

討論 13 で竹内は、溶鋼内の気泡分散モデルによる 2 相流としての数値解析手法を紹介し、実機でのノズル吐出形状試験や、電磁制動効果を述べた。これに対して佐藤は短辺での上向反転流について質問し、従来の 2 孔ノズルと今回の 4 孔ノズルに対する気泡の効果を討論した。

討論 14 で笠井は、溶融パウダーの巻込みについて、湯面変動を考慮した吐出反転流のエネルギーバランス式で整理できることを示した。また、渦によるパウダーの巻込みは、左右の吐出偏流による短辺の湯面レベル差を検出することで検知できることを述べた。これに対して綾田は、パウダーの種類、メニスカスでの流れの方向等突発的現象も含めて広く議論した。

以上の討論に引き続いて、それぞれのセッションのまとめと総合討論を行った。

まず、東北大学菊池教授は、流体の運動解析の数学モデルを概説し、最近の計算機の進歩による数値解析の飛躍的な発展状況を紹介した。現在では単相流体の解析から気泡や介在物のような分散相を含む混相流体の解析に向かっており、最近の二、三の研究成果を示した。

ついで、名古屋大学浅井教授は、ここ数年急速に進歩した電磁気力の利用について総括した。電磁流体力学の数学的取扱いのみならず、工学的応用面でも目を見張る展開があった。従来からあった電磁攪拌、電磁制動の他に、流体形状制御、波動制御や浮遊溶解法等、多彩な利用方法があることを示した。

最後に座長、副座長は、連铸技術の基本は铸型周りにあること、今後新しい制御技術によってさらに大幅な改善が期待できることを述べ、以下のように展望した。

(1) 解析技術の進歩

市販のパッケージの利用のみならず、創作プログラムの開発が今後さらに重要となる。そのための人材育成が課題である。

(2) 制御技術の進歩

電磁気力の利用も、加速、減速、攪拌等多彩となる。浸漬ノズル形状の最適化や、湯面レベルの波動制御等と組み合わせた、動的制御技術の開発が望まれる。

(3) 経済性の追求

現行連铸法の経済性が、さらに極限まで追求される。高速化によりストランド数を削減し、固定費を徹底的に下げる。また、铸型内の溶鋼流動制御技術のさらなる発展により、铸造異常が防止され非正常部の品質改善が徹底的に行われる。これによって、多連铸化が進み鋼種制約も除去される。

以上のように熱心な討論が行われ、時間は若干不足気味となった。しかし、参会者はそれぞれに新しいヒントを得ることができ、有意義な討論会であったと言える。

鉄鋼製品の表面疵検査技術

座長 新日本製鉄(株)中央研究本部

永 沼 洋 一

鉄鋼製品の疵検査技術は近年ますますの高歩留り化、省力化など製造者側の要求と顧客からの厳しい品質要求の両面から限らない高性能、高機能化が求められ、これを実現する技術的困難性が著しく増す一方、開発された装置が極めて高価格のものとなる傾向が強い。これに反して鉄鋼業の多面化に伴いこの分野の専門技術者の数が減少し今後の技術開発の低下が懸念される。

かかる現状認識のもとに、今後の対応を模索する一助とすべく、検査装置を開発する立場と、装置を使用する立場の両面から総合的な討論を行うこととした。議論の発散を避けるために対象を表面疵(表層近傍を含む)のオンライン検査に限定し、鉄鋼各社より 5 件、電機業界より 1 件の講演をお願いした。偏りのない討論が行われるよう、鉄鋼製品として薄板(2 件)、鋼管(2 件)、線材・棒鋼(1 件)とし、検査手段も光学画像、磁粉探傷、渦流探傷、漏洩磁束法など広く論じていただいた。各講演に対して熱心な質疑・討論が行われたが、さらに 1 時間の時間をとり、講演で指摘された基本的な課題あるいは共通的な課題について参加者全員による自由討議を行った。

以下に各講演および質疑の概要と自由討議の要点を報告する。

(討15) 薄板製品の表面疵検査技術

(新日本製鉄(株)八幡製鉄所 國永 学ほか)

