

# 電位差法による浸炭焼入れ硬化層深さの非破壊評価

材料技術部 構造評価チーム 小島 隆

浸炭焼入れ硬化層の深さを焼入れ深度計を用いて非破壊評価する方法を検討した。焼入れ深度計は、6探針プローブを用いた電位差法を原理とし、高周波焼入れで生成する硬化層を評価する装置として開発されている。浸炭焼入れ材は、電位差法を適用する対象としては、高周波焼入れ材と特徴が異なる。そのため、新たな評価方法の工夫が考案された。実証試験の結果、約0.5mmの硬化層深さを誤差約±0.1mmで評価できることが確認された。

キーワード：浸炭焼入れ、硬化層、非破壊評価、電位差法

## 1 はじめに

鋼製部品の耐摩耗性や疲労特性を向上させることを目的に焼入れによる表面硬化が実施されるが、そこでは、表面硬化層の深さが部品の特性を支配することになるので、所定の深さか否かの検査が非常に重要となる。現状では、これを抜き取り検査によって確認している。抜き取り検査では、部品を切断し、切断面でビッカース硬度計等を用いて硬さ分布を測定し、その結果から硬化層の深さを評価するので時間と労力を要する。従って、これを簡易に非破壊評価する方法ならびに装置の開発が望まれている。

以上を鑑みて、近年、焼入れ深度計を開発した<sup>1)</sup>。この装置は、6探針プローブを用いた電位差法の原理<sup>1)~3)</sup>を用いており、高周波焼入れによって生成される表面硬化層の深さを非破壊評価できる。

本研究では、この焼入れ深度計を浸炭焼入れ材に適用し、その表面硬化層深さの非破壊評価を試みた。浸炭焼入れで生成する硬化層の深さは、高周波焼入れのその1/5程度である。また、後で述べるように、浸炭焼入れ材を非破壊評価するにあたっては、その過程で考慮しなければならない未知量が高周波焼入れ材の場合より一つ多い。従って、これらの異なる特徴に対応してプローブを設計し、また、非破壊評価方法に新たな工夫を行った。

## 2 非破壊評価の方法

### 2.1 6探針プローブを用いた電位差法の原理

鋼材が焼入れ硬化すると抵抗率が增加する。電位差法ではこの性質を利用して硬化層深さを評価する。

焼入れた鋼材を表面の硬化層とその下の下部層の二層に単純化し、硬化層の深さを  $d$  とおく。また、それぞれの層で抵抗率は均一として、それを  $\rho$ ,  $\rho_0$  とおく (図1参照)。鋼材が6探針プローブの寸法に比べて十分大きく、半無限体と見なせるとき、プローブで測定される電位差  $V'_1$ ,  $V'_2$  は次式で与えられる。

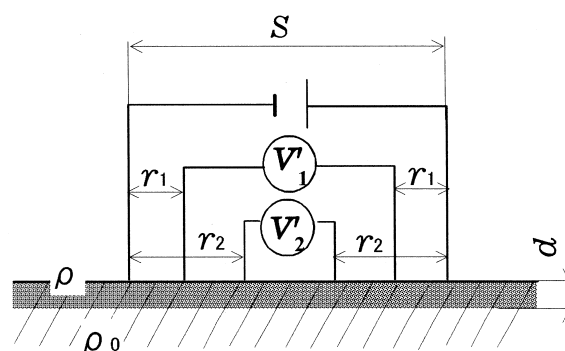


図1 6探針プローブと焼入れ材の二層モデル

$$V'_n = f_n \frac{\rho_0 I}{S}, \quad (n=1, 2) \quad (1)$$

$$f_n = \frac{\alpha S}{\pi} \left\{ \frac{1}{r_n} - \frac{1}{S-r_n} + 2 \sum_{m=1}^{\infty} Q^m \left( \frac{1}{\sqrt{r_n^2 + (2md)^2}} - \frac{1}{\sqrt{(S-r_n)^2 + (2md)^2}} \right) \right\} \quad (2)$$

ここで

$$\alpha = \rho / \rho_0, \quad Q = \frac{1-\alpha}{1+\alpha}$$

また、 $I$  は電流、 $S$ ,  $r_n$  はプローブの寸法である (図1参照)。高周波焼入れでは、表面だけが高温に加熱され硬化する。下部層の材質は焼入れ前後で変化しないので、抵抗率  $\rho_0$  は高周波焼入れする前の鋼材について測定して予め知ることができる。よって、電位差  $V'_1$ ,  $V'_2$  を測定すれば、未知量は、硬化層の深さ  $d$  と抵抗率  $\rho$  の二つとなり、これは、 $n=1, 2$  の二つの式を連立して解いて求めることができる。

以上の方法を実際の部材に適用する場合は、部材にプローブを当てて測定した電位差  $V_n$  を次式で半無限体に於ける電位差  $V'_n$  に換算してから(1)式を用いればよい。

$$V'_n = C_n V_n \quad (3)$$

$C_n$  は形状係数であり、有限要素法などの数値計算によって求めることができる。例えば、図2に示す丸棒材の形状係数を計算した結果は、文献3)に報告してある。

## 2. 2 浸炭焼入れ硬化層の評価方法

浸炭焼入れでは、下部層も熱処理されてその物性が変化する。すなわち、抵抗率  $\rho_0$  も未知量となり、未知量は全部で三つとなる。これらを逆解析するためには、第三の電位差  $V_3$  を測定する必要がある。これは、6 探針プローブを 8 探針プローブに改造して測定するのが理想的であるが、プローブの寸法が小さくなり（後述）それは困難であった。そこで、対象を丸棒材として、図 3 のようにして  $V_3$  を測定した。このとき、 $V_3$  は次式のように表される。

$$V_3 = IL \frac{\rho_0 \rho}{\rho A_0 + \rho_0 A} \quad (4)$$

ここで、 $A_0 = \pi(R-d)^2$ 、 $A = \pi\{R^2 - (r-d)^2\}$   
すなわち、 $V_1 \sim V_3$  を測定して (1) ~ (4) 式を用いれば、未知量  $d$ 、 $\rho$ 、 $\rho_0$  を逆解析できる。

