶集合組織と比べて、固溶 C、N、析出物、第二相の影響を受けにくい。圧延集合組織を利用した HISTORY 鋼管では、再結晶集合組織を利用する鋼板では困難な極低炭素 IF 鋼以外の低炭素鋼、高炭素鋼、二相組織鋼、ステンレス鋼など、多くの鋼で高 r 値化が可能で、Fig. 9 に示すように、熱間圧延鋼板の約 2~4 倍の極めて高い r 値が得られる。

4.5 二相組織化

HISTORY 鋼管では、縮径圧延温度を適切に制御することで、フェライトとマルテンサイト、ベイナイト、残留オーステナイトなどの二相組織を比較的容易に作るができる。Fig. 10 に引張り特性に及ぼす縮径圧延温度の影響を示す。フェライトとオーステナイトの二相域で縮径圧延をすることにより、フェライトとマルテンサイトの二相組織となり、降伏強度比（降伏強度／引張り強度）の小さい、加工性に優れた鋼管を製造できる。この効果は、Table 1 に示すように、引張り強度が 1000 MPa 以上の超高強度鋼管でも得られており、高強度材の加工性を向上させるために有効な手段である。

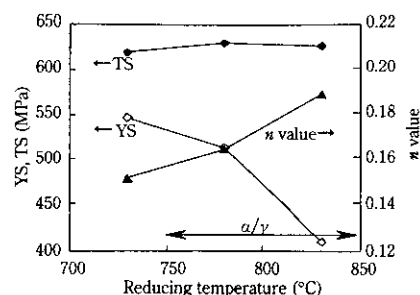


Fig. 10 Effect of reducing temperature on mechanical properties

Table 1 Mechanical properties of the HISTORY steel tube

YS (MPa)	TS (MPa)	uEl (%)	El (%)
618	1043	14.3	23.1
JIS12A, 2.6 mm			

1 HISTORY 鋼管の基本加工特性と適用例

5.1 基本加工特性

5.1.1 3 点曲げ加工性 JIS11 (15 mmφ × 1.8 mm)

Table 2 に示す機械的性質の供試材について、Photo 3 中に示す条件で 3 点曲げ試験を行った。Photo 3 に HISTORY 鋼管と電縫鋼管の曲げ加工性を比較して示す。電縫鋼管では、180° の曲げが完了する前に座屈が生じたのに対し、HISTORY 鋼管では、座屈を生じることなく、180° までの曲げが可能である。

5.1.2 引き曲げ加工性

Table 3 に示す機械的性質の供試材について、Fig. 11 中に示す条件で引き曲げ試験を行った。曲げは、プレッシャーダイで軸力を加えながら行った。Fig. 11 に HISTORY 鋼管と電縫鋼管の肉厚減少を比較して示す。HISTORY 鋼管の引張り強度が電縫鋼管より大きいにもかかわらず、その肉厚減少率は、電縫鋼管より約 10% 小さい。これは、HISTORY 鋼管の r 値が大きいことに起因している。

5.1.3 疲労強度

前述の 3 点曲げ試験に用いた供試材について、片持ち両振りの曲げ疲労試験を行った。Fig. 12 に疲労試験の $S-N$ 線図を示す。高強度化により、HISTORY 鋼管の疲労限は、電縫鋼管より、約 20% 向上する。

Table 2 Mechanical properties of tested tubes, JIS11

	YS (MPa)	TS (MPa)	El (%)
HISTORY	530	575	32
ERW	480	509	18

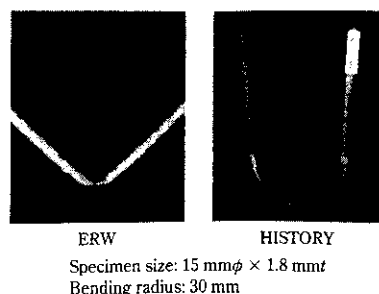


Photo 3 Appearance of bent tubes

Table 3 Mechanical properties of tested tubes, JIS11

	YS (MPa)	TS (MPa)	El (%)
HISTORY	519	556	47
ERW	360	404	41

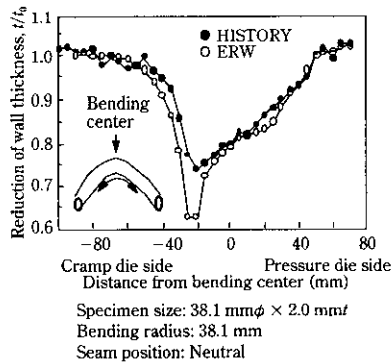


Fig. 11 Variation of wall thickness of the HISTORY steel tube and ERW steel tube

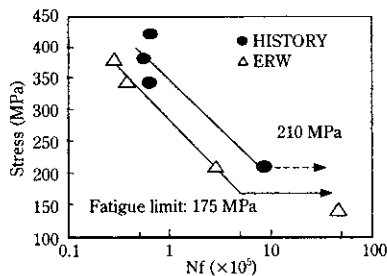


Fig. 12 S-N diagram by bending fatigue test

5.2 自動車部品への適用例

HISTORY 鋼管は、その優れた特性により、Fig. 13 に示すような自動車部品として適用が進んでいる。ここでは、そのいくつかについて、実際の適用例を紹介する。

