

浸炭炭素鋼の格子定数と残留歪み変化の測定

中性子回折による浸炭炭素鋼の残留ひずみ測定

利用者 卍山下道哉¹、中村和昭¹、秋吉祐和¹、磯部恒雄¹、坂井田喜久²、柏木章吾²
 所属 ¹ヤマハ発動機(株)、²静岡大学

1. 緒言

バイクや自動車などのシャフトや歯車などの炭素鋼部品には、表面硬度と疲労強度を向上させる目的で浸炭処理を施す場合が多い。しかし、浸炭処理を施すと、残留応力が発生して部品形状が大きく変形し、後加工を施さなければならない。一方、近年の製品コスト競争の激化に伴い、製造コストの低減は製造メーカーの最重要課題であり、後加工を行わない浸炭処理法の実現が急務であるが、浸炭による残留応力発生や変形挙動を把握するには至っていない。

本研究では、浸炭部品の代表として歯車に注目し、浸炭処理後の歯車に中性子線を照射することにより、歯車内部の格子面間隔を実測するとともに、歯車内部の残留ひずみ分布について検討した。

2. 実験方法

供試材は、SCM420Hである。実験には、Fig.1に示す表面を浸炭処理した歯車と、歯車の内部から一辺2mmの立方体形状に切り出したクーポン試験片を用いた。本研究では、Fig.2に示す歯車内部の残留ひずみ分布を実測するために、中性子によるひずみスキャンニング法を用いた。Fig.1に測定の概略を示す。実験に用いた中性子線の波長は、Niパウダーの3つの回折線を実測し、計算により求めた。また、入射側と反射側に取り付けた $2 \times 2 \text{ mm}^2$ のコリメータを用いて、測定箇所のゲージボリュームを特定した。本研究では、歯車の半径方向、主軸方向、ピッチ円周方向を回折面法線とする3方向の格子面間隔の変化から歯車内部の残留ひずみを評価するために、測定箇所のゲージボリュームが同じとなるように供試材に含まれるFeの回折中性子から特定の回折線を選択し、Fig.3とFig.4に示すように、ピーク強度が200カウント程度になる測定条件を検討した。ついで、Fig.2に示すように、歯車の内歯近傍の主軸方向に沿って中性子線を走査し、歯車内部の残留ひずみ分布を測定した。また、測定箇所 (Fig.2参照) から切り出したクーポン試験片を用い、2方向の無ひずみの格子面間隔 d_0 を実測した。

