UDC 620. 191 : 620. 179. 16

ミガキ帯鋼表面キズの超音波自動探傷法

加藤 哲男*, 中瀬 久生**

Ultrasonic Inspection of Surface Defects on Cold Rolled Steel Strip

Tetuo Katô, Hisao Nakase

Synopsis

Utilizing of ultrasonic method was studied for inspecting of surface defects on cold rolled steel strip.

When the ultrasonic wave is projected in the water against surface of steel strip keeping proper projecting angle, the total reflection occurs on the surface.

But there occurs irregular reflection on parts where there are any defects or flaws and detecting of such defects is possible through receiving the reflection.

Specimens with artificial flaws were used for the test concerning the correlation between the shape of probe, projecting condition and flaws. Furthermore, the test was also made for defecting of some natural flaws.

All fine defects visually inspected could be detected and it was confirmed that the method was capable enough of practical use.

1. 緒 言

ミガキ帯鋼の表面キズの検査は、現在ほとんど目視で行なわれているが、多くの工数を要し、しかも微細なキズを発見することがかなり困難であって、検査工の努力に負うところが少なくない。個人差も多く、ややもすると見逃しも避けられない状態である。これに対する自動化は業界の重要な課題となっている。

これに対して、適用する非破壊検査の方法として各方面において種々の方法が検討され、光の利用も行なわれてきているようである。しかし、微細なキズの検出精度に関しては、超音波を利用するのが有利である

と考えられる。鏡面に光を斜めに入射すると、凹凸のある部分についてのみ乱反射が生ずるが、これと同様にミガキ帯鋼の表面に適当な角度で超音波を入射すると、キズの部分で乱反射の生ずることが予想される。この乱反射される超音波を受信することにより表面キズの検出を行なえば、省力、自動化に結びつけることが可能であると推定される。

このような発想にもとずき、これまで実験的に水浸法により各種の検討を重ねてきた。実用化の可能性が明らかになってきているので、ここに実験結果をとりまとめて報告する。

2. 試験方法および被試験材

試験方法の概略を Fig.1 に示す。被試験材は水中に配置する。いま探触子より超音波を水を介して被試験材に入射すると表面で反射または屈折を起こす。こ

昭和46年 8 月31日受付

* 大同製鋼㈱研究開発本部中央研究所, 工博

** 大同製鋼㈱研究開発本部中央研究所

Fig.1. Explanation of surface defect detecting method by immersion ultrasonic wave.

の場合、超音波が屈折するときは一部の反射が探触子にもどることが予想されるが、完全に全反射する場合にはその反射波は探触子にもどらない。しかし、全反射の場合、表面にキズが存在するとキズの位置で乱反射が生じ、そのため反射波が探触子に受信されて、超音波探傷器のブラウン管上で観測されるようになる。これらの波形観測の状況は図中右方に示した。

Fig.2 において、I の物質の音速を C_D 、II の物質の音速を C_S とすると、I および II の境界において入

射角 i_D と屈折角 θ_S とのあいだに次の関係が知られる。

$$\frac{C_D}{\sin i_D} = \frac{C_S}{\sin \theta_S}$$

これについて、超音波が被試験材に入らず表面で全反射する条件は $\theta_S > 90^\circ$ であるから I の物質、水の音速 $C_D = 1500 \text{ m/sec}$ 、II の物質、鋼の横波の音速 $C_S = 3200 \text{ m/sec}$ から臨界の入射角 i_{DC} を求めると

$$i_{DC} = \frac{C_D \cdot \sin \theta_S}{C_S} = \frac{1500 \times 10^5 \times 1}{3200 \times 10^5} \div 0.47 \div \sin 28^\circ$$

となる。入射角は約 30° 以上にとれば完全に全反射することがわかる。

本試験方法では、この水中における全反射の条件において、表面キズで生ずる乱反射の超音波を観察することにより、キズ検出を行なう。

試験には、東京計器製のスピーリー式、UM721 型超音波探傷器を使用した。入射角を正確に求めるため、回転角度設定精度 $\frac{1}{100}$ 度の保持具を製作して用いた。

探触子は Table 1 に示すとき丸形、角型および長方形の PZT および LH 振動子のものについてそれぞれ比較試験を行ない、ついでキズの状態の影響について調べた。

被試験材としては、はじめミガキ帯鋼の表面に放電

Fig.2. Principle of through and reflection.

