

組織勾配を有する浸炭鋼の放射光と中性子によるハイブリッド残留応力測定技術の開発
(中性子回折による組織勾配層内の無ひずみ時の格子定数測定技術の開発)

Development of Hybrid Residual Stress Measurement of Carburized Steel Having Graded-Layer Using Synchrotron and Neutron Beams
(Development of Stress-Free lattice spacing measurement within Graded-Layer of carburized steel by Neutron Diffraction)

坂井田 喜久¹⁾, 川内 基範¹⁾, 冨山下 道哉²⁾, 秋吉 裕和²⁾,
菫蒲 敬久³⁾, 鈴木 裕士³⁾, 林 真琴⁴⁾

Yoshihisa SAKAIDA, Motonori KAWAUCHI, Michiya MANZANKA, Hirokazu AKIYOSHI, Takahisa SHOBU,
Hiroshi SUZUKI and Makoto HAYASHI

¹⁾静岡大学 ²⁾ヤマハ発動機 ³⁾原子力機構, ⁴⁾茨城県

浸炭鋼の残留応力を非破壊評価するために必要な無ひずみ時の格子定数を中性子回折により測定する手法を検討すると共に、組織勾配層から切出した試験片の回折面間隔を実測した。
キーワード：浸炭鋼，浸炭残留応力，中性子回折，無ひずみ格子定数，回折面間隔

1. 目的 バイク・自動車の歯車やシャフト等の炭素鋼部品には、表面硬度と疲労強度を向上させる目的で浸炭焼入が施される。一方、浸炭焼入を行うと、部品内部や表面には大きな残留応力が発生して形状が大きく変形するため、研削加工などの後加工が不可欠で、部品の信頼性確保やコスト低減の大きな妨げとなっている。部品の信頼性確保とコスト低減は製造メーカーの最重要課題であり、これらの問題点の解決には、浸炭による部品変形と残留応力を正しく評価する必要がある。しかし、浸炭部品では、表面からの深さによって鋼に含まれる固溶炭素量が異なる組織勾配層が存在（この領域を浸炭層という）し、かつ、浸炭層の深さが0.5~2.0mmと非常に浅いため、浸炭層内の残留応力を非破壊で測定する技術は未だ開発されていない。本研究は、浸炭部品の残留応力を非破壊で実測する手法として、放射光X線と中性子線の相補的利用による測定手法を確立し、浸炭による部品内部や表面に発生する残留応力を実測評価する技術の開発を目指す。本課題では、中性子回折を用いて浸炭層内の固溶炭素量によって変化する格子面間隔を実測する技術を開発する。

2. 実験方法 供試材は、SCM420H 炭素鋼である。実験には、30×30×50mm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 0.3×4.0×10mm³, 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 xy 平面内で 180° 回転させながら中性子線を照射し、2次元検出器 2D-PSD で Fe-110 および 211 回折の回折強度分布を測定した。主な測定条件を Table.1 に示す。ついで、回折強度分布をガウス関数で近似し、回折角 2θ を決定し、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、入射中性子線の波長は、0.20736nm の一定値とした。

3. 研究成果 Fig.3 は、短冊試験片から得られた主な回折強度分布を示す。110 および 211 回折ともに、浸炭表面の回折線幅が非常に広く、特に 211 回折では 2次元検出器の測角範囲 6.5° では不十分であり、精度良い実験を行うには光学系を再検討する必要があることがわかる。また、110 回折で

Table.1 測定条件

Diffraction	110	211
Wavelength (nm)	0.20736	
Diffraction angle(deg.)	61.47	124.6
Oscillation angle (deg.)	±90	

