

## 中性子回折による浸炭鋼の炭素濃度勾配層の無ひずみ時の回折面間隔と面外ひずみの評価

Evaluation of Stress-Free Lattice Spacing and Out-of-Plane strain of Carburized Steel Having Graded Carbon-Content-Layer Using Neutron Diffraction

坂井田 喜久<sup>1)</sup>, 川内 基範<sup>1)</sup>, 卍山下道哉<sup>2)</sup>, 菖蒲敬久<sup>3)</sup>, 林 眞琴<sup>4)</sup>

Yoshihisa SAKAID, Motonori KAWAUCH, Michiya MANZANKA, Takehisa SHOBU and Makoto HAYASHI

<sup>1)</sup> 静岡大学, <sup>2)</sup> ヤマハ発動機, <sup>3)</sup> 原子力機構, <sup>4)</sup> 茨城県

浸炭鋼の表面層から炭素濃度の異なる薄片を切出し、中性子回折法により薄片を 180° 回転した時と面外方向を法線とする回折面の間隔を測定し、炭素濃度勾配層内の無ひずみ時の回折面間隔と面外ひずみ成分の存在を明らかにした。今後は定量的な評価を目指す。

**キーワード**：炭素鋼，浸炭残留応力，中性子回折，無ひずみ回折面間隔，面外ひずみ成分

**1. 目的** バイク・自動車の歯車等の炭素鋼部品は、表面硬度と疲労強度の向上を目的として浸炭焼入が施されるが、浸炭焼入により部品内部や表面に残留応力が発生して歪みが生じ、部品の信頼性確保やコスト低減の妨げとなっている。これらの問題解決には、浸炭による残留応力を正しく見積もり、部品の歪みの原因を明らかにする必要があるが、浸炭表面に形成される固溶炭素濃度勾配層の存在が残留応力の非破壊測定を困難としている。本研究は、中性子線、放射光 X線及びビームラボ X線の相補利用によって浸炭部品の残留応力を非破壊で測定する技術の開発を目指している。ここでは、浸炭表面の炭素濃度勾配層から切出した薄片を用いて、Feの無ひずみ時の回折面間隔と面外方向のひずみ成分を中性子線により実測する手法を検討した。

**2. 方法** 供試材は、SCM420H炭素鋼である。実験は、30×30×50mm<sup>3</sup>の直方体を浸炭処理した後、浸炭表面から Fig.1 に示すように、0.3mm間隔で切出した短冊試験片（寸法 0.3×24×30mm<sup>3</sup>、または、0.3×4.0×10mm<sup>3</sup>、A1～A5 およびB1～B5）を用いた。中性子回折は、日本原子力研究開発機構の実験炉JRR-3 内にある残留応力解析装置（RESA）を用いた。実験は、Fig.2 に示すように、xyzステージ上に取付けた短冊試験片を  $\psi=0$  と  $\psi=\pi/2$  の状態と、xy平面内で  $\pm 90^\circ$  回転させた状態で中性子線を照射し、2次元検出器 2D-PSDによりFe-110 および 211 回折の回折強度を測定した。主な測定条件をTable.1 に示す。回折角  $2\theta$  は、回折線をガウス関数で近似して求め、浸炭表面からの深さに対する回折面間隔  $d$  の変化を求めた。なお、実験は2回の異なる期間で行い、各実験での入射中性子線の波長は、それぞれ 0.204 と 0.208nm であった。

### 3. 研究成果および考察

まず、1回目の実験では、2種類の形状の試験片を xy 平面内で  $\pm 90^\circ$  回転させ、浸炭表面からの深さに対する回折角の変化を測定した。2D-PSD の測角範囲は  $\Delta 2\theta = 11\text{deg}$  の固定角に設定されているが、前後 1.8deg 程度が不感領域のため、実質的な測角範囲は、7.0deg程度となる。Fe-110 回折では、1回の計測で回折線のすそ野を含めた回折強度分布を測定することができたが、浸炭表面の Fe-211 回折では、Fig.3 に示すように、1回の計測で回折線のすそ野を含めた回折強度分布の全貌を測定することは困難であった。そこで、本実験では、回折ピークを中心に  $\pm 4$  と  $\pm 2\text{deg}$  だけ 2D-PSD の中心角度をずらした 4 つの回折線を重ね合わせる

