

# 厚板オンライン熱処理設備

JFEスチール株式会社

代表取締役社長 馬田 一

JFEスチール(株) 専務執行役員	小俣 一夫
JFEスチール(株) 西日本製鉄所 鋼材商品技術部 部長	西崎 宏
JFEスチール(株) スチール研究所 主任研究員	日野 善道
JFEスチール(株) 西日本製鉄所 制御部 制御技術室長	関根 宏
JFEスチール(株) 西日本製鉄所 厚板部 主任部員	杉岡 正敏
JFEスチール(株) 西日本製鉄所 設備部 主任部員	藤井 幸生

## はじめに

従来、600～1000MPaの高強度厚鋼板の製造には、熱間圧延を行った後、オフラインでガス燃焼炉を用いて再加熱焼入れ、焼戻し処理を行ってきた。近年、厚板のオンライン加速冷却プロセスが発展し、圧延後高温からのオンライン直接焼入れ処理が可能となった。しかし焼戻し処理はオフラインであったため、200t/hの圧延能率に比べて10t/hと、圧延に比べ1桁以上能率が低いプロセスになっていた(図1)。この問題を解決するために、誘導加熱方式を用いた厚板オンライン熱処理設備を開発した。

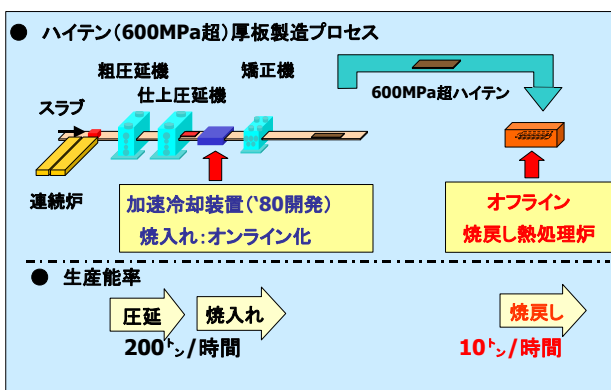
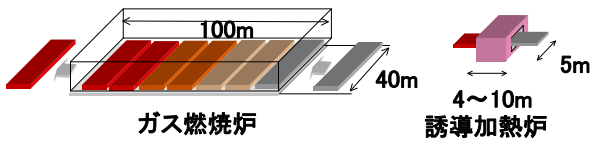


図1 高強度厚板(ハイテン)製造従来プロセス

## 開発のねらい

従来のガス燃焼炉は、製鉄過程で発生する副生ガスを燃料とした加熱方式であり、生産性が低い。一方、誘導加熱炉は、50、60Hz程度の商用周波数と同程度からさらに高い周波数まで、用途に応じた周波数で駆動する誘導加熱コイルによって、鋼板に誘導電流を流してその電流による発熱で加熱を行うものである。発熱はガス加熱のように外部からではなく、内部から発生し、そのエネルギー量は投入する電力でコントロールできる。図2に示すように、誘導加熱の加熱速度は10°C/sと従来のガス燃焼炉の約100倍で、600°Cまで加熱するのに70分を要していた熱処理が、誘導加熱では1分程度で完了する。また、エネルギーの90%を加熱に使用でき、誘導加熱では圧延と同じ能率を達成できる。これらの結果に基づき、設置スペースが小さく、高能率加熱が可能な誘導加熱方式を用いた厚板オンライン熱処理設備の開発を行った。

●オンライン熱処理炉の大きさ



●オフラインガス加熱炉とオンライン誘導加熱炉の比較

項目	誘導加熱炉	従来ガス燃焼炉
加熱速度 (°C/s)	10.0	0.15
加熱時間(分) *	1	70
加熱効率(%)	90	25
能率(トン/時)	目標 200	10

\* 板厚25mmの鋼板を室温から600°Cまで加熱

図2 オンライン熱処理炉比較

装置の概要

図3に開発したオンライン熱処理設備を示す。合計70メガワットと巨大な設備であるが、圧延と焼入れと焼戻しを200t/hの同じ能率で処理することができる。この設備開発により、高強度材の高能率、省エネ、短納期製造が可能となった。

技術上の特徴

誘導加熱中は、表面と中心に温度差が発生し、コイル1台の単機で一気に加熱すると、表

面が上限温度を超えて過加熱され、材質劣化を生じる。この問題を解決するために、コイル分割加熱方式を開発した。コイルを分割し、加熱と均熱を繰り返し、順次加熱量をダウンして加熱すれば、許容される上限温度の範囲内にコントロールできる(図4)。

●コイル単機加熱      ●コイル分割加熱

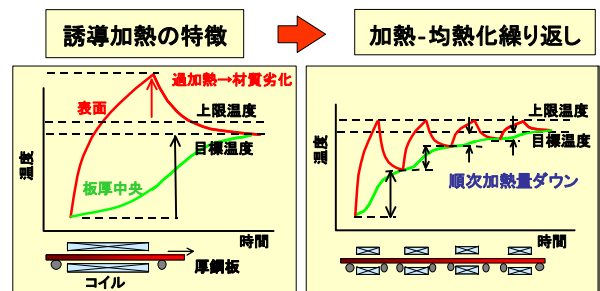


図4 誘導加熱による焼戻し熱処理への対応

均一加熱を行うには、複数回に分けて加熱を行う方法が有効であるが、同一速度で搬送した場合、鋼板温度が高くなるにつれ、上限温度を超えないように投入電力を制御する必要がある。

