

(論文)

鋳鍛造および圧延鋼材の自動超音波探傷システム

Automatic Ultrasonic Inspection Equipment for Cast, Forged and Rolled Work



和佐泰宏*
Yasuhiro WASA



岡本 陽*
Akira OKAMOTO



山路鉄生**
Tetsuo YAMAJI



高岡克也***
Katsuya TAKAOKA

Placing the focus on probe scans, three kinds of systems for automatic ultrasonic inspection equipment in Kobe Steel for a round shaped work are introduced. It is necessary to develop and apply optimum inspection equipment according to a test target and required specifications. Development of application technology to the real production line is also important for a stable operation.

まえがき = 素材から機械システムまで幅広い製品を生産している当社では、対象に応じ様々な検査装置^{1)~3)}が必要になる。それらが、オンラインで要求される検査速度や探傷性能等のスペックを満たすためには、市販されている汎用の検査装置を導入するだけでなく、検査対象やラインの特性に応じて調整・最適化するとともに、性能を維持・管理する技術の開発が必要である。本報告では、当社の鋳鍛造および圧延鋼材の生産ラインで利用されている代表的な自動超音波探傷システムについて、ライン適用技術の開発事例を報告する。

1. 超音波探傷法による内部欠陥検査

金属材料内部の欠陥検査としては、超音波探傷 (Ultrasonic Test, 以下 UT という) と X線や 線などを用いた放射線探傷が一般的であり、中でもオンライン検査には、安全でかつ欠陥の位置同定が可能なことから自動 UT 装置が広く導入されている。

図 1 に超音波探傷法の原理を示す。超音波探傷プローブから被検査材 (ワーク) 表面を介してワーク内部に超音波を導入すると、欠陥部での音響的不連続性から超音波が散乱されるため、超音波送信からの経過時間に対する反射エコーを観測することによって深さ情報とともに欠陥情報が得られる。対象に応じて、反射エコーのみならず透過エコーを観測して欠陥探傷するなど、種々の探傷方法や探傷プローブが提案されている⁴⁾。超音波探傷法を用いてワーク内部全体を検査するためには、接触媒質を介して超音波探傷プローブをワークに接触させながらワーク表面を走査する必要がある。

当社は、素材メーカーとして丸棒鋼など円柱状の製品を数多く扱っており、その内部品質を保証する目的から、全数超音波探傷を行っていることが多い。このため、検査品質の確保や生産性の観点から、超音波探傷をオンラ

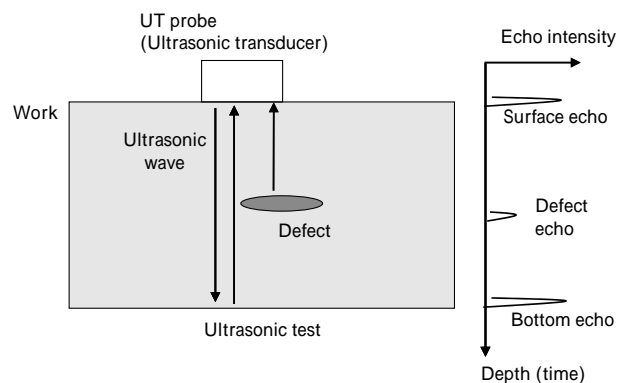


図 1 超音波探傷検査の原理
Fig. 1 Principle of ultrasonic test

インで自動化する必要がある。円柱側面などの曲面对象ワークの自動超音波探傷においては、要求される検査速度、検査性能およびコストの下でワーク形状に応じた走査系を開発することが重要であり、走査系の最適化が検査システムの良否を決定づける。

以下では主に、超音波探傷プローブの走査機構に注目して、適用対象、各種制約条件に応じて最適化された自動探傷装置のライン適用事例を紹介する。

2. クランクジャーナルの自動 UT 装置

船舶などの大型ディーゼルエンジンに用いられるクランク軸の構成部品であるジャーナルの内部検査のために開発した、ジャーナル自動 UT 装置の外観を図 2 に、仕様を表 1 に示す。ワークは回転装置に搭載され、回転ローラにより回転する。ワーク表面層付近を探傷する 45°斜角探触子とワーク中心まで探傷する垂直探触子が、探触子ホルダーに装着されている。ワークを回転させながら、探触子送り装置により一定速度でワーク軸方向に移動することで、スパイラル状に全面探傷を行う。ワーク

