

君津製鐵所における厚板高級鋼製造技術の確立

Development of High Quality Heavy Plates on Steelmaking Process at Kimitsu Works

植 山 信二郎*
Shinjiroh UEYAMA新 妻 峰 郎
Mineo NIIZUMA米 澤 公 敏
Kimitoshi YONEZAWA

抄 録

新日本製鐵君津製鐵所において製造している耐サワーガスラインパイプ用鋼板や海洋構造物用鋼板等の厚板高級鋼は、要求される製品材質特性が極めて厳しい。そのため、精錬工程では極限までの低S化や非金属介在物制御技術の開発、連続鑄造工程においては中心偏析・センターポロシティ等の鑄片内部欠陥抑制技術の開発を行ってきた。2006年に稼働した第6連続鑄造機においては、設備仕様や軽圧下条件を最適化することにより、中心偏析・センターポロシティの大幅な低減を達成した。開発した非金属介在物制御技術(オキサイドメタラジー)や粉体吹き込み法による極低硫化技術も活用することで、厚板高級鋼を大量生産する製鋼製造技術を確立した。

Abstract

Nippon Steel Corporation Kimitsu Works produces heavy plate steel for line-pipes in sour gas service and for offshore structure. As these are high-performance steels, Nippon Steel Corporation has developed advanced manufacturing technology, such as desulfurization, non-metallic-inclusion control, and inner defect free technology for slab. At Kimitsu Works, the No.6 continuous slab caster was put into operation in 2006. By optimizing the conditions of the soft reduction, center segregation and porosity has been drastically reduced and high productivity has been achieved. Along with desulfurization technology and oxide metallurgy Nippon Steel Corporation developed, we have established mass production technology of high quality heavy plate.

1. 緒 言

新日本製鐵君津製鐵所では、耐サワーガスラインパイプや海洋構造物等の厳しい材質特性が要求される高級厚板・鋼管を製造している。これら鋼材は、厚板工程のみならず、素材である鋼片に対しても極めて高度な品質要求がなされるため、製鋼工程での高度な製造技術が必須である。

昨今、エネルギー需要が拡大する中、これら高級鋼材の需要が増えており、多量に安定して製造する技術も不可欠となっている。

これら要求に対し、君津製鐵所では抜本的な鋼片品質向上のため、2006年に第6連続鑄造機(以下No.6CCと称する)を導入した。No.6CCでは水平帯に高剛性、高圧下力のセグメントを設置し、軽圧下鑄造条件の最適化を図ることにより、中心偏析・センターポロシティ低減と高生産性とを両立している。更に極低硫化技術やオキサイドメタラジー等の精錬技術も活用することにより、厚板高級鋼を大

量生産する製鋼製造技術を確立した。

本報では、君津製鐵所の製鋼工程における厚板高級鋼の製造技術について報告する。

2. 厚板高級鋼に求められる品質

2.1 必要とされる製鋼品質

耐サワーガスラインパイプ用や海洋構造物用の鋼管や厚板の高級鋼製造においては、製鋼工程では主に①極低硫化技術、②非金属介在物(以下介在物)形態制御、③有害介在物低減技術、④中心偏析及びセンターポロシティ低減技術、が必要である。

2.2 品種別の要求品質

2.2.1 耐サワーガスラインパイプ用鋼板

耐サワーガスラインパイプ用鋼板(以下、耐サワー材と称す)は、水素誘起割れ(HIC:Hydrogen Induced Cracking)への耐性が最も重要である。エネルギー資源開発地域がよ

* 君津製鐵所 製鋼部 製鋼品質技術グループ グループリーダー 千葉県君津市君津1 〒299-1141

表1 耐サワーガスラインパイプ用鋼板の化学組成例(mass%)
Chemical compositions of steel plate in sour gas service (mass%)

C	Si	Mn	P	S	Al	Others
0.04	0.25	1.44	≤ 0.010	≤ 0.001	0.020	Ni, Cr, Mo, Nb, Ti

り過酷な極北域や海底に進むにつれ、HICフリー化、高強度、高靱性、厚肉化(板厚30mm超)等、製品に要求される特性は益々高度化している。

HICは、サワー環境下(H₂S雰囲気)で鋼板中に吸着、侵入拡散した水素が鋼板内の延伸したMnSや(Nb, Ti)(C, N)等の非金属介在物の界面に捕捉され、水素による内圧が応力源となり割れが生じる現象で、外部応力を必要としない割れである。この割れは、連続鋳造(以下、連鋳)の最終凝固部(中心偏析部)におけるS, Mn, P, C等の濃化部を伝播して進展する^{1,3)}。そこで割れの起点と伝播の抑制のため、極限までの高純度化、特に極低S化を行うとともに、連続鋳造における中心偏析の低減が必要である。また粗大な介在物もHICの起点となるため、鋳造工程において除去しなければならない。

