

会場にお集まりの皆様の御協力により、そして5名のコメントの先生方によるいろいろな角度からの有益な解説、批評により、また最後に味わい深いそして示唆に富んだ総括を両先生よりいただき融体精錬の基礎と応用に関する日本におけるレベルあるいは成果と問題点がある程度浮きぼりになつたのではないかと考えております。

基礎研究を女性にたとえ応用すなわち工業化の研究開発を男性にとたとえればお互いがお互いを意識し、こうあつてほしいと注文し、それにこたえ合つて向う合うということ発展するものと考えます。

今後の工学と工業の進展には、今日の討論会で示されたような基礎と応用のそれぞれの発展と共に活発なコンタクトが不可欠であると考えます。すなわち、女性と男性のお互いの自己研鑽に加えお互いを意識し、良い結びつきがよい子孫を残すことになり、長期的発展をもたらすのではないかと考えます。

本討論会の結論をしいて申せばこれが結論ではないかと考えます。

以上で「融体精錬の基礎と応用」というテーマでの討論会を終了させていただきます。長時間におよぶ御参加に感謝いたします。

以上で討論会の報告とする。

III. 圧延鋼材のオンライン熱処理

座長 日本鋼管(株)技術開発本部企画部

國岡計夫

圧延鋼材のオンライン熱処理は省エネルギー、省資源、省工程などの観点から最近特に盛んになり、新設備の建設、新製品の開発が行われている。例えば、厚板の場合、厚板圧延直後の加速冷却設備が日本鋼管(株)福山製鉄所厚板工場に昭和55年に初めて設置され、その効果が評価されるや鉄鋼大手各社とも昭和58年頃それぞれ設置され、新製品開発にしのぎを削りはじめた。また厚板の直接焼入れについてもそれと相前後して設置されたか、現在計画されている。

もちろんこの傾向は厚板に限らず、シームレスパイプ、形鋼、条鋼も同様である。本討論会ではこれら圧延鋼材のオンライン熱処理についての設備、技術、操業ノウハウなどを中心に報告し、討議及びコメントを交換することを目的とした。

このような趣旨を前提にして厚板、熱圧板、パイプ、形鋼及び条鋼に広く論文を募集したつもりであつたが、残念ながら厚板のみの論文となつた。しかし、見方を交えれば、現在最も話題となつている厚板についてであり、しかも、対象が一製品に絞られていたため、討論としてはかえつて集中できたのかもしれないと思つている。論文の3件は主として厚板の加速冷却に関するもの

であり、後の2件は厚板の直接焼入れに関するものであつた。

なお本技術はご承知のとおり、材質とは切つても切り離せないものなので材質の観点から2名の方々にコメントをいただいた。また1名の方に設備についてのコメントをいただいた。

各論文への質問及び討論は論文発表の終了後行い、論文の発表が終了してから上記3名の方々のコメントを掲載して、その後総合討論、質問などを行い、討論の活発化を意図した。

討19 オンライン強制水冷却による

新厚板製造法の開発

(株)神戸製鋼所中央研究所 大友朗紀 他

'83年4月に加古川製鉄所厚板工場に制御冷却から一部直接焼入れまで可能な設備を設置した。この報告ではその設備の特長、冷却制御技術及び操業実績についての報告であつた。

設備の特長としては、上部ノズルは逆U字パイプノズル、下部に噴射方向を斜方としたスプレーノズルで上下とも強冷却用と弱冷却用の2重構造としている。また設備方法としては幅4.7m、長さ39.1mのものである。

板形状、板内材質のばらつきを考慮した冷却制御方法として、上下水量比、鋼板側端部過冷却に対する遮へい、先後端温度制御として時間差法を採用している。この設備による厚板材質の結果として、造船YP32 kgf/mm² A級鋼板及び直接焼入型調質HT60鋼板の試作結果を示しており、また冷却歪み結果、条切り時の横曲結果について示し、いずれも良好な結果を得ている。