*技術開発本部 生産システム研究所 **鉄鋼部門 鋳鍛鋼事業部 技術部 ***鉄鋼部門 神戸製鉄所 条鋼圧延部

の回転は、ワークに取付けた棒ドグがフォトインタラプタを横切ることによって検出している。これによりワーク周方向の位置検出を行い、探触子送り装置と合せて欠陥位置検出を可能としている。

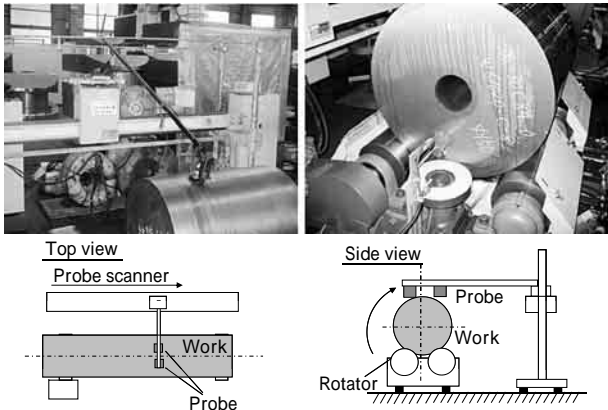


図2 クランクジャーナル UT システムの機構
Fig. 2 Mechanism of crank journal UT system

表1 クランクジャーナル UT システムの仕様概要
Table 1 Specification of crank journal UT system

Item	Specification	
Work diameter	165 ~ 1,350mm	
Work length	750 ~ 3,900mm	
Detect territory	Surface ~ 40mm	30mm ~ Center
Inspection method	Pulse reflection method	
Probe	Angle	Normal
Pulser repetition	1KHz	60Hz
Inspection pitch	1 x 2mm	4 x 4mm
Coupling liquid	Machine oil	
Coupling check	Grass echo detection	B1 echo detection
Detectability	Reference-12dB	
Inspection time	2h (Size 560 x 1,600mm)	

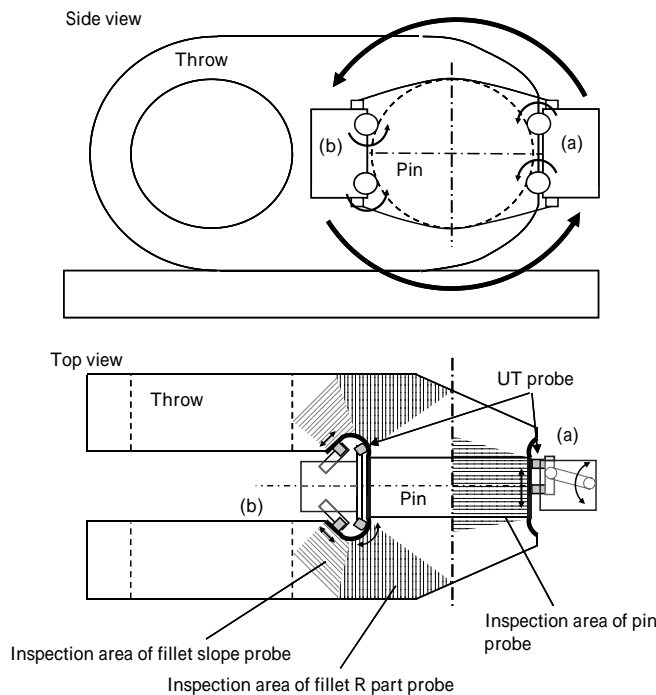
3. クランクスローピン部の自動 UT 装置

同じく船舶用クランク軸の構成部品であるクランクスローの円柱状のピン部周辺を検査する UT 装置の例を示す(表2⁵⁾)。スロー特有の狭あい部での探傷が必要であり、探触子走査のための専用の探傷走査機構(スキャナ)を開発した(図3)。表層近傍は斜角探触子、深部は垂直探触子を用いて探傷する。各探触子は、ピン軸方向に往復走査され、1走査ごとに、周方向に一定ピッチで移動する。ピン走査機構がピンまわりを1周すると、ピン平行部の全領域を探傷できることになる。

