技術資料

二次加工品用渦流探傷技術

水野正志*, 小島勝洋**

Eddy Current Flaw Detection for Steel Peeled or Cold-Drawn

Masashi Mizuno and Katsuhiro Kojima

Synopsis

The two new technologies of the eddy current flaw detection have been developed for steel bars or wires processed after hot rolling.

The first is the rotary probe detector for peeled bars. In order to enhance the sensitivity to flaws especially on nonmagnetic ones, the applied frequency is raised to the 1 to 3MHz band and so the flaws deep 0.1mm are readily detected.

The other is the in-line detector for the wire coil being fed into a forging machine. The rotary probe is coupled through the special transformer with air core and it is small and also light enough to follow incessantly the profile of uncoiled and then drawn wire. The computer-aided system detects flaws 0.2mm or more deep just before wire cutting and rejects the product of the correspondent portion after forging.

1. 結 言

渦流探傷は鉄鋼業では比較的古くから用いられている表面きず探傷技術であるが、最近では黒皮棒鋼の表面きず探傷に見られるようにより浅いきずまで探傷できる漏洩磁束探傷に置き代えられる例もある。しかし、渦流探傷は①熱間を含む非磁性材への適用が可能、②センサ部の構造が比較的簡単など漏洩磁束探傷よりも優れた点がありまだ広く用いられている。本稿ではこれらの長所を生かした新しい用途として非磁性材料のピーリング

加工品とパーツフォーマによる加工直前の素材の表面きず探傷用に開発した渦流探傷技術について報告する。

2. ピーリング加工品用渦流探傷

従来、ピーリング加工品の表面きず探傷はピーリング加工前の素材の状態で磁性材は蛍光磁粉探傷、非磁性材は超音波探傷と目視検査にて実施されていた。しかしピーリング加工前での探傷では製品の最終的な品質保証としては不十分であり加工後の表面きず探傷技術の開発が望まれていた。加工後の探傷方法としては非磁性材も対象とすることを考慮すると原理的には回転プローブ形渦流探傷が適している。しかし、従来の渦流探傷機で試験的に実施した非磁性材ピーリング品の探傷で

1991年8月11日受付

*大同特殊鋼㈱研究開発本部, 工博

**大同特殊鋼㈱研究開発本部

は良好な結果が得られなかった。この主原因は探傷周波数の不適切さにあると考え探傷周波数の最適化を主体とした開発を進めピーリング加工品用渦流探傷技術を実用化した。

2.1 探傷周波数の最適化

良く知られているように渦電流の浸透深さは周波数と被検査材の透磁率, 電気伝導度に依存する。したがって, 被検査材の材質ごとに周波数と渦電流浸透深さの関係は異なる。図1に各種材料の周波数と渦電流浸透深さの関係を示す¹⁾。図1から明らかなように非磁性鋼(3, ステンレス)では磁性鋼(9, 鋼, 10, 合金鋼)と同じ浸透深さを得るためにはほぼ3桁高い周波数が必要である。

従来, 磁性鋼の渦流探傷では数10kHz~数100kHzの探傷周波数を使用している。これから単純に類推すれば非磁性材では数10MHz~数100MHzの探傷周波数が必要となる。しかし, このような高周波を使用すると探傷機の構成要素である

プローブ, 信号処理回路, 回転トランスの製作が難しくなるので, 当面これらの要素の製作が比較的容易な5MHzを上限として探傷機を試作し周波数増加の効果を実験で確認した。

図2にSUS304に加工した人工きずを探傷したときの周波数とSN比の関係を示す。500kHzの場合と比較して1MHzではSN比が約2倍に

図2 探傷周波数とSN比(SUS 304丸棒)

()内固有抵抗($\mu\Omega\cdot\text{cm}$), 比透磁率

1. 黒鉛 (800, 1)	2. 水銀 (95.8, 1)	3. ステンレス (70, 1)
4. ジルコニウム (50, 1)	5. ウラニウム (28.8, 1)	6. 鉛 (22, 1)
7. アルミニウム (41, 1)	8. 銅 (1.72, 1)	9. 鋼 (16, 175)
10. 合金鋼 (60, 750)	11. 純鉄 (11, 250)	

