

討14

圧延プロセスにおける設備診断技術

川崎製鉄(株) 千葉製鉄所 ○笠井 聡、市原 晃

田部井邦夫、山本博正

1. 緒 言

連鑄—圧延の連続化、同期化を進める上で圧延プロセスにおける保全技術¹⁾は、設備の安定稼働と製品品質保証のための設備維持という点で、従来以上に重要性を増している。

当社においては、こうした背景から、製品品質と密接な関係にある設備の性能保証と、故障が起きると生産に重大な影響を及ぼす設備の信頼性向上を目的として、設備診断技術の開発、導入を進めてきた。本報では、当社の設備診断に対する考え方と、圧延プロセスにおける設備診断技術および設備診断システムについて報告する。

2. 設備診断技術体系

2.1 設備診断技術適用の基本的な考え方

設備診断技術は、その適用上、設備の性能保証のための診断と設備の故障予知のための診断がある。前者は、装置やシステムが製品品質を保証する上で、あるいは製造能力、生産能力を確保する上で、必要な機能を発揮しているかどうかを診断するものである。後者は、設備の信頼性を高めることを目的として、装置あるいはその要素部品の劣化程度、損傷程度を診断し、故障を未然に防ぐものである。

設備に対する要求機能と設備性能の関係をFig. 1に示す。設備に対する要求機能(ニーズ)は時間とともに増加し、設備性能は時間とともに減少してくる。設備性能が要求機能を下まわれば品質不良につながるし、品質に直接関与しない設備でも劣化が進むと故障という形での性能喪失が起こる。そのために、従来では、定期的に修理工事を繰り返していたが、設備診断技術の導入後は、定期的に設備の性能、劣化程度を診断し、設備の状態にあわせて工事計画を組み修理するようにしている。また、ニーズの高まりにより、性能回復しても要求機能を満たさない場合や維持が困難な場合には、設備が要求機能を満足しているかどうかを診断し、その結果に基づき設備改造を行なっている。

2.2 設備診断技術体系

当社における設備診断技術体系をFig. 2に示す。これまでに述べてきたように、性能保証のための診断と故障予知のための診断があり、性能保証診断には、設備精度診断、設備負荷能力診断、制御系の診

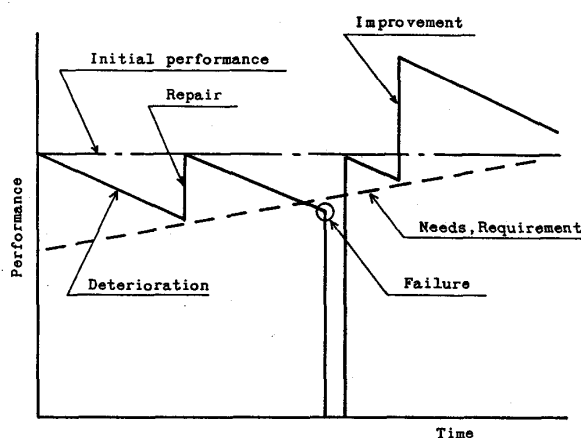


Fig. 1 Relation between requirement and performance of machine

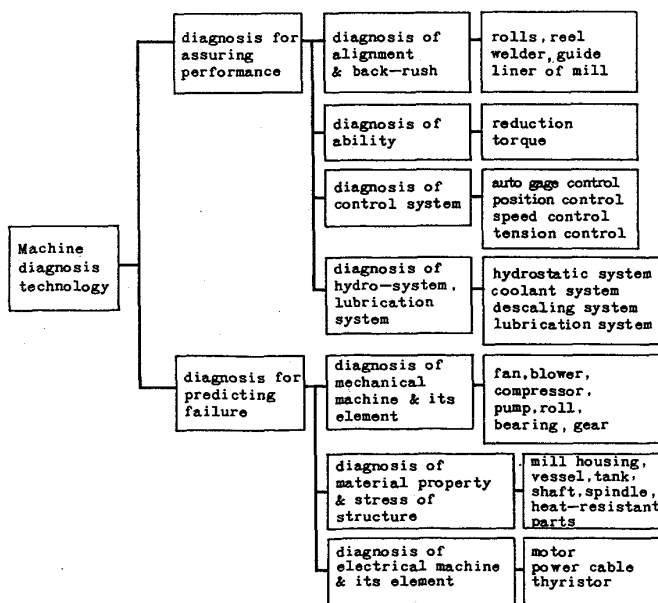


Fig. 2 Machine diagnosis technology system

断および流体、潤滑系の診断があり、故障予知診断には、回転機械やその機械要素の診断、構造物などの材料劣化診断および電動機などの絶縁劣化診断がある。それぞれの診断技術について以下に説明する。

