

- 2) 連鋳片サルファプリントの自動判定
- 3) リアルタイム画像処理による連鋳操業の自動監視
- 4) 光学式表面疵検出器

これらのシステム構築の上での高速画像処理技術に関して、処理内容に応じての、データフロー型画像処理プロセッサの適用、DSPと並列コンピュータの融合、可変パイプライン方式プロセッサの応用など、その特徴が紹介された。画像処理技術の現場適用のKeyは、まずは、生データのS/Nであるが、環境の変化に対する配慮が課題との説明がなされた。この点、事例1に示された板のばらつき、反りの外乱信号近似関数による信号処理などは、意識的な試みといえる。今後の適用分野への議論において、人間ではできないこと、人間が分からない対象への、その期待が示される。

討23 鉄鋼プロセスにおける画像処理の適用事例

(株)神戸製鋼所電子技術研究所 西元善郎ほか

物体認識、理解技術としての画像処理の期待に対し、多くのハード・ソフト面での意欲的試みと技術的進歩にあっても、基本的には、逐次的デジタル処理による実時間化の課題、パターンマッチングにおける加速的処理内容の複雑化を引き摺っている。この認識から、処理の高速化と、原始情報のS/N向上による簡素化を達成した以下の2事例が紹介された。

- 1) メタルタグ刻印文字読取り
- 2) 角ビレット探傷用画像処理

前者は人目でも識別困難なダルな溝形状の刻印文字に対して、二次元CCDによる光切断法の工夫による原画質の向上を得たもの、また後者は、疵判定にハード上パイプライン処理を、また縮退処理による画像圧縮での演算速度向上を行っている。特にパターンマッチングについては、既得パターンの枠を取り除く動的なパターン形成への言及があり、この分野の学習機能付加によるロバスト性確保の方向がうかがわれた。

討24 ニューラルネットによる画像解析

(住友金属工業(株)システムエンジニアリング事業本部 稲田清崇ほか)

画像データの処理・解析分野へのニューラルネットの適用が検討されている。ここに画像前処理として、金属組織解析において画像の領域抽出へ適用した画像アルゴリズムフリーの解析方法の検討、及びパターン認識・分類に関し適用された光学鋼板表面検査での欠陥分別への事例が報告された。後者においては、従来のツリー方式によるアルゴリズム作成との比較がなされ、所要期間の低減、識別率の向上が示された。

ニューラルネット適用の意義付けに対する議論がなされたが、現時点では、アルゴリズム

ム作成において、ツリー方式による大枠設定、次にニューラルによるサブネットの構成が意識されている。いずれにしろ、この種比較論は膨大なサンプル採取と時間を要するため貴重のものであるだけに今後も期待される。

討25 時系列データへのフラクタル解析法の適用 ー基礎検討と探傷波形の解析ー

(川崎製鉄(株)水島製鉄所 相澤 均ほか)

探傷信号など時系列データ中の疵信号の抽出を目的として、信号の図形的複雑さに着目し、その複雑さをフラクタル次元で表すことにより疵信号を抽出する方法が示された。シミュレーションにより、すでに提案されているFractal-Brown関数を用いてフラクタル次元を求める「粗視化法」の方が、高次元(>1.8)のデータ解析に有効であることが明らかになった。光学的表面欠陥計の探傷信号のフラクタル次元は1.8~1.9であるため、粗視法が適している。実際にこの方法を用いて表面欠陥の探傷信号を解析したところ、生波形では識別困難な欠陥信号の抽出ができる可能性が見出された。また、被検体の表面粗さによりフラクタル次元の値は異なり、表面状態の測定に応用できる可能性が示唆された。

信号の形という従来の信号レベルなどとは異なる新しい評価尺度を模索する一例である。

以上の最近の信号処理技術に関する講演と議論にあって、その基底に流れる共通の志向は、オンライン計測におけるロバスト性の追及にあるとも言える。ダーティーエンジニアリングに踏み込んだ新しい方法論、外乱信号に対する信号処理技術の適用拡大、多情報による信頼性確保のために必然的な実時間化、信号認識・理解における環境、対象変動に対する学習機能への期待など、それぞれの分野での展開枝と考えられる。