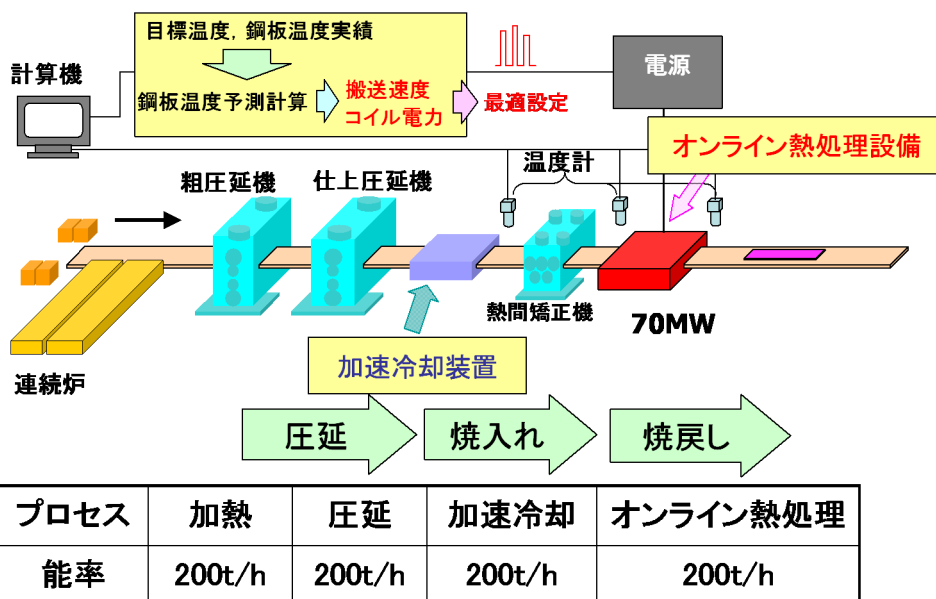


図3 厚板オンライン熱処理設備

プロセス	加熱	圧延	加速冷却	オンライン熱処理
能率	200t/h	200t/h	200t/h	200t/h

図5に示す誘導加熱コイル集中配置のように、分割したコイルで長い板を加熱するには多数かつ出力別のコイルが必要になる。またこの場合には、すべてのコイルで一斉に加熱するため、瞬間的に大きな電力が必要になる。

そこで、コイルの種類と台数を減らすため、図に示すように板をリバース搬送する配置を開発した。これにより、コイル数を最小限でかつ多数のコイルを配置した巨大な設備と同じ能力を得ることができる。さらに、誘導加熱コイルを通過する速度を可変にでき、高温時の加熱は通過速度を増すことで、コイルが大出力であっても加熱時間を短くして過加熱を防止でき、各群コイル容量の平準化が実現できた。

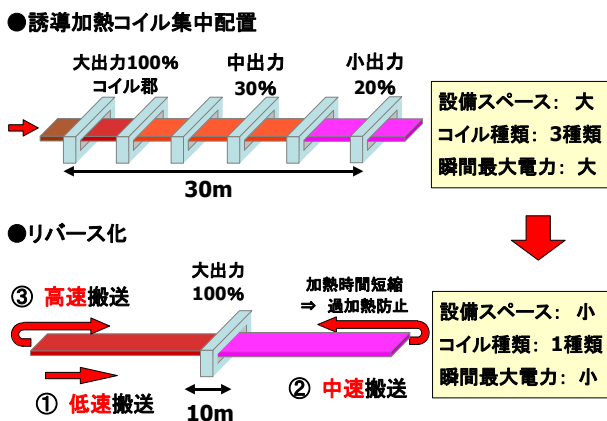


図5 誘導加熱配置によるコンパクト化

## 実用上の効果

焼入れから焼戻しまで一貫したオンライン処理が可能となった事で、図6に示すように製造工期の飛躍的な短縮（約10日間）と供給量の大幅な増加が実現できた（60千t/年→180千t/年）。また、この技術開発により、大幅なCO<sub>2</sub>排出量の削減も実現できた（40万トン/年）。さらに誘導加熱方式の導入により、高機能新商品の製造に道を拓いた。

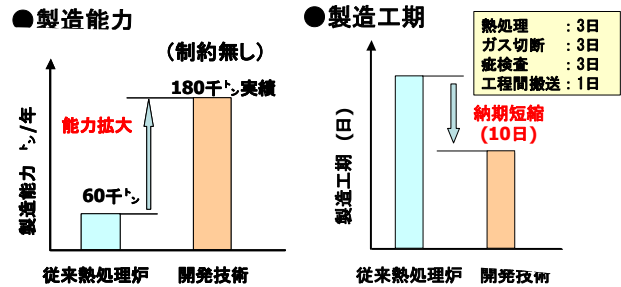


図6 製造能力と製造工期

オンライン熱処理技術の効果としては、熱処理能力の拡大、納期の短縮だけでなく、誘導加熱の特長を活かした独自の熱履歴制御技術により、新商品を開発することができた。図7に直接焼入れと急速オンライン焼戻しプロセスによる、タンクおよび建設機械向け高強度鋼の例を示す。従来のオフライン焼戻しに比べ熱処理時間が大幅に短縮できるため、強度低下が少なく、かつ組織が微細化された高強度・高靱性鋼板を開発することができた。

