
鋼管のねじ切り機およびアップセッタの設備診断機器の開発

Development of Machine Diagnosis Apparatus on the Threading Machine and Upsetter of Tube

奥村 精(Tadashi Okumura) 船生 豊(Yutaka Funyu) 田上 俊久(Toshihisa Taue)

要旨：

鋼管精整工程における設備診断機器の開発結果を、ねじ切り機およびアップセッタについて紹介した。ねじ切り機の診断には、切削振動を時系列的に周波数解析する方法を採用した。アップセッタの診断には、アップセット荷重と変位のパターン変化を解析する方法を採用した。この結果、ねじ切り機のツーリング異常、およびアップセットが正常に実行されたか否か診断できる論理が開発できた。これらの設備診断機器により、従来の経験によるオペレーションを定量的なものに変えることが可能である。

Synopsis：

Machine diagnosis techniques in the OCTG finishing line, especially those on the threading machine and tube upsetter, are necessary for quality control and improvement. This paper mainly describes the diagnosis logic. For the threading machine, we developed the "ratio changes method" of each power spectrum according to the threading phase. For the upsetter, we developed the "pattern changes method" for both upsetting force and displacement. Conventional operations will be shifted to more scientific operations by these diagnosis techniques in the OCTG finishing line.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

鋼管のねじ切り機およびアップセッタの 設備診断機器の開発*

川崎製鉄技報
18 (1986) 2, 222-228

Development of Machine Diagnosis Apparatus on the Threading Machine and Upsetter of Tube



奥村 精
Tadashi Okumura
知多製造所 設備部設
備技術室 主査(課長)



船生 豊
Yutaka Funiyu
知多製造所 設備部設
備技術室 主査(部長
補)



田上 俊久
Toshihisa Taue
知多製造所 第2造管
部シームレス管技術室
主査(課長補)

1 緒 言

鉄鋼プロセスにおいて、設備診断技術は連続化プロセスを成立させる要素技術として注目されてきた。例えば熱間圧延と冷間圧延ラインを連続化する場合、総延長が数 km におよぶラインがトラブルなく運転されなければならない。そこで全ラインの安定稼動を維持するためには、従来の保全技術では対処不可能であり状態保全へ移行する必要性が生じた。この状態保全を支援する技術として、例えば回転機を対象にした振動法による劣化の傾向管理、あるいは寿命予測が可能な設備診断技術の開発が行われてきた¹⁾。

しかし、鋼管の精整ラインにおける設備診断技術の必要性は、連続化プロセスを成立させることではない。例えば、油井管接合用のねじを切削するねじ切り機あるいは管端部を熱間鍛造し増肉させるアップセッタのツーリング(工具類)の状態、ツーリングを交換した時の機械的設定の良否、さらに操業開始後のツーリング劣化状況を診断することである。これにより製品品質の維持向上を図るのが目的である。それゆえ鋼管精整工程における設備診断技術は、操業診断技術を包含する技術である。本報では、鋼管精整工程の中でもっとも特徴のある切削加工機械であるねじ切り機およびアップセッタの異常診断論理の開発結果について報告する。

2 ねじ切り機の設備診断

2.1 ねじ切り機概要と診断内容

油井管用ねじ切り機は鋼管の両端にきわめて高精度で、かつ高効率に鋼管と鋼管の締結用ねじを切削するオンライン切削機械であ

要旨

鋼管精整工程における設備診断機器の開発結果を、ねじ切り機およびアップセッタについて紹介した。ねじ切り機の診断には、切削振動を時系列的に周波数解析する方法を採用した。アップセッタの診断には、アップセット荷重と変位のパターン変化を解析する方法を採用した。この結果、ねじ切り機のツーリング異常、およびアップセットが正常に実行されたか否か診断できる論理が開発できた。これらの設備診断機器により、従来の経験によるオペレーションを定量的なものに変えることが可能である。

Synopsis:

Machine diagnosis techniques in the OCTG finishing line, especially those on the threading machine and tube upsetter, are necessary for quality control and improvement. This paper mainly describes the diagnosis logic. For the threading machine, we developed the "ratio changes method" of each power spectrum according to the threading phase. For the upsetter, we developed the "pattern changes method" for both upsetting force and displacement. Conventional operations will be shifted to more scientific operations by these diagnosis techniques in the OCTG finishing line.