こうした志向を共通することによって、本討論で求められた画像処理、人工知能、デバイス技術などの広範囲にわたる技術革新と相まって、多くの知恵が創り出されることが期待される。

プロセッシングラインでの板走行・矯正技術

座 長 住友金属工業(株) 研究開発本部 益居 健
副座長 NKK 総合材料技術研究所 藤田米章

近年、薄板製品の高級化に伴い、連続焼鈍や、垂鉛めつきラインなどのプロセッシングラインの重要度が増している。そのなかでラインの高速化、操業の安定化、形状、品質の

向上等がいつそう求められており、その実現にはストリップの蛇行、絞り等の通板不安定やバックリング、C反り等の形状不良の制御、矯正が重要課題である。

最近、これらの課題に対する技術開発が精力的に行われ成果を挙げつつある。

本討論会では、理論解析や基礎実験による現象の解明、実機における設備・操業の新技术、改善改良等、計15件の報告があり、今後への課題も含め活発な議論が行われた。

討26 ストリップの蛇行に関する基礎検討

(住友金属工業(株)鹿島製鉄所 齊田文弘ほか)

ストリップの蛇行発生に関し、実機1/8を想定した縦型の搬送装置によるモデル試験で原因究明を行った。ライン張力やライン速度の影響は小さいがロールの水平度不良は影響する。ただし蛇行には母材要因が大きく影響し、キャンパー、片伸びや溶接角度不良等の真直でない形状が蛇行誘発の主原因である。なおテンションレベラーは中伸び、耳波等の形状不良とともにキャンパーや溶接角度不良も矯正するので蛇行抑止効果も大きいことが示された。

討27 薄板連続処理ラインにおける蛇行解析モデル

(NKK鉄鋼研究所 鈴川 豊ほか)

討28 ばね・質量モデルによる薄板蛇行シミュレーター

(新日本製鉄(株)技術開発本部 鈴木規之ほか)

上記2件はいずれもストリップの多パス連続処理設備での蛇行挙動を予測できるシミュレーションモデルの開発に関する報告である。いずれの報告もロールに巻き付いたストリップはいわゆる糸巻きの原理によってロール上を移動することを基礎式としてモデルを組み立てている。討27ではステアリングロール、ロールクラウン、ストリップ形状を考慮した解析結果を実機ルーパーでの蛇行実験と比較して、ロールクラウンが入射角に与える影響に工夫を施せば実験データと解析値とが良く一致することが報告された。討28でも連続焼鈍炉での実験値と解析値の比較検証を行った上で、蛇行量は溶接点キャンパーに比例すること、蛇行制御装置でいったん減少した蛇行はしだいに元のレベルに戻るなど等が示された。

討29 連続焼鈍ラインの挫屈・蛇行におよぼすロールクラウンの影響

(新日本製鉄(株)名古屋技術研究部 的場 哲ほか)

ヒートバックル(絞り疵)の発生原因について、アルミニウム箔を用いたモデル実験と初等的力学解析の両面から検討した。その結果、発生の主原因は、ロールクラウンによる板の幅寄せ効果であると指摘、発生限界張力

式を示した。一方、蛇行とロールクラウンの関係についても基礎実験を行うとともに、蛇行制御法として、ガスをロール付近の板に吹きつける方法の可能性を示した。

討30 薄板プロセスラインでの平坦不良と板反り対策

(住友金属工業㈱鉄鋼技術研究所 総田良之ほか)

ヒートバックルに関し、アルミニウム箔や軟鋼箔を用いたモデル実験およびFEM解析を実施、発生のメカニズム、発生限界張力等に関し検討を加えた。発生のメカニズムとしては、ロールクラウンによる板幅方向の不均一引張りにより、板幅方向の座屈が発生、その状態でロールに巻き込まれるとの説を示した。