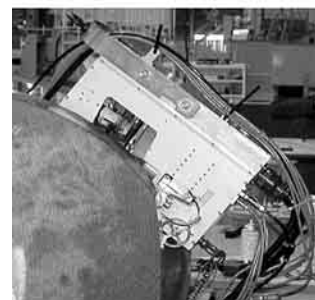
ピン走査機構は円柱状のピン平行部での垂直、斜角の探触子をピン軸方向に走査する機構である。これらの走査機構は自走式でピン周りを回転しながら探傷走査を行う。ピン軸方向への走査は、図4に示した振り子方式とし、常に一定の押え圧を実現できるようにバネを利用した押え圧センサをモニタしながら振り子動作と昇降動作

表2 クランクスロー UT システムの仕様概要
Table 2 Specification of crank throw UT system

Item	Specification	
Throw size	Large type	Small type
Pin width	220 ~ 420mm	185 ~ 270
Pin diameter	670 ~ 1,100mm	560 ~ 678
Inspection method	Pulse reflection method	
Pulser repetition	1KHz	
Pulse pitch	4mm	
Probe	Pin	Normal and angle
	Fillet	Angle
Coupling liquid	Machine oil	
Coupling check	B1 echo detection	
Detectability	Reference-12dB	
Inspection time	Large type	Small type
	90min. (typical)	60min. (typical)



(a) Pin probe scanner



(b) Fillet probe scanner

図3 クランクスローピン部自動 UT システムの走査機構
Fig. 3 Crank throw pin UT scanning system

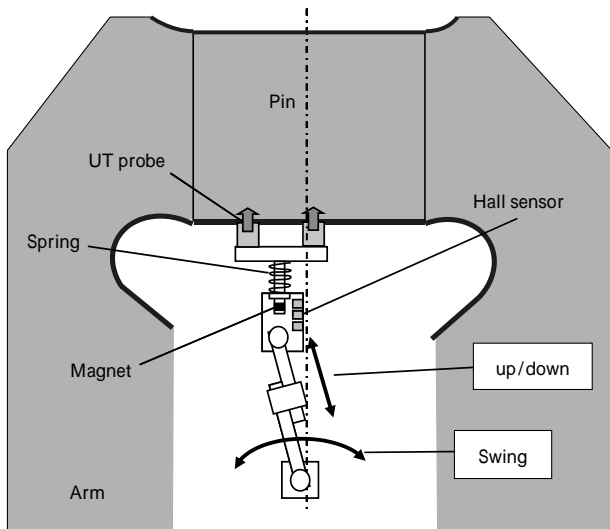


図4 クランクスローピン部の走査機構模式図
Fig. 4 Scanning mechanism on crank throw pin surface

を同時制御している。

スローのピン軸を水平方向に設置し、スキャナ内に全方向（360°）傾斜斜を配置することで、接触媒質などに起因する車輪スリップの影響を受けず、高精度なピンの周方向位置検出（精度±1mm）を実現している。

4. 棒鋼の自動 UT 装置

棒鋼製造工程では短時間で全製品の内部探傷を行う必要があり、走間での自動 UT 装置を導入している（図5）。最高 130m/分の高速で通材されるワークを、局部水槽をもった探傷装置に通過させ、通過している間にワーク周りを探触子が高速回転しながらスパイラル状に探傷する。走査機構を図6に示す。正確に探傷装置の回転中心をワークが通過するように前後にピンチローラを配置している。棒鋼はオリフィスでシールされた局部水槽中を走行する。局部水槽への突入時にはどうしても空気の巻込みが発生するため、先端や終端には探傷できない不感帯部が発生するが、水流のモニタおよび調整を適正に行うことで不感帯長を最小化することが可能になる。

