X線格子ひずみに及ぼす2次元切削加工層集合組織の影響†

英 崇 夫* 藤 原 晴 夫*

Influence of Texture in Orthogonally-Planed Surface Layer
on X-Ray Lattice Strains

by

Takao HANABUSA and Haruo FUJIWARA

(Faculty of Engineering, The University of Tokushima, Tokushima)

This paper describes the effect of machining textures on lattice strain ϵ'_{33} vs. $\sin^2\psi$ relation. A general relation between X-ray lattice strain and applied stress was formalized for an anisotropic single crystal. The calculations under the Reuß model assumption revealed that the ϵ'_{33} vs. $\sin^2\psi$ relation for a textured material had a systematic deviation from a linear or an elliptic distribution, which is, respectively, a typical feature in the uniaxial or the shear stress state of an isotropic and homogeneous material. The non-symmetric machining textures were found to disturb the strain distribution and also cause ψ -splitting even if the stress state was uniaxial.

The experimental measurements showed that an orthogonally planed pure iron had an extreme texture which could be approximately given by rotation of the cold-rolling texture about its transverse axis. The results of the measurements for 200 diffraction showed no residual shear stress and those for 211 diffraction showed ψ -splitting due only to the machining texture. The distribution of lattice spacing measured for 211 diffraction in the $\sin^2\psi$ diagram coincided qualitatively with the values calculated under the Reuß model assumption for each pole of the ideal machining textures.

(Received Aug. 10, 1983)

キー・ワード：X線応力測定，2次元切削，集合組織，弾性異方性， ψ スプリット

1 緒 言

切削・研削加工層など有向性加工を施した表面の残留応力をX線測定する際、X線浸入深さ範囲内の可干渉領域中に存在する微視的残留せん断応力が原因して $\sin^2\psi$ 線図上のひずみ分布にだ円状 ψ スプリットの生じることが明らかになっている¹⁾²⁾。試料表面法線方向を試料座標系の第3軸にとったとき、その座標系で表した σ_{31} , σ_{23} の成分がそれである。これらの応力をX線浸入深さ範囲における平均的応力とみなし一定と仮定すると $\psi \geq 0$ に対するひずみ分布は完全なだ円形を呈する。しかし、これらの応力成分は表面では0でなければならないので必ず応力こう配を有するし、またその他の成分もこの配をもつ。このような場合にはだ円状ひずみ分布³⁾⁴⁾の形が阻害されることが解析的に明らかになっている。

さらに筆者らは、切削加工層では ψ 角の変化に伴う回折強度に特徴的な分布が見られ、鉄鋼材料では炭化

物の少ない材料ほどその変化が著しいことを明らかにした。しかも、強度変化の著しい材料ほど $\sin^2\psi$ 線図上のひずみ分布がだ円に近似しがたくなることも明らかにしている。すなわち、これらの結果から、切削加工特有の集合組織がX線のひずみ分布に少なからず影響を及ぼしていることが推測される。

本研究は切削加工層の集合組織が冷間圧延材の集合組織を使って表現できるものと仮定して、その理想集合組織状態の下での格子ひずみ分布をReußモデルについて解析検討し、純鉄2次元切削加工層における実験結果と比較検討して、集合組織がひずみ分布に及ぼす影響を明らかにするものである。

2 異方性弾性材料の応力-ひずみの関係

まず単結晶の応力-ひずみの関係を導いておく。結晶座標系を (x_1, x_2, x_3) で表し、それぞれを単結晶格子の $[100]$, $[010]$, $[001]$ 方向に沿う単位ベクトルとする。また試料に取付けた座標系(試料座標系)を (P_1, P_2, P_3) , 実験室系を (L_1, L_2, L_3) で表しておく。各座標間の関係は Fig. 1 に示すとおりであり、

† 原稿受理 昭和58年8月10日

* 正 会 員 徳島大学工学部 徳島市南常三島町

Fig. 1. Relation among three coordinate systems.

Fig. 2. Relation among systems in terms of transformation matrices.

