
冷間圧延設備における診断技術の開発

Development of Diagnosis Technique of Cold Strip Processing Lines

多田 吉男(Kichio Tada) 小西 敏弘(Toshihiro Konishi) 笠井 聡(Satoshi Kasai)
内藤 肅(Tadashi Naitou) 岸田 宏昭(Hiroaki Kishida) 井口 弘明(Hiroaki Iguchi)

要旨：

冷延プロセスラインにおいて、製品板厚などの品質や操業情報と設備状態から設備性能の良否を定量的に診断する技術を開発した。主な開発技術は、(1)ウエルダー性能、(2)メカニカルデスケリング用ポンプ性能、(3)ミル WR・BUR のロール偏芯および制御性能、(4)ミル油圧圧下制御性能などの診断技術である。これらの技術と回転機械系、流体潤滑系、電気計装制御系などの要素診断技術を加え、また自動診断機能やエキスパート機能を盛り込んだ設備診断システムを開発し、酸洗、冷間圧延、焼鈍プロセスの各ラインに導入してきた。この結果、設備故障防止のみならず、板厚精度の向上や溶接部の破断防止、酸洗能率の安定化に寄与するとともに、設備性能をベースとしたメンテナンス比率の上昇等、設備管理精度の改善につながった。

Synopsis：

For the cold strip processing lines, the authors have developed diagnosis techniques in which information on product quality, such as sheet thickness, and information on operation are combined together with processing signals and machine conditions. The major diagnosis techniques are (1) diagnosis of welding performance, (2) diagnosis of leak in mechanical descaling pump, (3) diagnosis of cold strip mill (eccentricity of work roll and back up roll) and (4) diagnosis of automatic sheet gage control system for rolling reduction at the cold strip mill. These techniques coupled with fundamental diagnosis techniques for rotary machinery, hydraulic lubricant equipment, electric and control units have led us to the development of a new type diagnosis system in which the functions of automatic diagnosis and expert system are incorporated. This system has been introduced to the pickling line, cold strip mill, and continuous annealing line. The above introduction has contributed not only to the execution of early treatment of defective portions of the equipment but also to improvements in the accuracy of sheet thickness, prevention of rupture in welds, and stability in pickling efficiency. This has furthermore brought about improvement in the accuracy of the equipment management control including an increase in CBM (condition based maintenance) rate and the like.

本文は次のページから閲覧できます。

Development of Diagnosis Technique of Cold Strip Processing Lines



茅田 吉男
Kichio Tada
千葉製鉄所 保全部保
全技術室 主査(掛長)



小西 敏弘
Toshihiro Konishi
水島製鉄所 設備部設
備技術室 主査(課長)



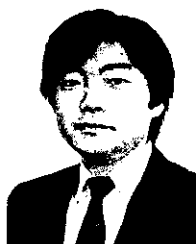
笠井 聡
Satoshi Kasai
千葉製鉄所 保全部保
全技術室 主査(課長
補)



内藤 庸
Tadashi Naitou
水島製鉄所 設備部設
備技術室 主査(部長
補)



岸田 宏昭
Hiroaki Kishida
千葉製鉄所 保全部保
全技術室



井口 弘明
Hiroaki Iguchi
千葉製鉄所 設備技術
部電気・計装技術室

1 緒 言

自動車用鋼板等の冷間圧延鋼板を製造するプロセスライン(以下冷延プロセスラインと称す)の高級品質製造技術の進歩はめざましく、とりわけ高速・高応答制御技術の開発は品質向上に寄与し、一方で全自動連続通板技術や連続自動検査技術の開発は、操業要員の低減を極限まで可能ならしめている。

このように製造技術の高度化や自動化が進むと「設備で品質を作り込む」ことが必然的に要求される。設備の異常は品質低下を招き、しかも不具合品が大量に発生するなどの危険を伴う。これらを回避するためには、品質低下の前兆や設備劣化の兆候を早期にとらえ、品質と設備の因果律に基づく設備診断技術の確立とこの技術を常時発揮できるオンラインシステムの開発が必須条件となる。

当社においては当該システムを Quality & Machine Diagnosis System (QMDS) と称し、冷延プロセスラインにおいては1983年以降開発を進め、順次適用拡大をはかり、品質の向上や設備の安定稼働に多大な貢献をしてきた。

要旨

冷延プロセスラインにおいて、製品板厚などの品質や操業情報と設備状態から設備性能の良否を定量的に診断する技術を開発した。

主な開発技術は、(1) ウエルダー性能、(2) メカニカルデスケーリング用ポンプ性能、(3) ミル WR・BUR のロール偏心および制御性能、(4) ミル油圧圧下制御性能などの診断技術である。

これらの技術と回転機械系、流体潤滑系、電気計装制御系などの要素診断技術を加え、また自動診断機能やエキスパート機能を盛り込んだ設備診断システムを開発し、酸洗、冷間圧延、焼鈍プロセスの各ラインに導入してきた。

この結果、設備故障防止のみならず、板厚精度の向上や溶接部の破断防止、酸洗能率の安定化に寄与するとともに、設備性能をベースとしたメンテナンス比率の上昇等、設備管理精度の改善につながった。

Synopsis :

For the cold strip processing lines, the authors have developed diagnosis techniques in which information on product quality, such as sheet thickness, and information on operation are combined together with processing signals and machine conditions.

The major diagnosis techniques are (1) diagnosis of welding performance, (2) diagnosis of leak in mechanical descaling pump, (3) diagnosis of cold strip mill (eccentricity of work roll and back up roll) and (4) diagnosis of automatic sheet gage control system for rolling reduction at the cold strip mill.

These techniques coupled with fundamental diagnosis techniques for rotary machinery, hydraulic lubricant equipment, electric and control units have led us to the development of a new type diagnosis system in which the functions of automatic diagnosis and expert system are incorporated. This system has been introduced to the pickling line, cold strip mill, and continuous annealing line.

The above introduction has contributed not only to the execution of early treatment of defective portions of the equipment but also to improvements in the accuracy of sheet thickness, prevention of rupture in welds, and stability in pickling efficiency. This has furthermore brought about improvement in the accuracy of the equipment management control including an increase in CBM (condition based maintenance) rate and the like.