ワークの表層近傍および内部を探傷するために、斜角および垂直の合計 21 チャンネルの探触子を高速回転して探傷している（表3）。別の方式として、フェーズドアレ

イと呼ばれる電子走査を採用することで機械的可動部をなくして耐久性を高められる方式もあるが、全体で数百チャンネルにもなるプローブアレイを配置する必要がある。いずれの方式においても、高速探傷を実現するためにはシステムは大がかりで高コストになる。

このような探傷装置では、ピンチローラなどの周辺装置も含めたワーク走行特性も探傷性能に関係しているため、図7に示したような人工欠陥を設けた実物サイズのテストピースを用意し、S/Nなどの探傷性能を定期的に確認する必要がある。

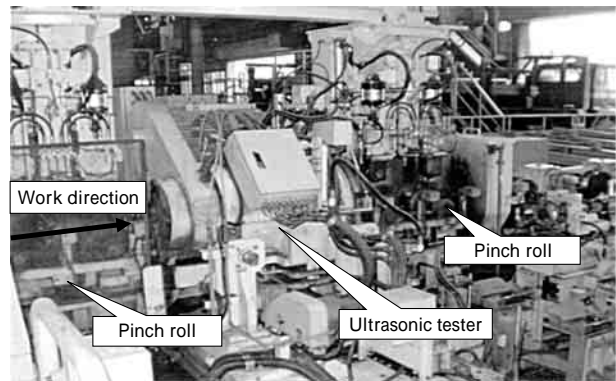


図5 棒鋼超音波探傷装置
Fig. 5 Rod UT system

表3 棒鋼 UT システムの仕様概要
Table 3 Specification of rod UT system

Item	Specification
Work diameter	18 ~ 114mm
Work length	3,500 ~ 8,000mm
Inspection method	Pulse reflection method
Probe	Angle: 7ch + 7ch, Normal: 7ch
Pulser repetition	1.1 ~ 1.4KHz
Inspection pitch	3 × 12mm
Coupling liquid	Water
Coupling check	Reflector board and bottom echo
Detectability	Min: 0.15 × 15mm
Inspection time	Max line speed: 130m/min

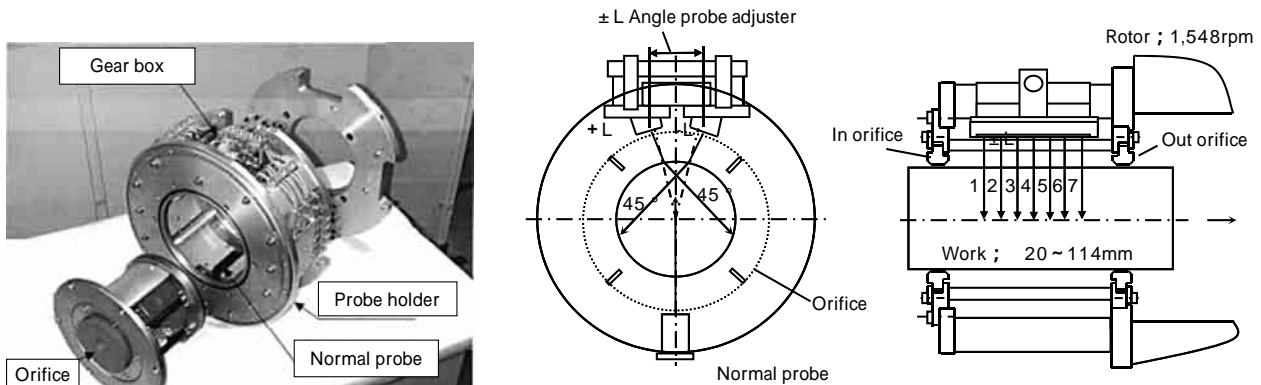
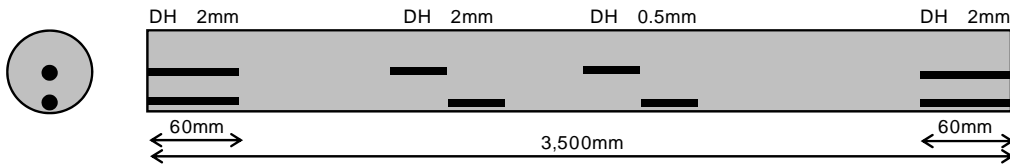