またこれらの関係を Fig. 2 に図式で示す。同図には後の参考のために圧延材の座標系 (B_1, B_2, B_3) も示してある。矢印で結んだ, $\underline{\gamma}$, $\underline{\pi}$, $\underline{\omega}$ などは各座標系間の方向余弦のマトリックスを表す。

さて, L_3 方向の垂直ひずみ ϵ'_{33} を結晶系 (x_i) のひずみテンソル ϵ^*_{ij} で表現すると

$$\begin{aligned}\epsilon'_{33} &= \gamma_{3i} \gamma_{3j} \epsilon^*_{ij} \\ &= \gamma_{31}^2 \epsilon^*_{11} + \gamma_{32}^2 \epsilon^*_{22} + \gamma_{33}^2 \epsilon^*_{33} \\ &\quad + 2(\gamma_{32} \gamma_{33} \epsilon^*_{23} + \gamma_{33} \gamma_{31} \epsilon^*_{31} + \gamma_{31} \gamma_{32} \epsilon^*_{12}) \quad (1)\end{aligned}$$

が得られる。立方晶の場合、結晶系 (x_i) における応力-ひずみの関係式は次式で表される。

$$\left. \begin{aligned}\epsilon^*_{11} &= (s_{11} - s_{12}) \sigma^*_{11} + s_{12} (\sigma^*_{11} + \sigma^*_{22} + \sigma^*_{33}), \\ \epsilon^*_{22} &= (s_{11} - s_{12}) \sigma^*_{22} + s_{12} (\sigma^*_{11} + \sigma^*_{22} + \sigma^*_{33}), \\ \epsilon^*_{33} &= (s_{11} - s_{12}) \sigma^*_{33} + s_{12} (\sigma^*_{11} + \sigma^*_{22} + \sigma^*_{33}), \\ 2\epsilon^*_{23} &= s_{44} \sigma^*_{23}, \quad 2\epsilon^*_{31} = s_{44} \sigma^*_{31}, \quad 2\epsilon^*_{12} = s_{44} \sigma^*_{12}\end{aligned} \right\} \quad (2)$$

我々の目的は ϵ'_{33} を試料座標系 (P_i) の応力テンソル σ_{ij} で表すことであるから σ^*_{ij} と σ_{ij} の関係を知る必要がある。Fig. 2 の関係より $\underline{\pi}$ マトリックスを使うと

$$\sigma^*_{ij} = \pi_{mi} \pi_{nj} \sigma_{mn} \quad (3)$$

であり、式(1)に式(2)および(3)を順次代入して整理すると

$$\begin{aligned}\epsilon'_{33} &= s_0 \sum_i \sum_j \sigma_{ij} M_{ij} + s_{12} (\sigma_{11} + \sigma_{22} + \sigma_{33}) \\ &\quad + \frac{1}{2} s_{44} \sum_i \sum_j \sigma_{ij} \left(\sum_k \gamma_{3k} \pi_{ik} \right) \left(\sum_k \gamma_{3k} \pi_{jk} \right) \quad (4)\end{aligned}$$

となる。ここで s_0 と M_{ij} は次式のようにおいた。

$$s_0 = s_{11} - s_{12} - \frac{1}{2} s_{44}, \quad M_{ij} = \sum_k \gamma_{3k}^2 \pi_{ik} \pi_{jk}$$

γ_{3k} は測定ひずみ ϵ'_{33} 方向の結晶座標系 (x_i) に関

Fig. 3. Definition of rolling system and rolling textures.

する方向余弦の成分であり、回折面 (hkl) が与えられると次式で決定される。

$$\begin{aligned}\gamma_{31} &= \frac{h}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}, \quad \gamma_{32} = \frac{k}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}, \\ \gamma_{33} &= \frac{l}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \quad (5)\end{aligned}$$

π_{ij} は試料座標系 (P_i) と結晶座標系 (x_i) 間の関係である。圧延材のように優先方位をもつ場合には、圧延板からの試料の取出し方によって特定の結晶方位が試料座標軸の方向にそろってくる。この状況を考慮するための中間座標として圧延座標系 (B_i) を導入する。圧延座標系としては Fig. 3 に示すように B_1 軸を圧延方向 (RD), B_2 軸を圧延直角方向 (TD), B_3 軸を圧延面法線方向 (ND) と定義する。

