鋼板に於ける熱処理状況の検査法に就いて

620.179.14: 669.14-15

正 会 員 上 田 太 郎* 田 中 政 夫* 野 田 恒 一*

On the testing method of the incompletely
heat-treated steel plates

Taro Ueda, Masao Tanaka and Tsuneichi Noda

In order to examine the heat-treated state of the steel plates, we studied the electro-magnetic method of tracing the differential hysteresis loops between standard sample and samples under examination on the cathode-ray oscillograph. By this method, we could discriminate the incompletely heat-treated plates easily and non-destructively.

1. 緒 言

鋼板は熱処理して使用する場合その熱処理操作が適当でないと鋼板全面にわたって一様な熱処理効果が得られないことが屢々ある。かかる熱処理不均一な鋼板は変形、亀裂が起り易く使用には不適當である。殊に大きな鋼板に於てはこの欠陥が大きく、たとえ熱処理時に亀裂が入っていないとも長時間放置するときは所謂時期割れを生ずる危険が多分にある。従つて大型鋼板の熱処理には細心の注意を払うと共に熱処理後、鋼板を検査して熱処理不均一にして割れ発生の起りそうな鋼板は之を除外して使用しない様にすることが肝要である。

従来かかる熱処理むらの検査法としては小さな試験片では材料表面を腐蝕してその腐蝕の度合によつて区別するとか、或は硬度を測定して、その値より熱処理の不均一性を調べる方法等があるが、しかし大きな鋼板に於てはかかる検査法はその設備、取扱、検査時間等の点より不適當である。

そこで著者等は之を簡単に現場的に測る目的で以下述べるような電磁氣的方法を考案した。

2. 試 料

試験鋼板は表1に示すような成分を有する1800×800×6 mm の Si-Mn-Cr 鋼板¹⁾ を使用し、熱処理としては 870°C で 40 分間加熱後

表 1. 試験鋼板の組成 (%)

C	Si	Mn	Cr	P	S*
0.33	0.92	0.91	1.03	0.01	0.012

油焼入し、その後 150°C. で 5 時間 焼戻した。かかる大型鋼板 6 枚を熱処理後各々ガス切断にて 3 等分して 600×800×6 mm の板 18 枚を作り、之につき熱処理が完全に行われているか否かを検査し、熱処理不均一にして置割れ可能性大なる異常鋼板を摘出した。

3. 実 験 方 法

鉄鋼材料の欠陥を電磁氣的に簡単に測定する方法は今迄沢山行われている²⁾ が、著者等はかかる鋼板の検査方法として現場的で最も使用し易いという点を考慮して鋼板の磁氣履歴曲線を陰極線オシログラフ装置のブラウン管上に描かす方法を採用した。強磁性金属の研究に磁氣履歴曲線を使う方法は既に Spooner,³ Lange,⁴⁾ Förster⁵⁾ 或は石原氏⁶⁾ 等により行われているが何れも現場的な方法でなく従つて著者等は之を鋼板検査に適するように考案した。即ち大きな鋼板の局部的な検査を可能ならしめるため、磁化装置として馬蹄型電磁石を用い、之を鋼板上に移動させて各部の磁氣履歴曲線を見る時、若し鋼板に異常部があるところの曲線の形状が変化する。従つて之より簡単に鋼板の熱処理状況の不均一性を探知することが出来る。

* 大阪大学工学部精密工学教室

図 1 測定装置の配線図

図 1 は本測定装置の配線図である。図に於て Y が馬蹄型電磁石の鉄心で之に P なる励磁線輪と S なる二次線輪とが捲かれている。この磁石を測定せんとする鋼板 T の上に乗せればその部分の磁気履歴曲線が陰極線オシログラフ装置のブラウン管上に描かれる。即ちブラウン管の水平軸には磁場 H に比例した電圧が、垂直軸には磁束密度 B に比例した電圧が加えられ、ブラウン管上には B-H 曲線即ち磁気履歴曲線が明視される。