討論：本論文に対して、例えば“板幅エッジ水切り部の遮蔽率とはどのような定義か”に対して“水切り板を櫛の歯状にしてエッジ部にラミナーフローが当たるところと当たらないところを交互につくり、この当たらない部分の比率をいう。”その他“hot levellerの形状に及ぼす影響”などについての質疑、応答があつた。

討20 厚板オンライン制御冷却技術の開発

日本鋼管(株)中央研究所 神尾 實 他

制御冷却を目的とした福山製鉄所厚板工場設備の紹介が主体の論文であつた。ここでは本冷却設備を開発するまでの冷却方式、設備仕様などの基礎的検討結果を詳細に述べている。すなわち冷却方式として制御性、冷却能の観点から、上部円管ラミナー、下部スプレ方式を採用し、特に円管ラミナーについてはその配列について配慮している。また冷却歪み制御については上下水量比、冷却停止温度、幅方向水量パターン及び板幅側端部の冷却水遮へい率の適正化により行つている。本設備及び操業技術による実機での結果では良好な鋼板形状のものが得られ、また鋼板内での強度のばらつきは2 kgf/mm²以内におさまっている。

討論 本報告に対して例えば“冷却停止後の鋼板上で

の冷却水の影響についてどう考えているのか”の質問に対し、“冷却ゾーン出側のエアページ及び冷却後の変速搬送の組み合わせにより均一冷却を確保している。”との回答があつた。その他“*No-Buckling* 領域で $L=600$ mm でピーク値をとつている意味は?”などの質疑応答があつた。

討21 厚板新制御圧延プロセスにおける冷却設備と鋼板の形状制御

新日本製鉄(株)本社 中村秀夫 他

君津製鉄所及び名古屋製鉄所厚板工場に設置された冷却設備についての考え方を紹介し、また君津製鉄所での形状制御とその実績について報告したものである。

すなわち冷却設備としては *Hot leveller* 後方に設備し、加速通板冷却方式としている。ノズルはフラットスプレイノズルを採用、高低2段のヘッダーを設置すると同時に直接焼入れも可能なようにスリットジェットノズルも取り付けられている。

また鋼板形状制御としてエッジマスクを中心に制御している。

討論 その論文に対して、“加速通板により鋼板 Top 側と Bottom 側での冷却速度差による材質上の歪みの問題は?”の質問に対し、“材質上及び連続通板による特有のひずみもない。”という回答があつた。その他“Top, Bottom 部の防止対策は?”, “ノズルメンテナンスのための対策は?”などの質疑応答があつた。

討22 直接焼入設備の開発と操業

川崎製鉄(株)水島製鉄所 吉原正典 他

水島第2厚板工場に設置した羽根車式直接焼入設備の紹介が主体である。焼入方式はクローズタイプで、羽根車が回転することにより、冷却水は鋼板表裏面に平行流を形成して良好な冷却能を示すとしている。この場合の冷却能はローラクエンチのそれと近い値を示している。

この設備を用いての焼入材の特長は、DQ 材の方が RHQ 材よりも B の効果を出すための Al 添加量は少なくとも良く、また HT60 の場合は低温仕上げではじん性を害することなく、むしろ高靱性が得られている。いずれにしろ DQ 材は低炭素当量化がはかられ、溶接性も良好である。

機械的性質のばらつきも RHQ 材と差異がない結果が得られている。

討論 この論文に対して、例えば“表裏面硬度が中心より低い理由は?”に対して“DQ 前の温度低下による圧延組織の細粒化によりこのような板厚方向の硬度分布が得られたものと考え”と回答があつた。その他、“表面温度が 700°C 以上の熱伝達係数は?”, “上下面冷却能力のバランスはどのようにして行っているのか”との質疑応答があつた。

討23 オンライン熱処理による高張力厚鋼板の製造

住友金属工業(株)中央技術研究所 渡辺征一 他
まず加速冷却による HT 50 級製造条件について、次に調質鋼の製造条件についてふれている。すなわち加速冷却の場合で N 6 鋼では $950\sim 1050^{\circ}\text{C}$ 加熱で靱性を損なうことなく $5\sim 10$ kgf/mm² 強度上昇があり、炭素鋼では、 1100°C 加熱についての結果を示している。また Nb-V 鋼についても冷却速度と強度、靱性の関係について紹介している。直接焼入れについては圧延条件としては低温加熱-高温仕上げが望ましく、焼入開始はフェライト変態前にしなければならないとしている。焼入性を高めるためには、N 量を低下させなくてはならない。

