

高機能冷間圧造用線材

Special Steel Wire Rods for Cold Forging with High Property

土 田 喜一朗*⁽¹⁾
Kiichiro TSUCHIDA

新 保 泰 広*⁽²⁾
Yasuhiro SHINBO

抄 録

特殊鋼棒線の最終用途は自動車の重要保安部品が大半を占めている。その最終部品に至るまでには、焼鈍、伸線、切削などの二次加工工程や熱間から冷間の温度域での鍛造工程、そして焼入れ焼戻し等の熱処理工程など様々な加工が施される。特殊鋼棒線に求められるニーズには、焼鈍省略や鍛造時の金型寿命向上によるコスト低減がある。そこで、インライン特殊熱処理によりオフライン軟化焼鈍省略または金型寿命向上を可能とする新日本製鐵オリジナルのDS(Direct Softening)ボロン鋼とDS炭素鋼とDS低合金鋼の材質特性を中心に紹介する。

Abstract

The final uses of special steel bars and wire rods are mainly the important safety parts used in automobiles. To produce the final parts, secondary processes such as annealing, drawing, machining, and forge forming processes in hot and cold temperature regions and heat treatment processes such as quenching and tempering are necessary. In special steel bars and wire rods, there are strong needs to omitting annealing and extending the life of tools in view of cost reduction and energy saving. This paper outlines mainly the material property of "Direct Softening (DS) -boron steel", "DS-carbon steel" and "DS-low alloy steel" which enables the omission of off-line annealing processes. The developed DS steels are produced by the manufacturing method of NSC original inline special heat treatment.

1. 緒 言

特殊鋼棒線の最終用途は自動車の重要保安部品が大半を占めている。その最終部品に至るまでには、焼鈍、伸線、切削などの二次加工工程や熱間から冷間の温度域での鍛造工程、そして焼入れ焼戻し等の熱処理工程など様々な加工が施される。特殊鋼棒線に求められる大きなニーズには、加工工程の省略や鍛造時の金型寿命向上による一貫コスト低減がある。そこで本報では、二次加工工程の焼鈍省略を可能とする、または鍛造時の金型寿命向上を可能とする新日本製鐵オリジナルのインライン特殊熱処理プロセスを駆使した高機能冷間圧造用線材に関して述べる。

2. 高機能冷間圧造用線材(Direct Softening : DS線材)

2.1 金型寿命向上ボロン鋼線材

一般にボルトはSWRCH 45K, SCM 435H等の中炭素鋼や中炭素低合金鋼を素材とし、圧延材に軟化焼鈍や球状化焼鈍を施し、冷間鍛造によってボルト形状に成形し、焼入れ焼戻しを行い製造されている。近年、ボルトの製造コスト削減のため、SWRCH 45Kを“ボロン鋼”に置き換える動きが加速されている。ボロン鋼とは、素材の炭素量、合金元素量を低減して圧延材を軟質化させ、それに伴う焼入れ性の低下をボロンの添加で補った鋼であり、材料コスト、製造コ

ストを大幅に削減できることが特徴である。しかし、圧延のままのボロン鋼の強度はSWRCH 45Kの球状化焼鈍後の強度までは軟質化せず、金型寿命向上メリットをすべては享受できていなかった。そこで、新日本製鐵はオリジナルのインライン特殊熱処理プロセスでボロン鋼を製造し、SWRCH 45Kに球状化焼鈍を施した強度レベルよりも軟質化を実現した。