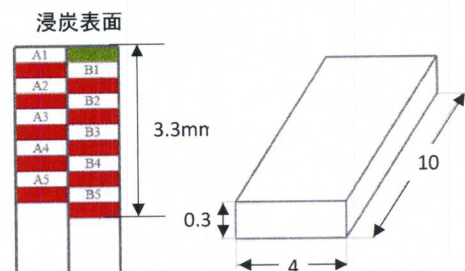


Fig.1 切出し位置と試験片

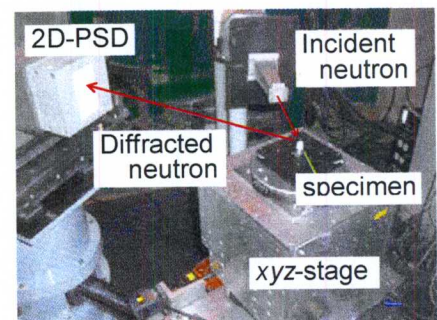


Fig.2 回折面間隔の測定

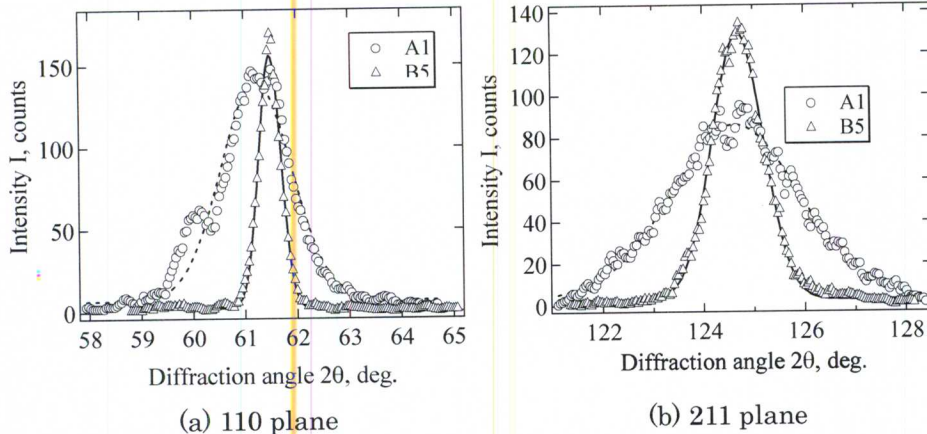


Fig.3 回折強度分布の変化

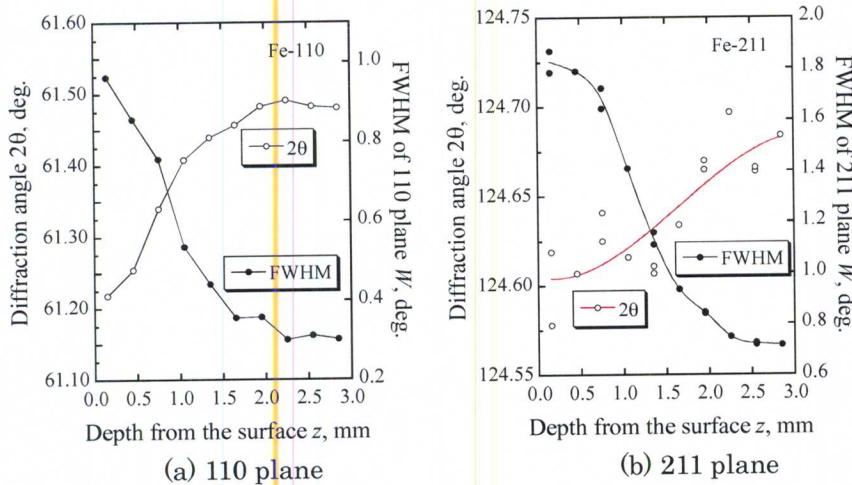


Fig.4 浸炭表面からの深さに対する回折角の変化

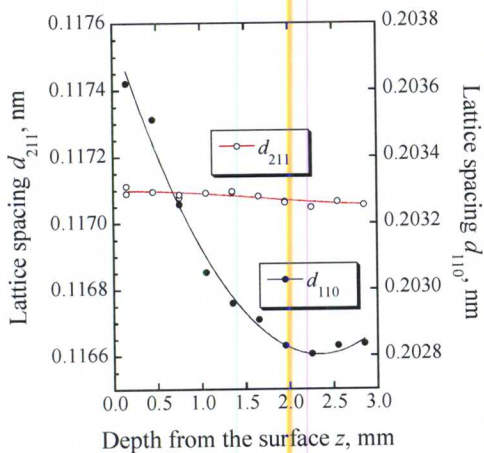


Fig.5 浸炭表面からの深さとdの変化

は、A1, B1, A2 の浸炭表面近傍の試験片の低角側に第2相と思われるピークが重畳した。浸炭表面には粒界酸化層が発生している可能性が高いので、低角側のピークの存在と取扱いについては今後の検討課題である。

Fig.4 は、浸炭表面からの深さに対する 110 および

211 回折の回折角変化を示す。なお、図には回折強度分布の回折線幅 W をあわせて示した。図より、固溶炭素量が増加する、すなわち、浸炭表面に近いほど回折線幅が増加し、回折線幅の増加に依存して回折角も低下する傾向にあることがわかる。

Fig.5 は、Fig.4 の回折角から求めた回折面間隔 d を浸炭表面からの深さに対してプロットした結果を示す。図より、110 回折より求めた回折面間隔 d_{211} は、浸炭表面からの深さ z が増加につれて急激

に低下し、全硬化層深さ 2.0mm に達するとほぼ一定の値を示した。一方、110 回折より求めた回折面間隔 d_{110} は、110 回折の変化に比べるとその変化量は極めて小さいことがわかった。ただし、浸炭表面からの深さ z に対する変化は 110 回折の結果と同様の傾向を示した。浸炭処理後の硬化組織であるマルテンサイト相は、固溶炭素量が増加すると格子定数 a は低下するのに対して、格子定数 c は増加する。よって、マルテンサイト相の回折面間隔 d_{211} と d_{110} はいずれも浸炭深さが増加するにつれて低下する傾向にあり、中性子回折により得られた回折面間隔はこの変化に依存したと考えられる。なお、今回の測定では、Fig.3 の結果が示すように、浸炭表面近傍の 110 回折の低角側のピークの存在や 211 回折の回折線幅 W の広がりによる測定精度の低下など、測定上の問題が解決できておらず、回折角や回折面間隔の予測誤差は大きい。今後研究を継続し、これらの問題を解決する必要がある。

4. 結論・考察 浸炭層内から切出した短冊試験片を用いて、固溶炭素量の変化に伴う回折面間隔の変化を中性子回折により実測する手法を検討し、浸炭表面からの深さの関数として回折面間隔を実測することができた。

5. 引用(参照)文献等 省略