Table 1. Probe used in test.

Name	Material duality	Frequency	Size(mm)	Shape of Transducer	Remark
5Z20I-N	*PZT	5 (MHz)	20 ϕ	Round	*PZT means Zircon Titan acid zinc magnetic vessel **LH means sulfuric acid Lithium
2.25Z20I-N	PZT	2.25	20 ϕ	〃	
5L20I-N	**LH	5	20 ϕ	〃	
2.25L20I-N	LH	2.25	20 ϕ	〃	
2.25Z10 $\times$ 20I-N	PZT	2.25	10 $\times$ 20	Rsquare	
2.25Z10 $\times$ 60I-N	PZT	2.25	10 $\times$ 60	Rectangular	

加工により種々の深さの線状キズをつけて、人工キズ試片を作成し、それについて試験を行なった。ついでカキズ、スケールキズ、飛び込みキズ、ハガレ、肌アレなど数種の自然キズについても試験を行なった。

3. 人工キズによる探傷試験結果

はじめに、無キズのミガキ帯鋼表面に放電加工により作った幅0.3mm、深さ0.01mmの線状キズについて超音波入射角、探触子形状および探触子の影響について調べる実験を行なった。

Fig. 3 は、超音波の入射角と人工キズからの反射エコー高さの関係について測定した結果である。たて軸はキズエコー高さを dB (デシベル) で表わし、横軸は入射角で 5° おきに 30° から 50° までとってある。

Fig. 3. Correlationship between angle of incidence and height of defect echo.

用いた探触子はすべて20mmで周波数は5 MHzと2.25 MHzの2種類とし、さらに振動子の材質はそれぞれPZTとLHの2種類である。

図中、入射角は35°ないし40°において最も高い感度となるエコー高さの変化を示している。探傷周波数は、5 MHzに比べて2.25 MHzの方がほぼ総体的に高い感度を示し、また、振動子の材質はLHに比べてPZTの方がはるかに高い感度を示した。

この結果から周波数を2.25 MHzに選定して、さらに探触子の形状の影響を調べることとし、直径20mmの丸形、10 $\times$ 20mmの角形および10 $\times$ 60mmの長方形の3種類の形のPZT探触子について、それぞれ入射角と人工キズからの反射エコー高さを測定した。

キズに対する探触子の配置は図中に示したごとく、丸形探触子についてはその直径に相当する位置、角形および長方形探触子については、その中央部の短辺方向になる位置とした。その結果をFig. 4に示す。探傷面積の関係での相対的キズエコー高さに差はあるが、入射角に対してほぼ同傾向の変化を示し、約40°のところで最も高い感度となっている。

Fig. 5 は、前記までの試験と同様の条件で入射角40°にセットし、探触子を線状キズに対して直角方向に移動させ、相対位置を変えて探傷範囲を求める試験を行なった結果である。たて軸にキズからの反射エコー高さをとり、横軸に探傷範囲をとって示した。丸形探触子はエコー高さは高くなっているが範囲は狭く肩がだれている。角形探触子になると両肩がもりあがるような形になり、探触子の幅が同一寸法であるにもかかわらず探傷範囲が増加する。これが長方形探触子になると、長辺の増加にともなってそのまま探傷範囲の増加になっている。

実用上広い幅の板材の探傷には長方形探触子が適していると考えられる。しかし、この場合実用にあたっては探触子の設計と製造に当たり、さらに探傷範囲の全体にわたり感度が均一となるごとき配慮が大切である。

Fig. 4. Correlation between change of probe shape and height of defect echo.

以上の試験結果により、以後の人工キズによる試験はすべて長方形探触子を使用し、周波数 2.25MHz、入射角 40°で行なうこととした。

Fig. 6 は、板幅 90mm、厚さ 0.6mm、長さ 4m のミガキ帯鋼に写真および図に示したごとく長さ約 500mm で各種の幅および深さに作った線状キズについて、

Fig. 5. Range of defect detecting in three probes.