耐サワー材の代表的な成分目標値を表1に示す。低C, Pであり、目標上限S≤10ppmの極低[S]成分となっている。

2.2.2 海洋構造物向け厚鋼板

海洋構造物向け厚鋼板(以下、海構材と称す)の適用範囲は、近年、石油や天然ガスなどのエネルギー資源開発域の広域化に伴い、深海域や北海などの極寒冷海域に拡大している。そのため、厚鋼板には、高強度化、極厚化、溶接部での極低温靱性(低温での溶接部継手特性)等への要求が高まっており、製鋼技術の向上が求められていた。

一般に連鋳機内での凝固収縮に伴い、鋳片中心部でセンターポロシティ欠陥が発生するため、連鋳工程では軽圧下技術を活用し、このポロシティを抑制している。しかし、鋼材の高強度化に伴い凝固シエルの高温強度が上昇しており、鋳片の軽圧下が困難になっている。更に板厚100mm超の極厚化も進んでいることから、圧延によるセンターポロシティ圧着も困難となるため、鋳片センターポロシティ低減対策が重要となっていた。

また、溶接部の極低温靱性向上のためには、溶接熱影響部(以下HAZ: Heat Affected Zone)のフェライト粒を微細にする必要がある。そのため、製鋼工程で非金属介在物組成を調整することで、HAZ部の結晶粒を微細化させる技術を適用している。製鋼工程には、非金属介在物を目標とする組成に制御し、鋳片に均一に分散させる鋳片の溶製が要求される⁴⁾。逆に、粗大な介在物は種々の欠陥の起点となり材質特性を悪化させるため、確実に除去しなければならない。

海構材の代表的な成分値を表2に示す。非金属介在物組

表2 海洋構造物用鋼板の化学組成例(mass%)
Chemical compositions of steel plate for offshore structure (mass%)

C	Si	Mn	P	S	Al	Others
0.09	0.15	1.60	0.005	0.002	0.003	Ni, Cu, Nb, Ti

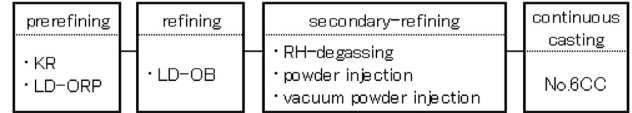


図1 君津製鐵所第二製鋼工場における製造工程
Manufacturing process of No.2 steelmaking plant at Kimitsu Works

成を制御するため、Ti脱酸をベースとしたAlレス鋼である。

3. 厚板高級鋼の製造工程

図1に君津製鐵所第二製鋼工場における製造工程を示す。

耐サワー材の製造工程は、カンバラリアクター(KR)による溶銑脱S処理、転炉方式予備処理(LD-ORP)での脱P処理、転炉処理(LD-OB: LD-Oxygen Bottom Blowing)を経て、二次精錬は減圧下パウダーインジェクションプロセス(V-KIP)による極限までの脱S処理を行っており、S, P等極限まで高純度化するのが特徴である。

一方、海構材の製造工程は、転炉までのプロセスは耐サワー材と同様であるが、二次精錬ではRHとKIP脱硫プロセスを採用している。これらプロセスにおいて、介在物制御(オキサイドメタラジー)も行っている。

連続鋳造工程においては、耐サワー材、海構材ともに、No.6CCにおいて、タンディッシュ内・鋳型内溶鋼流動制御による粗大介在物の低減、軽圧下鋳造による中心偏析・センターポロシティ低減の効果を活用して製造している。

4. 厚板高級鋼における精錬技術

4.1 脱硫技術

高炉からの出銑Sは約 $30 \times 10^{-3}\%$ (300ppm)含有している。この溶銑を製鋼工程で約3ppmまで脱硫処理を行っており、99%超の脱硫率が必要である。君津製鐵所の低硫鋼精錬プロセスでは、この高脱硫率を安定して達成するため、転炉前の溶銑脱硫(300ppm→30ppm)と転炉吹錬後の溶鋼脱硫(30ppm→3~20ppm)の2段階の脱硫処理を実施している。

4.1.1 溶銑脱硫

君津製鐵所では、高炉~転炉間の輸送容器であるトピードカーで脱硫、脱りんを同時に実施する方式であったが、極低硫化要請を受け、脱硫能に優れる溶銑鍋脱硫法であるKRプロセスを2000年に導入した。KR法はインペラーで

溶銑を攪拌しながら脱硫フラックスを投入するもので、脱硫(還元反応)に特化しており、短時間の処理で約90%の脱硫が可能である。転炉工程でのSアップを考慮しても、製品Sが50ppm程度まで対応でき、低硫鋼を多量かつ容易に造ることができる。