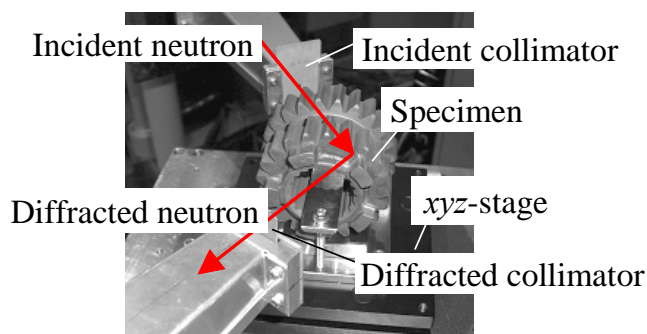


Fig.1 測定の概略

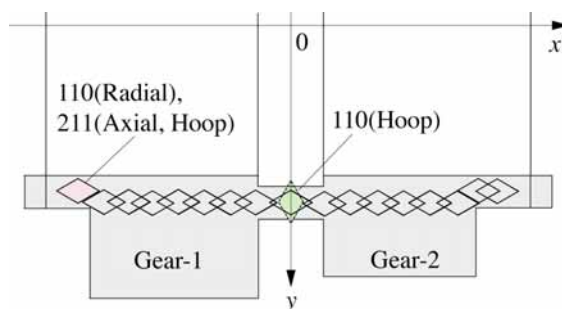


Fig.2 中性子線による残留ひずみ測定位置

3. 実験結果および考察

歯車の内歯近傍内部に発生した残留ひずみ分布を実測するための光学系を決定し、実験条件における中性子線の波長を実測した結果、照射条件の波長は 2.0732 \AA であった。また、測定箇所のゲージボリュームが同じ領域となるような回折面としては、歯車半径方向では110回折を、主軸方向では211回折を、ピッチ円周方向では211回折を選択すればよいことがわかった。そこで、歯車の内歯近傍内部から十分な回折線強度が得られる検討した。その結果、半径方向の110回折、主軸方向の211回折については歯車の内歯近傍内部から十分な回折線強度が得られるが、ピッチ円周方向の211回折では侵入経路が長いために歯部での減衰が激しく、十分な強度が得られないことがわかった。そこで、ピッチ円周方向では、ゲージボリュームは若干異なるが、110回折を用いて格子面間隔を測定することとした。なお、ピッチ円周方向のゲージボリュームを同一とする測定方法については今後の検討課題である。

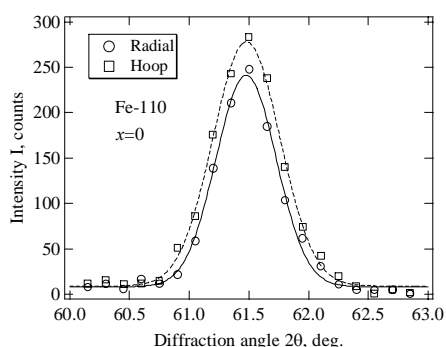


Fig.3 RadialとHoop方向の110回折線強度分布

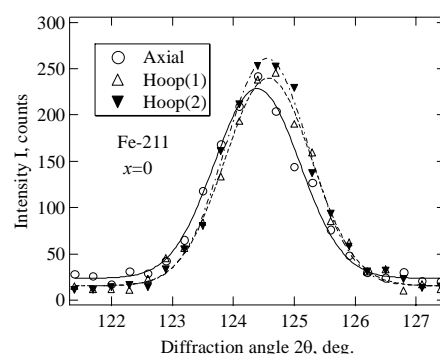


Fig.4 AxialとHoop方向の211回折線強度分布

次に、歯車から切り出したクーポン試験片を用いて、半径方向とピッチ円周方向の格子面間隔 d_0 を測定した。なお、主軸方向の格子面間隔は測定するには至らなかった。実験結果をFig.5に示す。クーポン試験片から測定される格子面間隔 d_0 は測定箇所によって変化し、測定箇所の組織や浸炭状態によって d_0 は異なり、残留ひずみの評価には十分注意する必要があることがわかった。また、本供試材では、はじめピーク強度が約200カウントとなる条件で測定条件を決定したが、再現性のよい結果を得るためには、ピーク強度が少なくとも500カウント以上必要であることがわかった。

Fig.6は、浸炭した歯車の内歯近傍の3方向の格子面間隔 d を測定した結果を示す。図より、半径方向と主軸方向では、ゲージボリューム近傍に浸炭層がある中央部と端部の格子面間隔は歯部より若干高い傾向を示した。一方、ピッチ円周方向では、他の2方向とは逆の傾向を示し、かつ、その変化が大きいことがわかった。そこで、Fig.5の d_0 の実測値から歯車半径方向とピッチ円周方向の残留ひずみ分布を求めた結果をFig.7に示す。図より、2つの歯車の内歯近傍では円周方向に引張残留ひずみが存在することが明らかとなった。今後、クーポン試験片を用いて、主軸方向の格子面間隔 d_0 の測定やゲージボリュームを同一にした測定等により、歯車内部の残留応力を実測し、浸炭処理による残留応力発生や変形挙動を解明して製造工程にフィードバックしたいと考えている。

4. 中性子利用実験への期待

今回の中性子回折実験により、浸炭部品内部の残留ひずみ状態をはじめて実測することができた。これにより、浸炭部品の工程管理をひずみという観点で評価することができると期待しており、測定精度の問題は残されているが、実測データを得ることができた意義は非常に大きい。今後の実験継続により、残留応力状態を正しく評価し、量産部品の信頼性確保と問題克服に繋がりたいと考えている。