探触子の下で供試材を移動させて連続的に測定した結果を示した。探傷感度は幅 0.3mm、深さ 0.01mm の人工キズ試片でのエコー高さを 100% に合わせて行なった。キズの大きさは探傷後周囲を削って測定したものであるが、検出した波形の高さとキズの大きさとの間に良い対応が認められる。

Fig. 7 は、同様にして写真および図のごとく線状

Fig. 6. Test results for test piece 1 of artificial defects.

Fig. 7. Test results for test piece 2 of artificial defects.

キズとともに長さ5 mm程度の点状キズを作った人工キズ試片で、前と同一条件で探傷した結果を示す。点状キズも検出し、波形の幅がキズ状態と良く対応していることが認められる。

Fig. 8 は以上のごとき実験から線状キズの大きさ(深さ)とエコー高さの関係を求めた結果を示した。人工キズの大きさとキズエコー高さはほぼ直線的な相

Fig. 8. Correlation between size of artificial defect and height of defect echo.

関関係を示し、良く比例していることが認められる。

4. 自然キズによる探傷試験結果

人工キズによる試験結果から探傷の可能性が把握され探傷条件も明らかとなったので、続いて各種自然キズによる探傷試験を行なうこととした。長期にわたり工程中にある材料の中から各種のキズ試料を採取した。

探触子は、周波数 2.25MHz で長方形の PZT を使した。

Fig. 9 は、カキキズ、飛び込みキズ、およびスケールキズの3種類のキズについて、入射角とエコー高さの関係について求めた結果を示す。カキキズについては、入射角 37° 付近にエコー高さの最大がみられる。飛び込みキズについては、32° 付近にエコー高さの最大がみられる。これらに対し、スケールキズでははじめ入射角とともにエコー高さが減少しこのような変化は認められない。

さきの人工キズにおける試験の結果から見るとこれらのキズの種類により、入射角とエコー高さの関係の推移に大幅の変化が認められた。これについては、人工キズは鋭角なキズ口形状となっているのに対し、カキキズおよび飛び込みキズではそれぞれ漸次キズ口が鈍角に広がっていることによるものと考えられる。スケールキズではそれがさらに広がって明確な凹凸を示さなくなったことによるものと考えられる。

この現象については、まず形状に応じ通常の水浸探

Fig. 9. Correlation between kind of natural defects and height of defect echo.

傷がみられるとき反射波（S波）関与するよになっていることが推定される。そのため、安定な感度の探傷を行なうためには、S波の影響を避けることが必要であるという観点から、以後の自然キズの探傷は、入射角 45° で行なうこととした。

Fig.10 は、前記3種類のキズについて連続探傷試験を行なった結果を示した。いずれも試料の移動にと

もなう明らかな波形変化が観測され、キズ検出が可能となっていることがわかる。

Fig.11 および Fig.12 は、各種状態のハガレキズの探傷試験結果を示す。ハガレキズの場合は、キズ形状は鋭角から鈍角まで複雑となっているが、試料の移動にともなう明確な波形変化が観測された。

Fig.13 は、肌アレ状態の探傷試験結果を示す。試料の移動にともなう細かい波形変化が観測された。

このほか、目で見られるキズについては微細なものでもすべてこの方法で検出することができた。

5. 結 言

ミガキ帯鋼の表面キズの検査に、超音波を利用する方法について調査研究を行なった。

このキズ検出法は、水中での斜め入射による全反射の状態において、キズ部分で発生する乱反射を受信するという新しい考案にもとづくものであるが、ミガキ帯鋼表面キズの探傷法として十分探傷可能である。

はじめ、人工の線状キズに対して各種探傷条件を求める実験を行ない、その結果にもとずいて各種の自然キズを検査する実験を行なって、探傷条件を確立した。

これにより目視しうるキズはすべて検出可能であることを確認することができた。

この方法により、ミガキ帯鋼の表面キズ探傷の自動化も可能であると判断することができる。

本研究にあたり、試料および実験に協力された、大同製鋼株式会社王子工場の桑原嘉男君に感謝します。

Fig.10. Test results of continuous detecting for natural defects.

Fig.11. Test results of detecting for some peeled off defects. I .

Fig.12. Test results of detecting for some peeled off defects. II .

Fig.13. Test results of detecting for rough skin.