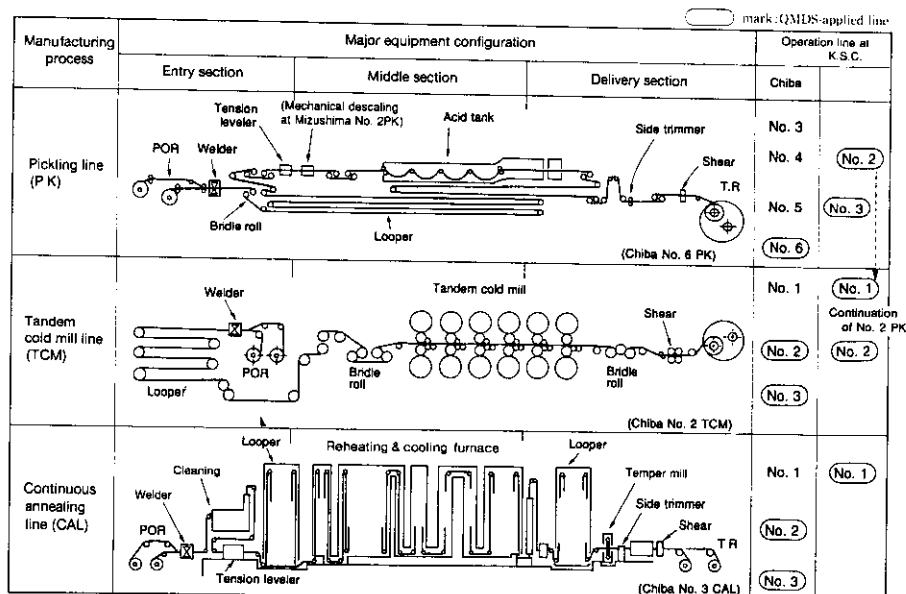
本稿は冷延プロセスラインの QMDS に適用した設備診断技術の開発と診断事例に関する研究成果について述べたものである。

2 冷延プロセスラインの主たる機能、設備構成

冷延プロセスラインを酸洗、冷間圧延、連続焼鈍の各製造プロセ

* 平成2年2月5日原稿受付

Fig. 1 Outline of cold strip processing line and operation line at Kawasaki Steel



スに区分し、主要設備構成例²⁻⁴⁾と当社各稼働ラインを Fig. 1 に示す。

連続酸洗ライン (Continuous Pickling Line: PK) の主たる機能は、熱間圧延されたコイル状鋼板表面の酸化層(スケール)を機械的にさらには塩酸の化学作用により連続的に除去することである。設備の構成は、コイルを帯状に巻き戻すペイオフロール(POR)、この鋼帯(後行板)と既に供給された鋼帯(先行板)をつなぎ合わせるウェルダ、鋼板を保持するブライドルロール(BrR)、鋼板を貯えて一定速度で送り出すためのルーバ、鋼板表面のスケールにクラックを入れるテンションレベラー(T/L)、流体ショット方式のメカニカルデスケリング、プロセスの主目的を果たす酸洗槽、出側スピード減速時に鋼板を貯える出側ルーバ、鋼板板厚、酸洗品質を検査するインスペクションおよび検査機器、所定幅および所定長さ切断用サイドトリマー(S/T)、シャー(SH)、コイル状に巻き取るテンションリール(TR)、以上から成る。

冷間圧延ライン (Tandem Cold Mill Line: TCM) の主たる機能は、酸洗後の鋼板厚みを常温にて段階的に連続圧延し、所定の寸法

に仕上げることであり、数基の冷間圧延機 (Cold Mill: ミル) を中央に配し、前記機能を果たす。

連続焼鈍ライン (Continuous Annealing Line: CAL) の機能は、ミルで圧延した鋼板の焼鈍、調質、防錆などを連続的に処理するもので、PK, TCM に比し設備構成上の違う点としては、鋼板表面の電解洗浄(ECL)、鋼板形状矯正用 T/L、加熱炉、冷却炉、調質圧延機などである。

なお、当社各稼働ラインに適用した QMDS 数は PK 3 システム、TCM 5、CAL 3 システムである。

3 設備診断技術の開発状況と特徴

3.1 設備診断技術開発状況

冷延プロセスラインの主たる品質および操業管理項目と主要設備性能の相関をマトリクスとして、設備診断技術の開発状況を示したのが Table 1 である。さらに開発技術の適用状況をオフラインと

Table 1 Correlation of equipment with quality and operation, and development of diagnosis technology

Quality and operation control items		Section		Equipment and devices		Entry side		Middle part (main process)												Delivery side																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
						POR	Welder	Bridle roll	Looper	P K		TCM						CAL				Looper	Side trimmer	Shear (SH)	T/R																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
		T/L	Mechanical decar	Pickling tank	Driving system					Reduction system	WR/BUR	Bearing (WR/BUR)	Hydro static system	Roll cooling	Rolling lubrication	T/L	ECL	Furnaces	In-furnace rollers	Temper mill																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Quality	Off gage	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Correlation	Development of diagnosis techniques
●	Yes
○	Yes
○	Yes
—	No

Table 2 Relation between performance of flush butt welder (FBW) and welding quality, and contents of diagnosis