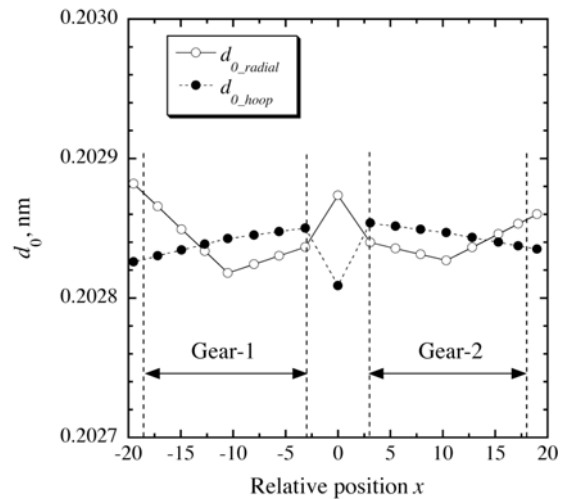


Fig.5 クーポン試験片の格子面間隔の変化

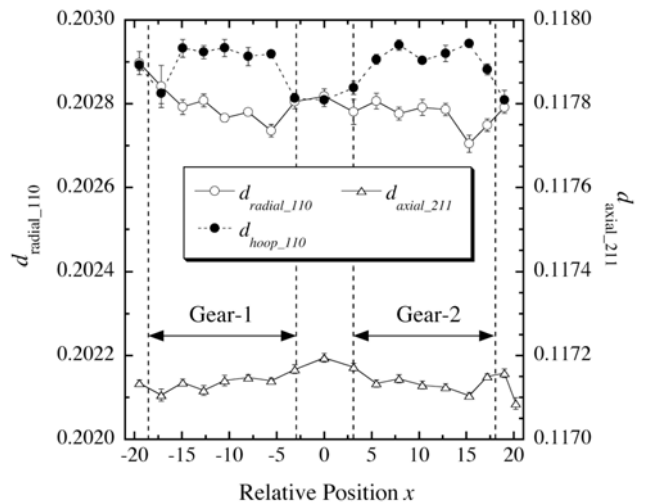


Fig.6 歯車内部の格子面間隔の変化

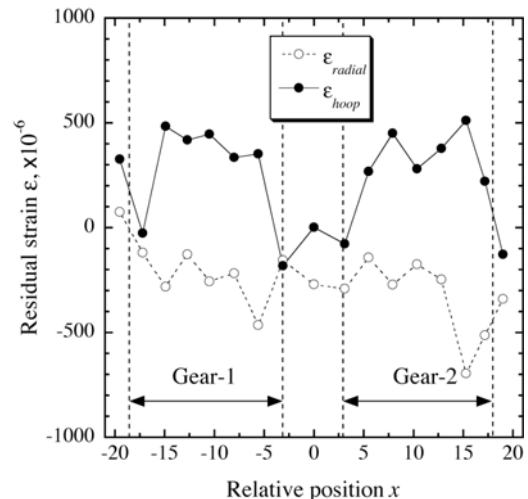


Fig.7 歯車内部の残留ひずみ分布

浸炭炭素鋼の格子定数と残留歪み変化の測定

中性子回折による浸炭炭素鋼の残留ひずみ測定

利用者 𠄎山下道哉¹、中村和昭¹、秋吉祐和¹、磯部恒雄¹、坂井田喜久²、柏木章吾²
 所属 ¹ヤマハ発動機(株)、²静岡大学

1. はじめに

バイク用の鉄鋼部品は、表面の硬度と疲労強度を向上させる目的で浸炭処理を施すが、浸炭残留応力により部品形状が歪み、問題を起こす場合がある。しかし、浸炭による歪発生や変形挙動についてはほとんどわかっていない。本研究では、H18年度上期の実験において、中性子線回折を用いて浸炭した炭素鋼歯車の内部ひずみを実測する手法を検討するとともに、半径方向、軸方向の内部ひずみ分布を測定した。下期は、ピッチ円周方向の内部ひずみの測定方法を検討するとともに、小歯車の内部ひずみ分布を実測した。