薄板ラインにおけるレーザー反射光を用いた光学画像による自動検査システムに関する講演で、現状方式の持つ問題点(微小欠陥検出能の向上要求→レーザースポットの微小化→信号処理量の増加→高速ラインへの適用不能、無害欠陥の多量検出、システムの複雑化・高価格化など)に対応するために開発した新しいシステムの紹介がなされた。①板幅方向の感度均一化、正・乱反射光の同時受光など検出端部の改善、②各検出端から 4 種類の信号[(正反射/乱反射)×(BPF(L)×BPF(H))]を抽出し、1 画素 4 ビット情報として処理し疵マップを作成する専用ハードおよび疵マップの特徴量抽出のシングルボードコンピュータを有する信号処理部、③IF…THEN…ルールを使用した疵形態判別、疵形態ごとの疵種および有害度判定など新しい工夫が含まれている。サンプルテスト(43 枚)の結果ではほぼ 100% の正解率、オンラインテストの結果でも検査員の判定と 86% 一致し十分評価できる結果を得ている。この講演に対して、検査員自身の検出能のばらつき、ノイズの原因などについての質疑があった。

(討16) 薄板製品の表面疵探傷技術

(NKK 福山製鉄所 竹中正樹ほか)

薄板製品を対象としたオンライン検査に関する講演であり、表面欠陥とともに目視では観察不可能な表層直下の欠陥検出を可能にするために開発された漏洩磁束法を利用した欠陥検出装置が紹介された。ストリップに接触し、その走行に同期して回転する非磁性中空ロール(250 mmφ)内にストリップを磁化する磁化コイルおよび磁気検出素子(幅方向 215 素子)を回定配置して、欠陥部から漏洩する磁束を検出する。リフトオフ 2.3 mm

で $1.4 \times 10^{-3} \text{ mm}^3$ 以上の欠陥検出を目標としている。信号処理部では幅方向に複数個の検出情報からノイズ信号成分を抽出し各検出情報からこの成分を除去することによる S/N 比の向上、板幅方向の感度の均一化、欠陥検出レベルの自動最適化などの工夫がなされている。また 215 個という多数の素子の信頼性確保のため、校正を短時間でを行うための校正装置も併せて開発された。性能テストの結果では検査員の判定した疵グレードと良い相関を示している。検出可能な疵種としてガウジ、溶接部、ブローホール、トンク疵、耳ワレ、トリマー疵などとされている。また長さ 100 mm のアルミナ介在物を検出した例が示されている。本講演に対して、ライン速度の律速条件、磁化方向の問題、開発磁気などの質疑があった。

(討17) 鋼管用回転型漏洩磁束探傷装置

(川崎製鉄(株)知多製造所 新玉幹夫ほか)

鋼管の表面欠陥検出手段として従来の蛍光磁粉探傷による目視検査に代わるものとして開発導入された回転型の漏洩磁束探傷装置に関する講演で、高周波磁場の適用、超小型プローブの採用により 0.1 mm 深さの欠陥が検出可能となったことが報告された。検査対象は 20 mmφ~80 mmφ のシームレスパイプで、8 kHz の交流磁場をかける磁化器と 2 mmφ×6 ch のプローブユニットを対向方向に 2 個設置し、最大 1050 rpm (周速 2 m/s) で回転させ、スリッピングを介して信号の授受を行う。0.5 mm 幅のスリット状人工欠陥で欠陥長さに関する検出性能および欠陥深さに関する検出性能の検討結果が示されている。長さについては、さほど長くない欠陥ではほぼ正規分布的な検出感度特性を示し、理論計算 (18×18 要素の FEM モデル) ととも一致する。これより 95% 以上の検出レベルで 7 mm 以上は 100% 検出可能であることが判明、実設備でのテスト結果でも 9 mm 以上の欠陥が S/N 3 以上で検出できた。深さに関しては 1 mmφ と 2 mmφ の 2 種のプローブについて調査され、0.1 mm 以上を S/N 3 以上で検出可能なものとして 2 mmφ が選択された。オンライン探傷結果でも 0.1 mm 深さ以上の欠陥に対して十分な検出能を持つことが報告された。

本講演に対してコイ径と S/N 比の関係、円周方向欠陥に対する対策などの質疑があった。

(討18) 継目無鋼管における表面きず検査技術の開発事例

(住友金属工業(株)鋼管製造所 中尾喜之ほか)

寸法、材質など種別の多さ、内表面の存在など鋼管には特有の事情があり、それぞれの要求に適応した検査法の選択や開発が必要であることが指摘され、継目無鋼管のインライン表面きず検査技術の最近の開発事例が数件紹介された。開発対象を(1)検査の性能や精度の維持に関する技術、(2)きずの検出手法に関する技術、の二つに分類して(1)に関しては①貫通型渦流探傷における端部未探傷長さの短縮をはかるため管端の接近、通過信号に基づいて探傷の開始および終了を制御する装置を付加し、従来 200 mm 程度あった管端未検査長さがほぼ外