る。ねじ切削部の品質は API 規格などで詳細に規定されている。そこで、切削されたねじは外観検査、ねじゲージによる嵌合検査およびねじ要素検査が実施される。最近、ねじ切り機は NC 化されてきたのでねじ要素、例えばテーパやリードは制御可能であるが、切削工具、すなわちツーリング固有の問題は経験に依存する部分が残っている。Fig. 1 に設備診断装置の開発に使用した 3 $\frac{3}{8}$ " ねじ切り機のツーリング装着状態を示す。ダイヘッド上の No. 1~No. 3 ツールブロックにはチェザー(chaser)とターニング(profile turning), No. 4~No. 6 ツールブロックにはターニングが取付けられる。ねじ切削される鋼管はチャックで固定される。ダイヘッドが回転し同時にツールブロックは円錐状に開きながら前進しねじを切削して行く。チェザーとターニングの役割は次の通りである。Fig. 2 に示すように、まず No. 1 ターニングが管端をテーパ状に切削する。次にチェザーがねじを切削して行く。複数のツーリングが装着されている理由は、ツーリング1本当りの切削荷重を軽減することであり、切削能率を著しく向上させることである。ねじは9パス切削であり、No. 3 チェザーの最後の1パス切削がねじ品質を決定すると言っても過言ではない。

ねじ切り機の診断技術の開発に当たり、ねじ不良発生状況とツーリング異常の関係を調査した。原管の状態に起因するねじ不良項目は診断項目より除外した。また、テーパおよびリードは既存技術であ

* 昭和61年2月20日原稿受付

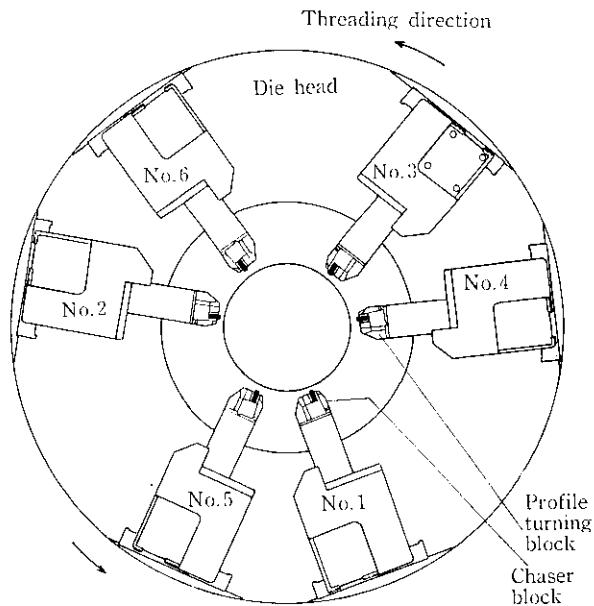


Fig. 1 Layout of tooling blocks mounted on the die head

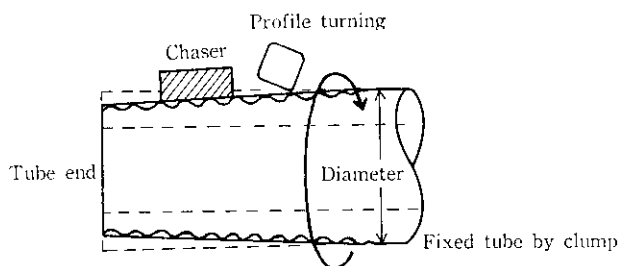


Fig. 2 Schematic condition in threading

る磁気式リアスケールなどを用いることで診断可能である。

そこで、従来より診断技術が確立していないツーリング異常に起因する、山やせ、山太り、むしれなどに焦点を絞り診断技術開発に着手した。

2.2 切削電流による診断

ねじ切削の動力源は台の直流モータであるから、切削トルクはモータ電流を測定すればよい。どのツーリングに異常が発生しても、切削トルクが変化すると考えられる。そこでチェザーおよびターニングの切削量、すなわち切削電流パターンをねじ要素よりシュミレーションした。外径 139.7 mm、肉厚 7.72 mm、グレード N80 にケーシング用ラウンドねじを切削する時のシュミレーション結果を、Fig. 3 に示す。また実際に切削した時の電流パターンを、Fig. 4 に示す。

シュミレーション結果と電流パターンは、切削工程の後半を除いて基本的には一致する。Fig. 3 よりわかるように、大きく分類すればねじ切削工程は 3 フェイズ存在する。ツーリングが異常であれば、各フェイズで異常ツーリングに応じた電流パターン変化が現れると想定される。実験では過去ねじ不良を発生したチェザーと目視チェックで発見した異常ターニングを準備し、意図的に切削不良を発生させる方法を用いた。Fig. 4 で使用した鋼管と同一ロットを用いて、電流パターンの変化を調査した結果を以下に示す。

