

2次元検出器を用いた ω スキャンによる 残留応力計測の高精度化

ブルカー ○山田 尚 東北大学[院] 高桑 脩
東北大学 祖山 均

Improving accuracy for Residual Stress Measurement using Two Dimensional Detector by Omega Scan

Nao YAMADA, Osamu TAKAKUWA and Hitoshi SOYAMA

1 緒 言

粗大粒子を含む系でのX線残留応力計測を、0次元検出器および1次元検出器を用いて行くと、安定した応力値が得られないことは一般的によく知られている。原因として、粗大粒子の系は均質等方多結晶体という $\sin^2\psi$ 法の仮定から外れることが挙げられる。また、X線照射面積が小さくなるほどその傾向はさらに強くなり、微小部残留応力測定においては粗大粒子の影響を大きく受ける。そのような場合、多軸揺動を行うことで、回折に寄与する結晶を増加させることにより、擬似的に均質多結晶体の条件に近づけることで残留応力の結果が安定し、その揺動軸は1軸よりも2軸、2軸よりも3軸の方が効果的と言われている¹⁾。

しかし、粗大粒子のX線残留応力計測のアプローチについては、多軸揺動が効果的という定性的な知見しかなく、その精度についての具体的な報告はあまりされていない。また、応力方位や ψ 角度等の観点では、揺動する軸数および揺動範囲は最小限にする必要があり、粗大粒子の系における残留応力計測方法および精度の評価が十分行われているとは言えない。

本研究では粗大粒子の系におけるX線回折現象を検証し、最適な揺動方法の検討を行った。さらに、その効果を粗大粒子の影響を受け易い微小部残留応力で検証した。

2 実験装置および方法

2.1 実験装置

粗大粒子の系におけるX線回折現象の検証および応力計測装置として、ブルカー・エイエックスエス社製D8 DISCOVER with GADDSを用いた。理由としては、粗大粒子の系におけるX線回折現象の検証を行うにあたり、試料の結晶状態を正確に判断することができる2次元検出器を搭載している他、多軸揺動が可能であること、微小部残留応力測定が可能であること、X線残留応力評価方法として、材料力学的な基礎に立脚した応力計測が可能である2D法²⁾での評価が可能であることが挙げられる。

2.2 試料

試料として長さ80mm、幅20mm、厚さ2.3mmの冷間圧延鋼板(JIS SPCC)を用いた。また、エメリ紙で研磨して表面に圧縮残留応力を導入した。

2.3 実験方法

粗大粒子の系におけるX線回折現象の検証は、Cr K α 線(管電圧35 kV、管電流40 mA)にて、0.1 mm ϕ のコリメーターを使用し、 α -Fe(211)を ± 4 degの ω スキャンあり、および ω スキャンなしの条件にて計測された2次元回折像を比較して行った。

微小部残留応力測定は、Cr K α 線(管電圧35 kV、管電流40 mA)にて、 α -Fe(211)を ± 4 degの ω スキャンあり、および ω スキャンなしの条件にて2D法により測定を行った。2D法の測定は、Table. 1に示すように ψ と ϕ を変えて21点計測した。さらに、コリメーター径は、0.1, 0.5, 0.8 mm ϕ についてそれぞれ測定を行い、1フレームあたりの計測時間を10, 20, 30, 60, 120, 300, 600, 1200, 1800秒にてそれぞれ測定を行った。また、応力解析は、応力状態をBiaxialと仮定し、ヤング率を210 GPa、ポアソン比を0.28として応力値を算出した。

Table. 1 Measurement condition at 2D method

ψ (deg)	ϕ (deg)
0	0
15	0, 45, 90, 135, 180
30	0, 45, 90, 135, 180
45	0, 45, 90, 135, 180
60	0, 45, 90, 135, 180

3 実験結果

3.1 粗大粒子の系におけるX線回折現象の検証

ω スキャンなしで計測された粗大粒子を含む α -Fe(211)の2次元回折像をFig. 1に示す。 ω スキャンなしの2次元回折像には、複数のスポットが不規則に観測されている。これらのスポットは、個々の粗大粒子からの回折情報である。また、これらのスポットの回折角度 2θ は、残留応力を反映した回折角度を示さなくてはならないが、これらのスポットは広い範囲に不規則な回折角度の分布を示していることが解る。これは、個々の粗大粒子の向きによって、Braggの回折条件を満たす波長が異なっていることに起因する。この現象は粗大粒子効果と呼ばれ³⁾、粗大粒子効果の影響を受けている場合、観測された回折角度は、残留応力を正しく反映していないと言える。実際に粗大粒子効果を受けた2次元回折像を積分して1次元回折像に変換しても、その1次元回折プロフ

ファイルから残留応力を正しく反映した回折角度を導き出すことは困難である。即ち、粗大粒子効果は、個々の粗大粒子が回折条件を満たす入射 X 線の波長の選択性によって生じると言うことができる。

よって、粗大粒子効果を軽減するには、波長分布方向の揺動が最も効果的と考えられる。Fig. 2 に示したように、入射側にモノクロメーターを配置することで、波長分布を 1 方向のみに限定することが可能になる。さらに、モノクロメーターの配置方向を ω 方向にすることによって、多軸揺動ではなく、 ω スキャンのみで波長幅分布方向の揺動が可能になる。Fig. 1 に示したように、 ω スキャンを ± 4 deg 行うだけで、個々の粗大粒子が理想的な平均波長で回折条件を満たすことにより、残留応力を正しく反映した回折像または回折プロファイルを得ることが出来る。