しかしかくして得られる鋼板各部の熱処理不均一による磁気履歴曲線の形状変化は非常に小さいので之を明瞭に見得るようにするために図 1 に示すように試験鋼板用電磁石 Y₂ の外に、標準鋼板用電磁石 Y₁ を併用して之ら両電磁石による鋼板の磁気履歴曲線の差、即ち差動磁気履歴曲線（茲では之を簡単に差動曲線と呼ぶことにする。）を陰極線オシログラフ装置のブラウン管上に描かせ、その形状を増幅拡大することによつて曲線の変化状況を明視させることにした。

図 2 差動磁気履歴曲線

図 2 は差動曲線と磁気履歴曲線との関係を示したもので曲線 a が標準鋼板の磁気履歴曲線、曲線 b が熱処理状況の均一性を検査せんとする試験鋼板の磁気履歴曲線で電磁石各単

独ではブラウン管上に a 又は b の如き位置に磁気履歴曲線を描くように配線しておく。しかるときはこの両電磁石を同時に用いる（実際は二次線輪の誘起電圧の差が出る様に結線する。）とブラウン管上にはこの両者の磁気履歴曲線の差即ち c で示すような差動曲線が得られる。図 2 は標準片側と試験片側との磁気履歴曲線が異なる場合の差動曲線を示したのであるが、若し両者の電磁石及両鋼板が全く同一のものであれば、この a と b との磁気履歴曲線は同形同大となり、ただ位相が 180° だけずれているのみであるから両者の差動曲線は 1 本の直線となる筈である。しかし両馬蹄型電磁石の僅かな差異、増幅器の歪等の存在のため標準、試験両鋼板が全く同じ場合であつても差動曲線は図 2 の如くループを描くのが普通であつて之を直線にすることは技術的に困難であり、実用向には直線にする必要もなく、その変化を知れば用は足る。なおこの測定二次線輪の差動電圧を増幅してループを更に拡大すれば変化を明瞭に見ることが出来る。

4. 実験結果

以上の装置を用いて図 3 に示す寸法の鋼板 18

図 3 試験鋼板の測定位置

枚につき検査して熱処理状況の不均一な鋼板を摘出した。各鋼板について図 3 に示す(イ), (ロ), (ハ), (ニ), (ホ), (ヘ)なる線に沿い、20箇所に電磁石 Y₂ を移動せしめてブラウン管上に描く差動曲線を観察した。

今異常部の存在する鋼板に於けるブラウン管

図 4 異常鋼板に於ける差動曲線の一例

上の差動曲線の形状の一例を示せば図4の如くである。図4に於て各ループの左肩の数字は鋼板に於ける測定位置を、ループの中の数字はブラウン管上の差動曲線の包む面積を、また右肩の数字は測定位置に於ける鋼板のロックウェルC硬度を示す。この図を見るに(イ)列に於ては測定位置4附近よりループの形状、大きさは変化し、5~6の間で零となり、6よりは反対符号のループを描き、之が次第に増大して8附近にて最大となり、その後次第に縮小して15~16の間で再び最初の符号のループに戻り、18附近よりまた大きくなっている。(ロ)列に於ても7~10附近が小さくなつて異常を呈している。(ハ)列も一部異常を呈しているが、(イ)、(ロ)列のように甚しくはない。

(ニ)、(ホ)列に於てはループには殆ど変化なく鋼板は均一であることが出来る。(ヘ)列は(イ)~(ホ)列と直角方向に測定した場合であるが之では12附近より変化し、14で既に反対符号のループになり、20では反対符号の最大となつている。従つてこれ等の結果より判断してこの鋼板では図3に於て下の方に不均一性の甚しきところがあり上部へ行くに従ひ、均一性を有することが知られる。今之等の各列の差動曲線の包む面積の変化の状況を図表で示せば図5となる。即ち(イ)列に於ては8附近に於て面積は反対符号の最大値をとり、5~16附近にわたり、最も異常を呈しているのが認められる。(ニ)、(ホ)列に於ては殆ど変化は認められない。