4.1.2 溶鋼脱硫

KR脱硫のみでは到達できない極低硫鋼(規格上限 ≤ 30 ppm)に対しては、二次精錬工程での脱硫を行っている。要求Sレベルに応じて、KIP法とV-KIP法の2つのプロセスを使い分けている。

KIP法(図2)は耐火物製ランスを溶鋼中に浸漬させ、キャリアガスによりCaO系粉体を吹き込むプロセスである。脱硫反応は、吹き込み粉体が溶鋼中を浮上中に直接脱硫する反応である。また、攪拌力が強く溶鋼清浄性も向上させるプロセスである。約60%の脱硫率を確保でき製品Sが20ppmまでの鋼を製造する事が出来る。

更にSの厳格な耐サワーラインパイプ等の極低硫鋼は、5ppmを目標としているため、脱硫能を向上させたV-KIP法を適用している(図3, 図4)⁵⁾。V-KIP法は、真空タンク内に取鍋を設置し、KIP法と同様に粉体インジェクションするプロセスである。真空下での攪拌により、攪拌力は

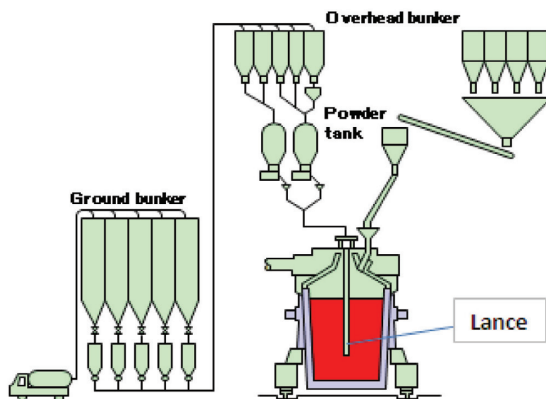


図2 KIP設備
Schematic diagram of the KIP apparatus

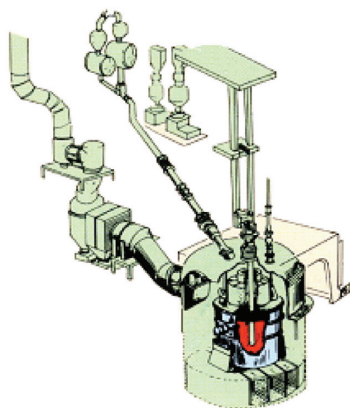


図3 V-KIP設備
Schematic diagram of the V-KIP apparatus

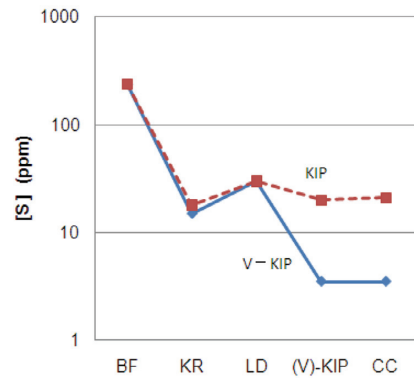


図4 君津製鐵所各工程における到達[S]
Trend of desulfurization process at Kimitsu Works

飛躍的に向上する。そのためCaO系粉体浮上中の脱硫のみならず、トップスラグとの反応による脱硫も進行することで、脱硫効率は更に上昇し短時間で効率よく脱硫が出来る。到達Sは約3ppmまで可能である。また同時に脱水素も行っており、精錬時間も短くできる。攪拌力が強い半面、取鍋耐火物等の溶損が大きいが、MgO等を含むさせたスラグ組成の適正化により、耐火物溶損抑制も図っている⁶⁾。現在、約3万t/monthの生産が可能となっている。

4.2 オキシドメタラジー

海構厚鋼板ではHAZ部の極低温靱性向上が必要である。

HAZ部では γ 粒が成長するので、フェライトも粗大化し、靱性を悪化させる。これを防止するため、製鋼工程で生成する非金属介在物を活用し、HAZ靱性を向上させている。TiO鋼では、介在物組成をTiOベースとするため、通常のAl脱酸を適用できない。海構材は耐ラメラテア特性も必要であるため、低S鋼であるが、Ti脱酸法により鋼中Oが上昇するため、脱硫反応を悪化させる。これに対し、精錬工程で酸素コントロール技術を適用することにより、Alレス化と低S化の両立を図っている。

更に低温靱性を向上させたHTUFF (Super High HAZ Toughness Technology with Fine Microstructure imparted by Fine Particles) 鋼では⁷⁾、溶鋼にMgを添加して介在物組成を制御している。1400℃の高温でも安定なナノサイズの非金属介在物を鑄片内に微細分散させたもので、これが γ 粒成長を抑制させている。