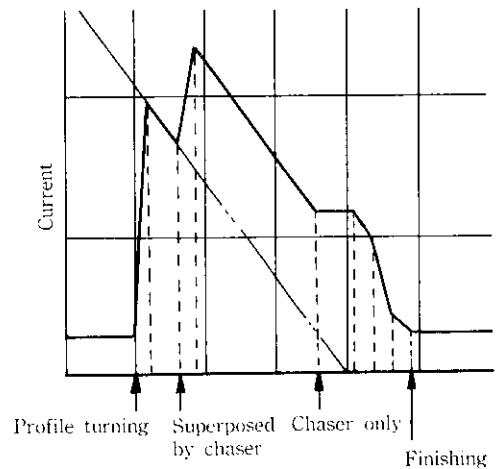


Fig. 3 Simulation pattern of threading current

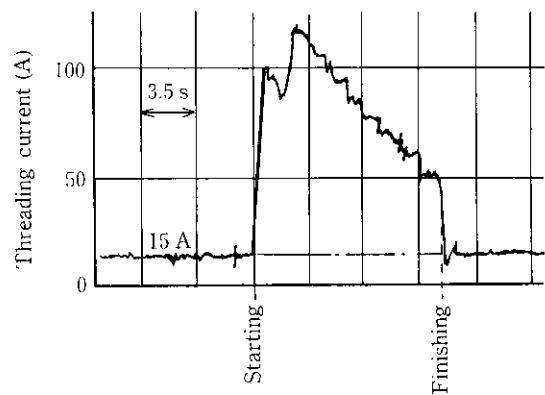


Fig. 4 An example of actual threading current

- (1) ターニング異常では切削電流値に変化はない。この場合、チェザーが正常であればねじ不良とはならない。
- (2) チェザー異常でも切削電流値に変化はない。また、No. 3 チェザーが正常であればねじ不良とはならない。
- (3) No. 3 チェザーが異常であれば、他のツーリングが正常であってもねじ不良となる。

複数のツーリングが切削負荷を分散しているため、全ツーリングが異常とならない限り、切削電流値あるいはパターンに変化は発生しない。以上述べた実験結果より、電流パターンの変化ではツーリング異常を診断することは困難である。しかし、Fig. 3 に示す切削フェイズは診断論理に組み込むことが可能であることが判明した。

2.3 切削振動による診断

通常、回転型の切削機械の周波数特性は 1 kHz 以上に顕著に現れる。この帯域に適したセンサは、圧電素子タイプの加速度センサである。加速度センサの取付けは、ねじによる締め付けである。周波数帯域を 10 kHz 以上に保つには、4 kg・m 以上のトルクで締め付ける必要がある。

上記条件を満足させれば、切削振動による周波数解析は可能となる。このねじ切り機は、ツーリングが回転し鋼管は固定であるから、加速度センサの取付け位置の選択が必要である。センサを、回転するツーリングに取付け、たとえば FM テレメータを用いると、切削振動を直接解析することが可能である。しかし、FM テレメータへ連続して電源を供給できない。そこで、管端より 300 mm の位

置に鋼管固定用のチャックがあることに着目し、このチャックにセンサを取付けることにした。したがって、ねじ切削振動は鋼管を300 mm 伝播し、チャックを経由してセンサに到達する。センサの取付けと同様、チャック力が変動するとねじ切削振動の伝播特性、すなわち周波数特性が変化する。そこで鋼管の寸法および硬度とチャック力を変化させて、ハンマリングテストを行った。その結果、前者では周波数特性の変化は認められない。しかし、後者ではチャックの油圧を 40 kg/cm^2 以上に維持すれば周波数特性は変化しないことが判明した。そこで実験ではチャック油圧を 45 kg/cm^2 とした。

ねじ切削振動は回転機振動と異なり連続ではなく、鋼管1ピースごとに発生する一過性の振動である。そこで測定した加速度信号は、すべてデータレコーダに保存し、解析する方法を採用した。

外径 219.1 mm、肉厚 8.94 mm、グレード J55 の鋼管にケーシング用ラウンドねじを切削した時の FFT による周波数解析結果の一例を、Fig. 5 に示す。電流パターンと同様、切削フェイズが振