## 3 実証試験と結果

6 探針プローブを既に報告した方法<sup>1)~3)</sup>で、浸炭焼入れ硬化層（深さ 0.4~1.0mm）を評価するのに適した寸法（ $S=6\text{mm}$ 、 $r_1=0.6\text{mm}$ 、 $r_2=2.0\text{mm}$ ）に設計し、製作した。また、 $L$  は試料の長さより十分短い 15mm とした。

試料は、浸炭焼入れ焼戻した SCM415 鋼の丸棒材（直径；22mm、長さ；130mm）である。その有効硬化層深さは、JIS に従って評価すると、0.48mm である（図 4）。

焼入れ深度計を用いて 1A のパルス電流を流して電位差を測定した。プローブを試料に当てたまま測定値を 20 回読んで平均値をとった。このようにした測定を全部で 3 回実施し、それぞれについて焼入れ深さ  $d$ 、下部層の抵抗率  $\rho_0$ 、抵抗率の比  $\rho$ 、 $\rho_0$  を逆解析して評価した。結果を表 1 に示す。硬化層深さの誤差範囲は -0.08 ~ +0.09mm であり、おおよそ評価できることが確認された。

## 4 まとめ

焼入れ深さの評価結果にばらつきが大きい。本方法を実用的な方法にするには、これを小さく押さえる必要がある。探針の機械的ガタが電位差の測定値を不安定にしていると考えられるので、そのためには、プローブの固定方法や探針の構造を検討することが重要となると考える。

## 文献

- 1) 岩田成弘, 赤松里志, 小島隆; 検査技術, vol.8-12, 55(2003).
- 2) 小島 隆, 赤松里志, 岩田成弘; “非破壊検査協会春季大会講演概要集”, (社)非破壊検査協会, p45(2003).
- 3) 小島 隆, 赤松里志, 岩田成弘; “電場計測法実用研究会報告書”, (社)非破壊検査協会, p84(2004).

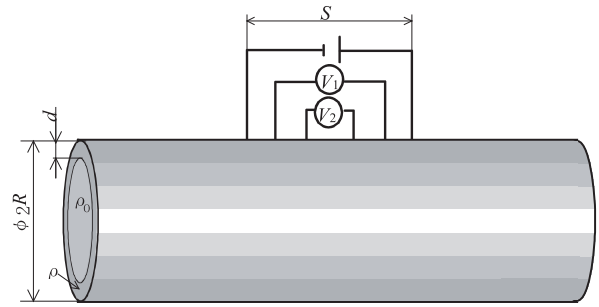


図 2 6 探針プローブを用いた丸棒材上での電位差測定

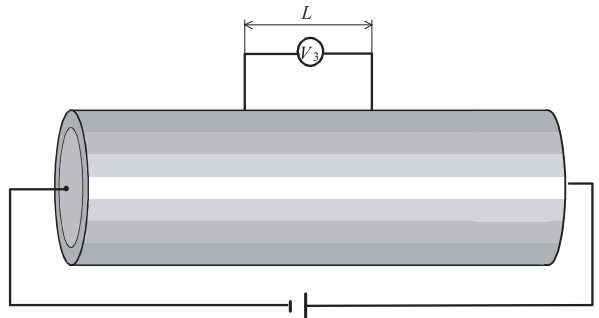


図 3 丸棒材での  $V_3$  の測定方法

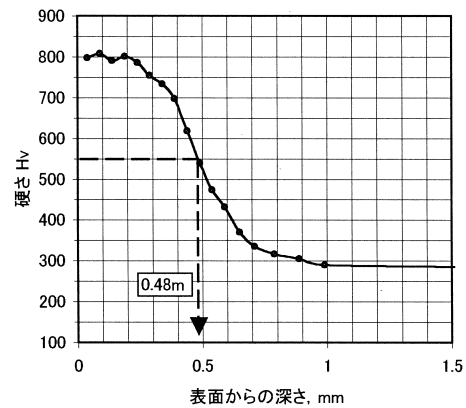


図 4 試料 (SCM415 鋼) の硬さ分布曲線と有効硬化層深さ

表 1 非破壊評価の結果

測定番号	$V_1, \mu V$ (標準偏差)	$V_2, \mu V$ (標準偏差)	$V_3, \mu V$ (標準偏差)	硬化層の深さ $d, \text{mm}$	下部層の抵抗率 $\rho_0, \times 10^{-5} \Omega \text{mm}$	$\alpha$ ( $= \rho / \rho_0$ )
#1	135.70 (0.22)	22.20 (0.03)	14.73 (0.05)	0.436	27.38	1.34
#2	136.87 (0.22)	22.31 (0.03)	14.84 (0.04)	0.401	27.60	1.38
#3	136.17 (0.04)	22.31 (0.02)	14.60 (0.31)	0.570	27.06	1.30