Equipment performance			Centering	Shearing		Clamping	Welding		Bead trimming	
	Requirements		Width alignment	Ability of travelling straight	Sharp cutting ability	Homogeneous, close contact	Compliable-ness	Synchronizing ability	Ability of translational	Free-cutting ability
	Example of defects		Misalignment of width	Out of parallelism	Rough cut surface	Slip, impression	Poor penetration	Poor upsetting	Remaining bead	Chattering bite mark
Influence of joints' characteristics on quality ^{*1}	Strength (average)		M	M	L	M	L	M	M	M
	Strength variation in weld line		L	L	M	M	M	L	L	M
	Vertical deviation of joint ends		S	M	M	L	—	M	L	L
	Linearity of strips joined		L	M	—	M	—	L	—	—
	Surface defects		—	—	—	L	—	—	—	—
Contents of diagnosis	Detection	Sensor	Light sensor (for EPC)	Calculation unit (for hydraulic motor torque)		Partial voltmeter	Potentiometer	Potentiometer	Calculation unit (for hydraulic cylinder power)	
		Tuning	Completion of centering	no-load travelling	Shearing	At upsetting	flashing	At upsetting	No-load travelling	Trimming
		Measurements	Difference in collection	Sliding power	Shearing power	Contact resistance	Difference in control displacement	Difference of quantity of upset	Sliding power	Trimming power
	Diagnosis items	Instantaneous value ^{*2}	Biting of foreign matters	Biting of foreign matters	Chipping of shearing edge	Biting of spatter	Sticking of hydraulic control valve	Biting of foreign matters	Biting of foreign matters	Chipping of knife edge
		Monthly values ^{*3}	Blur on the EPC sensor	Poor lubrication	Rough shearing edge	Rough electrode surface	Malfunction of hydraulic control valve	Blur on the EPC sensor	Poor lubrication	Rough knife
		Yearly values ^{*4}	Wear of side guide rolls	Wear of bearing and rail of saddle carriage	—	Leak from clamping cylinder	Wear of bearing and rail of travelling carriage	Partial wear of positioning block	Wear of bearing and rail saddle carriage	—

*1 L: Large M: Middle S: Small

*2 Data of each coil *3 Tendency of daily values *4 Tendency of monthly values

4.2 開発の目的

FBW において溶接された鋼板の溶接部強度が弱く、かつ切欠などがあると TCM ミルで圧延加工中に破断する。この溶接品質欠陥の許容される限界を見極め、トラブルを未然に防止する診断技術を開発するために、ウェルダーに要求される設備性能と溶接品質の相関を調査し、さらには各々の設備性能低下項目が溶接品質欠陥に及ぼす影響度の大小を解析した。これらの結果を Table 2 の上、中段に示す。

またこれら設備性能が低下する直接原因例を Table 2 の最下段に診断項目として集約した結果を示す。直接原因例としては、瞬時に引き起こる異物の噛み込みや 1~2 箇月以内に発生する R/SH 刃物の欠けや、各摺動部分の潤滑不良、油圧制御弁の作動不良などがあり、さらに半年~2 年を対象とする期間では、各作動部の摩耗によるガタの増大、各位置決めストッパーの偏摩耗などがある。またこれらの現象は過去に数多く発生し、溶接部破断の主要原因であった。

一方、これら設備性能低下に至る原因系を直接に診断する技術開発報告例はほとんどなく、またトラブル再発防止を兼ねた原因調査に長い時間を必要としたなど、この間での溶接破断による被害を増加させていた。以上の観点からもこの設備性能低下原因系の診断技術開発のニーズが特に大きかった。

4.3 開発の内容

各設備性能区分ごとに前記原因が発生したと仮定し、この際に共通して変化する状態量、たとえば R/SH 走行時の噛み込み、摺動部潤滑不足やガタの増大にともなう走行負荷抵抗力などに着目し、これらの検出センサーを選定あるいは開発し、また検出タイミングを明確化し、診断アルゴリズムを考案するなどしてきた。さらに前記原因系の発生周期などを踏まえ、瞬時値、月間値、2 年間値の傾向解析ができるようにしてきた。これらの結果を Table 2 の下段に一括

して示した。

以下にこれらの代表例として R/SH 設備性能および溶接制御同調性能に関する診断事例を述べる。

4.4 診断事例

4.4.1 ロータリーシャー切断性能診断

R/SH の正面組立図と走行中の負荷抵抗力の模式図を Fig. 4 に示す。R/SH は油圧モーターの回転トルクをチェーンを介してサドル台車に張力として伝え、この力で上部に搭載されている円盤上の上下シャー刃を鋼板に噛み込ませ裁断を行う装置である。

この R/SH が走行途中鋼板と衝突するトラブルが発生し、この時のダメージの評価と以後の対策を検討、処置した結果を図中に示す。

この図から衝突時には 5t の過負荷が加わったこと、次に 1 箇月データからは、摺動力が徐々に低下していること、反対に切断力が徐々に上昇したことがわかる。

この理由は、過負荷によってサドル台車に内蔵しているリニアベアリングの摩耗あるいは割損等によりレールとの与圧力が失われ摺動力が低下したこと、鋼板裁断時にはサドル台車に振れが発生し、切断力が上昇したと考えた。サドル台車を分解点検したところ、ベアリング割損 2 箇所、ブレーキング数箇所が認められ、取り替えた。

この結果、摺動力および切断力とも従来の正常レベルに復帰し、溶接品質も安定し、再溶接をする必要がなくなった。

4.4.2 アプセット同調性能診断

溶接を行う機器の平面図と移動台車の移動距離の関係を Fig. 5 に示す。各部の動作は、まず先行板の後端と後行板の先端を電極でクランプする。次に溶接シリンダーのロッド先端部を移動台車インロー部に挿着固定し、所定の送り制御パターンで引き寄せる。全移動距離はシリンダー後端ブロックと固定側位置決めストッパーの距