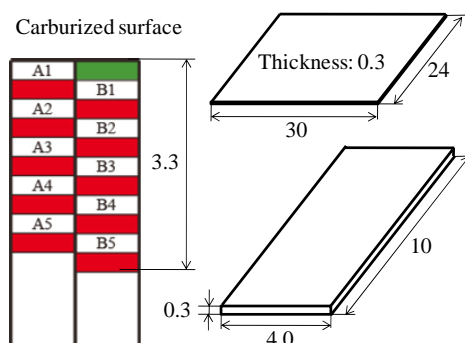


Fig.1 浸炭層短冊試験片

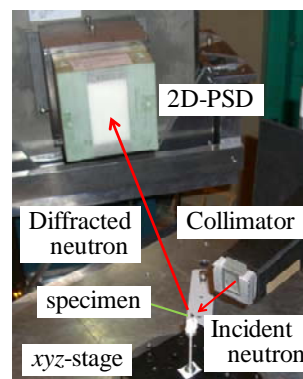


Fig. 2 実験の概要

Table 1 測定条件

Diffraction	110	211
Wavelength (nm)	0.2043 or 0.2077	
Diffraction angle(deg.)	61.5	124.6
Oscillation angle (deg.)	0 or $\pm 90$	

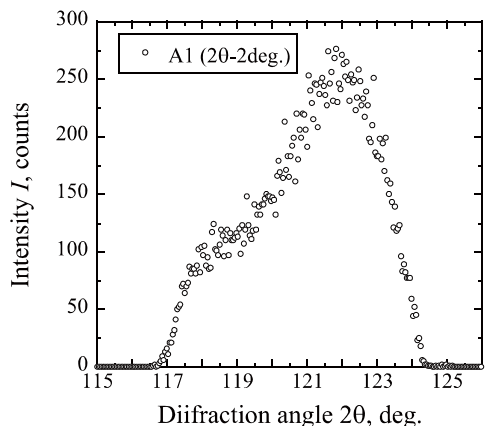


Fig.3 A1 試験片の Fe-211 回折線

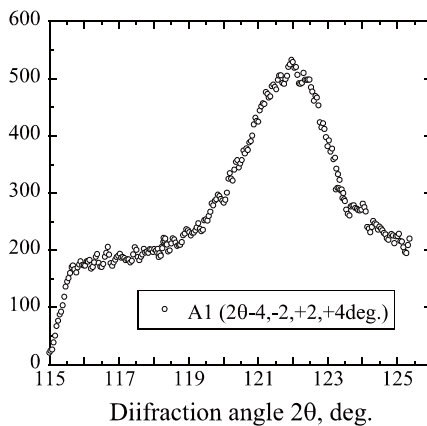


Fig.4 4 回折の重合わせによる回折線

ことで、Fig.4 に示すような回折強度分布を得た。

Fig.5 は、浸炭表面からの深さに対する Fe-110 と 211 の回折面間隔  $d$  の変化を示す。Fe-110 回折では、浸炭深さの増加とともに回折面間隔が減少することがわかる。また、Fe-211 回折では、浸炭深さの増加とともに回折面間隔は減少傾向にあるが、浸炭表面近傍