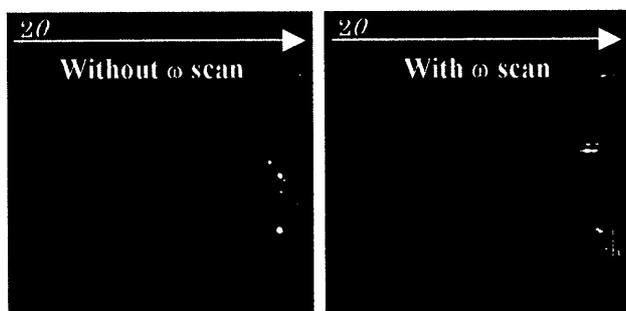


Fig.1 2D and 1D diffraction pattern for Grain sample with ω scan and without ω scan

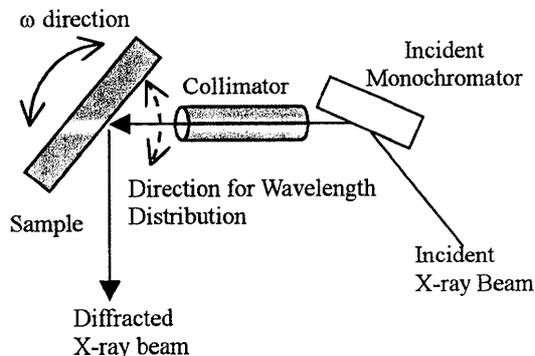


Fig.2 Incident Monochromator Geometry for Micro Diffraction without Effect from Grain Crystal

3.2 ω スキャンによる残留応力計測の高精度化

ω スキャンによる粗大粒子効果の軽減が、残留応力計測において高精度化をもたらすことを考察するために、2D 法にて得られた各コリメーター径での σ_{22} 方向の応力値の計測時間に伴う変化を Fig. 3, 4 に示す。ここで、 σ_{22} 方向は ψ 方向と同一で、 ω の直交方向に相当する。

ω スキャンなしの時は、コリメーター径によって応力値に 50~100 MPa 程度の差が見られ、計測時間を長くしても収束は見られない。特に、0.1 mm ϕ の応力値は、0.5 および 0.8 mm ϕ の応力値との差が大きく、均質等方多結晶体の条件を満たせずに粗大粒子効果の影響を大きく

受けていることが解る。それに対し、 ω スキャン時の応力値はコリメーター径および計測時間に依存せず、ほぼ同一の応力値が安定して得られていることが解る。

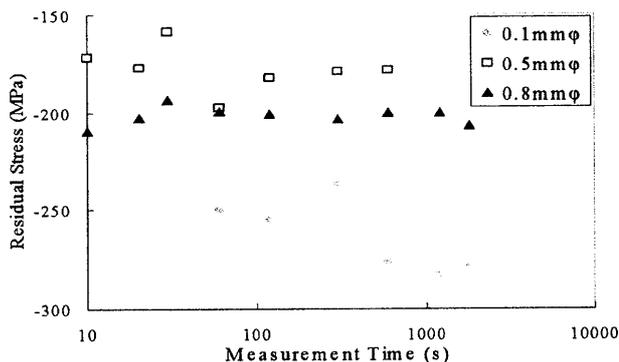


Fig. 3 Comparison for stress values for σ_{22} direction at each diameter of collimators without ω scan

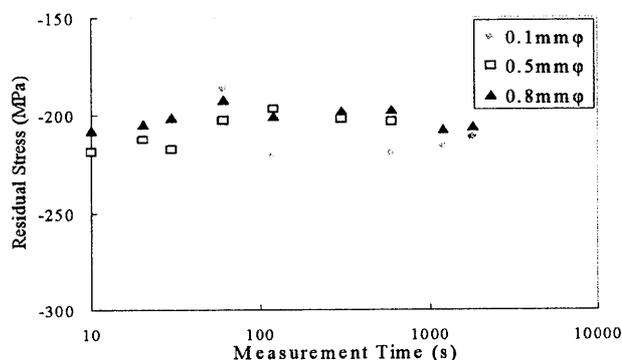


Fig. 4 Comparison stress values for σ_{22} direction at each diameter of collimators with ω scan

4 結 言

入射側にモノクロメーターを設置し、 ω スキャンを行うことで、波長分布方向の揺動効果により、粗大粒子効果を軽減できることが解った。さらに、この効果は残留応力計測においても、コリメーター径および計測時間にほぼ依存せずに高精度な応力値が得られた。これにより、粗大粒子効果を受け易い、微小部残留応力時においても高精度化が確認できた。また、 ω スキャンによる応力計測では、直径約 0.2 mm の亜酸化銅の粗大粒子での報告例もあり⁴⁾、多彩な材料への適用も可能と考えられる。

参考文献

- 1) 田中啓介, 鈴木賢治, 秋庭義明, 残留応力の X 線評価, pp.139-141(2006), 養賢堂.
- 2) He, B.B. and Smith, K.L., "A New Method for Residual Stress Measurement Using An Area Detector", Proceedings of ICRS-5, Linkoping, Sweden, pp.634-639, (1997).
- 3) 中井泉, 泉富士夫, 粉末 X 線解析の実際, pp.116-117(2002).
- 4) 祖山均, 山田尚, 日本材料学会第 55 期学術講演会講演論文集, 261, (2006).