Fig. 4 Sliding and cutting power before and after rotary shear trouble

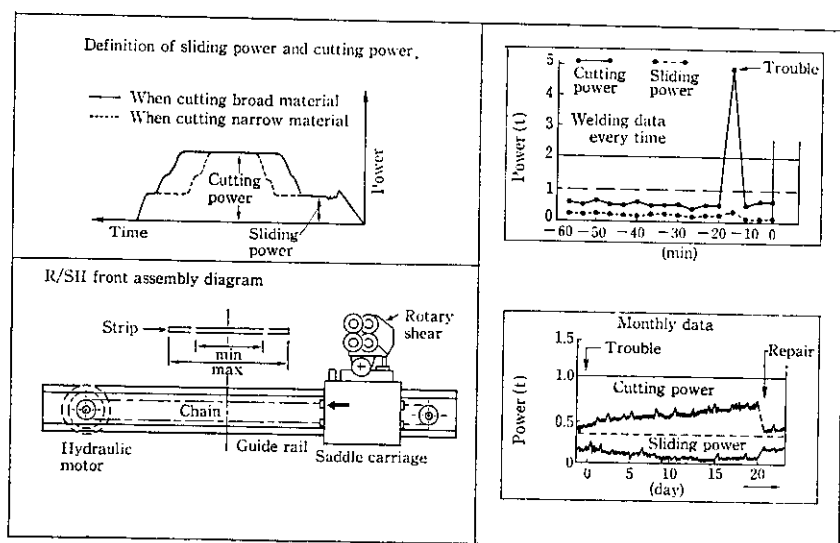


Fig. 5 Method to detect the difference of upset quantities

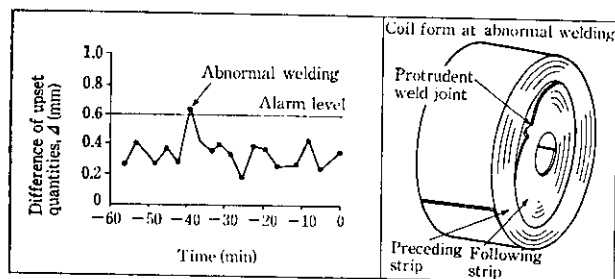
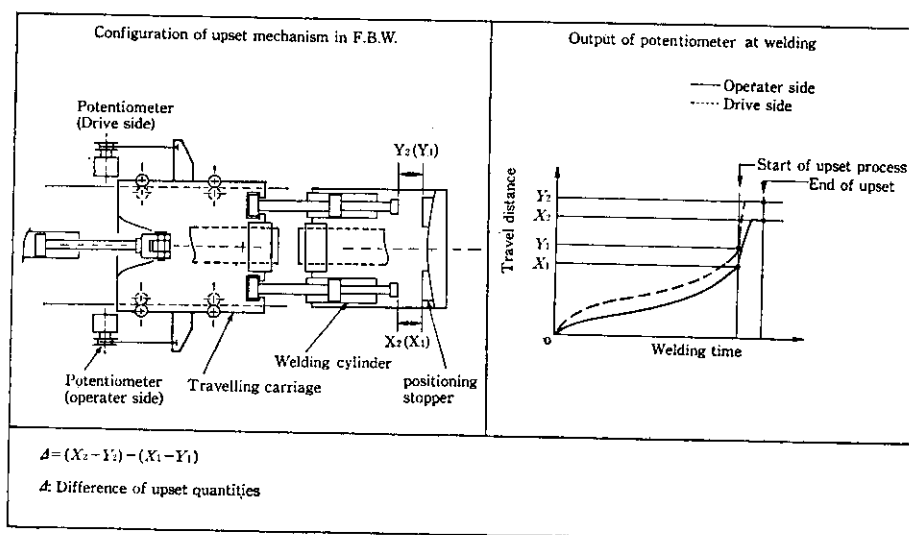


Fig. 6 Example of the difference of upset quantities and coil form at abnormal welding

離となる。この移動量は移動台車 Op および Dr 側のポテンシオメーターの出力によって知ることができるようになっている。

このポテンシオメーターの出力信号をもとに、アブセット量差 Δ を同図中に示す計算式にて定義し、傾向値管理を行っていた。

このアブセット量差が、毎回の溶接ごとに大きくハンチングすることがあり、当時の状況を Fig. 6 に示す。また設定値を超えたコイルの外観調査結果をあわせて示す。

この結果、溶接部が 20 mm コイル端面より飛び出し、またつなぎ合わせた鋼板が長手方向に曲がる。いわゆる“く”の字形状を呈し、全体的にコイルの巻姿が悪くなっていた。

前記アブセット量差のデータとこれらの現象を合わせて解析した

結果、センタリング性能が低下したと考えた。結局、アジャスト量を決定する鋼板端面位置検出センサー (EPC) 受光器へ油脂が附着していたことがわかり、これが原因であると判断し処置した。この結果、データのハンチングはなくなり、コイル巻姿も回復した。

5 メカニカルデスケーリングブランジャーポンプ診断技術

5.1 機器構成および機能

水島製鉄所 No. 2 酸洗ラインと No. 1 冷間圧延ラインを連続化⁹⁾する際に、No. 2 酸洗ラインに導入したメカニカルデスケーリング用ブランジャーポンプの外観と吸入弁および吐出弁を模式化した断面図を Fig. 7 に示す。

当ブランジャーポンプはモーター出力 3 000 kW、吐出圧力 350 kg/cm²G、容量 51 m³/min と超大型で、かつ 13 組のブランジャー、吸入弁、吐出弁を有する。圧縮メカニズムは、まずモーターで減速機に直結されているフランク軸を回転し、円周上 13 分割されたクランク軸力点を上下運動に変換する連結棒を介してブランジャーを上下動させ、ブランジャー室内の容積変化にともなう吸入圧縮によって行うものである。したがって、各ブランジャーの位置はフランク軸力点の位置によって定まり、いわゆる位相差を有する。

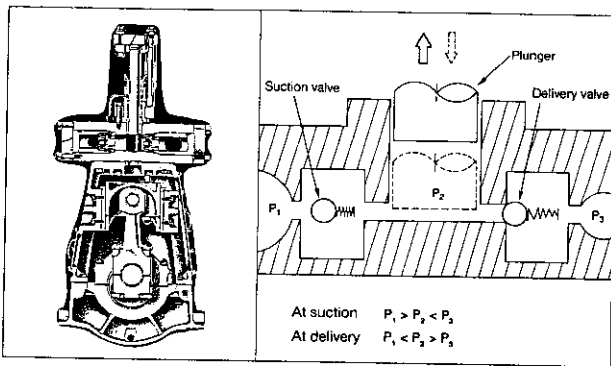


Fig. 7 Overview of plunger pump and schematic diagram of suction and delivery valves

5.2 開発の目的

PK メカニカルデスケリングの性能低下は、酸洗後の鋼板表面にスケールが残り、この状態で冷間圧延されるとスケールが鋼板内部に押し込まれ、鋼板の表面外観品質が低下する。したがって、この性能低下を防止するためには、砂鉄のミキシング状態、高圧水の噴射圧力、噴射流量などを正しく維持しなければならない。とりわけ噴射圧力と流量を決定するプランジャーポンプの性能管理が重要である。