一方板反りに関しては、テンションレベラーの解析手法を適用した幅反り解析モデルを開発、電気めつきラインおよび溶融めつきラインでの板反り防止対策としてロール径、ロール配置の適切な選択が有効であることを示した。

討31 シートゲージ用連続焼鈍ラインの高温安定通板技術

(川崎製鉄㈱水島製鉄所 平田基博ほか)

加熱帯における安定通板とヒートバックルおよび冷却帯でのクローリングバックルについて、おのおの発生機構と実操業(水島No.2 CAL)における対策を紹介した。加熱帯における蛇行とヒートバックルは相反する要因にて発生するものであるが、これに対し、バックリング限界モデルに基づいたロールクラウン設計と冷却ガスによるロールクラウン制御により防止している。また冷却帯のクローリングバックルは、冷却帯のガス流れ解析をベースに、冷却ガスノズルやロール加熱ヒーターの設計工夫を行うことにより防止している。

討32 直火加熱式連続焼鈍炉における安定通板

(NKK福山製鉄所 松井直樹ほか)

加熱炉内側において、加熱能力の低いラジエントチューブで板を加熱するとロールの幅中央部が板によって冷却されロールにマイナスクラウンができ、蛇行しやすくなる問題があった。これに対し、福山3CALでは、加熱帯入側にラジエントチューブの5~6倍の伝熱能力を持つ直火型加熱炉を設置、急速に加熱することにより昇温過程での蛇行を防止している。また、途中にある水焼入れ後の過時効帯での加熱にも、急速加熱を目的に誘導加熱設備を設置、同様の効果を得ている。

討33 ぶりき原板用CALにおける高速通板技術

(川崎製鉄所㈱千葉製鉄所 大野浩伸ほか)

缶用ぶりき材のゲージダウンによる生産効率低下を打破するにはCALの高速化が不可欠となり、炉内通板速度1000m/minという高速CALを実現した。技術ポイントはサーマルク

ラウン変動分を考慮した炉内クラウンの最適設計、低慣性高応答テンションデバイスと高機能ベクトルインバーターによる張力精度の向上、低張力域における鋼板のスリップ防止のためのロール粗度適正化、液中における液抵抗分を考慮したモーター容量と張力設定にあることが報告された。

討34 極薄ステンレス鋼の堅型BA炉通板技術

(日新製鋼㈱周南製鋼所 松本 健ほか)

板厚0.3mm以下の薄物ステンレスを堅型BA炉で焼鈍すると炉内の長いフリースパン部でしわが発生しやすくなるという課題を検討した報告である。圧延形状、冷却速度等の各種影響因子につき工場実験と炉内ストリップ形状の有限要素解析を行い、しわ防止には圧延時の形状制御の目標を若干中伸びぎみとし、BA炉では緩冷却となすべきことが示された。

討35 数値解析によるAl、Cu薄板用テンションレベラの矯正技術

(㈱神戸製鋼所機械研究所 服部重夫ほか)

アルミ、銅合金薄板の冷間圧延工程以降の精整工程についての概要紹介のあとテンションレベラー矯正に関する材料特性の影響が鋼帯と対比して報告された。弾性定数の低い材料ほど形状矯正が困難で大きな伸び率が必要となるが、板反り制御については大きな違いがないことが示された。またアルミ合金テンションレベラーを例にとり反り制御が容易で安定なロール配列について議論がなされた。

討36 製紙プロセスにおける紙走行技術

(石川島播磨工業㈱塗工機設計部 森田博文ほか)

非金属の代表例として紙に各種の塗料を塗る塗工機械での高速走行性(1000~1500m/min)についての報告である。走行性で問題となるのは蛇行、ばたつき、しわの3点である。蛇行は内部張力の不均一が原因で抄紙技術、据付け技術、設備の設計技術に負うところ大で各種工夫が紹介された。ばたつき、しわについても紙独特の問題もあるが金属と似かよった面もあること、将来2000m/minとなれば空気の流れによる滑りが重要課題となることが報告された。

