

X線回析法を用いた集合組織材料の応力測定法に関する研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-05 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/16188

氏名	江尻正一
生年月日	
本籍	富山県
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	博甲第279号
学位授与の日付	平成11年3月25日
学位授与の要件	課程博士(学位規則第4条第1項)
学位授与の題目	X線回折法を用いた集合組織材料の応力測定法に関する研究
論文審査委員	(主査) 廣瀬 幸雄 (副査) 茶谷 明義, 小村 照寿, 北川 和夫, 佐々木敏彦

学位論文要旨

ABSTRACT

The purpose of this paper is to establish the X-ray stress measurement for textured materials. It is hard to determine the stress for the textured materials by the commonly used X-ray stress measurement i.e. $\sin^2\psi$ method, because the method demands macroscopic isotropy for the specimen but the specimen has anisotropy. Therefore, the X-ray stress determination for the textured materials is formulated by an average method in this paper. In the method, the strain values are averaged as the expected values around the normal direction of the diffraction plane with the weight function from the crystallite orientation distribution.

学位論文要旨

X線応力測定法の測定原理は、次の4つの仮定:

- (1) 対象とする材料は多結晶体であり巨視的に等方均質な材料である。
- (2) X線照射領域内には十分な数の結晶粒が存在する。通常の条件では結晶粒径が数 $10\mu\text{m}$ 以下の微結晶であること。
- (3) X線照射領域内で応力は一様であること。すなわち、応力こう配をもたないこと。
- (4) X線侵入深さが非常に浅いのでその範囲内での応力状態は平面応力であること。試料表面法線方向の応力成分がゼロ、すなわち、第3の応力主軸が表面法線方向と一致すること。

を設定し、平面応力状態の等方弾性理論に基づいて構築されているため、被測定物に対しては制限が加わる。したがって、優先配向膜や集合組織材などの異方性材料、結晶粒が粗大な材料、X線侵入深さ内で合金成分濃度分布によって格子定数が増減している場合などの応力こう配を有する材料、そして有向性の研削加工などで3軸応力状態となっている材料に対して通常のX線応力測定を用いることはできない。

とりわけ、集合組織を有している実用材料が多くあるため、このような異方性材料に対するX線応力測定法の開発が強く望まれている。近年、集合組織材に対するX線応力測定法の研究が盛んに行われているが、それらは、1978年のV.HaukやH.Dölleらの研究をはじめ、多結晶体構成要素である結晶粒に対する異方弾性理論の適用に立脚している。1987年、M.Barralらは、H.Dölleらの研究を発展させ、 $\sin^2\psi$ 法に対する集合組織の影響を結晶方位分布関数(ODF)を用いて調べている。

このような観点から、本論文は、異方性材料である優先配向材及び集合組織材に対するX線

応力測定法の測定原理及び応力評価法の確立・開発を目指そうとするものである。本論文で扱われる測定理論としては、V. Hauk や H. Dölle の方法の延長線上にあり、X 線回折条件を満たしている個々の結晶粒に対する平均ひずみと被測定材料全体に対する応力の関係は、近似的に各結晶粒に単結晶の弾性理論を適用することにより導出可能であるとしている。また、配向材に対しては TiC 膜、遠心铸造部品そして集合組織材に対しては 2 相ステンレス鋼を採用し、X 線回折法による応力測定を行い、検討を行った。

以下に、優先配向を有する材料に対する測定ひずみと材料中の応力成分との関係に対する定式化を簡単に説明する。

まず、試料の直交座標系 (S 系) として、試料表面内に原点 O を定め、試料表面法線方向に S_3 軸、試料長手方向に S_1 軸、そして、それらと直交する方向を S_2 軸とする右手座標系を張る。次に Fig.1 に示すように、この S 系を Euler 角 ($\phi, \psi, 0$) だけ回転させ、回転後の新 S_3 軸 (L_3 軸) が hkl 回折面の法線方向に一致するように実験室座標系 (L 系) を定める。このとき、S 系から L 系への座標変換行列 ω_{ij} は

$$\omega_{ij} = R_{ij}(\phi, \psi, 0) \quad (1)$$

で与えられるとする。但し、 $R_{ij}(a,b,c)$ は Euler 角 (a,b,c) による変換行列である。

単結晶のひずみ成分 ε_{ij}^C と応力成分 σ_{ij}^C に対する一般化された Hooke 則

$$\varepsilon_{ab}^C = S_{abcd}^C \sigma_{cd}^C \quad (2)$$

に、ひずみ成分、応力成分の各変換則：

$$\varepsilon_{33}^L = \gamma_{3a} \gamma_{3b} \varepsilon_{ab}^C, \sigma_{cd}^C = \pi_{ic} \pi_{jd} \sigma_{ij}^S \quad (3)$$