主な管理項目は、吸込弁、吐出弁のリーク防止などであるが、従来の管理法としては、聴診棒などが主体であった。また振動法による診断の結果、異常は発見できるものの、どの吸・吐弁からリークしているのか分からず、過度のメンテナンスになりやすかった。

5.3 開発の内容

開発を進めるにあたり、正常な各弁の動作時にどのようなAEが出力され検出できるか、タイミングはいつかなどを探るために、No. 1～No. 5の各弁を新品に取り替え、No. 3プランジャーブロックにAEセンサーを取り付け、またプランジャー室内の圧力、変位を測定することにした。

この時の測定内容と結果をまとめてFig. 8に示す。

この結果判明した事実として、(1) No. 3プランジャーの変位が下死点をわずかに経過した際にプランジャー室内の圧力が急激に低下し、これと同時にAE出力レベルが急上昇してパルス波形を生じること、(2) このパルス波形の前後に生じた他のパルス波形間の時間差は、クランク軸力点の位相差相当の時間に等しいこと、(3) AEパルス状波形は合計5本繰り返して発生し、これ以外にノイズ状パルスがないこと、などである。

以上のことから同一ブロック内における各吐出弁が閉止する際にAEが発生し、またAEセンサーは1個で足りること、新品のバルブからはパルス状のAE波形しか出ないことがわかった。

次に、リークしたバルブの検出法について述べる。

高圧用バルブ内の前後に圧力差を生じ、リークした際の流速がマッハ数を超えると弾性波として検出できることはよく知られている¹⁰⁾。水の臨界圧力差に相当する時の吸込または吐出弁がリーク時に発生するAE出力範囲の予想図をFig. 9に示す。

当図から吸込弁と吐出弁のリークした際の特定は、正常な吐出弁が閉止時に発生するパルス状AE波を境にして、その前後の違いによって判別できることがわかる。つまり吸込弁リーク時は前記パル

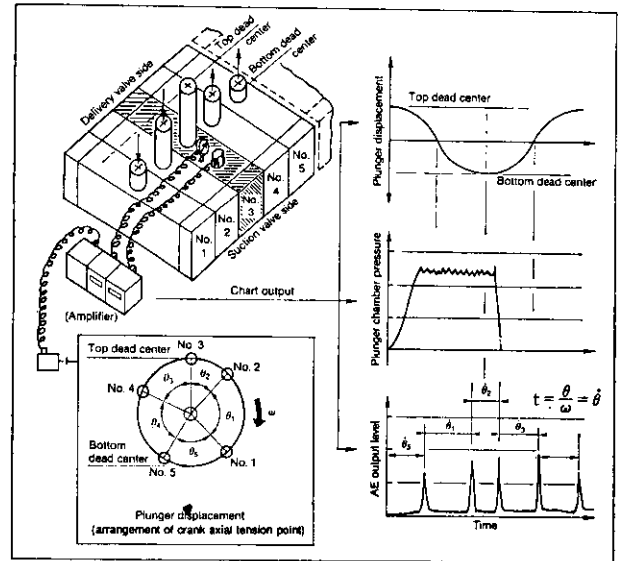


Fig. 8 Time serial changes of displacement, chamber pressure, and AE output in No. 3 plunger pump

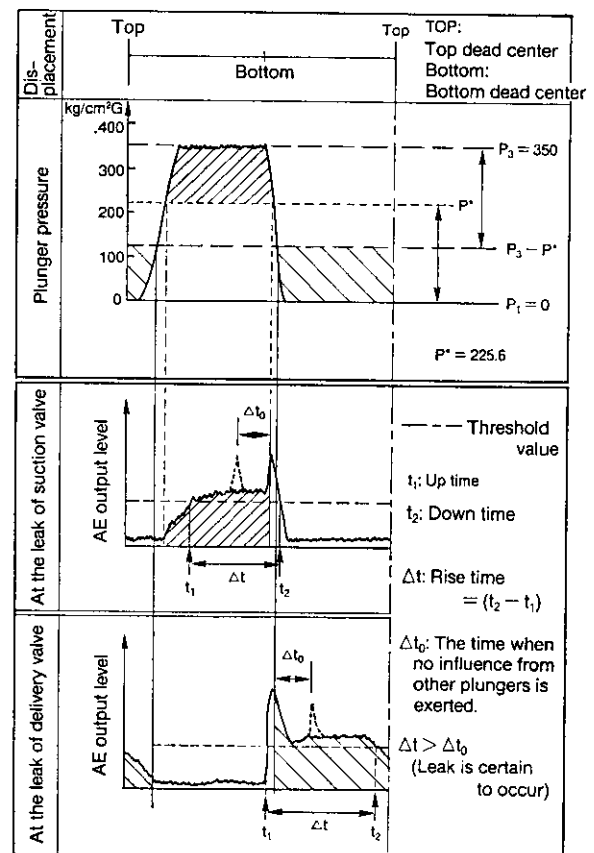


Fig. 9 Pressure difference in the plunger chamber and potential range of AE output

ス状AEが発生する以前から、吐出弁リーク時はその以降にAE波が出力される。なお、この予想も実験で確かめたが記述は省略した。

以上、これらの関係を自動的に判定、処理し、リーク警報あるいはマニュアル精密解析ができるようにQMDSを構築した。プランジャーポンプQMDSのハード構成をFig. 10に示す。主な内容は、3ブロックから成るシリンダーブロックの中間位置にAEおよ

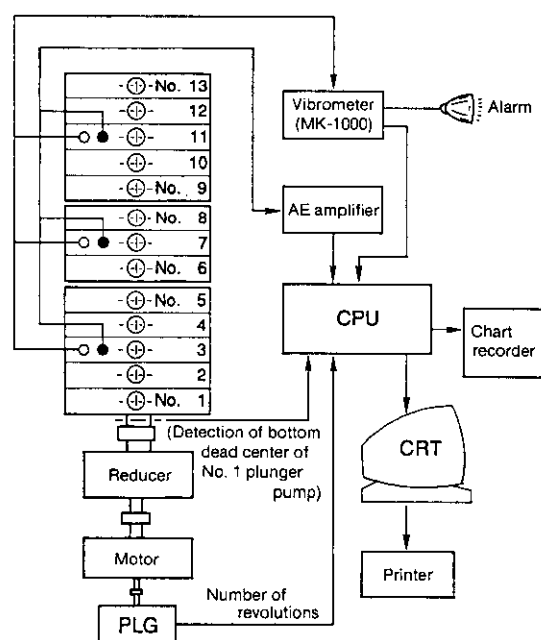


Fig. 10 Configuration of the quality and machine diagnosis system of plunger pump