5. 厚板高級鋼における連鑄技術

5.1 No.6CCの特徴と設備仕様

新日本製鐵では、厚板・鋼管向け鋼板の品質対応力強化を目的に、2006年君津製鐵所にNo.6CCを設置した。図5にNo.6CCの断面図を、表3に主な設備仕様を示す。No.6CCは機長41.2mの1ストランド垂直曲げ型の連鑄機である。No.6CCは、精錬工程の供給ピッチと連鑄生産性とのバランス、ボトム・トップ屑の低減などを勘案し、1

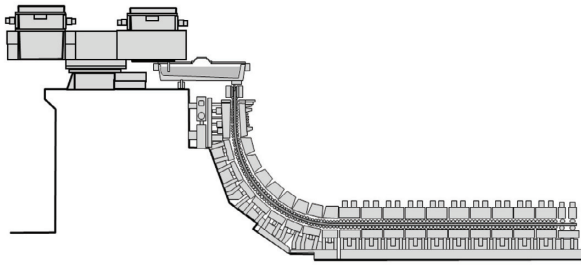


図5 No.6CCの断面図
Cross section of No.6CC

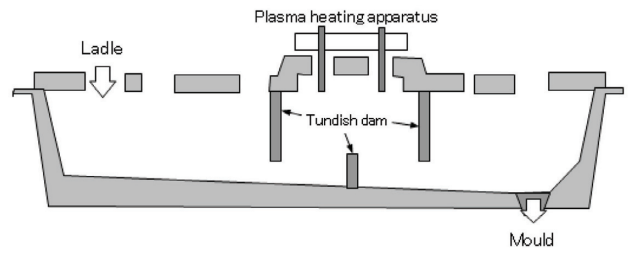


図6 No.6CCタンディッシュの断面図
Cross section of the tundish at No.6CC

表3 No.6CCの設備仕様
Basic design features of No.6CC

Metallurgical length		41.2 m
Number of strand		1
Machine type		Vertical-bending
Size of slab	Thickness	240, 300 mm
	Width	980 ~ 2 300 mm
	Length	5 200 ~ 12 800 mm
Exchanging method of casting thickness		Exchanging narrow face of mould
Content of tundish		60 ton

ストランドとしている。また casting 厚みは、既設の厚板向け主要連続機の第2連続铸造機（以下No.2CCと称する）と統一し、240mm、300mmの2種類としている。品質対策装備力については、No.2CCの装備力をベースとし、更に強化した仕様設計としている。

5.2 大型介在物低減技術

非金属介在物を含む溶鋼を連続铸造した場合、铸片内に非金属介在物が残留し、铸片に内部欠陥や表面疵等が生じる。従って、大型介在物の低減技術は高品位の铸片を得るための重要な技術であり、従来からタンディッシュや铸型において、介在物低減対策が実施されている。

5.2.1 タンディッシュ内溶鋼流動制御技術

タンディッシュにおける介在物低減対策としては、タンディッシュの大型化^{8,9)}による介在物浮上時間の確保、タンディッシュ内堰配置の最適化^{10,11)}による溶鋼流動制御の適正化などが挙げられる。

No.6CCでは、No.2CCと比較して、タンディッシュ流路長さの拡大及び堰配置の適正化による介在物の浮上促進を図っている。図6にNo.6CCのタンディッシュ断面及びタンディッシュ内の堰配置を示す。No.2CCは2ストランドマシンで容量60tonの舟型タンディッシュであり、ストランド当たりの容量は30tonである。一方、No.6CCは1ストランドマシンであることを利用し、No.2CCと同じ舟型で同一の容量60tonの設計をすることにより、約2倍の流路長さを確保している。

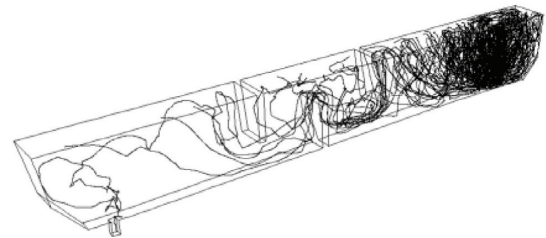


図7 溶鋼流動解析によるタンディッシュ内の介在物挙動
Behavior of inclusions in the tundish by numerical analysis