2. 実験方法

供試材は、SCM420Hである。実験には、大小歯車を持つ浸炭歯車を用い、Fig.1またはFig.2に示すように、 $2 \times 2 \text{ mm}^2$ に整形した中性子線を小歯車の内歯近傍に照射し、菱形のgage volumeを軸方向に走査することにより、歯車のピッチ円周(Hoop)方向の内部ひずみ分布を測定した。なお、測定回折面は、Fe - 211とした。上期実験では、歯部でHoop方向の211回折は十分な強度が得られず、gage volumeに浸炭層を含んだ110回折からHoop方向のひずみ分布を求めた。下期では、歯先部をワイヤー切断して光路を短くし、211回折による評価を行った。

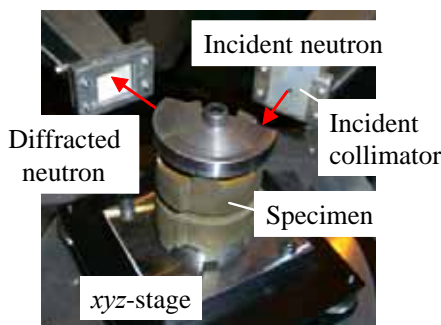


Fig.1 内部ひずみ測定の概略

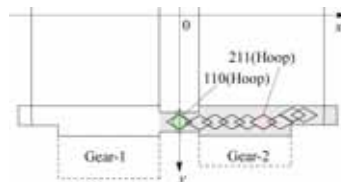


Fig.2 Gage volumeの形状と測定位置

3. 実験結果および考察

Fig.3は、中央部および歯部から測定したFe - 211の中性子線回折強度分布を示す。中央部と小歯部ともに、回折線強度分布はガウス分布で近似でき、小歯部の回折角 2θ は、中央部よりも高角側にシフトしていることがわかる。なお、中性子線の波長は、 2.0732 \AA であった。

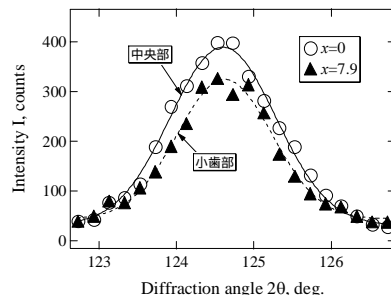


Fig.3 Hoop方向の211回折強度分布

Fig.4は、小歯車の211回折の強度分布から求めた回折面間隔 d_{211} の変化を示す。なお、図には、測定点と同じ場所から切出した小片(クーポン)の211回折の回折面間隔 $d_{0,211}$ もあわせて示した。小歯車歯部のクーポンから測定した回折面間隔 $d_{0,211}$ に対する回折面間隔 d_{211} の変化は、中央部の変化に比べて増加幅が大きく、Fig.5に示すように、歯部のHoop方向に大きな引張の残留ひずみが発生していることがわかる。なお、図には、上期実験の110回折から得られたHoop方向の残留ひずみ分布をあわせて示した。図より、小歯部での残留ひずみは211回折、110回折ともに引張の残留ひずみ分布を示し、中央部に対する変化の傾向はほぼ一致した。ただし、歯部での内部ひずみ分布そのものはわずかに異なった。歯部での内部ひずみ分布が異なる原因には測定のばらつきも含まれるが、測定領域と歯車と寸法関係から考えると、110回折と211回折ではgage volumeが異なり、しかも、110回折では、gage volumeに浸炭層が含まれていることによる影響が大きいと考えられる。その点は今後十分に再検討する必要がある。

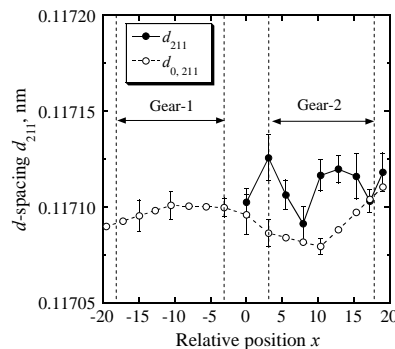


Fig.4 小歯部のHoop方向の回折面間隔

なお、Fig.4に示したように、クーポンのHoop方向に対して測定した回折面間隔 $d_{0,211}$ は、測定位置によって変化した。また、同じgage volumeとなるように歯車の半径(radial)方向に測定したFe - 110の回折面間隔 $d_{0,110}$ についても測定位置により変化する結果となった。一方、実験で用いた浸炭歯車を切断し、測定箇所断面組織観察を行った結果、中央部のクーポンに浸炭層が含まれていることが明らかとなった。中性子線回折による残留ひずみは、