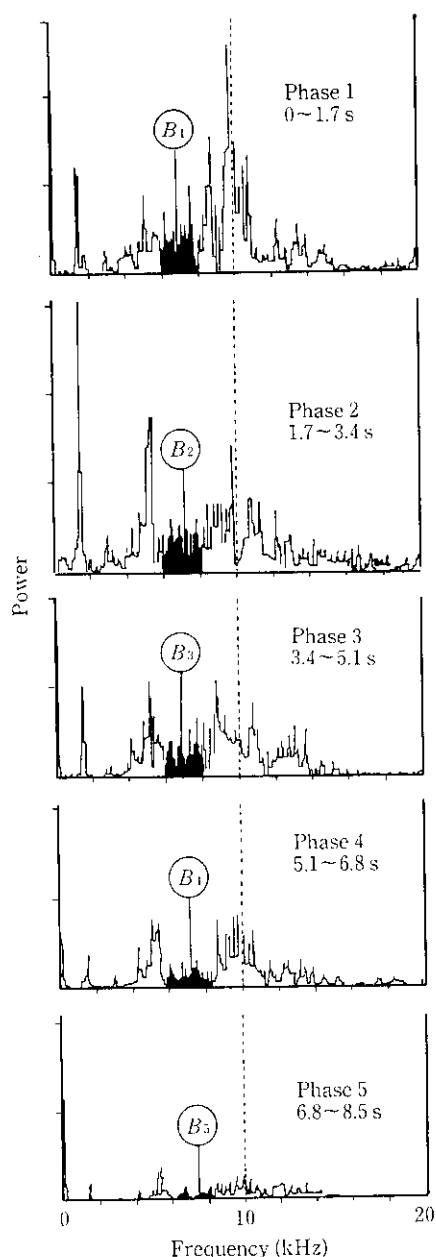


Fig. 5 Spectrum train of frequency analysis in threading

動解析結果である周波数スペクトルと密接な関係が認められる。

電流パターンによる解析と同様、異常チェザーを準備し正常チェザーでねじ切削した場合と両者の周波数スペクトルを比較する実験方法を採用した。結果を下記に示す。

(1) ねじ切り機は鋼管サイズおよびグレードに関係なく、Fig. 6 に示す 6 kHz から 8 kHz の帯域に診断に適した周波数スペクトルが存在する。

(2) 6 kHz から 8 kHz の帯域のパワーは、Fig. 5 に示すフェイズ3において正常チェザーと異常チェザーでは変化する。

そこで(2)を診断論理化する。正常チェザーにおける帯域パワーを P_N 、異常チェザーにおける帯域パワーを P_A とし、診断パラメータとして

$$\alpha = P_A / P_N$$

を定義する。異常チェザーにおける帯域パワー P_A は正常チェザーの帯域パワー P_N よりも大きいことは実験的に判明している。そこで実験的に得た全鋼管サイズおよびグレードでの α の最小値 1.12 を判定値 α_c とし操業に適用した結果を、Fig. 7 に示す。 α 値の

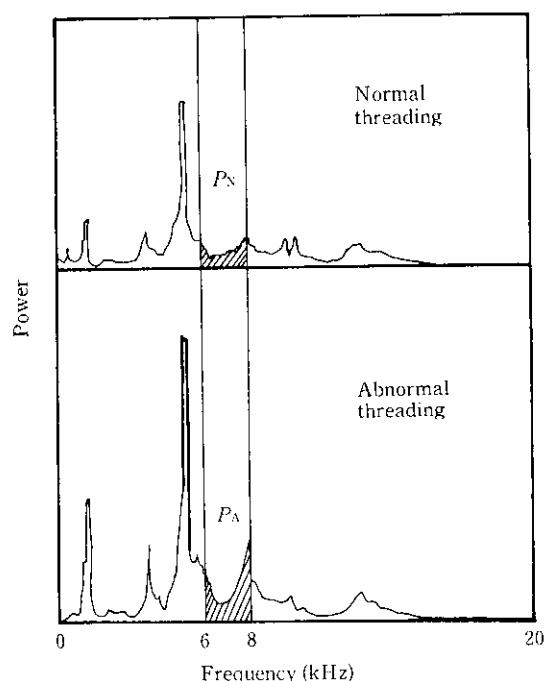


Fig. 6 Band width power increase from 6 kHz to 8 kHz at damaged chaser

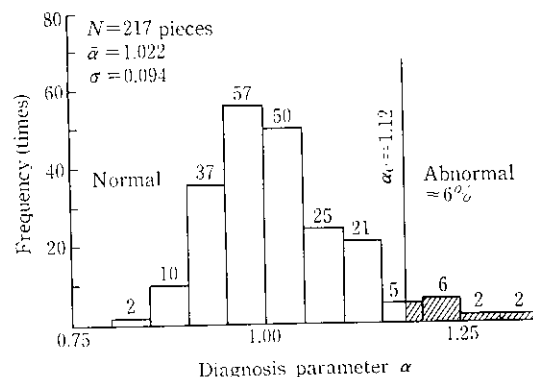


Fig. 7 Histogram of diagnosis parameter α on the normal condition of threading (API J-55 CSG 219.1 mm $\phi \times 8.94$ mm t)

ヒストグラムに対し判定値 α_0 によりチェザーの異常診断を行う。Fig. 7 はすべて正常チェザーによる切削であるから、実験で得られた判定値 α_0 では、約 6% の誤診が発生する。それゆえ、チェザーがねじを切削する時に発生する振動エネルギーに対し、他の振動エネルギーが大きいという事実に基づき、 α_0 の S/N を向上させる論理が必要である。

2.4 診断論理の開発

判定値 α_0 の S/N を向上させるには、6 kHz から 8 kHz の帯域パワーから、Fig. 3 に示すようにチェザーがねじ切削に関与する前の同じ帯域パワーを減ずれば、相対的にねじ切削が発生する振動の帯域パワーが得られる。そこで、判定値 α_0 を決めた実験データを再現し、新しい判定パラメータである。

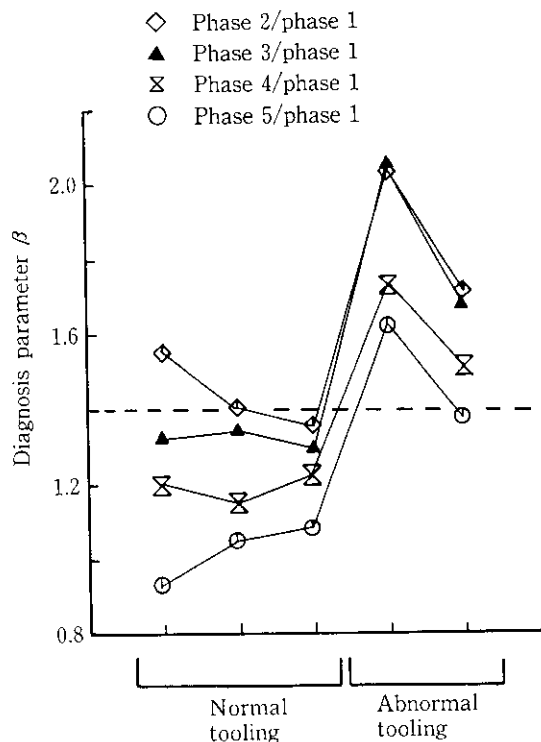


Fig. 8 Decision of diagnosis parameter β (API J-55 CSG 219.1 mm $\phi \times 8.94$ mm t)