その結果を図1に示す。ボロン鋼の通常圧延材の引張強度は、

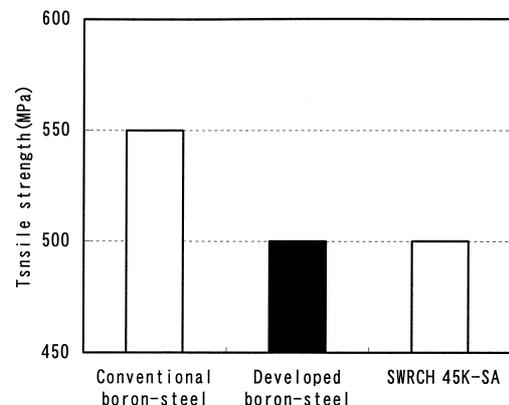


図1 ボロン鋼とSWRCH 45Kの引張強度
Tensile strength of boron-steel and SWRCH 45K

*⁽¹⁾ 室蘭製鐵所 圧延工場 線材課 マネジャー
北海道室蘭市仲町12 〒050-8550 TEL:(0143)47-2482

*⁽²⁾ 室蘭製鐵所 製品技術部 棒線管理グループリーダー

SWRCH 45K-SA(球状化焼鈍)よりも約50MPa高くなっているが、本開発鋼のインライン特殊熱処理ボロン鋼の引張強度は、SWRCH 45K-SAと同等の500MPaまで軟質化している。これに伴い圧縮変形抵抗は、図2に示す通り、従来ボロン鋼よりも本開発鋼のインライン特殊熱処理ボロン鋼の方が約50MPa低下している。また、金型寿命は、図3に示すように、従来の圧延のままのボロン鋼よりも本開発鋼のインライン特殊熱処理ボロン鋼の方が約3倍向上している。以上からインライン特殊熱処理ボロン鋼は、従来からの金型寿命向上という課題を解決し、今後も適用が拡大していくものと考えられる。

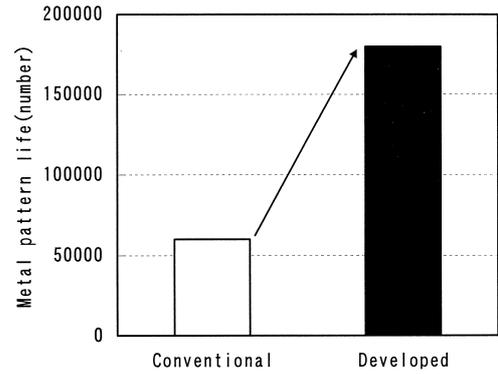


図3 ボロン鋼における金型寿命
Life of tool used for cold heading in boron steel

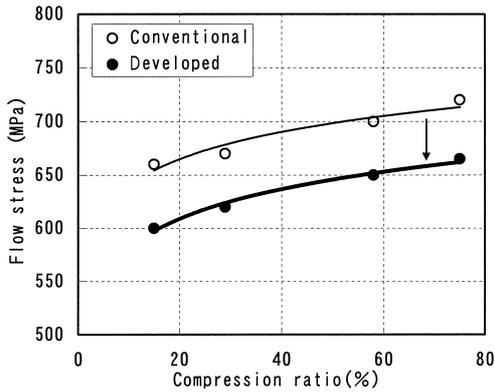


図2 ボロン鋼における圧縮率と変形抵抗の関係
Relation between compression ratio and flow stress of SAE10B22

2.2 軟化焼鈍省略型冷間圧造用線材

本開発鋼の特徴のひとつは、鋼成分を変更することなく、JIS規格成分のままインライン特殊熱処理を施すことで、オフライン軟化焼鈍(700℃×7時間)と同等の軟質化及び靱性を兼ね備えた特性を有することである。加工工程例を図4に示す。例1における通常工程は、線材熱間圧延の後に、オフラインRA(Regular Annealing：通常焼鈍)を行い、その後、伸線、冷間鍛造を実施する。一方、開発工程は、線材熱間圧延中にインライン特殊熱処理を施すことでオフラインRAと同等の加工性を有するため、このオフラインRA焼鈍の省略が可能となる。図5にSWRCH 45KとSCM 435の引張強度レベル

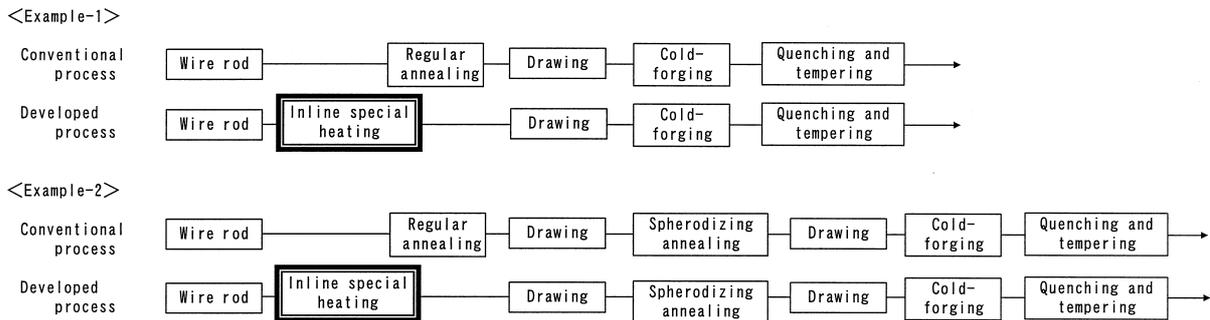


図4 通常工程と開発工程の二次加工工程
Conventional and developed secondary working processes for special steels