径 (15φ~76.3φ) 相当長さに短縮できたこと、②貫通コイルによる探傷時の管全周に対する探傷精度を均一化するために空気圧を利用した自動調芯装置が紹介された。(2)に関しては、①プローブ型渦流探傷で、位相信号を低域フィルターと帯域フィルターにより区分を行い、リフトオフの変動信号ときず信号と弁別する方法、②水平励磁と垂直励磁の両方を有する複合磁場探傷法、③小中径管用の内表面検査用 ITV、④細径管用微小ピット疵検出用 ITV、など 4 件が紹介された。本講演に対して特に自動調芯に関して先端進入の方法など多くの質疑があった。

(討19) 線材・棒鋼の表面疵検査技術

((株)神戸製鋼所神戸製鉄所 油谷憲治ほか)

線材・棒鋼は最終成品としてそのまま使用されることは少なく、多くの場合 2 次・3 次加工メーカーでさらなる加工を受ける。この加工に耐える品質保証手段として製造工程から精整工程にわたって非破壊検査が行われるとして、本講演では鋼片段階、線材・棒鋼段階および 2 次加工された鋼線、磨棒鋼段階での表面疵検査技術の現状と今後の課題が紹介された。

線材は製品圧延後の全長検査が困難なため鋼片段階での入念な検査が必要であり、①蛍光磁粉+ITV 画像処理方式、②漏洩磁束法、③表面波利用の超音波探傷、④赤外線探傷、⑤録磁方式の漏洩磁束探傷その他多くのバリエーションはあるが、未だ目視による磁粉探傷が主流で自動化が遅れている。棒鋼では回転プローブ型の漏洩磁束探傷により 0.15~0.2 mm の保証が可能となり信頼性、生産性が大きく向上した。線材や BIC では製品での全長検査が困難なため鋼片段階の検査に重点がおかれるが、一部の疵については貫通コイル方式の熱間渦流探傷が実用化されている。鋼線、磨棒鋼については加工途中あるいは加工後に主として渦流探傷による表面疵検査が行われ、最近の傾向としては探傷のインライン化と自動選別・自動疵取りとのリンケージが活発に行われている。その方式にも種々あるが、製造技術の向上に伴う高速探傷への対応と、多ライン対応のための装置の低コスト化が今後の課題である。

探傷の自動化が進むにつれて、その情報の品質管理、工程管理への有効活用が必要で、多数の加工工程を経て最終成品となる鉄鋼成品では素材から 2 次加工にわたる検査コストも考慮したトータルの、バランスの良い品質保証体制とすることの重要性が指摘された。

(討20) 表面検査装置

((株)東芝府中工場 島田雅良ほか)

今回の討論会で、検査装置を製造販売する企業からの唯一の講演で、表面疵の光学的検出装置に関するものである。その第 1 はトスペクター 700 として市販されている検査装置で、He-Ne レーザー光を所要のスポットサイズに絞り、回転ミラーにより被検査面を走査し、反射回折光をマスクと称する空間フィルターを通して光電変換し、回折パターン之差を利用して表面欠陥を検出する。被検材の表面性状や検出すべき疵の特性に応じて、用意された約 200 種のマスクから適当なものを選択し、

サンプルテストによって絞り込む。稼働実績で 70% 以上の疵種判定一致率を見ているが、疵種判定アルゴリズムに人間系の判断を必要とし、チューニングに時間がかかる難点がある。その第 2 はトスペクターの長所を踏襲しつつこの難点を改良したものとして TOSPECTRON が紹介された。この装置の基本コンセプトは学習機械であり、疵種、等級判断のアルゴリズムを人間の指導により自動的に生成してゆく。またこのための高性能センサー、高速画像処理装置が開発された。

20 年前東芝における検査事業開始より、これまでの発展において検出原理に大差はなく、すべての表面欠陥を検出するに至っていない。今後は学習機械という概念のみでなく、欠陥の物理量としての体系的評価、あるいは物理計測としてのアプローチの必要性が指摘された。(自由討議)