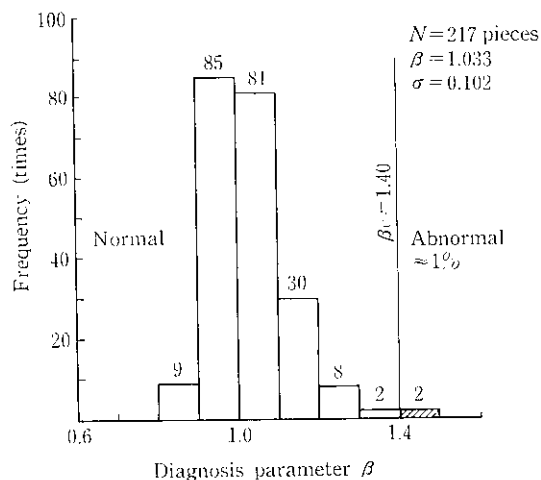


Fig. 9 Histogram of improved diagnosis parameter β on the normal condition of threading (API J-55 CSG 219.1 mm $\phi \times 8.94$ mm t)

$$\beta = B_3/B_1$$

を定義した。Fig. 5 に示すようにここで B_1 , B_3 は 2.3 項と同様帯域パワーである。Fig. 8 に判定値 β_0 およびどの切削フェーズを選択すべきかを決めたグラフの一例を示す。この切削フェーズは、切削速度により変化するので注意を要する。Fig. 8 より判定値を $\beta_0 = 1.4$ とした。

Fig. 7 のヒストグラムと同じデータにより、 β 値を求め Fig. 9 に示す。 β 値のヒストグラムに、判定値 β_0 を適用しチェザーの異常診断を行う。判定値 α_0 による診断と比較して、誤診率は 1% 以下に診断精度が向上した。

ここで述べた診断論理は、極めてマクロな方法である。本来は各機械要素の固有振動数あるいは回転数より機械力学的に解析する方法が好ましい。しかし操業ラインのモニタとして使用する場合、この診断方法で充分実用に耐えられる。

3 アップセッタの設備診断

3.1 アップセッタ概要と診断内容

油井管の中でチュービングおよびドリル用鋼管は、ねじ切削あるいは溶接、圧接による管端継手部分の強度を確保するために、管端にアップセットと称する増肉加工を施す。この増肉加工機がアップセッタと呼ばれる熱間鍛造機械である。Fig. 10 にアップセットされた管端断面形状を示す。Fig. 11 にアップセッタの概略機構図を示す。

管端部が 1200°C に加熱された鋼管は、ジョーの決められた位置に停止する。駆動モータとフライホイール間のクラッチが接続され、クランク軸は回転を開始する。ロッド先端に装着されているパンチホルダは、約 6 秒でサイクルの往復運動を行う。アップセットは往復運動の上死点で実行される。アップセットはパンチが管端に接触して約 0.6 秒で完了する。

アップセット中の管端加熱部分は、アップセッティングジョーと呼ばれる金型の中にある。また非加熱部分はクランピングジョーで固定されている。管端の内面はパンチ、外面はジョーにより熱間鍛造される。パンチの後部にあるパンチホルダの油圧クッションは、アップセット品質および操業上重要である。なぜならば、肉厚のばらつきによるアップセット容積の過不足を吸収する役割とパンチあるいはジョーなどのツーリング誤設定による機械的衝撃からアップセット全体を保護する役割を持っているからである。

油圧クッションの油圧を制御するために、油圧リリーフ弁が準備されているので、アップセット力は調整できる。

以上、アップセッタの機能に関して説明した。しかし、アップセットプロセスを直接観測できるセンサがないので、従来は操業条件を推測の領域で議論してきた。そこで、パンチ移動量すなわちクッション量あるいはアップセット荷重などを結合する設備診断装置が必要となった²⁾。