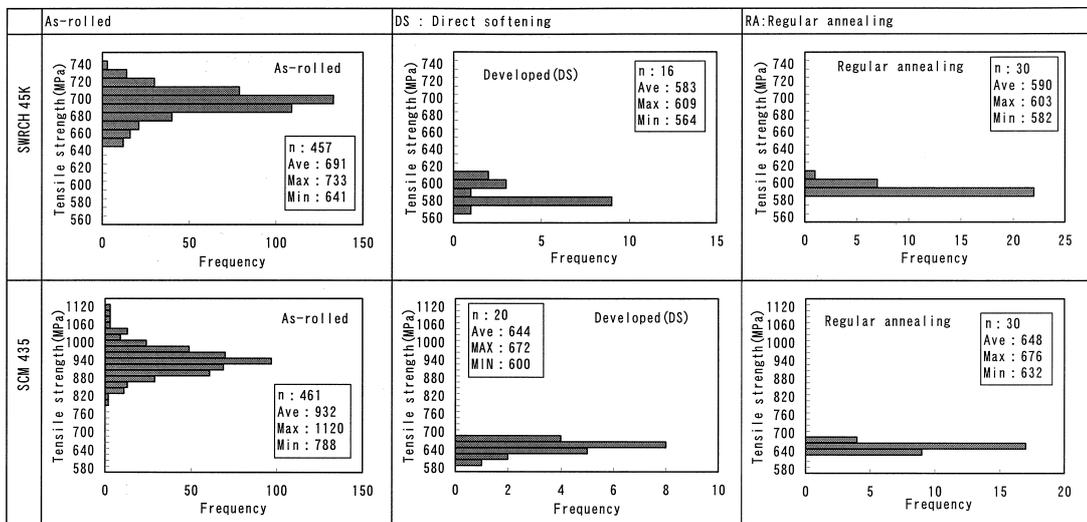


図5 SWRCH 45KとSCM 435の引張強度
Tensile strength of SWRCH 45K and SCM 435

(コイル内ばらつき)を示す。開発鋼の引張強度は、オフライン焼鈍鋼よりも軟質化している結果が得られている。SCM 435などの低合金鋼は、通常圧延ではベイナイトが混在した組織に対し、開発鋼は安定的にフェライト+パーライト組織に制御された効果がでている。

SWRCH 45Kは、写真1に示す通り、通常圧延でもフェライト+パーライト組織であるがラメラ組織がはっきりとしている。一方、開発鋼は、写真2に示す通り、フェライト+パーライト組織をベースとしながらも、セメントタイトが一部分断かつ粒状化していることが特徴で、これにより軟質化かつ靱性を確保している。写真3にはオフラインRA材(700℃×7時間)の組織を示すが、写真2と同様にセメントタイトが一部分断している。

本開発鋼の更なる特徴は、線材圧延サイズ制約を受けることなく、全てのサイズ範囲で軟質化を可能とすることである。新日本製鐵製品マイルドアロイ^{1,2)}は、低温圧延かつ緩冷却によりオーステナイト結晶粒径を微細化することでフェライト変態が促進され、軟質化することが知られている。図6に示す通り、マイルドアロイの製造可能サイズ範囲は、13mm径以上であり、13mm径未満のサイズで

は均一緩冷却が困難なため軟質化が確保できない。

一方、本開発鋼は、インライン特殊熱処理により5.5mm径の細いサイズ領域まで安定的に軟質化が実現可能となった。SWRCH 45KとSCM 435Hの圧縮変形抵抗を図7と図8に示す。SWRCH 45Kは、開発材の方が通常材よりも約50MPa低下している。SCM 435Hは、開発材の方が通常材よりも約150MPa低下した結果が得られた。

次に変形能の指標となる限界圧縮率を図9に示す。図中の縦軸は、圧縮率(%)=(H₀-H)÷H₀×100であり、平滑式の円柱試験片を溝付きダイスで端面を拘束した状態で圧縮した。通常材もしくはマイルドアロイは、約65%の据え込み率が限界であるが、開発材は、