び振動センサーを設置し、かつクランク軸の回転数信号検知と、No. 1 プランジャーの下死点位置を検知していることである。

5.4 診断事例

5.4.1 AE 法による診断

QMDS 稼働後、No. 6 吸込弁のリーク警報が発生した。この時の 1 サイクル当たりの AE 出力波形と後述する取替前後の比較を Fig. 11 左図に示す。図中下段に各プランジャーの下死点位置が印字されている。この結果、No. 6 プランジャーの下死点以前から AE 出力レベルが上昇し、この状態が No. 7 の下死点直後まで続いている。

この結果から、No. 6 吸込弁で大量にリークしていること、また No. 7 吸込弁にもなんらかの異常のあることがわかる。

そこで、まず No. 6 吸込弁を調査したところシリンダーブロック本体に亀裂が認められ、さらに No. 7 吸込弁側に達していることが判明し、No. 6、No. 7、No. 8 一体型ブロックを取り替えた。取替後は、各プランジャーの下死点位置に明瞭な AE パルス状波形のみ

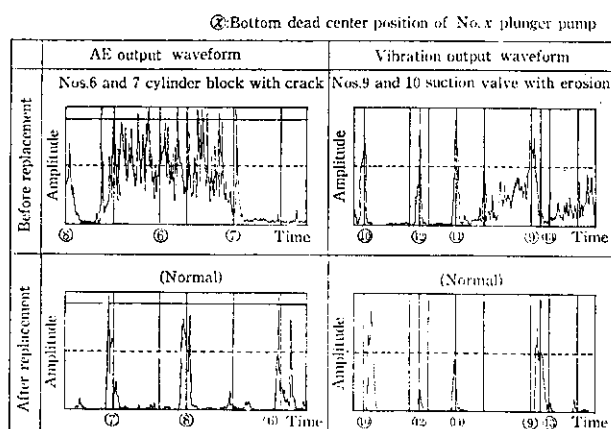


Fig. 11 Example of AE and vibration waveform before and after replacement of plunger pump parts

が出力され、正常に回復したことが分かる。

5.4.2 振動法による診断

AE 法と同程度の検出が可能との知見を得た振動法による診断例として、No. 9～No. 13 プランジャー中央に設けた振動センサーから出力された振動波形を Fig. 11 右図に示す。この図から No. 9 プランジャー下死点に至る前から振動値が上昇し始め、同様に No. 10 プランジャーについてもわずかではあるが上昇し、リークしていることがわかる。

対策検討において、このまま放置すると前記診断例のごとく、他の部分に損傷が広がり被害が拡大すると考えた。そこで No. 9 と No. 10 の吸込弁を分解点検し、No. 9 弁座部分の摩耗、No. 10 では微小エロージョンが認められ取り替えた。取替後の振動波形も各下死点にピークをもつ正常パルス波形となっている。

6 板厚変動要因診断技術

6.1 機器構成および機能

油圧シリンダーをミルの圧下系に組み込んだ(油圧圧下)装置の主な全体組立図と検出機器構成例を Fig. 12 に示す。

ミル圧下装置の各部構成は、鋼板を圧延するワークロール(WR)、バックアップロール(BUR)、油圧シリンダー、圧延荷重検出用ロードセル、これらすべてを保持する一体型ハウジングなどから成る。また油圧シリンダーはミル直近の油圧サーボ弁で動作し、この位置を内蔵型マグネスケールで検出するものである。

一方、ラインセンサーに配した厚さ計で鋼板を検出し、この結果は当該ミル、さらには後段ミルへの制御情報として用いられ、最終段ミル出側においては製品情報となる。

6.2 開発の目的

TCM における油圧圧下装置の性能は鋼板の板厚精度と極めて相関が強く、性能異常時は鋼板の板厚が大きく変動し許容値を超えた鋼板(オフゲージ)を生じる。

ところが性能異常に至る直前まで、すなわち性能劣化を見極めることは種々の外乱要因が加わるために困難であった。たとえば圧延中においてチャタリング¹⁾が発生した際に、圧延冷却、潤滑系に原

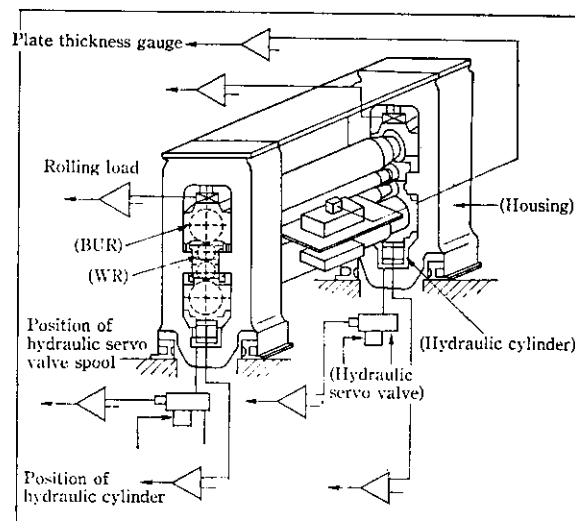


Fig. 12 Overview of hydraulic reduction equipment and configuration of detectors

因があるのか、圧下装置そのものの能力劣化がチャタリングの原因となっているのか見極めが難しい。

また WR, BUR のロール偏心が圧延時鋼板に転写される板厚変動の原因が、ロール研削時の不良に起因したのか、操業中に偏心量が増加したのか、さらにはロール偏心制御性能の低下に起因しているのかなど区別することは困難であった。

なぜならチャタリングの発生原因やロール偏心増加などの原因は上記以外にも種々の操業条件とも密接に絡んでおり¹²⁾、一義的に決定することは極めて難しかったからである。