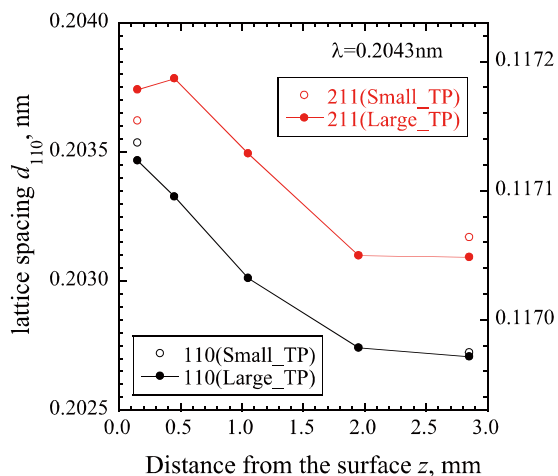


Fig.5 浸炭深さに対する回折面間隔  $d$  の変化

では 110 回折とは若干異なることがわかった。

2 回目の実験では、 $0.3 \times 4.0 \times 10 \text{mm}^3$  の寸法の試験片を用い、 $\psi=0$  (面外ひずみ  $\epsilon_z$  に相当) と  $\psi=\pi/2$  (面内ひずみ  $\epsilon_x$  に相当)、および、 $xy$  平面内で  $\pm 90^\circ$  回転させた状態 (平均回折面間隔) のそれぞれに対し回折面間隔を測定した。

Fig.6 は、回折ピーク中心角と中心角から  $\pm 3 \text{deg}$  だけ 2D-PSD の中心角度をずらした 3 つの回折線を重ね合わせることで、Fe-211 回折線を得た一例を示す。前同様、1 回の計測で Fe-211 の回折強度分布を得ることはできなかった。

Fig.7 は、浸炭表面からの深さに対する Fe-110 と 211 の回折面間隔  $d$  の変化を示す。まず、Fig.5 と比較すると、110 回折では、試験片寸法が大きいほど、回折面間隔  $d$  は相対的に小さい傾向があり、試験片の切出し寸法によって残留応力が解放される量に

違いがあるためと考えられるが、その差はわずかであった。一方、 $xy$  平面内で  $\pm 90^\circ$  回転させた状態と  $\psi=0$  の状態での回折面間隔に注目すると、Fe-110 回折ではバラツキの範囲内で有意差は認められなかったが、高角側の Fe-211 回折では浸炭表面近傍の A1 と B1 試験片に明らかな差が認められた。すなわち、 $\psi=0$  の状態の  $d$  (■印) は、 $\pm 90^\circ$  回転させた状態の  $d$  (□印) に比べて大きい値を示し、浸炭表面近傍に面外ひずみ成分が存在することを確認できた。今後、切出し試験片の中性子回折による追加実験やホームラボ X 線による残留応力測定、放射光 X 線によるバルク材での面外および面内ひずみ分布の測定等により、浸炭層内の無ひずみ状態における回折面間隔を実測する手法の開発を目指す。

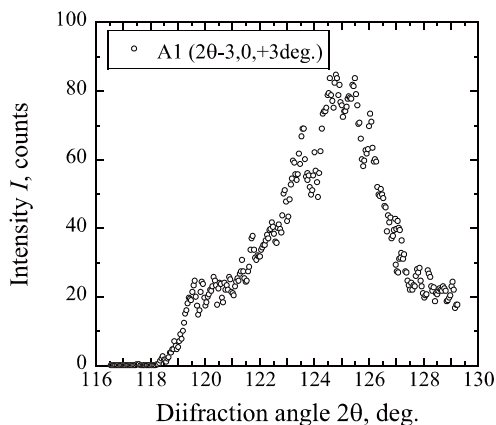


Fig.6 3 回折の重合わせによる回折線

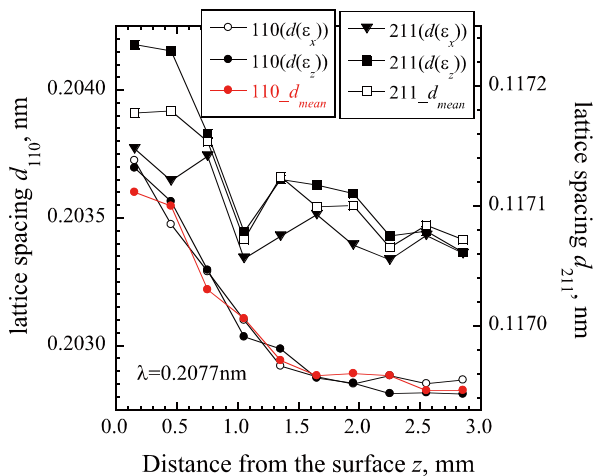


Fig.7 浸炭深さに対する回折面間隔  $d$  の変化