

中性子線回折法による SCr420 自動車部品の残留応力測定

Neutron Diffraction Measurement of Residual Stress
in SCr420 Automotive part

伊藤 栄一¹⁾ 三浦 健二¹⁾

Eiichi ITO Kenji MIURA

¹⁾アイコクアルファ株式会社

(概要)

自動車部品の一つである等速ジョイントを構成する内輪において、弊社独自の簡易強度試験を行い得られた S-N 線図の工学的な考察を目的として XRD による残留応力測定を行った結果、内歯車表面の残留応力値と寿命に一定の関係性を確認することができた。しかしながら、対象物をカットしての測定であることから、その結果の妥当性を検証するために、非破壊での測定が可能である中性子線回折法により同部位の残留応力測定を行った。

キーワード：自動車部品、中性子線回折、残留応力測定、疲労寿命、内歯車

1. 目的

本中性子回折実験研究により、第 1 段階として、内歯車の歯底近傍の残留応力を周方向に 4 点、軸方向に 3 点測定し、大小の外周溝が斜めに切っている形状や内歯車構造との関連性を調べる。クロム鋼製内輪には浸炭処理が施されており、その硬化層の厚みは 1mm 弱であるので、硬化層と母層を含んだ領域での平均的な 3 方向残留応力を測定することとなる。この値は表面応力とは異なるが、第 1 段階の実験としては、内輪内歯車歯底近傍の応力分布を部品全体で把握することを試み、その結果によって今後の実験計画を立案したい。例えば、部品内部の測定を実施し、内表面から外表面に至る残留応力変化を理解したいと考えている。

等速ジョイントを製作している弊社にとっては、内輪材料内部の 3 方向残留応力分布が非破壊的に取得でき、得られた残留応力値を FEM 解析に利用できれば、内輪の形状および強度設計に大きく貢献できるものと期待している。設計、試作、内部応力測定、力学試験、内部応力測定、のサイクルが回れば、軽量、強靱な部品が誕生する。この技術革新に成功すれば、例えば SUV の操舵性能や旋回性能を向上させるだけでなく、燃費向上をもたらし、排出 CO₂ 削減による地球環境への貢献も期待できる。

2. 方法

測定点近傍から 2×6×10mm の細片を 3 枚切り出し、夫々を一辺 2mm の立方体に切り分けるスリットを入れることにより、加工や熱処理によって生じたひずみを開放して無ひずみ標準試料を作成した。

実験は、まず試料を RESA 装置に設置し、原子炉からガイド管を通して来た白色中性子が、単結晶モノクロメーター (Si400) によって単色波長 (1.5928Å) が回折され、スリットを経て試料に照射される。約 85° の 2θ 方向に出てくる 211 回折ビーム、あるいは約 45° の 2θ 方向に出てくる 110 回折ビームを、ラジアルコリメーターを通して 2 次元中性子検出器で計測した。尚、測定は、12 か所 3 方向の合計 36 測定と、無ひずみ試料での 1 か所 3 方向、2 回折方向の合計 6 測定、総合計 42 測定を行った。

多結晶試料の結晶配向を等方的と仮定して、その分布は正規分布で表されることが考えられるため、測定で得られたデータ (2θ) を使用し、演算により各定数 (ピーク強度、標準偏差、半値全巾等) を表計算ソフトで求めた。測定試料と無ひずみ試料の格子面間隔から弾性ひずみを求め、フックの法則から残留応力を求めた。

3. 結果及び考察

図1にひずみ分布を、図2に応力分布を示すが、まずひずみについては、半径方向（RD）はわずかに引張りひずみとなっており、円周方向（HD）は90°の3点で有意の圧縮ひずみがみられ、軸方向（LD）では一部を除いては圧縮ひずみとなっていることが確認できた。一方応力については、3方向のいずれも90°で圧縮応力を持ち、反対の270°で引張り応力を持つことが確認できる。特に円周方向（HD）の測定では、回折データ品質の影響も考慮する必要があるが、異様に大きな引張り応力となっていた。90°での圧縮応力と合わせて考えると、このような応力の不均衡が製品の破壊へ影響を及ぼしている可能性は示唆される。数値的な評価としては、浸炭窒化焼入れ歯車（SCM420材）の円周方向応力は、1mm深さで900MPa程度の圧縮応力であったという測定例がある⁽¹⁾。

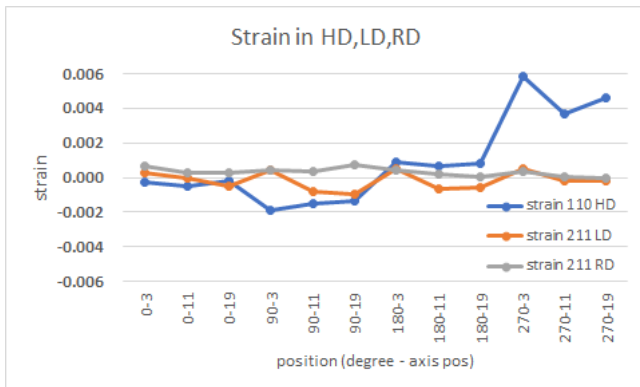


図1 HD,LD,RD 方向のひずみ分布

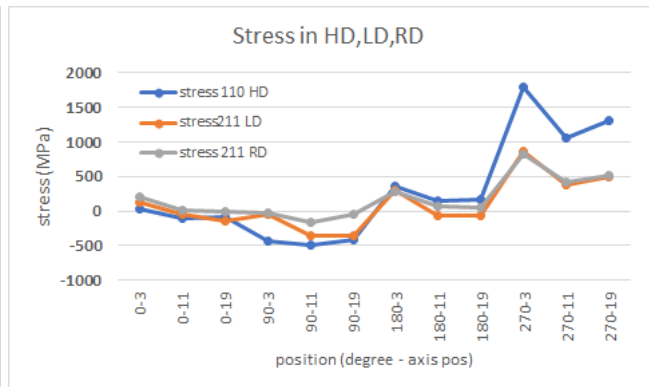


図2 HD,LD,RD 方向の残留応力分布

弊社で事前に行っていたリガク製 XRD による歯底表面における残留応力結果から、表面の円周方向（HD）応力は-890~-460MPa 領域であり、放射線利用振興協会が試みた Pulstec 製 XRD による非破壊検査では-304MPa であった。位置情報が明確ではなく、また、表面と内部であるという違いを考慮して、更なる考察および検証が必要と思われる。

90° ごとの測定で、応力値に違いが見られた点については、製品由来であるのか、あるいは測定上の何らかの見落としがあるのかの考察までは、今回の一連の実験ではできていない。しかしながら、製品には浸炭焼入れ工程での変態ひずみの影響により、楕円傾向が認められていることから、深さ方向の測定位置に再現性がどの程度妥当性があるかは、今後の課題である。

前述の通り非破壊での応力測定を目的とした本実験は課題を残す結果となり、破壊検査による応力測定の妥当性を十分には検証はできなかったが、表面から内部に掛けて不均一な応力分布の存在は確認できた。今後は、この応力測定における、測定位置の明確化および幾何学的な正確化について検討を進めると共に、放射線利用振興協会から助言のあった、Pulstec 製ポータブル型装置を使つての測定についても調査を進めている所である。

4. 引用(参照)文献等

⁽¹⁾ JRR-3 中性子線回折法試験報告書 ((一財) 放射線利用振興協会)