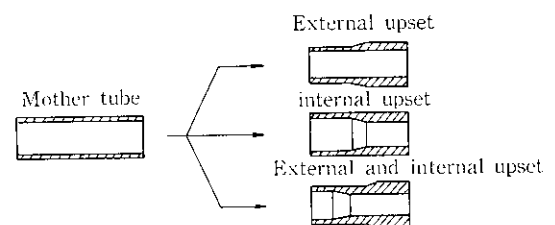


Fig. 10 Three types of upsetted ends

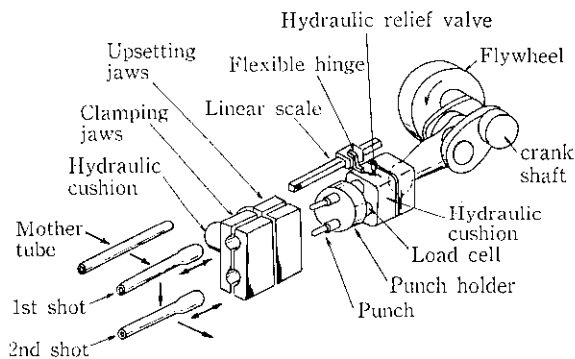


Fig. 11 General view of tube upsetter

3.2 測定場所の決定

Fig. 11 で示すように、アップセッタは機械要素のみで構成されている。また、観測したい項目は機械の深層部の荷重あるいは変位である。そこで設備診断装置として不可欠であるアップセット荷重およびパンチ変位の2点に絞り込んだ。

アップセット荷重は、当初、油圧クッションの背圧を高速応答が可能なストレインゲージ圧力計で測定することを計画した。しかし、下記理由によりパンチホルダと油圧クッション間にロードセルを取付けることにした。

- (1) 油圧はクッションシリンダと配管を経由するので、管端が歪屈していく微妙な荷重変化が観測できない。
- (2) 油圧クッションの背圧は、リリーフ等が作動するとその後のアップセットプロセスが観測できない。

Fig. 12 にパンチホルダに取付けたロードセルの状態を示す。パンチ変位もアップセット荷重と同様、アップセットに寄与する変位

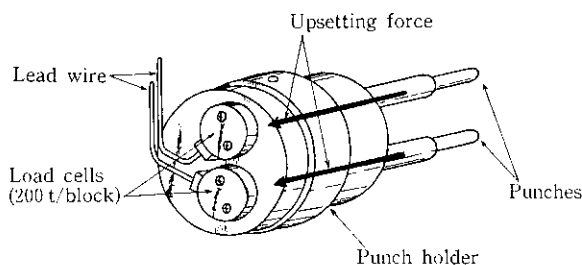


Fig. 12 General view of a pair of load cells mounted on the punch holder

を観測しなければならない。変位の測定精度は、ツーリングの精度を参照して 0.1 mm とした。応答性はアップセット時間から、1 kHz とした。測定範囲はクランク軸のながつきなどの診断が可能のように、クランクの全ストロークを 700 mm とした。変位測定は非接触測定が好ましい。しかし熱間鍛造による油煙、水滴を含む雰囲気中で測定することを考慮して、Fig. 10 に示すように純機械式にパンチホルダの変位をヒンジでピックアップし、磁気式リニアスケールで測定する方式とした。

観測された信号の処理は、川鉄計量器製 EM-1 000 イベントメモリを用いた。観測値はすべて 1 ms で記憶し、アップセット終了後解析する方式とした。リアルタイム性は多少失われるが、診断装置としての実用性は確保している。

3.3 診断論理の開発

アップセットされた管端増肉部が、製品として検査合格となった場合のアップセット荷重とパンチ変位のパターンを、Fig. 13 に示す。これらのパターンはイベントメモリに記憶された観測値を XY レコーダへ記録させたものである。製品規格は API J55 EUE で外径 73.0 mm、肉厚 5.51 mm、アップセット条件は油圧クッション圧力設定値 1.3 kg/cm²、クランプ圧力 162 kg/cm² である。原管は継目無管を用いたため、平均肉厚にばらつきがある。したがって、クッション量の変動する。平均肉厚とクッション量の関係を、Fig. 14 に示す。