図1 各種材料の浸透深さと周波数の関係

向上している。しかし、1.5MHzではまた SN 比が若干低下している。図1によれば非磁性鋼の1MHzにおける浸透深さは約0.5mmであり、4kHzにおいても0.2mmである。したがって、深さ0.1mmの人工きずでは4MHz程度までは SN 比が向上するはずである。このことを考慮すると1.5MHzで SN 比が減少するのは浸透深さの問題ではなく探傷機の構成要素の周波数特性に問題があると考えられる。このため構成要素の周波数特性を向上させればまだ SN 比は向上すると考えられるが実用的なコストで製作できる構成要素の性能には限界があるので当面1MHzの探傷周波数を採用することにした。

2.2 自然きず探傷実験

探傷周波数1MHzの回転プローブ形渦流探傷機を試作しSUS304ピーリング品に故意に発生させた自然きずを探傷し性能を確認した。結果を図3に示す。被検査材を静止させた場合と比較して走行させた場合には被検査材の震動の影響により SN 比が低下しているがそれでも深さ0.1mmのきずを SN 比 ≥ 2 で探傷できている。

図3 自然きず探傷結果

2.3 実用機の製作と探傷性能

以上の結果に基づいて非磁性材ピーリング品の渦流探傷は実用化可能と判断し実用機を製作し大同特殊鋼㈱川崎工場に設置した。被検査材の搬送装置は図3の結果を考慮して被検査材の震動を極力抑制するよう工夫されている。装置の外観を写真1に主仕様を表1に示す。また、実用時における探傷性能を図4に示す。データ数が少なく、きず形状によって SN 比が異なるので一概には性能を表現できないが深さ0.1mmのきずを検出する性能は確保できていると評価できる。

3. パーツフォーマ素材用渦流探傷

線材製品はそのコイル状の形状のため圧延されたままの状態では表面きずが探傷できない。このため線材製品をパーツフォーマなどで加工する場合にはその前処理の引き抜き工程などで一時的に直線状になる機会を利用して渦流探傷にて表面きず探傷が実施されている。この場合、引き抜き速度と比べて探傷速度の方が大きければ問題はないが一般的には引き抜き速度の方が大きく表面きず

写真1 ピーリング品用渦流探傷実用機の外観

表1 ピーリング品用渦流探傷の主仕様

項 目	仕 様
被検査材直径	10～110mm
探傷周波数	0.1, 0.3, 1.0, 3.0MHz
プローブ数	4個
プローブ直径	2.5, 5.0mm
探傷速度	30, 60m/min

図4 実用機の探傷性能例

探傷が生産能率低下の原因になることがある。また、最近では圧延技術が進歩して線材製品の寸法精度が向上したため引き抜きなどの前処理を必要とせず圧延材を直接加工しようとする傾向が出てきている。この場合には表面きずを探傷する機会がまったくないので品質保証の面での問題が残る。

このような理由により線材の表面きずをパーツフォーマでの加工直前で探傷できる技術が求められている。探傷方法としては通常の回転プローブ形渦流探傷が適しているがパーツフォーマ上に設置するため小型軽量でかつ線材の動きに追従できる機能が要求される。この目的で独自に開発した空芯形回転トランスを用いてプローブ回転機構を小型軽量化し、さらに被検査材の上下左右の動きに追従できる倣い機構を付加したパーツフォーマ用表面きず探傷装置を開発した。

3.1 検出部の概略

3.1.1 プローブ回転機構と倣い機構

プローブ回転機構と倣い機構の概略を図5に、

写真2 パーツフォーマ用渦流探傷検出部の外観

外観を写真2に示す。プローブ回転機構は押さえローラを含めて長さはわずか250mmである。この中に後述の空芯形回転トランスが2チャンネル分6組（1チャンネルは送信、受信、リフトオフ測定用3組で構成）装備されている。

