

浸炭材表面層の残留応力分布測定技術の開発

Development of Residual Stress Measurement Technology for Carburized Surface Layer

井川 憲¹⁾ 岩崎 勇人¹⁾ 林 眞琴²⁾ 菖蒲 敬久³⁾ 諸岡 聡³⁾ 徐 平光³⁾
Ken IKAWA Hayato IWASAKI Makoto HAYASHI Takahisa SHOBU Satoshi MOROOKA Xu Pingguang

¹⁾川崎重工業株式会社 ²⁾株式会社神戸工業試験場 ³⁾日本原子力研究開発機構

大型タンカーや LNG 船, コンテナ船では, 環境負荷低減の面から燃料消費量の削減や 1 回当たりの運搬積載量を増やすための積載スペースの改良が望まれている. この要求を達成するには, 船に装備されている減速装置の性能向上や小型軽量化が必要である. その最も効果的な方法として, 減速装置内部に構成される浸炭歯車の耐摩耗性及び疲労強度の向上が挙げられる.

浸炭歯車は, 浸炭処理により最表面層に高い圧縮残留応力を付与し, 耐摩耗性及び疲労強度を向上させる. 使用環境に応じて浸炭条件を最適化することで, 歯車の小型化が期待されるが, そのためには浸炭された歯車表面層の残留応力分布を精度よく把握する必要がある. 浸炭層内部の残留応力を非破壊で測定できる手段は中性子回折法だけであるが, 中性子回折法では残留応力評価において無ひずみ状態での格子面間隔が必要となる. 浸炭歯車は, 浸炭に伴い表面近傍から内部にかけて炭素濃度に分布を持つため, 無ひずみ状態での格子面間隔の測定が極めて困難である. 本実験ではこのような組織勾配を有する材料に対する残留応力測定技術の開発を目指す.

キーワード: 残留応力, 表面層応力, 浸炭熱処理材

1. 目的

本実験における目的は, 浸炭熱処理材料のように表面層に組織勾配や炭素濃度分布を有するために無ひずみ状態の格子面間隔の測定が困難な材料に対して, 簡易的に無ひずみ状態の格子面間隔を測定できる方法を提案し, その妥当性を検証することである.

1) 格子面間隔の測定方法

表面層において組織勾配あるいは炭素含有量に分布を有する浸炭熱処理材料に対し, 棒状試料を用いて簡易的に無ひずみ状態の格子面間隔を測定可能な方法を確立する.

2) 妥当性検証

浸炭熱処理を施したモデル歯車を対象として, 上記方法から得られた格子面間隔を用いて歯車内部の残留応力計測を行い, 妥当性を検証する.

2. 方法

有効硬化層深さ約 5mm の低合金鋼製の歯形試験体(炭焼入れ焼き戻し処理品)を作製した. 材料が浸炭処理, あるいは窒化処理されている場合, 無ひずみ状態の格子面間隔は炭素量や窒素量に依存する. 本来であれば測定深さごとに放電加工にて薄膜試料を採取し, 放電加工時に発生する表面の異常層を機械的研磨により除去した上で, 無ひずみ状態の格子面間隔を測定する必要があり, 非常に膨大な作業時間と工数を要する. そこで本実験では無ひずみ状態の格子面間隔を断面積の小さい棒状試料を用いて測定することを考えた. まずは, 炭素濃度に依存した無ひずみ状態の格子面間隔測定用サンプルとして, 歯形試験体の歯部より長さ 15mm の棒状試料を切出した. 棒状試料におけるひずみの解放状態は断面積に依存するため, 本実験では棒状試料の断面積を□1mm~□5mm の5種類の試料を作製した. 計測には JRR-3 の Resa-1 を用いた. 計測時の入射ビームサイズは 2mm×15mm, 検出器側のラジアルコリメータは 2mm, 波長は 1.725 Å, 揺動角度は±45deg., 回折角度は 211 面に合わせて $2\theta = 92.5\text{deg.}$ とした. なお, 測定時間の都合上, 本計測は□2, 3, 5mm の3種類の棒状試料に対して実施した(図 1).

妥当性検証のためのモデル歯車については, 熱処理ままの歯車試験体(未研削歯車試験体)と熱処理完了後に歯部の表層を約 1mm 加工後に 50 μm 研削した歯車試験体(研削歯車試験体)の2つを用意した. それぞれどちらも JRR-3 の Resa-1 で計測を行った. 計測時のゲージ体積は 2×2×15mm, 検出器側のラジアルコリメータは 2mm, 波長は 1.725 Å, 揺動角度は±20deg., 回折角度は 211 面に合わせて $2\theta = 92.5\text{deg.}$ とした. なおひずみ測定は図 2 に示す ε_z (法線方向)及び ε_x (面内方向)の2方向について測定し, 棒状試料から得られた格子面間隔を用いてそれぞれの方向の応力を算出した.