$$= (d - d_0) / d_0$$

で表され、特定の回折面における無ひずみの回折面間隔 d_0 と実際の回折面間隔 d から計算される。浸炭処理鋼では、場所によって有効浸炭深さが異なることも十分考えられるので、今後クーポンの切出し条件や無ひずみの回折面間隔を測定する方法についても再検討する必要があることがわかった。

また、残る大歯部のHoop方向の残留ひずみ分布と歯車主軸(axial)方向の d_0 は未測定であり、今後研究を継続し、歯車の残留応力評価に結びつけたいと考えている。

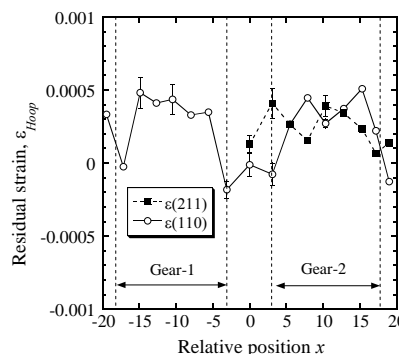


Fig.5 小歯部のHoop方向の残留ひずみ

浸炭した炭素鋼部品内部の 残留ひずみ分布の測定

利用者 坂井田喜久¹、川内基範¹、 朧山下道哉²、秋吉裕和²、磯部恒雄²
 所属 ¹静岡大学、²ヤマハ発動機

1. はじめに

バイク用の鉄鋼部品は、表面の硬度と疲労強度を向上させる目的で浸炭処理を施すが、浸炭残留応力により部品形状が歪み、問題を起こす場合がある。しかし、浸炭による歪発生や変形挙動についてはほとんどわかっていない。本研究では、H18年度の実験で中性子回折により浸炭歯車内部の残留ひずみを非破壊測定する手法を開発し、内歯近傍の残留ひずみ分布を一部測定した。H19年度は、歯部を切落とした歯車を用い、ピッチ円周方向の残留ひずみ分布と、残留応力解析に必要な歯車主軸方向の回折面間隔を測定した。

2. 実験方法

供試材は、SCM420Hで、実験には、大小歯車を持つ変速ギアを浸炭処理した後、Fig.1に示すように歯部を切落とした歯車を用いた。歯車内部の残留ひずみは、 $2 \times 2 \text{ mm}^2$ に整形した中性子線を内歯近傍に照射し、Fig.2に菱形領域で示すGauge volumeを主軸方向に走査することにより、歯車のピッチ円周(Hoop)方向の内部ひずみ分布を測定した。なお、測定回折面は、Fe-211とし、回折中性子線は2次元検出器により測定した。

また、内部ひずみ測定個所と同じ位置からクーポン試験片($2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$)を切出し、同じ光学系で歯車主軸方向のFe-110と211回折の回折面間隔を測定した。

3. 実験結果 および考察

Fig.3は、歯車試験片の歯部とクーポン試験片から測定したFe-211の中性子線回折強度分布を示す。H18年度の実験では0次元検出器を用いたため、図の回折強度分布とは回折線幅が若干異なるが、回折線強度分布はガウス分布で近似でき、大歯車の歯部Fig.3は、歯車試験片の歯部とクーポン試験片から測定したFe-211の中性子線回折強度分布を示す。H18年度の実験では0次元検出器を用いたため、図の回折強度分布とは回折線幅が若干異なるが、回折線強度分布はガウス分布で近似でき、大歯車の歯部の回折角 2θ は、クーポン試験片の回折角よりも若干高角側にシフトしていることがわかる。なお、実験に用いた入射中性子線の波長は、 0.20736 nm であった。