次に、加速冷却設備と焼入設備の紹介で、加速冷却は上部カーテンウォールラミネーターで下部はスプレー方式である。直接焼入設備はローラクエンチ方式だが、鋼板のボトム温度が Ar_3 点以下にならないために、保温カバーをライン上に設置している。

討論 この論文に対して、例えば“幅方向冷却制御機能とは?”に対して、“CWC ノズルのギャップを中央部に対して端部を 0.75 の比となるようなテーパをつけ、幅方向の均一冷却化を図っており、またエッジの過冷防止のため水切りを行つている。”の回答があつた。その他、“ Ar_3 点以上であれば、板面内の各位置での温度偏差が大きいても良いのか。”などについての質疑応答があつた。

準討23 厚板オンライン加速冷却装置の均一冷却対策の検討

住友金属工業(株)中央技術研究所 高島啓行 他
鹿島製鉄所に設置した加速冷却及び焼入設備について、焼入設備はローラクエンチタイプなので、すでに設立された技術である。そこでここでは加速冷却の均一冷却対策の詳細についてのコメントがあつた。

準討 厚板オンライン熱処理プロセスにおける加熱圧延水冷条件と鋼の焼入性について

新日本製鉄(株)中央研究本部 関根 寛
厚板の加速冷却及び焼入れについて材質面からのコメントがあつた。すなわち、

①制御圧延なしの加速冷却の可能性について

水冷型 TMCP の量産鋼への適用を考えると、高靱性のものを必ずしも必要でない場合も多いので CR を軽減できるのではないかと、しかしそれとは裏腹に CR は形状確保に役立つのかもしれない。

②水冷直前の γ 中の固溶 β について

水冷直前の γ 界における B の存在は直接焼入れの焼入性を高めている。水冷型 TMCP ではスラブ加熱時に B が固溶していても、(イ)低窒化、微量 Ti 添加とスラブの低温加熱及び/または(ロ) B の増量添加で可能だとしている。

③水冷直前の γ 組織について

仕上げ圧延条件と圧延終了/水冷開始間の Transfer

Time の問題は加工 γ の回復, 再結晶と焼入性・水冷後の組織の微細化の関係から圧延機/水冷設備の最適配置, 水冷方式, 水冷能力の考え方に影響を与える。

準討 制御圧延・制御冷却鋼の微細組織と材料

(株)神戸製鋼所 後藤 正俊

鋼の微細組織と材料特性との関連の立場から加速冷却後のベイナイト量, 種類, 形態などと, 機械的性質, 靱性, HIC 性などとの関連について材質の本質からコメントしたものである。

すなわち調質鋼では嫌われる傾向にあつたベイナイト, フェライト+ベルナイト組織鋼も加速冷却に利用されはじめています。そこでベイナイト及びマルテンサイト相材料特性に及ぼす影響について紹介している。

以上の論文の発表後, 総合討論が活発に行われた。最後に座長が, 今後のオンライン焼処理技術について“①各種の冷却方式が紹介されたが, 各社の事情があるにしろ, 何か最適方式ももつと議論してはどうか。②いろいろと形状についての対策がこうじられているが, キャンパー対策についてはまだ十分解決されているようには思われない。③材質との関連性が非常に大であるので, 今後とも材質研究者との交流を活発にしていかなければいけない。④下面冷却法としてスプレー方式のみしか紹介されなかつたが, 下面冷却法に今後なお一ふうが必要ではないかと思われる。今後熱工学研究者の努力を期待している。”のコメントを行った。

今回は厚板の論文のみしか投稿されなかつたが, かえって焦点が定まっていたせいも, 非常に活発な質疑応答及び討論があり, 非常に有意義であつたと思う。関係者各位の御協力を深く感謝している。