2.2.1 性能保証診断

(1) 設備精度診断

設備精度診断には、静的診断と動的診断がある。静的診断とは、設備が停止している状態で、各機械要素がユニットの中で、あるいは各ユニットがライン全体の中で、どのような状態（アライメント、ギャップ）にあるかを測定するものである²⁾。これは、従来からある方法であるが、製品品質と密接な関係にある。動的診断は、運転状態で、モータ電流や張力の変動あるいは圧延機のかみ込み時の振動や変位を見て診断する方法で、回転体の偏心や機械のバックラッシュの検出に有効である。

(2) 設備負荷能力診断

設備負荷能力診断は、設備改造時や操業条件変更時に、要求機能を満足する設備能力があるかどうかを診断する場合と、定期的にその能力が維持されているかどうかを診断する場合がある。この診断方法の適用例として、前者では、低温圧延、高圧下圧延に伴う熱延仕上ミル駆動系の強度診断³⁾が、後者では後述する静圧軸受の診断⁴⁾がある。

(3) 制御系の診断

制御系には、速度制御系、張力制御系、蛇行制御系、圧下、位置制御系があり、さまざまであるが、制御応答の遅れが問題になることが多い。これに対しては、ボード線図を用いた制御応答解析やステップ応答の波形解析による診断を実施している。たとえば、リンク機構を有した高応答コイラーの診断技術⁵⁾がこれにあたる。

(4) 流体、潤滑系の診断

ここで言う流体、潤滑系の診断とは、ポンプ、バルブ、シリンダーなどの構成要素の診断だけでなく、システムとしての効率、システムとしての性能を診断するものである。たとえば、デスクーリングシステムの診断や油圧システムの診断⁶⁾があり、最近では、圧延潤滑油システムやクーラントシステムの診断を行なっている。

2.2.2 故障予知診断

(1) 回転機械の診断

回転機械の診断は、振動法が主体であるが、振動の傾向値管理、相互比較、絶対値判定による簡易診断と周波数解析や波形解析を中心とする精密診断がある。簡易診断は地区整備課で定期的の実施しており、当社の判定基準に照らし合わせて、異常の兆候が認められた場合は、中央の保全技術室で精密診断を実施している。精密診断には、川鉄計量器(株)が開発したポータブル振動解析器⁷⁾を用いているが、波形解析や周波数解析が現地で容易にでき、128画面の記憶ができるので、異常原因の早期発見に役立っている。たとえば、一般に知られているファン、ブロワーのアンバランスやミスアライメントおよびベアリングや歯車の損傷以外にも、架台の亀裂、大型減速機の基礎ボルトのゆるみ、チェーンカップリングの摩耗、コンプレッサのバルブ抑えスプリングの破損などもこの診断技術で発見している。

また、振動法以外の診断としては、(株)日立製作所、日立エンジニアリング(株)と共同開発したAE法による圧延機用すべり軸受の診断システムがある⁸⁾。

(2) 材料劣化診断

材料劣化診断は、材質劣化の診断と欠陥、亀裂の診断に分けられる。前者は、非破壊で評価することは難しく、サンプルを切り出すか、設計時に環境条件を調査して保全予防で対処している。後者については、欠陥、亀裂発見のための非破壊検査技術、亀裂進展速度を監視するための測定技術および破壊力

学や応力解析を用いた寿命評価技術がある。しかし、これまでの損傷事例を見ると設計ミスや施行不良に起因するトラブルが多く、当社においては製作時の検査や施工品質確性のための試験に重点を置いている。

(3) 絶縁劣化診断

絶縁劣化診断は高圧大形電動機や高圧ケーブルなどの絶縁劣化程度を測定し、残存寿命を予測し、絶縁破壊事故を防止するものである。一般に回転機の寿命は平均27年¹¹⁾と言われているが、当所では稼働後20年以上経過した圧延主機や発電機が多く、監視・診断体制を強化している。メガーによる診断のようなオフラインでの診断ばかりでなく運転中に絶縁診断のできる方法¹²⁾を開発し実機に適用している。また、サイリスタ素子の劣化(漏れ電流の増加)についても簡便かつ定量的に測定する方法、装置を開発し商品化している¹³⁾。