その下部に設置された倣い機構は被検査材の上下の動きにはバネにより、左右の動きにはスライドベアリングによりプローブ回転機構を追従させる。この機構により矯正機での矯正が不十分で曲りのある線材にもプローブ回転機構が追従できるためプローブのリフトオフが一定に保たれてSN比が向上する。

3.1.2 空芯形回転トランス

回転機構中に装備されている空芯形回転トランスの構造と寸法を従来のフェライトコア付き回転トランスとの比較で図6に示す。図6中の試作品はガラスエポキシ製円盤に手巻きコイルを張り付けて製作した回転トランスで空芯トランスの性能確認のために使用した。完成品は性能確認後同じくガラスエポキシ製円盤にプリントコイルを接着したもので従来のフェライトコア付きと比較して体積が約1/4、重量が1/11である。特に試算していないが製作費も大幅に低減している。

試作および完成品の信号伝達特性を図7に示す。プリントコイルでつくられた完成品は4MHzにおいてもほぼ70%の伝達率があり、送受信両方にこのトランスを使用しても総合の伝達率は約50%となり十分な性能である。試作品との伝達率の差は同じコイル間隔でもコイルの断面形

図5 パーツフォーマ用渦流探傷機検出部

	完 成 品	試 作 品	他 社 製
構 造	固定側 回転側 コイル (10ターン) $\phi 20$ $\phi 68$ 9	$\phi 20$ $\phi 82$ 12	$\phi 20$ $\phi 90$ 20
コア材料	ガラスエポキシ	ガラスエポキシ	フェライト
コイル	プリントコイル	エナメル線	エナメル線
コイル製作	エッチング	手巻き	手巻き

図6 回転トランスの比較

図7 空芯形回転トランスの信号伝達特性

図8 パーツフォーマ用渦流探傷装置の探傷結果例

状の違いにより生ずる実質のコイルの間隔の差に起因するものである。

3.2 探傷性能

この装置を実際のパーツフォーマに設置して探傷した結果を図8に示す。また主仕様を表2に示す。深さ0.2mmのきずがSN比3で検出できている。本装置では表2にもあるように磁性材探傷時には外部磁化装置を用いた磁気飽和により被検査材表面の磁気特性むらを軽減しSN比を向上させている。当然、探傷終了後には脱磁できる機能を備えている。

表2 パーツフォーマ用渦流探傷の主仕様

項目	仕様
被検査材直径	5~20mm
探傷周波数	1MHz
プローブ回転数	1600rpm
プローブ数	2個
プローブ直径	2.5mm
プローブリフトオフ	0.5mm
外部磁化力	2A×500ターン

図9 PAQシステムの構成

3.3 PAQシステム

開発した探傷装置ときず信号判定装置およびきず部選別装置を組み合わせて表面きず検出一選別システムであるPAQ (Perfect Assurance of wire Quality) システムを作り上げた。このシステムは探傷機で検出した素材のきず部を良品部と

同じように切断，加工した後製品排出口で選別して排除するものである。このシステムの構成の概略を図9に示す。選別制御回路は検出されたきず部が製品排出口に到達するタイミングを計算してきず部が加工された製品が到達するタイミングに選別レバー駆動信号を出力する。このシステムにより圧延したままの線材でもきず部の自動排除が可能になり不良品の混入を防止することができる。

4. 結 言

渦流探傷の新しい適用方法として非磁性材ピーリング品の探傷とパーツフォーマ素材の探傷の例

を挙げ説明した。これらの例が示すように渦流探傷のこれからの発展の方向は熱間材を含む非磁性材への適用と低価格化によるより広い範囲への適用である。また，表面状態の良好な非磁性材料に対してはさらに高い探傷周波数を適用してより小さなきずが探傷できる方向へと発展すると思われる。

(文 献)

- 1) 日本非破壊検査協会編：非破壊検査便覧，(1978)，652 [日刊工業新聞社]