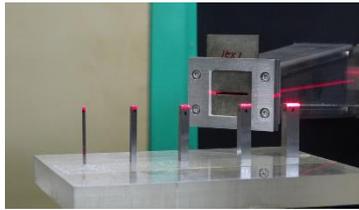
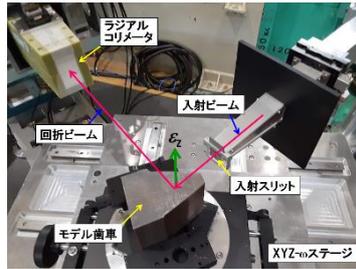
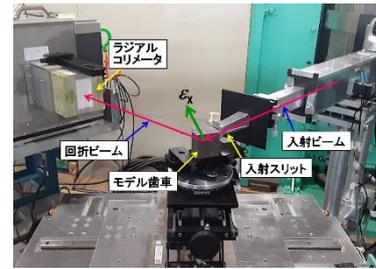


図 1 棒状試料計測の設置状況



(a) ϵ 計測時の設置状況



(b) ϵ 計測時の設置状況

図 2 歯車試験体計測の設置状況

3. 結果及び考察

棒状試料から得られた深さ毎の格子面間隔(211面)を図3に示す。無ひずみ状態の格子面間隔 d_0 が、断面積の減少に伴って収束する傾向は認められない。断面積が小さい場合はゲージ体積も小さくなるため、断面積が小さい $\square 2\text{mm}$, 3mm の計測に関しては、十分な測定精度が得られていない可能性が示唆される。浸炭焼入れに伴うひずみが十分に開放されていない懸念はあるが、 $\square 2\text{mm}$, 3mm よりも測定精度が担保されている $\square 5\text{mm}$ の棒状試料から得られた格子面間隔 d_0 を用いて、未研削歯車及び研削歯車における σ_x 方向(面内方向応力)の残留応力分布を算出した結果を図4に示す。なお残留応力の算出には、モデル歯車の深さデータごとに、 $\square 5\text{mm}$ の棒状試料から得られた深さ毎の d_0 を用いて算出している。面内方向応力について、浸炭ままである未研削歯車の応力分布に関して、研削歯車と比較して表面近傍の圧縮残留応力が低い。未研削歯車は浸炭ままの状態であるため、表層部分で脱炭が生じている可能性が示唆される。研削歯車については、表面近傍が最も圧縮の残留応力値が高く、炭素濃度が低くなる内部に向かって圧縮の残留応力値も低下する一般的な傾向が認められた。しかしながら、表層の圧縮残留応力値と内部の引張残留応力値のバランスは認められなかった。 $\square 5\text{mm}$ から得られた格子面間隔の値が間違っている、もしくは歯車表面近傍に存在する圧縮の応力場の総体積と歯車内部に存在する引張の応力場の総体積でバランスしているため、今回の測定のように歯車に対して、ある1ラインのみの計測ではそのライン上で応力が適切にバランスしない可能性が示唆された。

今後の精度向上に向けては、断面積の小さい棒状試料については適切なゲージ体積で格子面間隔を計測する必要があると考えられる。また妥当性検証のために浸炭歯車の応力分布取得については、1ラインのみの計測ではなく、複数ラインを計測し応力マップ図を作成する必要があると考えられる。

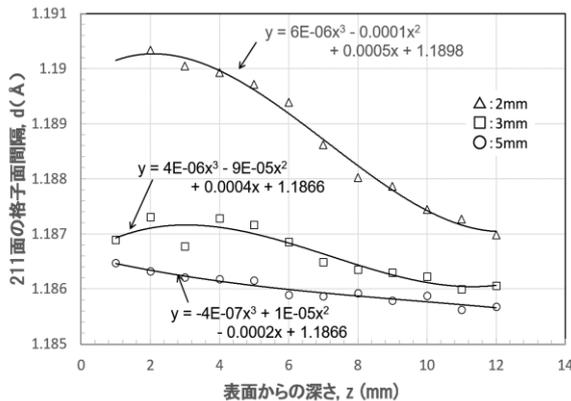


図 3 格子面間隔 d_0

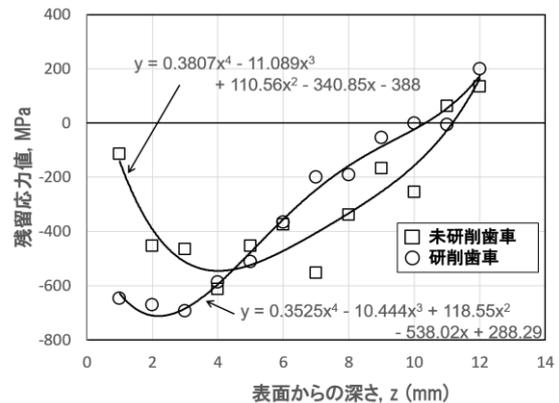


図 4 モデル歯車の残留応力分布

4. 引用(参照)文献等