またNo.6CCではタンディッシュ内の堰を、取鍋側から浸漬ノズルに向かって、上堰、下堰、上堰の順で配置している。最初の上堰は、取鍋から流入する大型の介在物やスラグを浮上させ、そのままタンディッシュ溶鋼表面に保持し、铸型側へ流出しないように堰止める作用をする。次の下堰は、上堰をくぐった溶鋼が下堰に衝突し、溶鋼の流れが下流側の浸漬ノズルに直接流れ込むのを防止し、タンディッシュ内溶鋼表面に介在物を含む溶鋼を押し上げるような流れを形成させる。更に次の上堰の前で下降流をつくり、その後は熱対流による浮上を促す。図7に100 μ m径スラグ系介在物のタンディッシュ内挙動モデルの解析結果を示す。この堰配置を採用することにより、介在物がタンディッシュ溶鋼表面に浮上し、介在物を除去しやすいことを確認している。

介在物の浮上分離には、タンディッシュ内の溶鋼温度も重要な因子である。低温での介在物浮上阻害を回避するためには、常に一定の範囲内に溶鋼温度を制御することが望ましい。しかし実際の铸造では、精錬工程での処理後温度のばらつきや铸造中の経時的な鍋内温度低下のため、タンディッシュ内溶鋼温度のばらつきは大きい。このような温度ばらつきの中で、タンディッシュ内の溶鋼温度を補償するために、タンディッシュにおける溶鋼加熱が適用されている¹²⁾。

No.6CCにおいても溶鋼温度保証を目的としてプラズマ加熱装置を適用している（図6）。プラズマ加熱装置はタンディッシュ長手方向の中央に配置し、2つの上堰に囲まれたプラズマ加熱室で溶鋼加熱を行う。プラズマ加熱を適用することにより铸造全体を通しての温度のばらつきを抑制するとともに、取鍋交換時のタンディッシュ内温度低下を

抑制することができる。特にプラズマトーチと溶鋼湯面との距離を自動制御する機能を採用していることにより、取鍋交換におけるタンディッシュ内の溶鋼湯面低下時においてもプラズマ加熱が可能である。

5.2.2 鋳型内溶鋼流動制御技術

鋳型内に侵入した大型介在物の除去には鋳型内溶鋼流動制御が重要である。流動制御技術には、鋳型内電磁攪拌装置（以下M-EMSと称す）^{13,14)}、電磁ブレーキ、溶鋼湯面レベル制御、浸漬ノズル等注入系の詰り防止対策などの総合的な技術の最適化が必要である。

No.6CCでは鋳型内溶鋼流動制御設備として、No.2CCと同様にM-EMSを採用している。M-EMSの適用により、安定した溶鋼流動を凝固界面前面に付与することで、 $100\mu\text{m}$ 以上の大型介在物を除去することが可能である¹⁵⁾。これは凝固界面前面での溶鋼流速の増大に伴い、凝固シェル前面の境界層の圧力勾配に起因した洗浄効果により、凝固シェルから排出される力が増加するためと考えられる。図8にM-EMS適用時における鋳型内溶鋼流動解析結果を示す。M-EMSによる攪拌流により、鋳型幅中央部の浸漬ノズル下方において上昇流(循環流)が発生する。鋳型に侵入した介在物や気泡はこの上昇流によって浮上することにより、介在物や気泡の鋳片集積帯への侵入抑制効果が期待できる。

5.2.3 改善効果

図9にNo.6CC稼働前後の厚鋼板における介在物欠陥の発生率を示す。No.6CC稼働により、介在物起因の欠陥発生率は低減し、安定した品質を確保できている。

5.3 中心偏析，センターポロシティ低減技術

5.3.1 軽圧下技術

中心偏析粒径を低減させる技術としては、凝固末期での溶鋼流動を抑える鋳片軽圧下法¹⁶⁾がある。中心偏析は凝固末期に凝固収縮や熱収縮、ロール間バルジングなどにより

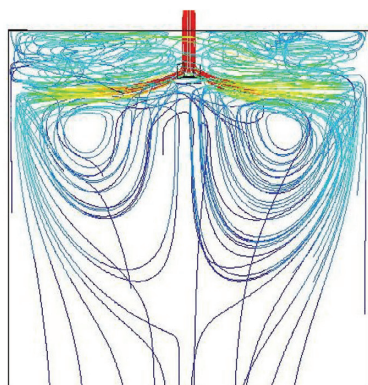


図8 数値解析によるM-EMS適用時の溶鋼流動
Levitation of molten steel with M-EMS in mould by numerical analysis