以上 6 件の講演をもとにして参加者全員による自由討議が行われた。各講演を通じて疵検査技術に関する基本的な課題が指摘されているとして若干の整理が行われた。①(検出能限界) 限りなく微細欠陥の検出性能が要求されるが真にどこまで必要か？ ②(検査体系) 検査情報の最大有効活用を考慮したトータルの最適検査体制は？ ③(性能維持・管理) まずは大規模化する装置の性能はどうして維持してゆくか？ 特に校正の手段の同時開発が必要では？ ④(検証・定着) 開発された装置の検証手段は？ また検査員に信用され、定着化させる最適な手段は？ ⑤(基本思想) 今日までの疵検査装置の開発は人の感応検査の代替をめざしてきたし、判断ロジックも人間のそれを機械に置換しようとする努力ではなかったか？ 自動化が進むにつれて教師たる人間がいなくなるのでは？ 欠陥の物理量としての評価、物理計測としてのアプローチが必要では？ などの諸問題について討議があった。また装置を使用する製造部門の立場から性能向上の必要性和装置コスト低減の要望の意見が出された。

最後に鉄鋼各社とも非破壊検査技術分野における技術者の減少による技術の維持・伝承および開発力低下の現状が指摘され、その対応として①全社的な開発体制の再整備による開発の効率化、②大学などへの研究依頼、③大電機メーカーはもちろん地場業者との共同開発、など種々の努力の状況が紹介された。いずれにしても装置のコスト増もあり、一社での開発能力には限界があり、鉄鋼業界としての協力の必要性があるとの意見があり、かかる観点から本討論会の総意として鉄鋼各社の協力の提案とその具現化の検討を日本鉄鋼協会計測制御部会に申し入れることとした。(本提案にもとづいて討論会座長名で部会長に文書による申し入れを行った。)

本討論会を開催するにあたりお世話いただいた計測制御部会直属幹事大島有三殿(新日本製鉄)はじめ各社の幹事の方々に深く感謝申し上げます。

極低炭素薄鋼板材における最近の進歩

座 長 住友金属工業(株)東京本社

高 橋 政 司

副座長 新日本製鉄(株)薄板研究センター

秋 末 治

侵入型固溶元素の C や N をできるだけ少なくしこれらを Ti や Nb で固定した極低炭素薄鋼板は、プレス加工性にすぐれその上非時効性であることから、成形部品形状が複雑化し要求が高度化していく自動車向けに生産量が大幅に増加してきた。これは製鋼過程における精錬技術と高効率生産方式としての薄鋼板の連続焼鈍法という、極低炭素薄鋼板の技術向上に重要な C の低減と高温焼鈍を可能にした技術開発に支えられている。

さらに近年自動車の防錆対策の強化から加工性のすぐれた表面処理鋼板が要望され、あるいは良加工性の熱延鋼板にも適用され得ることから、極低炭素薄鋼板の使用量はますます増大の傾向にある。

このような状況下において、極低炭素薄鋼板の性能のいっそうの向上や特性の支配要因解明にはまだ検討すべき項目が多く残されている。そこでこの材料の冶金に関する諸問題を明らかにし、今後の動向を明らかにする目的で討論会を計画した。

本討論会では、この極低炭素薄鋼板の主として実用面から見た諸問題の総括を新日本製鉄の武智氏に、高純度鋼の基本的問題として不純物の機械的性質におよぼす影響を神奈川大学の木村教授にそれぞれお願いし、熱延材、冷延材、めっき材あるいは溶接性に関して 11 件の講演が行われた。以下これらの概要を記す。

(討21) IF 鋼メタラジの現状と問題点(依頼講演)

(新日本製鉄(株)中央研究本部 武智 弘)

IF (Interstitial Atom in Solution Free) 鋼は極めてすぐれたプレス成形性を有するが、以下のような冶金学的に未解明の問題が残されている。まず再結晶集合組織の形成時の板面に平行な $\{111\}$ 方位の急増と $\{100\}$ 方位の急減という現象の説明にはまだ仮設的な部分を残しており、より直接的な証明に物理的解析技術の進歩が望まれる。IF 鋼は固溶 C や N を Ti や Nb の炭化物や窒化物として固定する必要があるが、希薄合金系であるため析出速度が遅くまた析出物が微細で分析や固定が困難なため溶解析出挙動を実験的把握は困難である。しかしマトリックス中に析出核が存在することによって析出速度が著しく増加することもあり、このような複合析出を含めた溶解析出挙動の把握はこの IF 鋼の製造条件選定の上での重要課題の一つであろう。Ti と Nb は固溶 C や N を固定する目的では同様であるが、Nb は Ti より高価であり、Nb 添加鋼の再結晶温度は Ti 添加鋼のそれよりも 50°C 以上高いことは生産コスト上好ましくない。しかし二次加工脆性や合金化溶融亜鉛めっき鋼板のパウダリングの点では Nb は有利であり、鋼板の金属学的特徴は、Ti か Nb かによってかなり異なる。これら