IV. 高温構造材の余寿命推定法

座長 石川島播磨重工業(株)技術研究所

大友 暁

近年, 高温機械, 構造物に対して高性能化, 長寿命化, 経済性の改善等が強く要請されている。一方, 火力発電, 化学プラント等の既存機器においては, 10 年を超える長時間使用のものが増加し, しかも使用環境, 負荷の変動等一段と厳しくなっており, 新設, 既設を問わず高温機器の安全性, 信頼性を維持するため, 余寿命推定技術の重要性が増している。

今回は, 構造材料の余寿命推定事例, 長時間使用にもなる材質劣化, 損傷機構等について, 8 件の講演とその討論が行われた。

討24 内部断熱, 外部水冷式压力容器の開放検査結果および腐食の統計解析

日本原子力研究所 近藤康雄 他

多目的高温ガス実験炉の模擬実験装置として昭和 57 年 3 月に完成した大型構造機器実証試験装置 (HEND-EL) のうち, 内部断熱, 外部水冷方式の加熱器および

冷却器压力容器 (材料, SB46, 49) の 2 年間使用後の冷却水側からの孔食, みぞ状腐食の深さを測定し, 1/3 乗則にあてはめ寿命を推定した結果等が報告された。これに対し 1/3 乗則適用の妥当性, 最大局部腐食深さの求め方等について討論された。

討25 高炉鉄皮の余寿命予測

住友金属工業(株)中央技術研究所 時政勝行 他

高炉鉄皮 (SM50C) のホットスポット発生部 (~750 °C) の熱疲労寿命評価を有限要素法 (FEM) による弾塑性解析とひずみ範囲分割法をベースに行つた結果が報告された。ホットスポット発生部で最も大きいひずみ履歴を受け, 熱疲労強度が問題になるのはホットスポット中心の炉内側であること, 鉄皮開口部の熱疲労損傷度と平滑部の板厚増大率とはホットスポット温度によらずほぼ一定の関係にあること, すなわち, 使用温度条件が不明確であつても寿命推定のできる場合があることを明らかにし, 実際の高炉の余寿命推定を行い, 満足すべき結果を得たこと等が報告された。これに対し FEM による解析結果と ϵ_{ij} - N_{ij} 線図の対応, 疲労損傷と延性損傷の比等について討論された。

討26 $2\frac{1}{4}$ Cr-1Mo 鋼の焼もどし脆化と水素侵食特性

川崎製鉄(株)水島研究部 下村順一 他

高温高圧水素下で長時間運転される重油脱硫装置压力容器等に使用される $2\frac{1}{4}$ Cr-1Mo 鋼の焼もどし脆化度と Si, P の共存効果を定式化し, 焼もどし脆化の起きない臨界 P 量 (0.002%) の存在することが明らかにされた。また, 水素侵食の潜伏期間と温度, 水素圧, Si 量の関係が定式化され, 操業条件を加味した実機の寿命推定が可能になつたこと, 材料の水素拡散係数の測定による材質劣化の事前予知の可能性が示唆された。本鋼中には組成, 結晶構造の異なる数種類の炭化物が存在するが, 炭化物組成と水素侵食, 焼もどし脆化感受性の関係についての調査結果も報告された。これに対し, 炭化物析出分散形態と水素侵食, 焼もどし脆化感受性の関係, ネルソンカーブとの対比等について討論された。

討27 リフォーマ・チューブの長時間使用中における材質変化と損傷機構

(株)神戸製鋼所中央研究所 太田定雄 他

リフォーマ・チューブ (HK40 等) の余寿命を決定する因子は, 操業条件により異なり, 操業温度が比較的高いメタノール・プラントや一部のアンモニア・プラントの場合には, 最高温度部の炭化物の粗大化によるクリープ破断強度の低下, 一方, 低, 中温操業の水素, 都市ガス, アンモニア・プラントの場合には, 中間温度領域の σ 相析出によるクリープ破断強度の低下が原因であることが明らかにされた。HK40 では, クリープ中に, 粒界の平板状に連続していた炭化物が塊状化して, 切れ目を生じ, また, 炭化物近傍には Precipitation Free Zone が生じ, この部分では, 粒界炭化物の先端の切欠効果