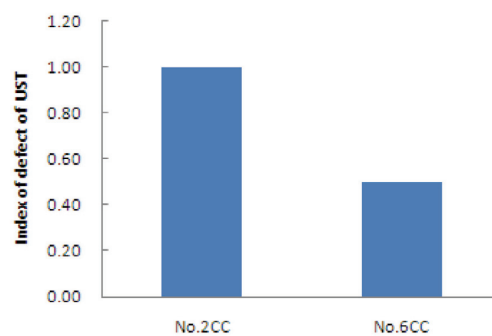


図9 厚鋼板における介在物欠陥発生率
Results of defect of inclusion at steel plates

濃化溶鋼の流動が起こることが原因で発生する。この鋳片軽圧下法は、連鋳最終凝固部のロール間隔を凝固収縮量に見合う量だけ縮小することにより圧下補償し、凝固収縮に伴う溶鋼流動を抑える技術である。鋳造設備においてロールを小径化し、ロールピッチを短くするとともに、鋳造厚や鋳造速度などの鋳造条件に適合した圧下量を選択することによって、この技術の効果を最大限に発揮することができる¹⁷⁻¹⁹⁾。No.6CCでは、水平帯全域約20m間において、分割ロールを短ロールピッチで配置し、また高圧下力を有した高剛性セグメントを装備している。またNo.6CCでは、No.2CCと比較し、ロールピッチを約3/4に、セグメント撓み量を約1/4に低減している(機械構造計算結果)。

5.3.2 中心偏析低減

図10にNo.6CC及びNo.2CCにおけるエッチプリント法²⁰⁾による中心偏析結果を示す。No.6CCでは中心偏析粒が小さく、中心偏析は大幅に改善されている。また図11にNo.6CC及びNo.2CCにおけるマンガン濃度の偏析度の評価結果を示す。中心偏析部のマンガン濃度分布をX線マイクロ分析(CMA: Computer Aided Micro Analyser)²¹⁾により解析し、マンガンの偏析度を評価した。No.6CCのマンガ

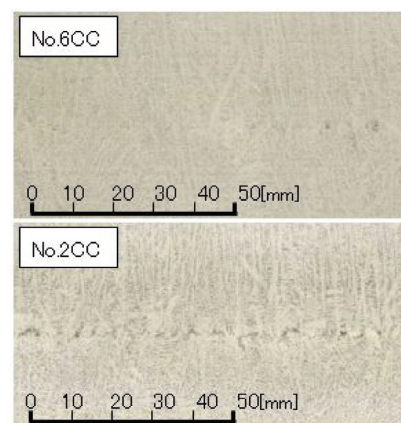


図10 エッチプリント法による中心偏析結果
Results of center segregation by method of etch printing method