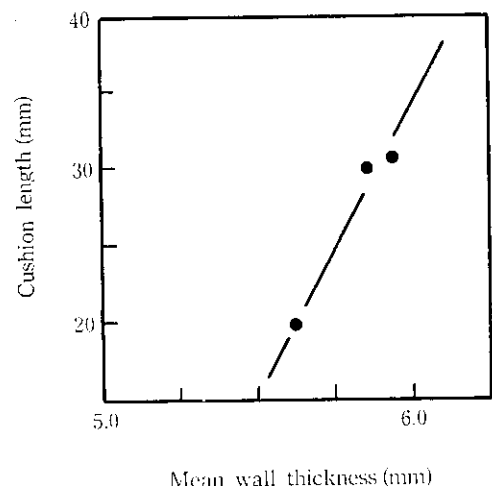


Fig. 14 Relation between mean wall thickness and cushion length

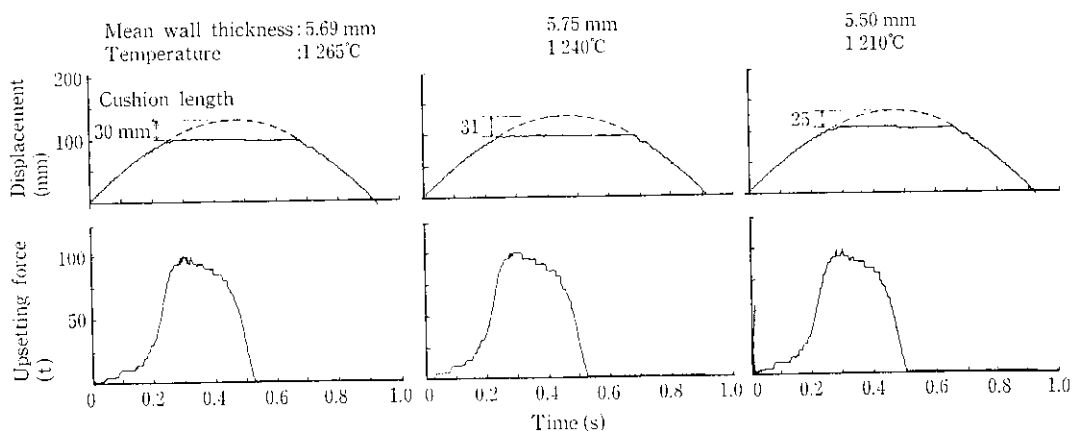


Fig. 13 Characteristic pattern of upsetting force and punch displacement after normal upsetting condition (API J-55 TBG 73.0 mmφ × 5.51 mmℓ)

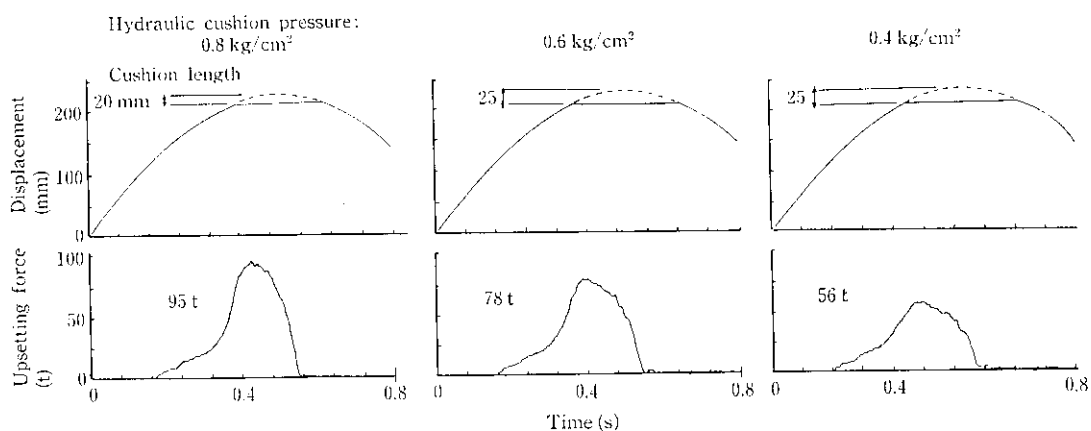


Fig. 15 Characteristic pattern of upsetting force and punch displacement by changing the hydraulic cushion pressure (API N-80 TBG 60.3 mm $\phi \times 4.83$ mm t , temperature = 1 250°C)

Fig. 13 に示すように、荷重パターンが釣鐘型でピーク荷重が 100 t 近傍の場合は、クッション量の変化で原管の平均肉厚を診断することが可能である。Fig. 13 に示した荷重パターンとクッション量の関係はソーリングの設計、あるいは操業の改善にも反映できる。

Fig. 15 に油圧クッションのリリーフ圧力設定値を意図的に変化させた時のアップセット荷重とパンチ変位のパターンを示す。原管は平均肉厚の影響の小さい電縫管を用いた。また管端の加熱温度は 1 250°C である。アップセット規格は API N80 EUE で外径 60.3 mm、肉厚 4.83 mm である。クランプ圧力は 162 kg/cm² で一定である。油圧クッションリリーフ圧力設定値とアップセット荷重のピーク荷重の関係を Fig. 16 に示す。クッション量が 30 mm $\pm$ 15 mm で正常であっても、ピーク荷重値が 100 t 以下でかつアップセット荷重パターンが釣鐘型以外の異常の場合、やはり製品も不良である。リリーフ圧力設定値が 0.6 kg/cm² 以下でアップセットが実行されると、ジョーとパンチ間に材料が未充填^{3,4)} となり、しわや内面へこみのある増内部となる。以上により、荷重パターンとクッション量より、油圧クッションリリーフ弁が正常に機能しているか否か診断可能である。

Fig. 17 に原管がクランピングジョー内部で滑った場合のアップセット荷重パターン変位を示す。アップセット規格は API J55 EUE で外径 73.0 mm、肉厚 5.51 mm である。アップセット条件はリリーフ

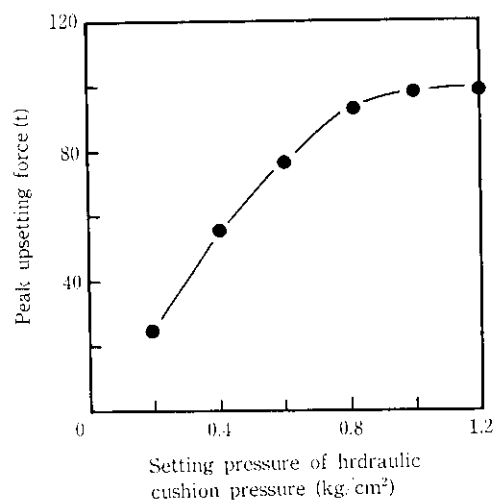


Fig. 16 Relation between hydraulic cushion pressure and peak upsetting force

フ圧力設定 1.3 kg/cm²、クランプ圧力 162 kg/cm² である。Fig. 13 では省略したが、クランピングジョーおよびアップセッティングジョーの油圧クッションの反対側に、片方のジョーを開閉するクランク機械がある。パンチが上死点に達した時、ジョーが完全に閉