討37 溶融亜鉛めつき鋼板の亜鉛付着量均一化技術

(㈱神所製鋼所加古川製鉄所 清水正文ほか)

溶融亜鉛めつき鋼板の板幅方向の亜鉛付着量を均一化するために、ワイピングノズル位置における鋼板のC反り(幅方向反り)を制御することが重要である。ここでは、鋼板の反りを矯正制御するのに適しためつき浴中ロールの配置、ロールインターメッシュを解析した。浴中ロールは、シンクロール、表サポートロール、裏サポートロールの順に配置することがワイピング時の反りの制御に最適であることが示された。それをもとにめつき機を新

たに設計製作し実ラインに適用した結果、板幅方向付着量偏差は従来の1/2になったことが報告された。

討38 薄鋼板用テンションレベラーによる平坦度矯正

(東洋鋼鈑㈱下松工場 長谷川浩ほか)

近年、ローラーレベラーやテンションレベラーといった形状矯正機がプロセッシングライン内に設置される事例が増えてきており、その役割も重要視されてきている。

ここでは、TFSラインに設置され、操業中のインラインコンパクトテンションレベラーについて、その平坦度矯正効果および、レベリング条件によってストリップ表面に生じるチャターマークや後工程で発生するコイル内巻き形状不良現象とその対策について報告された。

討39 プロセスラインにおける形状矯正設備および技術

(住友重機㈱新居浜製造所 牛神善博ほか)

近年、薄鋼板の各種プロセッシングラインに、スキンプスミルや、テンションレベラーなどの形状矯正設備が組み込まれ、安定操業や連続プロセス内での高い形状品質の達成がはかられている。ここでは、連続酸洗ライン、連続焼鈍ライン、連続亜鉛めつきライン、連続塗装ライン、ステンレス連続焼鈍酸洗ライン等における形状矯正設備の設置目的、配置例、効果などを紹介、併せてスキンプスミルやテンションレベラーを連続ラインに適用するに際しての技術ポイントについても述べた。

討40 フロータによる非接触搬送

(三菱重工業㈱広島研究所 田口俊夫ほか)

ストリップを浮上搬送する技術について、鋼板のみならず、銅、アルミ等非鉄、製紙業界等における過去の技術発展の経緯を歴史的に整理、紹介し、続いて、鋼板やステンレス、銅等の浮上搬送装置として新たに開発した静圧浮上型フローターについて報告があった。新たに開発したフローターは、受圧面上にライン方向にバッフルプレートと呼ばれるリブを配し、ガスの板幅方向流れを低減して浮上の安定をはかるとともに、最外部のリブはサイドプレートと称して高くすることにより通板の安定をはかっている。現在までこのフローター技術は水平バンド共に実用化をみている。また今後の帯鋼用への普及には、その重さゆえ動力が大きくなることが課題であり、板形状が良好であれば、浮上量が低減できることから動力低減に有効であること等が指摘された。

総合討論

個別討論での質疑応答で議論が尽くせなかった点を埋める形で追加討論を行った。蛇行発生については設備機能が十分であれば母材のキャンパーや溶接不良が主原因であり、これに温度偏差の影響を加味して考慮すべきと

の共通認識が得られたように思う。蛇行解析シミュレーターは新しい設備設計の段階でアクチュエーターの設置位置決定に有効であるとの見解であった。ヒートバックル、クーリングバックル発生に関しては基本メカニズムは両者ほぼ同一であること、いずれも張力不均一による板座屈がロール面に乗りあげて、ある限界をこえると塑性変形をおこしわ発生となることが議論された。バックル発生位置は各社各様だがロール中央部が多い。走行安定化のための母材形状についても各社各様であるとの印象である。今後の高速化に向けては流体抵抗、流体巻き込みによる滑り、張力制御の低慣性高精度化、母材の真直性確保等を視野に入れて技術開発に取り組む必要性があらう。