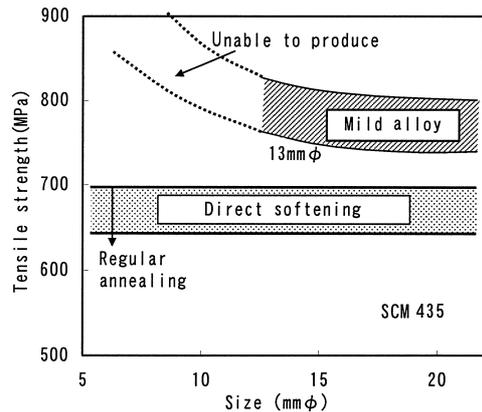


図6 製品サイズと引張強度の関係
Relations of size and tensile strength

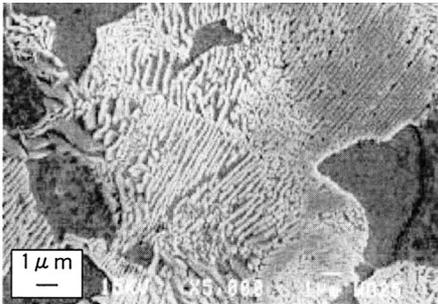


写真1 SWRCH 45K 通常圧延材
Conventional

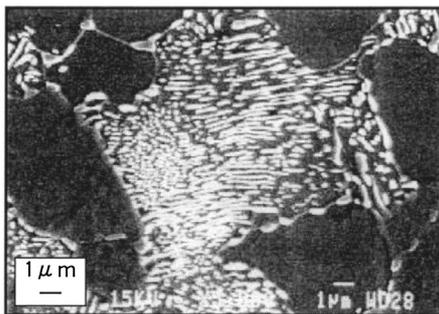


写真2 SWRCH 45K 開発材
Developed-DS

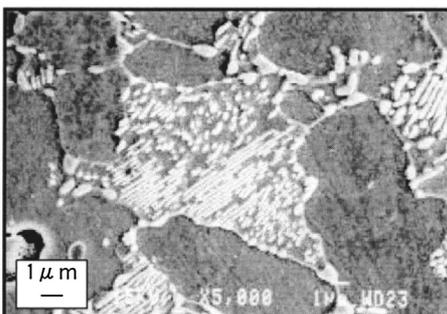


写真3 SWRCH 45K 通常焼鈍材
Regular annealing:RA

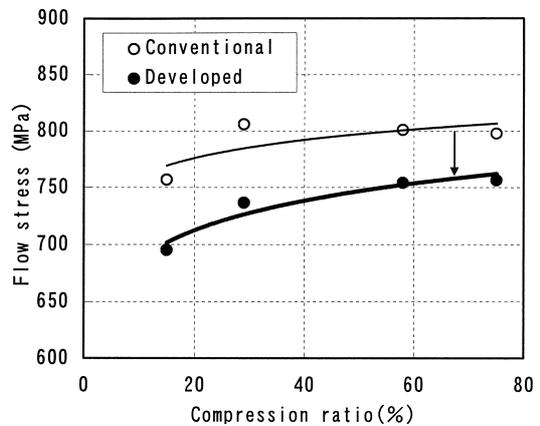


図7 SWRCH 45Kにおける圧縮率と変形抵抗の関係
Relations between compression ratio and flow stress of SWRCH 45K

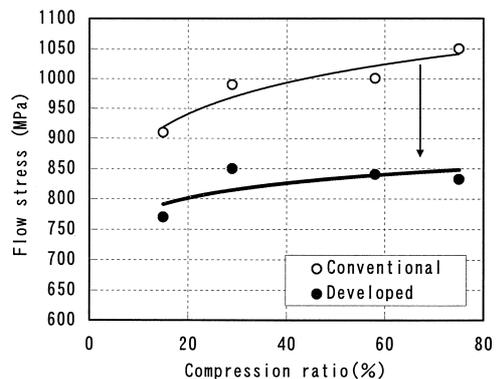


図8 SCM 435Hにおける圧縮率と変形抵抗の関係
Relations between compression ratio and flow stress of SCM 435H

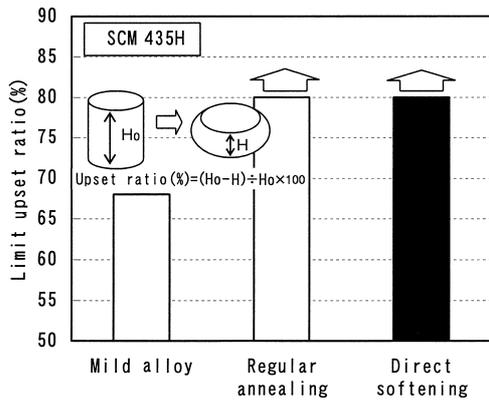


図9 SCM 435Hにおける限界圧縮率
Limit upset ratio of SCM 435H

RA焼鈍材同様に80%の据え込み率でも割れが発生しない結果が得られた。

以上からインライン特殊熱処理を施した軟化焼鈍省略型冷間圧造用線材は、従来の課題であるサイズ制約を解決し、更に軟質化度もオフラインRA材を凌駕するレベルまで実現させ、今後も適用が拡大していくものと考えられる。