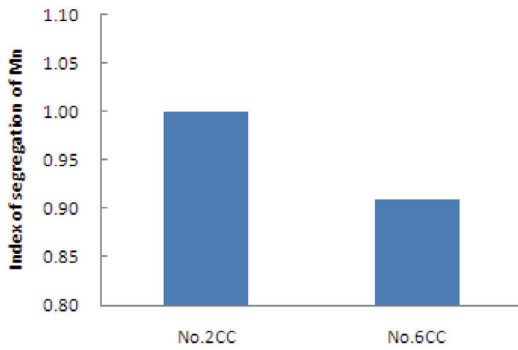


図11 鋳片厚み中心におけるMn 偏析濃度結果
Results of center segregation of manganese

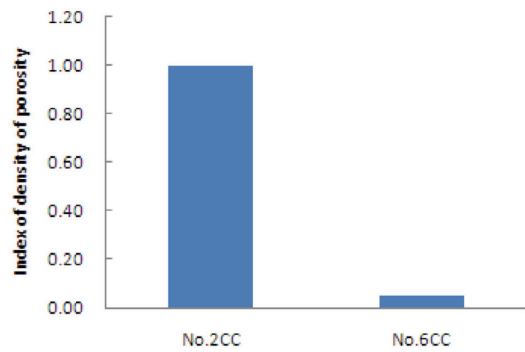


図13 センターポロシティ密度結果
Results of center-porosity density

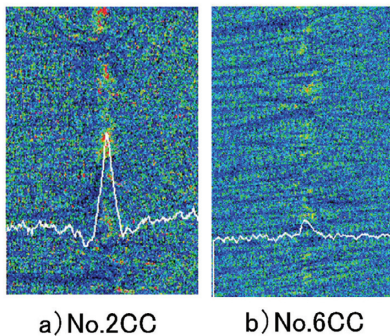


図12 厚み中心の濃度分布結果

Results of concentration distribution of manganese

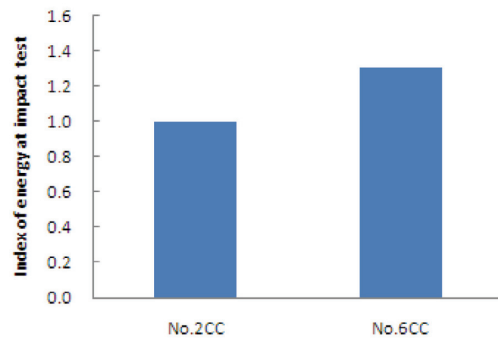


図14 1/2t(t:板厚)のシャルピー衝撃試験結果
Results of Charpy impact test at 1/2t of steel plates

ン偏析度は、No.2CCと比較し、約3/4に低減した。

図12にNo.6CCとNo.2CCの代表的なマンガン濃度分布を示す。一般的に、No.2CCに見られるように、鋳片厚み中心部においては正偏析の周りに負偏析部が存在する。一方、No.6CCの中心偏析分布は、正偏析周囲の負偏析帯が少ないのが特徴である。二次元数値解析では、ロール間バルジングを仮定すると、マッシーゾーンの圧縮と膨張の繰返しにより、周囲から中央への流れが発生し、中心部の正偏析の周りが負偏析帯を伴う濃度プロファイルとなる結果が得られている²³⁾。No.6CCでは、短ロールピッチ化や高剛性化によりバルジングの影響が最小化されたため、負偏析帯の少ない中心偏析形態となったと考えられる。

5.3.3 センターポロシティ低減

図13にNo.6CC及びNo.2CCのセンターポロシティ密度を示す。超音波探傷(UST)装置を使って測定した1mm以上のポロシティ個数を評価した。No.6CCのセンターポロシティ密度は、No.2CCと比較して1/10以下と大幅に減少している。

5.4 鋳片品質向上による製品材質改善効果

No.6CC導入及び操業技術の最適化による鋳片品質の向上に伴い、製品板における材質特性が向上した。図14に製品鋼板の1/2t(t:板厚)の靱性値を示す。鋳片の中

心偏析の改善により、1/2tの靱性値は約20%向上した。この偏析改善効果により、高強度厚手領域への鋼板適用が可能となる。海構材においては、精錬技術、厚板における圧延技術、更にこのNo.6CCにおける偏析改善効果を活用することにより、顧客のニーズである大型化に対応し、より高強度厚手化した製品の製造を進めている。

6. 厚板高級鋼における高効率操業技術

高級厚鋼板へのニーズの高まりを受け、製鋼工程においては高級厚鋼板を大量かつ効率的に製造する生産体制の構築が必要である。特に、高強度化(高合金化)、厚肉化等に伴う鋳片表面欠陥増加への対応するためには、No.6CCの品質対応力を最大限に発揮することが重要である。

6.1 表面疵低減による無手入れ化率向上

連続铸造時に発生した鋳片表面欠陥は、铸造後、グラインダーやハンド溶削等の手入れにて除去するため、厚板工程への直送化が阻害される。鋳片手入れが必要となる主な表面欠陥には、縦割れ、コーナー横割れ等がある。これらの手入れをなくするためには、鋳型内溶鋼流動制御技術、二次冷却制御技術を活用して表面欠陥を抑制する必要がある。

6.1.1 縦割れ抑制

縦割れは凝固の初期段階において凝固シェル厚みの幅方

向不均一に伴い発生するシェルの歪みにより生じる²³⁾。この凝固シェル厚みの不均一は、鑄型からの抜熱が幅方向で不均一であること、またメニスカス周辺の溶鋼は淀みやすく、溶鋼温度が鑄片幅方向で不均一であること、に起因するシェルの不均一成が原因と考えられている。特に海構材などの中炭素鋼はこの冷却不均一により、縦割れが発生しやすい。そのため、パウダー成分調整による鑄型抜熱の均一化、及びM-EMS適用による鑄型内の溶鋼温度分布の均一化¹⁵⁾により、凝固不均一を回避し、縦割れを抑制することが重要である。No.6CCにおいても、M-EMS適用条件の最適化、適用パウダーの適正化を行い、縦割れの抑制を図っている。

6.1.2 コーナー横割れ抑制

垂直曲げ型連鑄機における鑄片コーナー横割れは、鑄片表層に引張力が働く機内の曲げ点及び矯正点で発生しやすい。横割れはIII領域脆化で発生し、鋼固有の脆化現象である。そのため、曲げ点及び矯正点を通過する際の鑄片温度を、脆化域を回避するように制御する必要がある²⁴⁾。横割れの多くは鑄片の冷却が促進される鑄片コーナー部にて発生している。そのため、鑄片コーナー近傍の二次冷却を鑄片幅中央より弱くすることが対策の1つである。

一方、コーナー部の過度の緩冷却化は、コーナー近傍の凝固遅れを発生させ、中心偏析、センターポロシティ悪化を引き起こすことになる。そこでNo.6CCでは、二次冷却のスプレー配管系統を幅中央部のメインラインと、鑄片コーナー部の2本の幅切ラインとに分け、各ラインを独立して流量制御する仕組みを構築している。この幅切りラインの水量を鋼種特性に応じて適正化することにより、クレータエンド形状をコントロールして鑄片幅方向の中心偏析、センターポロシティのばらつきを低減しながら、鑄片コーナーの横割れを抑制している。