最後に本討論会に多くの方が参加され、貴重な研究成果を公表いただいたこと、活発な討論により本会を成功裡に納めることができましたことについて深く感謝いたします。

合金化溶融亜鉛めっき鋼板の合金化反応と成形法

座 長 日新製鋼㈱鉄鋼研究所

広瀬祐輔

副座長 住友金属工業㈱鉄鋼技術研究所

若野 茂

合金化溶融亜鉛めっき鋼板(各論ではGA鋼板と略す)は、塗装後耐食性、成形性、溶接性などの総合的品質特性に優れているため、各種用途に使用されている。とくに近年、自動車ボディ用鋼板の高防錆化ニーズに伴い、めっき付着量の大きく、かつ高精度に制御されためっき層構造を有する合金化溶融亜鉛めっき鋼板が多用されるようになってきている。本討論会では、溶融亜鉛めっき浴中での初期反応を含む合金化反応の素過程、合金化反応に及ぼす鋼成分やめっき浴中添加元素の影響および合金化処理条件の影響、めっき層構造と成形性の関係およびその評価方法などについての研究成果を報告し、現状認識の集約とともに今後の研究課題を探ることを目的として、発表と討論を行った。以下に、講演要旨と討論の概要を述べる。

討41 (依頼講演)0.1mass%のAlを含有する亜鉛と鉄との合金化反応

(九州工業大学工学部 大西正己ほか)

拡散現象についてのフィックの法則以来の研究歴史と講演者の40年にわたる拡散による異相境界の移動の研究のアウトラインを述べた後、マルチプルマーカ―を利用した固体Zn(0.1mass%Al含有)とFeおよび溶融Zn(0.1mass%Al含有)とFeの拡散実験結果と

考察を報告した。加熱後の拡散対内には金属間化合物が存在し、Fe/化合物および化合物/Znの両界面でマルチプルマーカ―の屈折が観察された。Fe/化合物界面には、Fe原子と共に化合物結晶格子を構成するべくZn原子が到達する。Fe/化合物界面では同時に空孔が発生し、空孔は化合物/Zn界面に向かって移動し、Zn原子と位置交換する。空孔分あるいは空孔と位置交換したZn分だけの体積膨張とZn原子の一方拡散でマーカ―の屈折が説明できる。Zn原子の一方拡散を理解するための質疑応答がなされた。

討42 合金化溶融亜鉛めっき鋼板の初期合金化挙動

(川崎製鉄㈱鉄鋼研究所 磯部 誠ほか)

Ti-Nb添加IF鋼を用い、溶融亜鉛めっきまおよびめっき層中Fe濃度3%の合金化処理(460、490℃)後の合金層の観察結果をもとに、浴中Al濃度と関連させてGA鋼板の初期合金化挙動を報告した。浴中Al濃度が高い(0.15mass%)場合、Fe-Al合金層は粒状で下地鋼板の粒界上に偏在することにより、合金化の速い箇所を抑制し、均一な合金化が起こる。合金化はFe-Al合金層中を拡散して供給されたFeがFe-Al合金層上に δ_1 相を生成し、 δ_1 相がAlを固溶しながら成長して下地鋼面に達することにより始まる。

討43 合金化溶融亜鉛めっき鋼板製造プロセスにおける合金化反応と皮膜構造

(NKK総合材料技術研究所 稲垣淳一ほか)

Ti添加IF鋼と低炭素AK鋼を用い、溶融亜鉛めっきま(Al:0.04~0.20mass%、浴温:713~823K)の初期合金層生成状況を観察し、Fe-Al合金化反応、 δ 結晶生成反応、アウトバースト(Outburst)反応について考察し、さらに合金化処理過程で起こる合金相の成長について報告した。浴温が773K以下でフェライト粒内に生成する δ 結晶はFe-Al系合金相と浴との界面で核生成する。フェライト粒界で発生するアウトバースト反応は δ_1 相を主体とするが、発生初期に鋼板との界面に Γ 相が発生する。GA鋼板製造プロセスにおける合金化挙動はフェライト粒内反応と粒界反応の組合せて説明できる。