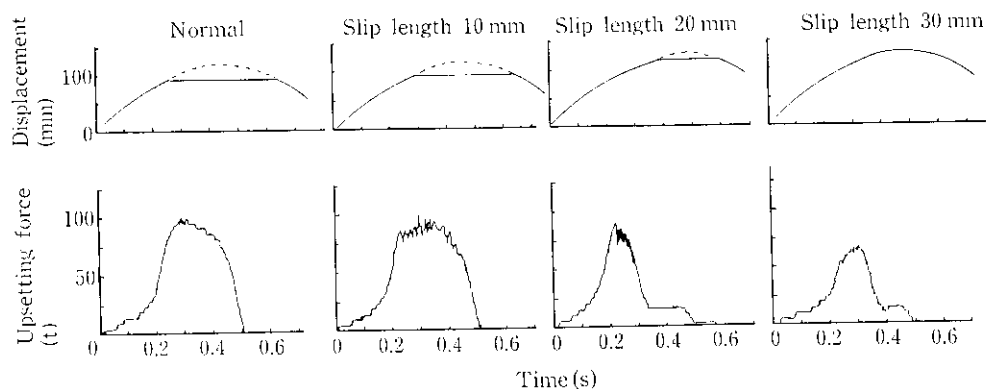
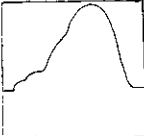


Fig. 17 Characteristic pattern of upsetting force and punch displacement by slipping of tube (API J-55 TBG 73.0 mm $\phi \times 5.51$ mm t , clamping force = 162 kg/cm²)

Table 1 Diagnosis logics of upsetter

Diagnosis item	Cushion length	Peak upsetting force	Pattern of upsetting force
Standard of diagnosis	20~40 mm	Up to 80 t	Normal pattern 
Abnormal hydraulic cushion pressure	Normal	Abnormal	Abnormal
Slip of tube	Abnormal	Abnormal	Abnormal
Abnormal wall thickness	Abnormal	Normal	Normal

じるように構成されている。それゆえ、クランプ圧力が正常に設定されていても、ジョーを開閉するクランクの回転とパンチの上死点が同期しないと、原管のクランプ力が低下する。その結果、原管はアップセット力に抗しきれずスリップする。Fig. 17 に示したスリップ長さは、スリップした時のスクラッチ長さより求めたものである。クッション量を 30 mm に設定した場合、アップセット中に原管が 30 mm 滑ればクッション量は 0 mm となる。また荷重パターンおよびピーク荷重も異常となる。スリップ長さが 10 mm であれば、クッション量は顕著に変化しないが、ピーク荷重が複数回波状

的に現われている。原管はクランプ力とアップセット力が何回も釣り合いながら階段状に徐々に滑ったものと考えられる。原管がアップセット中に滑る場合は、所定外径よりも多少細い場合も考えられる。

以上述べた考察より、アップセット中に原管が滑り製品不良が発生したか否か診断可能である。これまで述べた診断可能項目と診断基準を Table 1 に示す。

4 結 言

油井管精整上、重要な切削および加工機械であるねじり機とアップセッタの設備診断に関する診断の要点とその診断論理の開発経過より以下の結論を得た。

- (1) ねじり機のように複数のツーリングで切削する機械においても、周波数スペクトル解析と切削パターンのフェイズを組み合わせることで、ツーリング異常の診断が可能である。
- (2) アップセッタにおいて、アップセット荷重とパンチ変位のパターンとピーク値を組み合わせることで、アップセットが正常に実行されたか否かの診断が可能である。今回開発した設備診断技術により、経験によるオペレーションから定量化されたオペレーションへ移行するはずである。今後、知識工学の技術が設備診断技術に導入されれば、鋼管精整工場の自動化、無人化がさらに進展するであろう。ねじり機診断装置の開発にあたり、山武エンジニアリングサービス株式会社の多大な協力を得たことに深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 日本プラントエンジニア協会：「第1回設備診断技術シンポジウム—80年代における設備診断技術」，(1981)
- 2) 山村隆重，松本 聡：「パイプアップセッタの構造と特徴」，神戸製鋼技報，31 (1980) 1, 37-40
- 3) 三原 豊，首藤知茂：「管端アップセット変形（基本変形挙動—第1報）」，鉄と鋼，68 (1982) 12, S 1220
- 4) 三原 豊，首藤知茂：「管端アップセット変形（2段アップセットについて—第2報）」，鉄と鋼，68 (1982) 12, S 1221