Fig.4は、歯部を切落とした歯車から測定したピッチ円周方向の211回折の回折角度変化と回折面間隔 d_{211} の変化を示す。H18年度に測定した同じサンプルの実験結果と比較すると全体的に圧縮方向に大きくシフトする結果となった。今回の測定では、検出器を0次元検出器から2次元検出器に変更し、計数効率は向上したが、その反面、回折線にノイズが入るなどの不具合も生じたため、この差については本実験では十分検討するには至らなかった。実験系の再検討も含めて、今後再測定する必要がある。

Fig.5は、クーポン試験片を用いて主軸方向の110および211回折の回折面間隔を測定した結果を示す。なお、今回の測定では、クーポン試験片を切出した際に表面に残留するワイヤー加工による加工変質層を十分除去したものをを用いた。歯部から切出したクーポン試験片の結果に注目すると、110回折及び211回折の回折面間隔はほぼ一定の値を示したといえる。一方、フォーク部やドック部から切出したクーポン試験片は、加工変質層は除去したものの浸炭層がまだ残留しており、この領域の回折面間隔は d_0 値として利用できないこともわかった。

Fig.6は、歯部のクーポン試験片の回折面間隔を d_0 値として残留ひずみを求め、3方向の主ひずみから残留応力を計算した結果を示す。今回の測定では、残留応力分布も全体的に圧縮側にシフトする結果となった。H18年とH19年度の測定結果に再現性がない点は大きな課題であり、今後も研究を継続し、実験系を含めて再現性ある実験法を確立する必要がある。

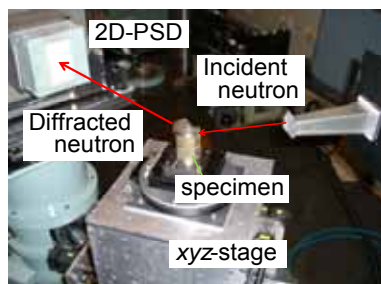


Fig.1 歯車内部の残留ひずみ測定
の概略

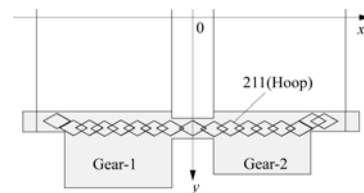


Fig.2 Gauge volumeの
形状と測定位置

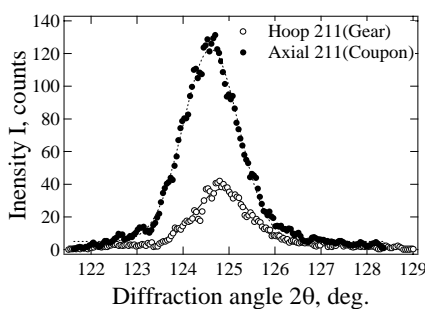


Fig.3 歯部の回折強度分布
(Fe-211)

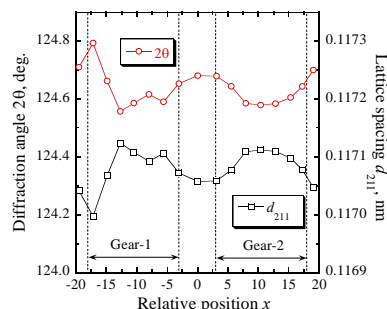


Fig.4 歯部のHoop方向の
 2θ と d の変化

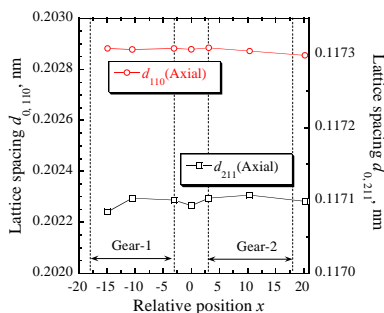


Fig.5 クーポン試験片の d_0 値

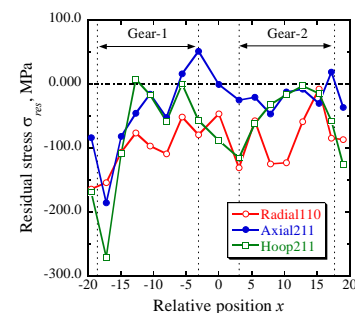


Fig.6 歯車の残留応力分布