を代入することによって、回折面法線方向のひずみ成分 ε_{33}^L と試料系の応力成分 σ_{ij}^S の関係として次式を得る。

$$\varepsilon_{33}^L = S_{33ij}^X \sigma_{ij}^S \quad (4)$$

$$S_{33ij}^X \equiv \gamma_{3a} \gamma_{3b} S_{abcd}^C \pi_{ic} \pi_{jd} \quad (5)$$

ここで、 S_{ijkl}^C は単結晶の弾性コンプライアンスであり、 γ_{ij} 及び π_{ij} は、Fig.2 に示すように C 系から L 系、及び C 系から S 系への変換行列である。また、これらの行列は Euler の回転行列及び変換則によって次式で表わされる。

$$\gamma_{ij} = R_{ij}(\alpha, \beta, \gamma), \pi_{ij} = \omega_{ki} \gamma_{kj} \quad (6)$$

回折面法線方向 L_3 軸回りに回転の自由度が存在するため、以下の重み付き平均により多結晶材のひずみ値を求める。

$$\overline{\varepsilon_{33}^L} \equiv \frac{\int_0^{2\pi} f(\gamma) \varepsilon_{33}^L d\gamma}{\int_0^{2\pi} f(\gamma) d\gamma} \quad (7)$$

ここで、 $f(\gamma)$ は X 線回折に寄与する結晶粒の存在確率に依存する重み関数である。すなわち、多結晶材に対する X 線応力・ひずみ関係式を得る。

$$\overline{\varepsilon_{33}^L} = \overline{S_{33ij}^X \sigma_{ij}^S} \quad (8)$$

さらに、試料中の各結晶が S 系に対して角 (ϕ', ψ') の方位に $\langle HKL \rangle$ 優先方位をもつ場合は、その方位軸 F_3 回りに回転させて、ひずみ成分 ε_{33}^L の回転平均を求める⁹⁾。

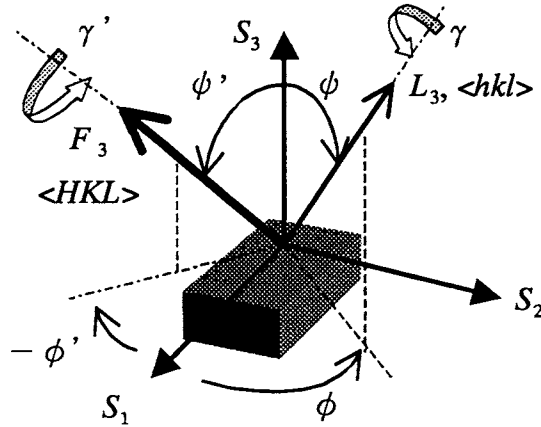


Fig.1 Normal to diffraction plane $\{hkl\}$ and fiber axis $\langle HKL \rangle$ in specimen coordinate system (S).

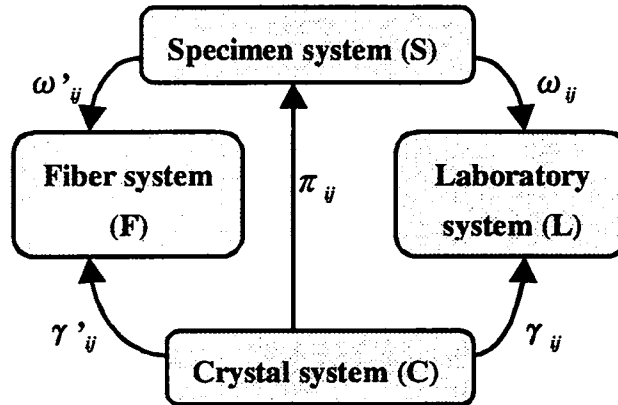


Fig.2 Relation among four coordinate systems and orthogonal tensors.

$$\langle \epsilon_{33}^L \rangle \equiv \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \epsilon_{33}^L d\gamma' \quad (9)$$

