



圧延直接熱処理による太径高強度PC鋼棒

村井 照 幸

Direct Heat Treatment Technique for High Tensile Strength Large-Diameter PC Steel Bars with Pearlite Microstructure — by Teruyuki Murai — In PC steel bar production, Sumitomo Electric Industries, Ltd. uses direct heat treatment technique utilizing sensible heat from hot rolled steel bars. To produce high tensile strength PC steel bars with pearlite microstructure, mist cooling is conducted using a mixture of water and air as a coolant after hot rolling. This technique enables us to control the temperature where pearlite transformation starts and the resulting heat generation. This paper introduces the direct heat treatment technique that can provide higher tensile strength to large-diameter PC steel bars while being economical and environmentally friendly. It also outlines the mist cooling equipment and the characteristics of PC steel bars made by using this technique.

Keywords: direct heat treatment, hot rolling, mist cooling, pearlite transformation, high strength PC steel bar

1. 緒 言

当社の熱間圧延設備は、粗列圧延ののち直径4～16mmの線材と、直径17～36mmの鋼棒を圧延するラインを有しており、大きな特徴として、そのいずれのラインにおいても、各々沸騰水もしくはミスト（気水混合体）を冷媒とし、熱間圧延鋼材の顕熱を利用した直接熱処理装置を備えている。

これらは何れも、環境負荷の小さい冷媒によって鋼材の組織変態を制御するものであり、経済的に高強度、高靱性の線材や鋼棒を得る当社独自のプロセスである。

鋼棒の直接熱処理としては、一般に熱間圧延に続いて空冷によって焼きならしに類する組織を得る方法や、水冷による表面部直接焼き入れとそれに続く自己焼き戻しによって表面部を焼き戻しマルテンサイト組織とするような方法がある。

これに対し、当社は冷媒として水と空気の混合体であるミストを用い、冷却過程でパーライト変態の変態開始温度および変態による発熱温度を制御することにより、高強度のパーライト鋼棒の製造を行っている。以下、高強度化の考え方、ミスト冷却装置の概要およびそれによって製造している太径高強度PC鋼棒の特性について紹介する。

2. パーライト鋼の高強度化

2-1 パーライト鋼の特徴 PC鋼棒^{*1}（以下鋼棒という）はその用途・目的上、高い緊張力を付与した状態で用いられるため、高強度化に伴い、耐遅れ破壊特性が極めて重要な特性になる。このためには焼き入れ、焼き戻しで得られる焼き戻しマルテンサイト組織よりもパーライト組

織であることが格段に有利であることは一般によく知られている。

図1に一例としてパーライト鋼線と焼き戻しマルテンサイト鋼線の遅れ破壊試験、すなわちチオシアン酸アンモニウム水溶液（濃度20%、温度20℃）を用いた試験結果を示すが、試験応力内において、パーライト鋼線は何れも200時間未破断であり、明らかに耐遅れ破壊特性に優れていることが判る。

一方で、直径の大きな鋼棒においてパーライト組織で高い強度を得ようとする、従来の空冷では焼入性を高めるような合金元素を多く添加する必要があり経済的に問題がある。さらに熱間圧延の高い生産性に適用させようとする

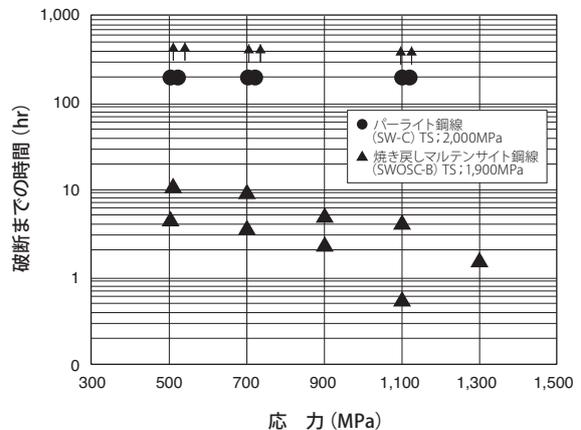


図1 パーライト鋼と焼き戻しマルテンサイト鋼の遅れ破壊特性比較

と、全長均一に冷却しうる大規模な設備が必要となる。

2-2 高強度化 これに対し当社では、熱間圧延後所定の長さで切断した鋼棒に対しミストスプレーによって冷却速度を制御し高強度、高靱性を得ている。

パーライト鋼は、冷却過程においてその変態の開始温度が低いほど、また変態発熱を低く抑えるほど高強度が得られるという知見がある。

鋼棒のパーライト変態を伴う冷却曲線の模式図を図2に示す。この図でパーライト変態開始時の最低温度をT1、また変態発熱中の最高温度をT2とし、これらの温度に注目して変態温度と強度の相関を調査した。