そこでこれら考えられる原因のいくつかを、定量かつ傾向値として表し診断情報として提供し、同時期の操業条件などを加え総合的に解析することにより、さらなる品質向上、操業支援につながると考えた。

その代表例として、(1)油圧圧下性能診断技術、(2)ロール偏心部位およびその推定量同定技術、(3)チャタリング診断技術を述べる。

6.3 開発の内容

油圧圧下装置の性能診断例として、各構成機器の動作位置をベースに Op 側と Dr 側の差(Op-Dr 差)検出方法を最初に述べる。

Fig. 13 に油圧シリンダー Op 側 Dr 側の各位置と経過時間の関係予想図および Op-Dr 差検出ロジックを示す。

検出方法としては、数 ms ごとのサンプリング周期で Op-Dr の各位置を同時に計測し、その差を演算し、その大きさ、継続時間が各設定値を超えた時に異常として報告されるものである。

また一方では、その差を累積し平均値を演算して、コイル単位、さらには 1 日平均値として TOMAS に伝送するものである。

次に WR, BUR のロール偏心部位および偏心量の同定を全自動

的に演算、処理する技術について述べる。

WR, BUR の偏心によって生じる鋼板の板厚変動は、一般的には FFT 等の周波数解析手法を使い、特定周波数での板厚変動量の大きさから求めることができる。この特定周波数は経験的に、ロール回転数相当周波数(f_0)と 2 倍相当周波数($2f_0$)に近似できることが知られている。そこで、この f_0 と $2f_0$ を特定し、かつ板厚変動量を精度よく収集するため、FFT 分解能を高めたこと、ライン速度変動許容値を定め、この許容値を超えた際にはデータ収集を中断するなど、一連の演算を全自動的に行うようにした。

ミルのチャタリング診断技術開発内容としては、ミルのスタンド間に設置したテンションメーターロール(TMR)の軸受振動成分中、当該ミルのチャタリング周波数帯での振動量を抽出し、その大きさ、継続時間により判定するものである。

チャタリング発生時の TMR 軸受振動波形と FFT 解析結果を Fig. 14 に示す。チャタリング発生の約 2 分前から振動が増加し、かつ FFT 解析後の最大ピーク値は当該ミルでのチャタリング共振周波数と一致していることから、「前兆」を予測することができる。この前兆をとらえ警報を発報する QMDS を開発した。

なお、前兆を予測した時点でデータレコーダーが起動し、チャタリング発生までの振動詳細データを収録し、チャタリング防止解析に活用できるシステムを組み込んでいる。

6.4 診断事例

6.4.1 油圧圧下性能診断

千葉製鉄所 No. 3 冷間圧延ラインにおいて、No. 1 スタンド出側板厚計の出力が振り切れ、油圧圧下装置が制御不能となった事例がある。異常発生後ほどなく復帰したのであるが、異常発生の原因をその場で特定できなかった。

Fig. 13 Position of hydraulic cylinder and logic for Op/Dr-difference diagnosis

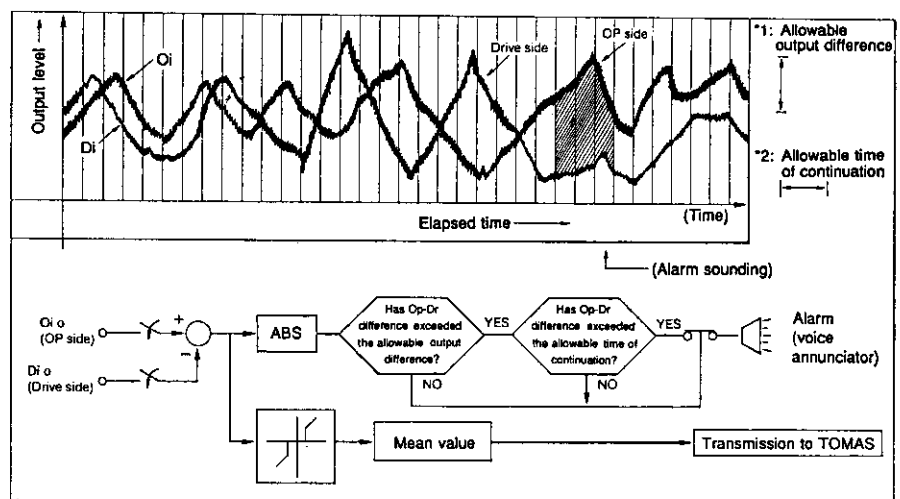


Fig. 14 Result of vibration analysis at chattering

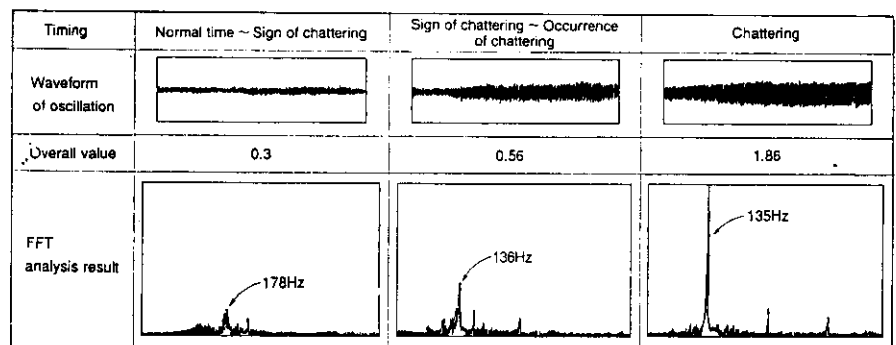


Table 3 Diagnostic results of servo valve

No.	Item diagnosis	Result of judgement*1	
		Before replacement	After replacement
1	Deviation of #1 std plate thickness	△	○
2	Rolling load (Op-Dr difference)	△	○
3	Position of hydraulic cylinder (Op-Dr difference)	△	○
4	Position of servo valve spool (Op-Dr difference)	×	○

*1 ○: Normal △: Attention required ×: Abnormal

そこで TOMAS に記録している情報, ここでは板厚偏差平均値と, 圧延荷重, 油圧シリンダー位置, 油圧サーボ弁スプール位置の各 Op-Dr 差の長期にわたる推移を解析した。この結果, 油圧サーボ弁スプール位置差が制御系異常に至る 2 箇月前から徐々に増加していること, また圧延荷重と油圧シリンダー位置の各差が 4 時間前から増加していること, さらにこれに伴って板厚偏差平均値が増加していることが分かった。