6.1.3 無手入れ化率向上

これら鑄造技術の適正化により、鑄片を手入れすること無く、厚板工程へ供給することが可能となっている。現在では、厚板用鑄片の約99%を無手入れにて圧延している。

6.2 鑄造時間比率拡大

6.2.1 連々鑄数の拡大

連々鑄数 (heat/sequence) を拡大することにより、ボトム、トップ屑削減による鑄造歩留向上、鑄造スタート、エンドでの減速回数削減による稼働率向上が可能である。No.6CCにおける厚板高級鋼鑄造時の連々鑄数の制約は、浸漬ノズルの鑄型湯面位置における耐火物溶損である。そこで耐火物溶損を抑制するパウダーの適用や浸漬ノズル形状の適正化等により、連々鑄数を拡大した。

6.2.2 鑄造厚み替え時間短縮

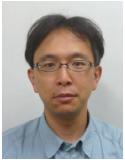
No.6CCの鑄造厚みは、厚板工場における圧延能率及び一貫歩留まりの向上を目的とし、No.2CCと同様に、240mm、300mmの2種類である。No.2CCでの300mm厚鑄片の製造は、鑄型交換に伴う稼働率の低下(4時間/回×2回のロス)が発生するため、鑄造チャンスを連鑄機の定期修繕タイミングの前後に限定していた。No.6CCでは、製鋼工程の生産性を落とさずに、製造タイミングの制約無しに300mm厚鑄片を製造するため、鑄型短辺の迅速交換方式を適用している。これにより圧延条件を優先した製造スケジュール設計が可能となった。従来No.2CCにおいては300mm厚鑄造の比率は3%程度であったが、No.6CCでは50%程度まで300mm厚鑄造を拡大している。

7. 結 言

君津製鐵所では、精鍊工程において極低硫化技術とオキサイドメタラジー、連鑄工程において中心偏析・センターポロシティ低減技術を活用することにより、耐サワーガスラインパイプ用鋼板や海洋構造物向け鋼板等厚板高級鋼を大量生産する技術対応力を強化した。

参考文献

- 1) Tamehiro, H. et al.: Trans. ISIJ. 25, 982 (1985)
- 2) 木村光男:溶接学会誌. 66 (2), 34 (1997)
- 3) 村上勝彦 ほか:鉄と鋼. 85 (4), 13 (1999)
- 4) 児島明彦 ほか:新日鉄技報. (380), 2 (2004)
- 5) 桑島周次 ほか:鉄と鋼. 72, S250 (1986)
- 6) 山本研一 ほか:CAMP-ISIJ. 9, 709 (1996)
- 7) 長井嘉秀 ほか:新日鉄技報. (380), 12 (2004)
- 8) 佐伯毅 ほか:鉄と鋼. 73 (10), A207 (1987)
- 9) 吉田基樹 ほか:鉄と鋼. 66 (11), S863 (1980)
- 10) 脇田淳一 ほか:鉄と鋼. 66 (11), S864 (1980)
- 11) 山上諄 ほか:鉄と鋼. 72 (12), S1072 (1986)
- 12) 木村秀明 ほか:新日鉄技報. (351), 21 (1994)
- 13) 橋高節生 ほか:新日鉄技報. (376), 63 (2002)
- 14) 竹内栄一 ほか:新日鉄技報. (351), 27 (1994)
- 15) 中島潤二 ほか:新日鉄技報. (376), 57 (2002)
- 16) 楯昌久 ほか:鉄と鋼. 64 (4), S207 (1978)
- 17) 山田衛 ほか:鉄と鋼. 71 (4), S216 (1985)
- 18) 山田衛 ほか:鉄と鋼. 72 (4), S193 (1986)
- 19) 荻林成章 ほか:鉄と鋼. 72 (4), S194 (1986)
- 20) 北村信也 ほか:鉄と鋼. 68 (4), S217 (1982)
- 21) 宮村紘 ほか:鉄と鋼. 69 (10), A197 (1983)
- 22) Kajitani, T. et al.: Metall. Mater. Trans. 32A, 1479 (2001)
- 23) 佐伯毅 ほか:鉄と鋼. 68 (13), 2773 (1982)
- 24) 鈴木洋夫 ほか:鉄と鋼. 67 (8), 1180 (1981)



植山信二郎 Shinjiroh UHEYAMA
君津製鐵所 製鋼部 製鋼品質技術グループ
グループリーダー
千葉県君津市君津1 〒299-1141



米澤公敏 Kimitoshi YONEZAWA
君津製鐵所 製鋼部長 工学博士



新妻峰郎 Mineo NIIZUMA
君津製鐵所 製鋼部 製鋼品質技術グループ
マネジャー