表1に示す化学成分を有する直径32mmの鋼棒を用い、気水混合比やミスト噴霧時間を変化させ、変態温度を種々

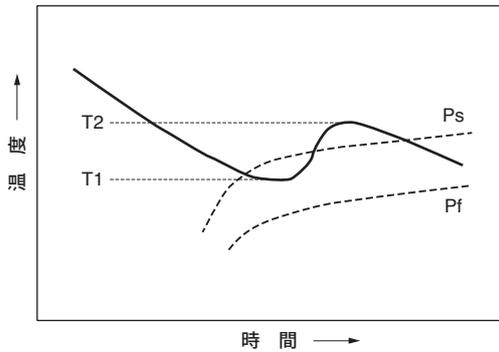


図2 冷却曲線模式図

表1 供試材の化学成分 (wt%)

C	Si	Mn	P	S	Cr
0.72	0.80	1.20	0.017	0.020	0.80

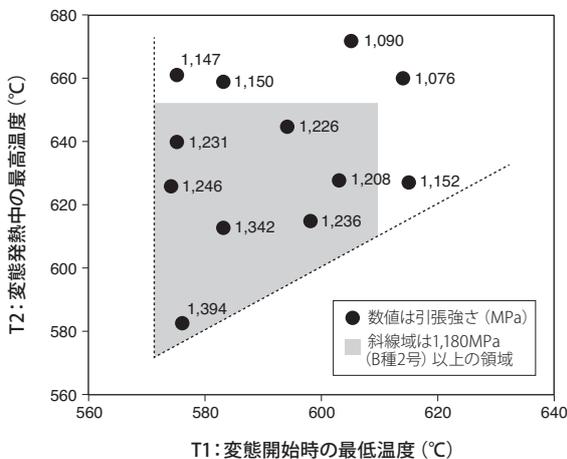


図3 パーライト変態温度と引張強さ

変えた材料の引張強さを図3に示す。これより、変態開始温度 (T1) および変態発熱温度 (T2) を低くすることによって高い強度が得られることが判る。

3. ミスト冷却装置

上記のような冷却条件を圧延鋼棒の円周方向および軸方向に均一に得ることが出来る設備として、図4のような装置を開発した。

これは熱間圧延、定尺切断後の鋼棒を冷却台上に並列させ並進させるにあたり、各鋼棒を自転させつつ棒軸方向と直交して斜めに並進させるものであり、この並進する冷却床の上方全面にミストスプレーノズルを設け、棒軸方向および円周方向に均等に冷却されるよう工夫してある。

本装置ではパーライト変態開始までの冷却および変態発熱時の冷却を独立に行うことが出来、使用する材料の鋼種(成分)、材料径さらには必要とする強度に応じ並列するスプレーノズルからの冷却能を変えることにより高い自由度を持って所要の強度を得ることが出来る。我々は熱間圧延後の鋼棒をパーライト変態開始までミストで冷却した後、

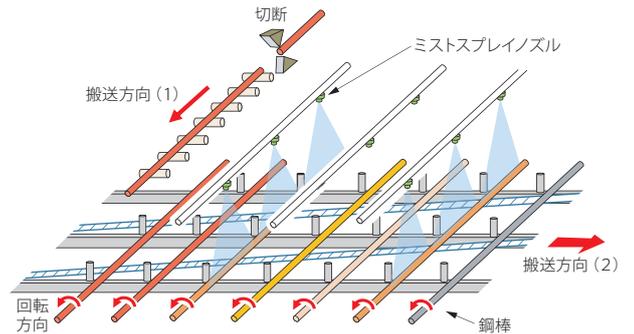


図4 鋼棒ミスト冷却装置概略図



写真1 鋼棒ミスト冷却装置外観

一旦ミスト冷却を止め空冷のみとし、再度復熱が開始するのにあわせミスト冷却を開始するようにしている。写真1に冷却中の装置の外観写真を示す。

4. パーライト鋼棒の特性

4-1 製造条件の一例 表1に示す成分を持つ鋼片を、圧延仕上がり温度925℃で直径32mmまで熱間圧延した後、所定長さに切断した鋼棒を、回転速度8.2rpmで搬送方向(2)の速度が0.86m/minの冷却床上でミスト冷却を行った。ミストの条件は、空気90Nm³/min、水1.5m³/minで、変態開始までの96秒間ミスト冷却、13秒間空冷した後、同様のミスト条件で90秒間冷却を行った。