3. 設備診断技術の開発

3.1 圧延機用静圧軸受の性能診断技術⁴⁾

3.1.1 静圧軸受の機能

静圧軸受の機能は、油膜軸受の高圧低速域での油膜厚さを補償することである。しかし、その油圧は超高压で少流量のため、わずかな油のリークによっても油膜形成能力が著しく低下する。また、十分な油膜形成が行なわなければ、圧延状態での加速、減速が困難となり、その部分は、製品の歩止りを低下させることになる。

3.1.2 診断方法

静圧軸受の構成をFig. 3に、油圧圧下装置の構成をFig. 4に示す。油膜厚さの測定は、Fig. 4に示す装置を用い、以下の手順で行なう。

- (1) ハイスタポンプを運転した状態で、圧下力を設定し、ロードセルで荷重を読む。(P on)
- (2) ハイスタポンプを停止して、ロードセルの荷重を再度読む。(P off)
- (3) 油膜厚さを①式を用いて計算する。

$$\Delta T = \Delta P \times 10^3 / 2 \times K = (P_{on} - P_{off}) \times 10^3 / 2 \times K \dots\dots ①$$

ΔT : 油膜厚さ (μm)

K: ミル定数 (ton/mm)

- (4) 理論値あるいは正常時の油膜厚さと比較し、評価する。

3.1.3 診断結果

同一仕様の3つの軸受の診断結果をFig. 5に示す。No 3軸受は、理論値に比べ油膜形成能力が大幅に低下しており、No 2軸受は、若干低下していた。このため、軸受を分解点検したところ、ケーシング内の油圧ホースに、No 3軸受は目視で確認できる程度の損傷があり、No 2軸受は、耐圧テストで洩れが確認できる程度の損傷があった。

3.2 直流機オンライン絶縁監視装置の開発¹²⁾

3.2.1 概要

直流機の絶縁劣化による事故は、復旧に長時間を要する為、保全費の増大のみならず、操業への影響も大きい。これに対して、現状は、停止時にメガーによる絶縁測定を行なっているにすぎない。事故防止の為に、運転中の絶縁管理を精度良く行ない、絶縁寿命を的確に把握する必要がある。

そこで、運転中の絶縁状態を回転機側と電源側とに分割監視できるオンライン絶縁監視装置を開発し

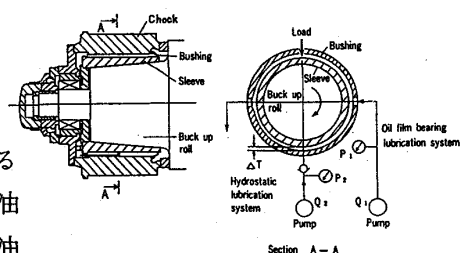


Fig. 3 Oil film bearing with hydrostatic lubrication system

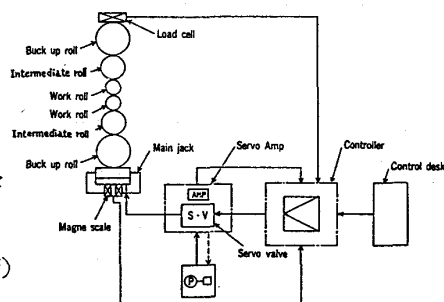


Fig. 4 Hydraulic roll positioning device

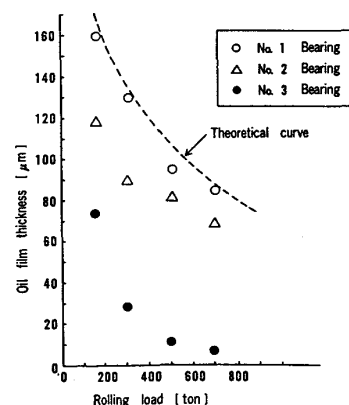


Fig. 5 Typical datas of oil film thickness

, 実用化した。

3.2.2 装置の原理, 構成

このオンライン絶縁監視装置は, 実際の接地電流を検出して, その時の主回路電圧から絶縁値を算出する「実接地電流検出方式」を採用している。Fig. 6に装置の構成を示す。装置は, 接地電流のノイズ成分を除去するフィルター, 接地電流を直流成分と交流成分に分離する弁別回路, 更に, 主回路電圧から絶縁値を算出する演算回路から構成されている。