Fig. 14 に示すようなスタビライザー、ツイストビーム、ロアアームなどの自動車構造部品の形状は、車体がコンパクト化するにもなっている一層複雑になる傾向にあり、小半径曲げといった高加工性の要求が高まっている。一方、軽量化のためには、非調質型の高強度度材を用いることが必要となる。高強度と高加工性が両立する HISTORY 鋼管は、このような要求に適した鋼管である。Fig. 15 に鋼管製のロアアームの製造工程を模式的に示す。曲げ加工性の良好な HISTORY 鋼管を用いることで、鋼管からロアアームを製造することが可能である。鋼管製のロアアームは閉断面の構造であるために、鋼板製のロアアームと比較して、薄肉でも剛性が確保でき、約 30% の軽量化を達成できる。

ドライブシャフトなどの駆動部品においても、軽量化のために、鋼管を用いて中空化することが進められている。駆動部品は、非常に高い疲労強度が必要であるために、高炭素電縫鋼管を焼き入れ、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いく、加工前に熱処理が必要である。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、加工前に十数時間の長時間な球状化焼鈍を行うことも考えられるが、製造エネルギーが大きくなってコストが極めて高くなる。HISTORY 鋼管は、Photo 2 に示したように、

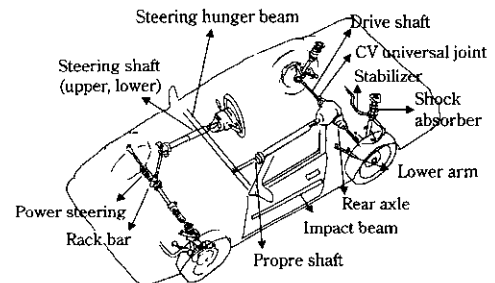


Fig. 13 Steel tubes applied to automobile parts

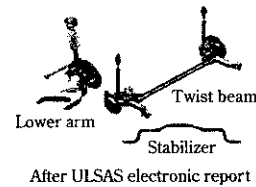


Fig. 14 Automotive parts examples

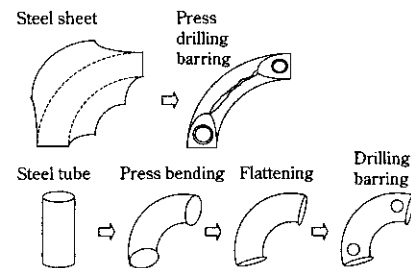


Fig. 15 Forming process of lower arm

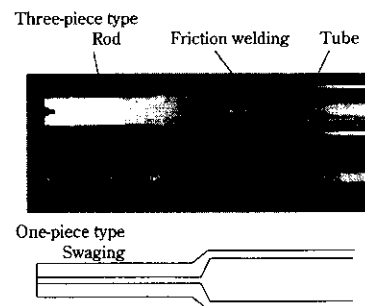


Fig. 16 One-piece type and three-piece type drive shafts

縮径圧延によりセメントサイトをオンラインで球状化することが可能であり、縮径圧延温度を適切に選択することで軟質な高炭素鋼管を高い生産性で製造できる。この高炭素 HISTORY 鋼管を用いることで、Fig. 16 に示すような、一体型の中空ドライブシャフトの製造が可能となり、従来の接合型のドライブシャフトと比べて、約 20% の軽量化を達成できる。また、同じ製造工程であれば、従来の電縫鋼管より C 量を多くできて、高強度化も可能である。

5.3 エコマテリアルとしての利用

一般に鋼材の高強度化のためには、組織強化や析出強化を用いるため Cu, Cr, Mo, Ti, Nb, V などの特殊元素を添加するが、これらの元素は、リサイクルにおいて問題になる場合もある。しかし、HISTORY 鋼管は、結晶粒の微細化により高強度を得るため、特殊な元素の添加を最小限に押さえることが可能である。また、一般に

結晶粒が微細化すると、高強度が得られるものの、加工性が低下するが、HISTORY 鋼管では、結晶粒の微細化に加えて、第二相の微細分散と縮径圧延に特有の集合組織の発達による高 r 値化で、加工性を向上させ、高強度と高加工性を両立させることができる。この高 r 値化のために板圧延のような極低炭素 IF 鋼を用いる必要もないので脱炭に要する精練エネルギーの削減が可能であり、さらに、Ti、Nb、V などの特殊元素を用いる必要が少ないためリサイクル性にも優れる。さらに、熱処理工程の省略も可能で、エネルギー的にも有利な鋼管である。以上のように、HISTORY 鋼管は、地球環境にやさしいエコマテリアルとしての利用が期待される。