ここで、 γ' は Fig.1 で示すように方位軸 F_3 回りの角度を表す。また、これらの Euler 角により優先方位 F_3 軸を有する座標系(F系)を定める。すなわち、S系からF系への変換行列及び、C系からF系への変換行列は次式で与えられる。

$$\omega'_{ij} = R_{ij}(\phi', \psi', 0), \quad \gamma'_{ij} = R_{ij}(\alpha', \beta', \gamma') \quad (10)$$

以上により、優先方位材料の X 線応力 - ひずみ関係として次式を得る。

$$\overline{\langle \epsilon_{33}^L \rangle} = \overline{\langle S_{33ij}^X \sigma_{ij}^S \rangle} \quad (11)$$

次に、本研究論文の内容について、得られた成果を要約して記述する。

第 1 章においては、X 線応力測定法に対する課題を述べ、これまでの X 線応力測定法の発展から、本研究論文の位置付け及び目的について明らかにした。

第 2 章においては、従来の X 線応力測定法である $\sin^2 \phi$ 法の測定理論を、単結晶の弾性理論に基づき、テンソル解析によって体系的に導出し、定式化を行った。

第 3 章においては、試料表面法線方向に $\langle HKL \rangle$ 理想配向している材料に対する X 線応力と測定ひずみの関係を求め、X 線応力測定法の定式化を試みた。 $\langle 111 \rangle, \langle 100 \rangle$ 配向材に対する X 線の弾性定数は回折面依存性を生じないが、他の配向材 $\langle 110 \rangle, \langle 211 \rangle$ などに対する X 線の弾性定数は

回折面依存性を生じることを明らかにし、 $\sin^2\psi$ 線図が不連続値になることを示した。

第4章においては、特定方向に優先方位を有している多結晶材に対するX線応力測定法の定式化を試み、X線応力と測定格子ひずみの関係式を得た。理想配向材の $\sin^2\psi$ 線図は不連続値であったが、優先配向材による $\sin^2\psi$ 線図は連続値をとり、曲線となることを明らかにした。

第5章においては、X線回折現象には測定回折面法線軸回りに回転の自由度が存在することに注目し、ODFを重み関数として測定ひずみ値の平均操作を行い、X線応力と測定ひずみの関係式を得た。また、この関係式の微分形を用いることにより、測定誤差をより低く抑えて応力値が算出できることを2相ステンレス鋼の実験を通して明らかにした。

以上の結果から、結晶粒に対して単結晶の弾性理論に基づき、集合組織材に対するX線応力測定法の基礎式であるX線応力と測定格子ひずみの関係式が得られることを示した。また、本論文により応力評価法として $\sin^2\psi$ 線図の ψ 微分によって得られる可能性を示唆したものと考えられる。

今後の研究課題としては結晶粒の形状及び結晶粒間の相互作用などの境界条件とりいれたX線応力測定法の開発、また、 $\sin^2\psi$ 線図の回帰直線に代わる有効な応力評価法を通して確立する必要がある。

学位論文審査結果の要旨

各審査員によって、さきに提出された学位論文並びに学位申請書類を個別に審査し、平成11年2月11日に開催した口頭発表の内容を踏まえ、同日審査会を開催し協議した。

結果、以下のとおり判定した。

本論文は、繊維配向および集合組織を有する材料に対するX線応力測定法および応力評価法の確立・開発の可能性を検討した。その際、材料の構成要素である結晶粒の配向性は単結晶の弾性理論から得られるものとし、平均操作を行うことにより多結晶材料に対するX線応力測定法の基礎式を求めた。

本論文の内容および成果は、次の2点に要約される。

- 1) 特定方向に優先方位を有している多結晶材料に対するX線応力測定法の基礎式であるX線応力と測定格子ひずみの関係を定式化した。優先配向材の $\sin^2\psi$ 線図は曲線になることを示した。この結果は、今後の応力評価の開発につながるものと期待され、その有効性を支持するものと考えられる。
- 2) X線回折現象に回折面法線軸回りに回転の自由度が存在することから、ODFを重み関数としてX線的弾性定数の平均値を求め、X線応力と測定ひずみの関係式を得た。また、この関係式の微分形から測定誤差を低く抑えて応力値が算出可能であることを明らかにした。この実験結果から、この応力評価法は支持に値するものであると考えられる。

これらの成果は、通常用いられるX線応力測定法である $\sin^2\psi$ 法では、測定が困難であった集合材料の応力測定を可能にするものとして高く評価できる。したがって、本論文は博士論文に十分に値するものと判定する。