討44 極低炭素Ti添加鋼の溶融亜鉛めっき・合金化挙動に及ぼす地鉄結晶方位の影響

(住友金属工業㈱鉄鋼技術研究所 中森俊夫ほか)

Ti-Nb添加IF鋼を用い、溶融亜鉛めっきま(Al:0.056~0.24mass%、鋼板浸入温度:400~480℃)で形成された化合物相の形態観察と同定を行った。特定の条件下(Al:0.10mass%、浸入温度400℃)で生じる δ 相の形態は地鉄方位に依存し、 $\{111\}$ α 面では地鉄と時定配向関係を充たし、 $\{100\}$ 晶帯付近ではランダムな析出形態となることを報告した。また、この条件下では $\{100\}$ 、 $\{110\}$ α 面へ

の δ 相の析出は抑制されるが、合金化処理(500℃)過程での反応は $\{111\}$ α 面よりも促進される。

討45 合金化溶融亜鉛めっき鋼板の合金化挙動に及ぼす鋼種の影響

(新日本製鉄㈱八幡技術研究部 真木 純ほか)

Ti添加IF鋼と低炭素AK鋼を用い、溶融めっきま(Al:0.05~0.15mass%)で形成されたFe-Al-Zn三元系バリア層およびFe-Zn系合金層の観察結果と合金化処理(450~550℃)後のめっき層構造について、耐パウダリング性と関連させて報告した。Ti-IF鋼はFe-Al-Zn系バリア層がポーラスで反応活性点が多いため、合金化反応が一様に進行し、層状の Γ 相が形成される。耐パウダリング性が劣る理由である。AK鋼は緻密なバリア層を生成するため、層状の Γ 相成長が抑制され、耐パウダリング性に優れる。

討46 極低炭素Ti系合金化溶融亜鉛めっき鋼板の合金化挙動に及ぼす鋼中P濃度の影響

(㈱神戸製鋼所加古川製鉄所 浦井正章ほか)

Ti添加IF鋼の溶融亜鉛めっき(Al:0.13mass%)過程および合金化処理(600℃)過程での合金化挙動、特に Γ 相の成長抑制に及ぼす鋼中P濃度の影響について報告した。P濃度が0.010mass%以下の場合、溶融めっき段階でアウトバースト組織の生成が著しく、合金化処理の早期に Γ 相の成長が始まる。P濃度が0.025mass%以上の場合、アウトバースト組織が抑制され、Fe-Al合金層を介する合金化反応となるため Γ 相の成長が大幅に抑制される。

討47 合金化溶融亜鉛めっき鋼板の合金化挙動に及ぼす鋼種および浴中Al濃度の影響

(住友金属工業㈱鉄鋼技術研究所 荒井正浩ほか)

Ti添加IF鋼、P添加鋼およびTi-P添加IF鋼を用いて作製したGA鋼板(Al:0~0.18mass%、合金化温度500℃)について、新規に考案した断面試料調整法による観察などをもとに合金化挙動に及ぼす鋼種、浴中Al濃度の影響を報告した。合金化温度500℃の場合、浴中Al濃度によらず、Ti添加IF鋼では Γ 相の生成後に Γ_1 相が、P添加鋼およびTi-P添加鋼では Γ_1 相の生成後に Γ 相が生成した。P添加鋼およびTi-P添加鋼の合金化反応はTi添加IF鋼に比べて遅れる傾向にあった。P添加鋼のフェライト粒界にPが偏析し、粒界反応が抑制されるためであると考えられる。

討48 合金化溶融亜鉛めっき鋼板の合金層構造に及ぼすめっき浴中Mn濃度の影響

(日新製鋼㈱鉄鋼研究所 川口洋充ほか)

Ti添加IF鋼を用い、合金化処理が終了(η 相が消失)した時点での δ 相の存在の有無に及ぼす浴中Al濃度(0.06~0.18mass%)と浴中Mn濃度(0~0.76mass%)の影響を報告した。浴