以上の解析結果から, 油圧サーボ弁の性能低下が著しくなり, 制御不能に至った。したがって, この弁に異常があると判断し, 直近の定期ライン修理日に Op, Dr 各サーボ弁の両側を取り替えた。

油圧サーボ弁交換前後の解析結果を Table 3 に示すが, 取替後はすべて正常に回復した。なお, 取り外したサーボ弁の性能検査を行った結果, Dr 側の内部リーク量が初期値の 3 倍に増加していることや使用条件での動特性が低下していることがわかり, 根本原因の特定につながった。

6.4.2 バックアップロール偏芯制御性能診断

千葉製鉄所 No. 3 冷間圧延ライン¹³⁾ #1 BUR を一定期間使用した際のロール偏芯相当板厚偏差の傾向値, ここでは初期値に対する倍率で表したものを Fig. 15 に示す。

この傾向値は圧延した鋼板の材質が違うことなどから初期値以下になる場合があるが, マクロ的にみると漸増傾向を示し, BUR 取替時には初期値の約 2 倍に達していた。

また, この BUR は, 操業中の圧延負荷その他に変化がなく, ロールの曲がり等によって偏芯量は増加していないことがわかり, したがって, 前記原因はロール偏芯制御性能の低下に起因したものであると特定することができた。

7 結 言

冷延設備における設備診断技術の開発状況と技術の特徴について述べ, また Quality & Machine Diagnosis System (QMDS) に取り込み有効活用している各開発技術について開発目的, 内容, 診断事例を詳述した。

- (1) フラッシュバット式ウエルダーの性能低下に至る直接原因を診断する技術を開発した。たとえば, ロータリーシャー走行抵抗力の変化から摺動部のガタの増加, シャーナイフの荒れなどを診断し, 溶接欠陥の防止, 溶接部破断トラブルの防止に寄与した。
- (2) 高圧用プランジャーポンプの吸込および吐出弁のリークを, AE センサーさらには安価な振動センサーを用い, 自動的に判定する技術を開発した。すでにシリンダーブロックの割損や,

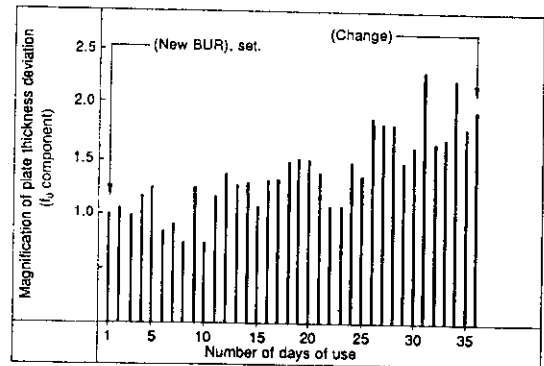


Fig. 15 Tendency values of plate thickness deviation

弁体のエロージョンによるリークを早期に発見し, 処置できた。

- (3) 冷間圧延ラインにおける油圧圧下装置の性能低下を診断する技術を開発した。たとえば, オペレータ側, ドライブ側の制御量の差から油圧サーボ弁の性能劣化を診断し, 好機に処置できた。
- (4) 圧延機出側の板厚計の出力値を FFT 解析し, 各スタンドごとのワークロール, バックアップロールの偏芯量を自動的に診断する技術を開発した。この結果, ロール研削不良ロールの早期発見, あるいはロール偏芯制御性能低下の特定などが容易にできるようになった。

開発してきた技術は, まだほんの一部であることや, 他のラインすべてに対して QMDS の適用がなされていないことなど, 課題が山積みしているが, 診断事例で述べた成果が設備管理部門のみならず, 生産, 品質管理部門に対しても有効であることが実証されつつあり, さらに普及, 拡大をはかっていきたい。

参 考 文 献

- 1) 日本鉄鋼協会編: 設備診断ハンドブック, (1986), 277-287, [丸善]
- 2) 豊坂秀夫, 松永彦作, 鈴木広勝, 國山光吉, 灘 晴之, 片桐秀明: 川崎製鉄技報, 17 (1986) 4, 372-377
- 3) 岸田 朗, 手塚東光, 井田幸夫, 坂本軍司, 御厨 尚, 籠田征雄: 川崎製鉄技報, 17 (1985) 2, 154-160
- 4) 女鹿節男, 岸田 朗, 井田幸夫, 佐藤邦昭, 増野豊彦, 池田三郎, 貝原利一, 太田範男: 材料とプロセス, 2 (1989) 5, S 558
- 5) 笠井 聡, 大橋忠信, 市原 晃, 寺田時雄, 滝本高史, 清野芳一: 材料とプロセス, 2 (1989) 2, S 375
- 6) 岸田宏昭, 多田吉男, 笠井 聡, 市原 晃: 材料とプロセス, 2 (1989) 2, S 377
- 7) 笠井 聡, 市原 晃, 佐能克明, 藤本茂樹, 小林宏是: 材料とプロセス, 2 (1989) 5, S 585
- 8) 藤原俊郎, 川並高雄, 森 紘一, 大矢 清, 小林義正, 志村雄一郎, 小林和夫: 製鉄研究, 307 (1982) 22-42
- 9) 小松富夫, 菅沼七三雄, 江藤孝治, 内藤 肅, 土井克彦, 廣畑和宏: 川崎製鉄技報, 18 (1986) 3, 243-249
- 10) 牧 修市: 最新実用設備診断技術, (1990), 886, [総合技術センター]
- 11) 家田 錠, 西田和志, 岩永賢一, 坂本徳彦, 横山 隆: NKK 技報, 124 (1988), 64-67
- 12) 日本鉄鋼協会編: 鉄鋼便覧Ⅲ(1)圧延基礎・鋼板, (1980), 531-579, [丸善]
- 13) 小林泰夫, 小松富夫, 三本竹一光, 長岡富雄, 三吉貞行: 材料とプロセス, 2 (1989) 2, S 367