その際の冷却曲線を図5に示す。比較として同じ搬送条件のもとミスト冷却していない空冷(気温15℃)だけの冷却曲線も並記する。

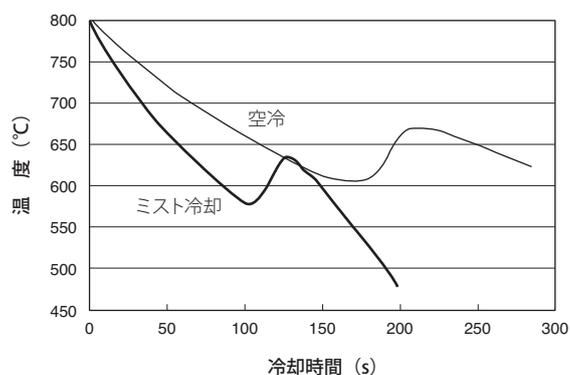


図5 鋼棒冷却曲線

これより、ミスト冷却での変態開始時の最低温度T1は578℃、変態発熱中の最高温度T2は634℃であった。同様に空冷だけの場合はT1 = 606℃、T2 = 669℃であった。

ミスト冷却による熱伝達係数はおよそ180W/m²・Kであり、空冷の70W/m²・Kに比べ2倍以上の冷却能を持っている。

4-2 金属組織 これらの冷却で得られた鋼棒の金属組織写真を写真2、3に示す。写真2は両者の鋼棒の表面部、表面と中心の間(中間部)および中心部のEBSD(electron backscatter diffraction; 後方散乱電子回折)を利用した結晶性試料の方位解析)による結晶粒内ブロックを示しており、写真3は同部位の電子顕微鏡によるラメラ組織を示している。

これより、変態温度を低く制御した鋼棒の金属組織は空冷のそれより何れの部位においても微細組織となっている。すなわち、中間部でみると、ブロックサイズは平均25μmが19μmと細くなっており、またラメラ間隔も平均0.22μmから0.14μmへと狭くなっている。