6 結 言

電縫鋼管の新製造法として「HISTORY プロセス」を開発し、高強度と高加工性を両立させた高機能「HISTORY 鋼管」の製造を可能とした。HISTORY 鋼管は、新しいインライン加工熱処理技術である温間縮径圧延による材質創生によって高機能化が達成され、今後の適用に大きな期待が寄せられている。本開発によって得られた結果を以下にまとめる。

- (1) 世界初の温間縮径圧延による超微細粒の晶出、圧延集合組織の発達を用いた高 r 値化など、新しいメタラジの展開を可能とした。
- (2) HISTORY 鋼管では、温間域の高縮径圧延により、結晶粒（サブグレインも含む）が $1\sim 2\mu\text{m}$ 程度に微細化して、高強度が得られる。この効果は、フェライトの連続再結晶と呼ばれている新しいメカニズムである。
- (3) HISTORY 鋼管は、結晶粒の微細化に加えて、第二相の微細

分散を可能とし、セメントタイトのオンライン球状化も可能となり、オフラインでの球状化焼鈍を省略できる。

- (4) HISTORY 鋼管では、温間域の高縮径圧延により、管長手方向に圧延集合組織が発達し、高 r 値化が可能となる。さらに、再結晶集合組織を利用する鋼板では困難な極低炭素 IF 鋼以外の低炭素鋼、高炭素鋼、二相組織鋼、ステンレス鋼など、多くの鋼で高 r 値化が可能であり、熱延鋼板の約 2~4 倍の極めて高い r 値が得られる。
- (5) HISTORY 鋼管では、結晶粒の微細化に加えて、第二相の微細分散と縮径圧延に特有の圧延集合組織の発達による高 r 値化で、加工性を向上させ、高強度と高加工性を両立させることができる。
- (6) HISTORY 鋼管では、縮径圧延温度を適切に制御することで、フェライトとマルテンサイト、ベイナイト、残留オーステナイトなどの二相組織を比較的容易に創ることができ、高強度高加工性を実現できる。
- (7) HISTORY 鋼管は、新しい加工熱処理技術である温間縮径圧延により、従来の電縫鋼管にない新機能を有し、自動車部品用材料として 20~30% の軽量化に貢献できる。
- (8) HISTORY 鋼管は、特殊元素を含まずに高強度化、高加工性化ができるためスクラップのリサイクル性も良好であり、エコマテリアルとしての利用も期待される。

終わりに、本開発の一部分は、元通産省エネルギー使用合理化関係技術実用化開発補助金を活用して遂行されたことを付記いたします。本開発を進めるにあたり、ご協力いただいた関係企業の皆様に深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 井上三郎：「自動車用鋼管の動向」、第 171・172 回西山記念技講座、(1999)、44
- 2) 豊岡高明、橋本裕二、郡司牧男：川崎製鉄技報、32(2000)1、53
- 3) 野見山裕治、石川 忠、長谷川俊永、土師利昭：CAMP-ISIJ、7 (1994)、1834
- 4) 関口秀夫、小島耕二、小坂田宏造、久保勝司：塑性と加工、24 (1983)271、873
- 5) 富樫房夫、今江敏夫、江島彬夫、佐山泰弘：鉄と鋼、67(1981)4、307
- 6) 林 透、梅澤 修、鳥塚史郎、三井達郎、津崎兼彰、長井 寿：CAMP-ISIJ、11(1998)、1031
- 7) 新倉正和、横田智之、佐藤 馨、白神哲夫、藤岡政昭、富田俊郎、足立吉隆、難波茂信、森倉功和、萩原行人：CAMP-ISIJ、11(1998)、1021
- 8) T. Toyooka, Y. Hashimoto, Y. Kusakabe, and J. H. Lobello: Proc. 10th World Tube Cong., Chicago (USA), (1994) Oct.
- 9) 豊岡高明、橋本裕二、小林邦彦、板谷 進、井出 勉、西田保夫：川崎製鉄技報、22(1990)4、18
- 10) 豊岡高明、依藤 章、板谷元晶、西森正徳、河端良和：CAMP ISIJ、12(1999)2、302
- 11) 豊岡高明、依藤 章、板谷元晶、橋本裕二、西森正徳、河端良和、小高幹雄、小山康衛：平成 11 年塑性加工春季講演会、(1999)、189
- 12) たとえば、1998 年 8 月 6 日 日刊工業新聞、日経産業新聞、日刊鉄鋼新聞
- 13) New Steel, (1999) Mar., 66
- 14) 豊岡高明、板谷元晶、依藤 章、岡部能知、西森正徳、河端良和、小高幹雄、小山康衛：2000 年自動車技術会 学術講演会前刷集、(2000) No. 11-00、9