図8に超高強度鋼の開発の例を示す。引張り強さ1000MPa超の鋼材は、鋼材使用量の大幅な低減を可能にする省資源型の材料であるが、水素起因の遅れ破壊が問題となり、実用化が困難であった。これに対して、オンライン熱処理の急速加熱焼戻しによる組織の微細化により、大幅な耐遅れ破壊特性の向上を達成し、構造物の軽量化に向けた新商品を開発できた。これは、構造物の軽量化に向けた画期的なブレイクスルー技術であると考えられる。

本技術は鉄鋼メーカーにおいては、①省エネ・省資源（工程省略、合金元素削減）、②生産性向上、等の効果をもたらすと共に、本技術を用いて開発・製造された高機能鋼材の適用により、需要家サイドにおいては、以下のような

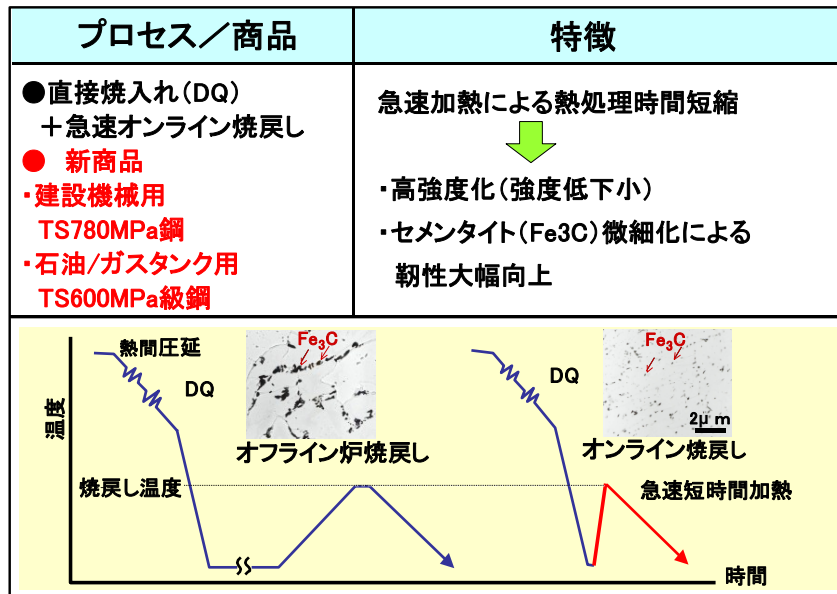


図7 タンクおよび建設機械向高強度鋼の開発

効果が期待される。①溶接性能向上による工数および工期短縮、②建産機などの軽量化と運転エネルギーの削減、③短納期で大量の高級鋼材の調達が可能。経済効果は、これら項目の総額で約65億円／年、CO<sub>2</sub>削減効果は40万CO<sub>2</sub>t／年と見積もられる。

名称：鋼材の熱処理方法およびその装置

② 日本国特許第4066603号

名称：鋼材の熱処理方法

③ 日本国特許第4062183号

名称：鋼材の熱処理方法及び製造方法並びに製造設備

④ 日本国特許第3818215号

名称：高強度鋼板の製造方法

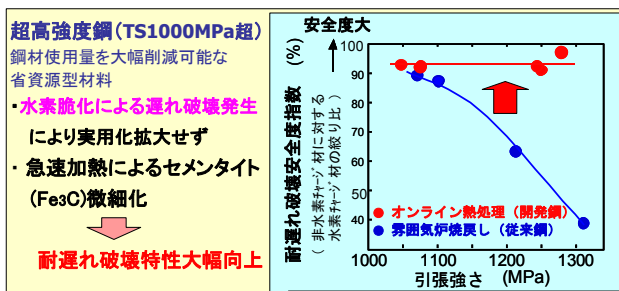


図8 超高強度鋼の開発

## 工業所有権の状況

本開発の装置に関する特許の日本国内出願件数は153件(内、公開件数113件 登録29件)、外国出願は12件であり、主要な特許登録は下記の通りである。

① 日本国特許第4066652号

## むすび

厚鋼板の熱処理を迅速、省エネ化し、材質制御にも利用できる厚板のオンライン熱処理設備を世界で初めて開発した。その結果、ラインパイプや建機への高強度鋼の大量生産・大量供給が可能となり、鋼構造物や車両の軽量化や施工時の施工性の高さに貢献した。

また、制御圧延・制御冷却と焼戻し熱処理による高強度化は省合金化を実現し、高強度・高性能鋼の大量生産を通じて、省エネルギー、CO<sub>2</sub>削減で地球環境に貢献している。