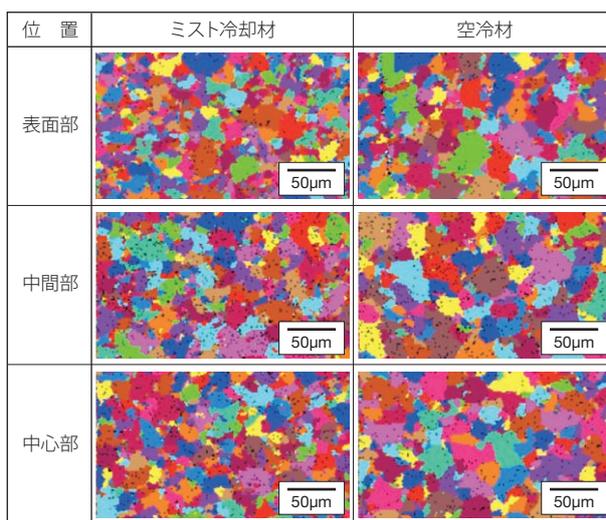


写真2 パーライトブロック組織

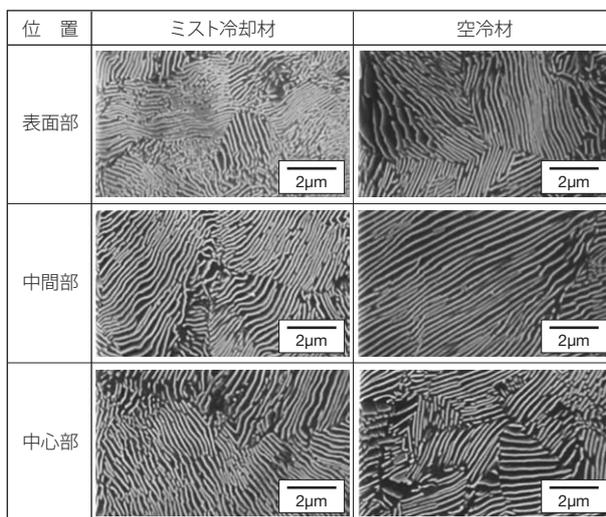


写真3 パーライトラメラ組織

4-3 機械的特性 図6に上記鋼棒の機械的特性を示す。これより供試材15本の平均値として、ミスト冷却材は引張強さ1,244MPa、絞り値36.0%、空冷材では引張強さ1,136MPa、絞り値34.7%であり、本方法により高強度、高靱性の鋼棒を得ることが出来た。これはパーライト変態温度を低温側に持ってゆくことにより、ブロックサイズならびにラメラ間隔の微細化が図れたためと考えられる。

4-4 遅れ破壊特性 上記ミスト冷却による鋼棒に、引張強さの80%に相当する荷重を載荷し375℃で加熱する、所謂ストレッチブルーイング処理を施した後、チオシアン酸アンモニウム水溶液(濃度20%、温度50℃)中で載荷応力944MPa(JIS G 3109 B種2号規格強度の80%)のもと400時間を目処に試験を行った。図7に遅れ破壊試

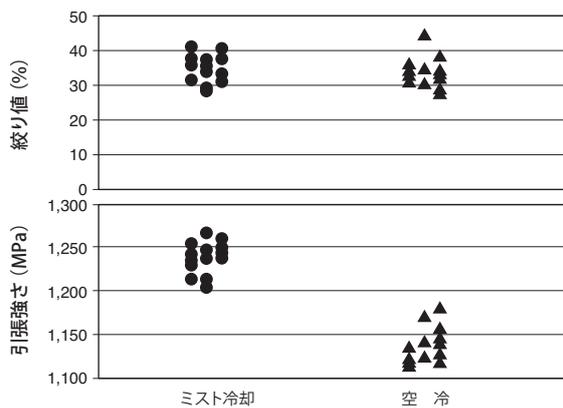


図6 鋼棒の機械的特性

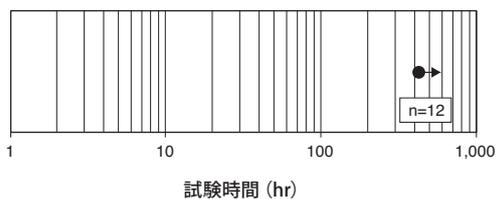


図7 遅れ破壊特性

験結果を示すが、12本の供試材全てが420時間でも未破断であり、優れた耐遅れ破壊特性を示していることが判る。

4-5 リラクゼーション特性 4-4で示したストレッチブルーイング処理を施した上記ミスト冷却の鋼棒を用い、JIS G 3109に規定するリラクゼーション試験を行った。

図8にリラクゼーションカーブを示す。これより、本製品は1,000時間後のリラクゼーション値が2.95%であり、JISに規定する4.0%以下を十分に満足している。

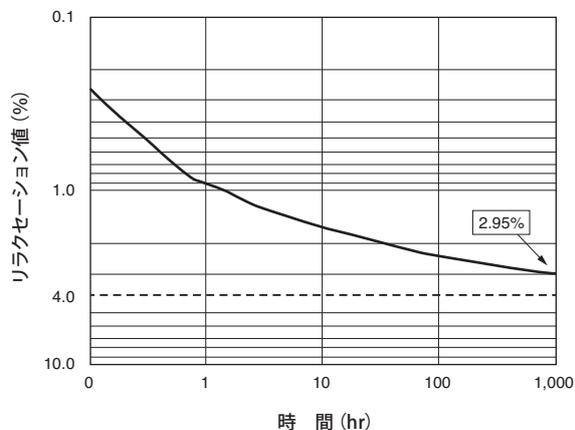


図8 リラクゼーション特性

5. 結 言

当社では熱間圧延に直結したミスト冷却という直接熱処理技術により、鋼棒の冷却パターンを制御しパーライト変態温度を低く抑える技術を開発した。これにより、環境負荷を抑え、経済的に高強度かつ高靱性を有し、さらには優れた耐遅れ破壊特性を有する太径高強度鋼棒を提供している。

用語集

※1 PC鋼棒

プレストレストコンクリートに用いる鋼棒。

執筆者

村井 照幸 : シニアスペシャリスト
住友電工スチールワイヤー(株)
取締役技師長
鉄鋼材料の熱間加工技術および鋼線の開発・製造に従事