3.2.3 装置の特徴

- (1) 運転時に, 絶縁値のモニタができる。
- (2) 絶縁状態を「電機子巻線部」と「直流回路のP側」「同N側」の3部位に分けて測定できる。
- (3) 絶縁管理値の設定ができ, 警報出力及び表示機能がある。
- (4) 既設の「接地継電器」による感度低下を防止する「64補正回路」がある。

3.2.4 性能

検証実験の結果をTable 1.に示す。この結果から, 検出精度は $\pm 10\%$ であり, 絶縁管理上は, 十分に要求に耐える。

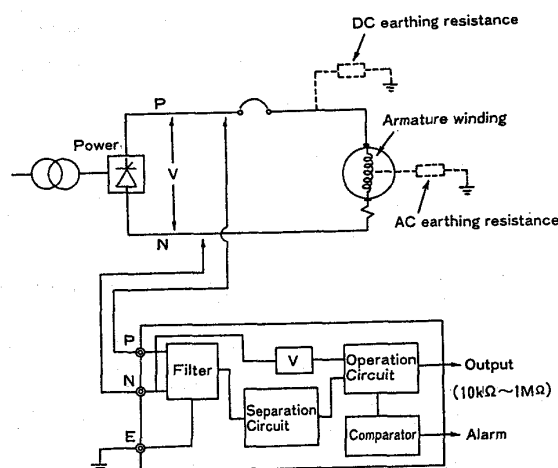


Fig. 6 Configuration of insulation measuring system

4. 設備診断システムの導入

製造プロセスの連続化, 同期化に伴って, 品質や設備のトラブルは工場全体の物流や工程に波及し, その被害は計り知れないほど大きくなってきている。また, 設備は自動化, 高機能化され, メンテナンスの複雑化が進む一方で, 保全生産性の大幅な向上が達成されなければならない。当社においては, こうした背景のもとに品質や設備にかかわるメンテナンス情報を集中的に監視する設備診断システムの導入を昭和56年¹⁴⁾から進めてきた。

圧延プロセスについて言えば, 熱間圧延設備¹⁰⁾, 冷間圧延設備および連続焼鈍設備¹⁵⁾に設備診断システムを導入しており, 酸洗設備や調質圧延設備への導入も進めている。これに連铸設備の診断システムを併せて一貫したプロセスの診断システムが構築される。

5. 結言

当社における設備診断は, 故障予知診断から製品品質の保証を重視した性能診断へと, あるいは定期診断から常時監視へ, さらに判断を行なう診断システムへと移行しつつある。しかしながら, 「設備診断がプロセスの連続化, 同期化を支えている」と言うには, まだ解決すべき問題は多く, さらに, 設備診断技術の開発と導入を進めてゆく。

参考文献

- 1) たとえば, 岩崎重雄: 第57, 58回西山記念技術講座(1979), P. 309
- 2) 大原末光: プラントエンジニア, 19(1987)4, P. 8
- 3) 井上ら: 川崎製鉄技報, 19(1987)1, P. 58
- 4) 金尾ら: 鉄と鋼, 72(1986)12, S1264
- 5) 仲田ら: 鉄と鋼, 71(1985)5, S394
- 6) 横川ら: プラントエンジニア, 14(1982)8, P. 53
- 7) 多田吉男, 浜久人: メンテナンス(1986)79, P. 20
- 8) 井上ら: 鉄と鋼, 71(1985)5, S396
- 9) 笠井ら: プラントエンジニア, 15(1983)7, P. 49
- 10) 鈴木政幸: 設備診断技術ハンドブック(日本鉄鋼協会編)(1986) P. 111
- 11) 住谷英治: 第6回設備診断技術基礎コース(日本プラントメンテナンス協会編)(1982)
- 12) 田部井ら: 鉄と鋼, 71(1985)13, S1095
- 13) 田部井ら: 本講演大会にて発表予定
- 14) 中村ら: 鉄と鋼, 68(1982)4, S135
- 15) 内藤康: 設備診断技術ハンドブック(日本鉄鋼協会編)(1986) P. 277 [丸善]