インライン特殊熱処理により製造したDS線材の炭素鋼と合金鋼とボロン鋼の炭素当量(Ceq)と引張強度の関係を図10から図12に示す。

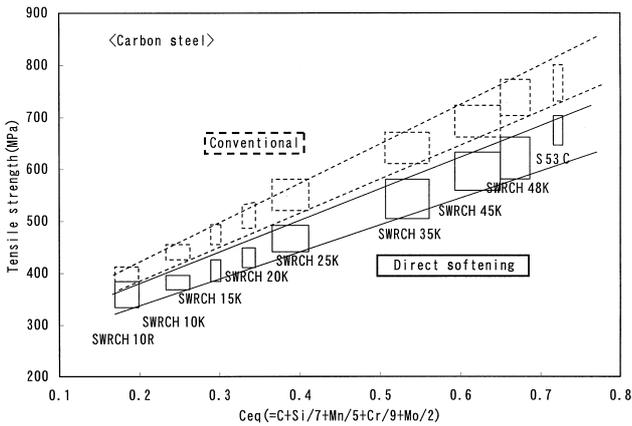


図10 炭素鋼における炭素当量と引張強度の関係

Relations between carbon-equivalent and tensile strength of carbon-steel

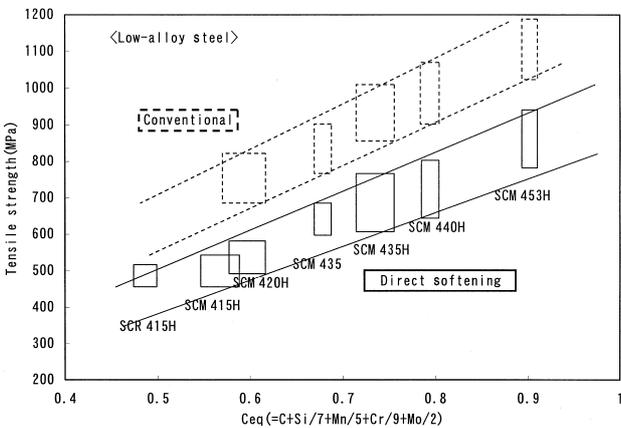


図11 低合金鋼における炭素当量と引張強度の関係

Relations between carbon-equivalent and tensile strength of low-alloy steel

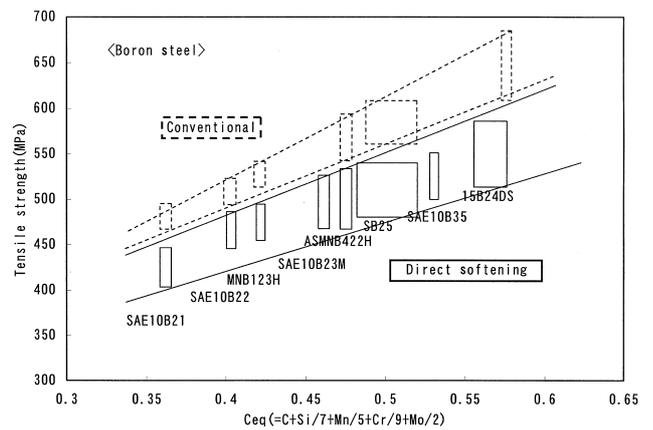


図12 ボロン鋼における炭素当量と引張強度の関係

Relation between carbon-equivalent and tensile strength of boron-steel

図中の点線が通常圧延材の引張強度レベル、実線が本開発鋼のDS線材の引張強度レベルになっている。広い鋼種範囲及び炭素量範囲でも軟質化を可能としている。ベイナイト組織が回避できるDS合金鋼では通常圧延材よりも約200~300MPa軟質化している。また、炭素鋼、ボロン鋼は、通常圧延材でフェライト・パーライト鋼であるが、DS材の方が通常圧延材よりも約50~100MPa軟質化しており、金型寿命向上と焼鈍省略を可能とする商品メニューとなっている。

3. 結 言

特殊鋼棒線は、最終部品に至るまでの工程が長く、一貫プロセスでのコスト低減が必要である。紹介した高機能冷間圧造用線材は、JIS成分のままで優れた冷間鍛造性及び金型寿命向上が実現可能な軟質化と靱性を兼ね備えた二次加工での軟化焼鈍を省略できる商品である。今後とも、このような観点から市場ニーズにマッチングした新日本製鐵オリジナル商品の開発及び製造に注力していく所存である。

参考文献

- 1) 内藤賢一郎, 森俊道, 奥野嘉雄, 八塚隆, 海老原達郎: CAMP-ISIJ, 2, 1752(1989)
- 2) 岡敏博, 熊野兼一, 中村邦夫, 梨本勝宣, 松本次男, 馬場誠, 左坂晋二: 新日鉄技報. (343), 63(1992)