以上の結果よりこの鋼板に於ける異常範囲を示せば図3の太い実線附近がその境界となり、その包む面積の処だけ不均一部なることが知られる。一方この異常部の硬度を測定してみるに図4及5に於て示すように一般に軟く、ロックウェルCの20前後となり焼入不十分なる状態である。異常を認めない(ホ)列に於てはロックウェルC硬度40位で相当異つていることが分る。

なおこの事柄を確認するために100mm角の同一成分の試験鋼板につき焼入温度を色々変え

図 5 各測定位置に於ける差動曲線の包む面積及び硬度

て差動曲線を描かしめたるに焼入温度低くして焼入不完全なときは本装置で同様なループを得た。

依つてこの鋼板の差動曲線の異常部は焼入不完全なる部分であることが分つた。なお完全に焼入焼戻された均一状態にある他の鋼板ではかかる差動曲線の異常変化は認められなかつた。18枚の供試鋼板の中、上述のものとはほぼ同一の異常を呈したのは3枚でそのほか極く小範囲に異常範囲の存在したもの2枚あつて他は概ね均一性を有した。この焼入不完全の原因としては1800×800 mm 鋼板を加熱するに際しこれらの異常鋼板は何れも炉の入口に位置していたため焼入温度が低かつたか或は焼入に際し炉を開口したとき温度が降下して焼入が不完全になつたものと思われる。

このようにして鋼板上に測定用電磁石を移動せしめてブラウン管上で差動曲線を観測することにより簡単に鋼板に於ける熱処理不均一部を検出することが出来る。かかる不均一部が存在するときは鋼板の内部歪も大きく従つて時期割れを起す可能性が大である。よつてこの方法により鋼板を検査するときは簡単に現場的に割れ発生の可能性を有する鋼板を鑑別することが出来る。

5. 総 括

以上の実験結果を総括すると次の如くである。

1. 鋼板に於ける熱処理状況の検査を現場にて簡単に行うため鋼板上に測定用電磁石を移動せしめて標準鋼板と試験鋼板との磁気履歴曲線の差を陰極線オシログラフ装置のブラウン管上に明視せしめる方法を考案完成した。
2. この方法により不完全焼入鋼板を簡単に検出し得られ、時期割れ可能性を有する熱処理鋼板を摘出することが出来た。

註：一 (1953, 1月12日受付)

- 1) この鋼板は今次大戦中、航空機搭乗員の防弾鋼板として用いられたものである。
- 2) 鈴木益広, 金属材料の電磁気探傷法。
- 3) T. Spooner, Proc. Amer. Soc. Test. Materials. 27 (1927) 241.
- 4) H. Lange, K. W. I. Eisenforschung. 21 (1939) 105
- 5) F. Förster, Z. Metallk. 32 (1940) 134, 33 (1941) 97
- 6) 石原, 日本金属学会誌, 8 (1940) 243

直進型放電加工に關して 621.9:537.52

正 会 員 前 田 禎 三

Researches on the electric-spark-machining with non-vibrating electrode

Teizo Maeda

When electric-spark-machining is carried out with the circuit of Lazarenko (fig. I), assuming that the chipped mass of work piece machined by a single spark-discharge is proportional to the discharge energy of capacitor $C(V_s^2 - V_c^2)/2$, the machining speed u and the mean working current I_{mean} are given by next formulae;

$$u = (k' V_o^2 / R) \nu^2 / \ln\{1/(1-\nu)\}$$

$$I_{\text{mean}} = (V_o / R) \nu / \ln\{1/(1-\nu)\},$$

here V_s is the voltage, at which the spark discharge is initiated; V_c is the voltage that the discharge ceases, and $V_c \ll V_s$; $\nu = V_s / V_o$; k' is the function of C . From these formulae, the higher the source voltage V_o is, and the smaller the resistance R is (unless the arc-discharge takes place,), the greater the machining speed becomes. And when $\nu = 0.715$, i. e. when $I_{\text{mean}} = 0.57 I_o$ (I_o is the short current), u gets the maximum value. With above formulae, by using ν as a parameter, the relation of u - I_{mean} is obtained, and when V_o , C and ν are kept respectively to the same value, it is known