図6 棒鋼超音波探傷装置内の走査機構
Fig. 6 Scanning mechanism in rod UT system



Test piece diagram

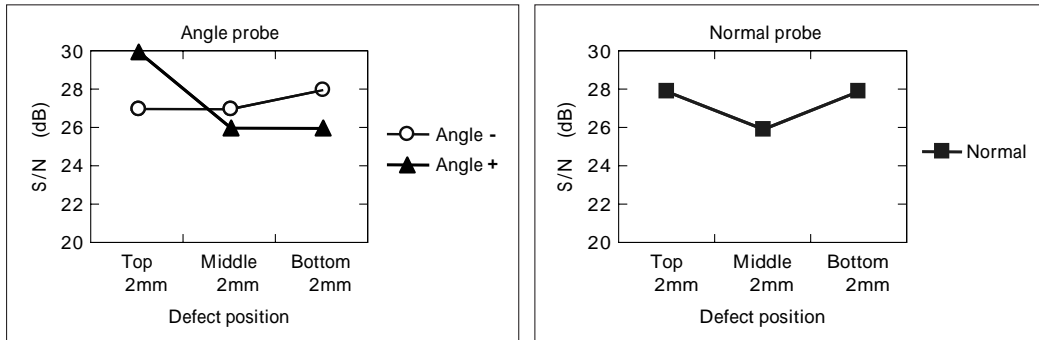


図7 横穴人工欠陥(2)によるS/N評価
Fig. 7 S/N estimation with side drill hole (2mm)

5.3 システムの比較

3種類の円柱形状の自動UT装置システムを紹介してきたが、これらをまとめて比較したものが表4である。同じ円柱形状のワークでも、要求される探傷速度や探傷精度、コスト制約によって最適なセンサ方式や走査機構は大きく異なり、この選択を適切に行うことが現場適用の際の鍵になる。

表4 3種類のUTシステムの比較
Table 4 Comparison of 3 UT systems

System	No. of probes	Probe scanning	Work motion	Coupling	Probe scan speed	Detection territory	Cost
Journal UT	2	Axis direction scan	Rotating	Oil (manual)	100 mm/s	All	Low
Throw UT	4	Swing and rotating	Fix	Oil (auto)	150 mm/s	All	Mid
Rod UT	21	Rotating	Straight run	Water (auto)	2,160 mm/s	Center part	High

棒鋼 UT 装置は、数秒オーダの短時間探傷が要求されているため、高コストであっても多チャンネルの探傷システムを選択し、先端や終端の不感帯が存在しても走査連続探傷方式を選択している。一方、大型ワークのジャーナルでは探触子を1チャンネルずつ切替える方式とし、低速回転で不感帯を最小限にして、探傷時間は要するものの低コストの装置としている。

むすび=当社で現場適用されている自動超音波探傷装置を例に、3種類の超音波プローブの走査機構を紹介した。同じ円柱形状のワークに対しても、装置制約や検査スベックに応じて最適な走査機構は大きく異なり、走査系の最適化が検査システムの良否を決定づける一要因であることを述べた。

参考文献

- 1) 日本規格協会：JISハンドブック61「非破壊検査」(1997)
- 2) 日本鉄鋼協会：鉄鋼便覧第7巻, 32 (2002)
- 3) 北村 章ほか：計測と制御, Vol.41, No.1 (2002) p.28.
- 4) 日本非破壊検査協会：「超音波探傷試験 ~」(1989)
- 5) 岡本 陽ほか：R&D 神戸製鋼技報, Vol.55, No.3 (2005) p.16.