一般に圧延集合組織は $(n_1 n_2 n_3)[w_1 w_2 w_3]$ で記述され、結晶座標系 (x_i) から圧延座標系 (B_i) への座標変換マトリックス成分 β_{ij} は次式で表される。

$$\left. \begin{aligned}\beta_{11} &= \frac{w_1}{\sqrt{w_1^2 + w_2^2 + w_3^2}}, \quad \beta_{12} = \frac{w_2}{\sqrt{w_1^2 + w_2^2 + w_3^2}}, \\ \beta_{31} &= \frac{n_1}{\sqrt{n_1^2 + n_2^2 + n_3^2}}, \quad \beta_{32} = \frac{n_2}{\sqrt{n_1^2 + n_2^2 + n_3^2}}, \\ \beta_{21} &= \beta_{13} \beta_{32} - \beta_{12} \beta_{33}, \quad \beta_{22} = \beta_{11} \beta_{33} - \beta_{13} \beta_{31}, \\ \beta_{13} &= \frac{w_3}{\sqrt{w_1^2 + w_2^2 + w_3^2}}, \\ \beta_{33} &= \frac{n_3}{\sqrt{n_1^2 + n_2^2 + n_3^2}}, \\ \beta_{23} &= \beta_{12} \beta_{31} - \beta_{11} \beta_{32}\end{aligned} \right\} \quad (6)$$

ここで圧延座標系 (B_i) に対して試料座標系 (P_i) を任意の向きにとるとすれば, B_i 系から P_i 系への座標変換マトリックス成分 η_{ij} を使って $P_i = \eta_{ij} B_j$ と書くことができる。もし Fig. 4 に示すように、圧延集合組織をもつ B_i 系を B_2 軸 (TD 軸) のまわりに $\Delta\psi$

Fig. 4. Relation between rolling system and unidirectionally deformed specimen system.

だけ回転して切削加工材の P_i 系が作られると仮定すると

$$\eta = \begin{pmatrix} \cos \Delta\psi & 0 & -\sin \Delta\psi \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \Delta\psi & 0 & \cos \Delta\psi \end{pmatrix} \quad (7)$$

で η_{ij} 成分が与えられる。 π_{ij} , η_{ij} および β_{ij} の間には

$$\pi_{ij} = \eta_{im} \beta_{mj} \quad (8)$$

の関係があるから式(6)と(7)の β_{ij} と η_{ij} 成分を用いて π_{ij} 成分を計算することができる。

さて、式(4)の右边第3項は P_i 系から L_i 系への変換マトリックス ω を使うと次の形に整理できる。

$$\frac{1}{2} s_{44} \sum_i \sum_j \sigma_{ij} \left(\sum_k \gamma_{3k} \pi_{ik} \right) \left(\sum_k \gamma_{3k} \pi_{jk} \right) = \frac{1}{2} s_{44} \sum_i \sum_j \sigma_{ij} \omega_{3i} \omega_{3j} \quad (9)$$

一般に Fig. 1 に示したように L_3 の投影が P_1 , P_2 の作る平面(試料表面)内の任意の方向(φ)にある場合、 ω_{ij} は

$$\omega = \begin{pmatrix} \cos \psi \cos \varphi & \cos \psi \sin \varphi & -\sin \psi \\ -\sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ \sin \psi \cos \varphi & \sin \psi \sin \varphi & \cos \psi \end{pmatrix} \quad (10)$$

である。この ω_{ij} の値を用いて式(4)を書き直すと

$$\begin{aligned} \varepsilon'_{33} = & s_0 \sum_i \sum_j \sigma_{ij} \left(\sum_k \gamma_{3k}^2 \pi_{ik} \pi_{jk} \right) + s_{12} (\sigma_{11} + \sigma_{22} + \sigma_{33}) \\ & + \frac{1}{2} s_{44} \sigma_{33} + \frac{1}{2} s_{44} (\sigma_{11} \cos^2 \varphi + \sigma_{12} \sin 2\varphi + \sigma_{22} \sin^2 \varphi \\ & - \sigma_{33}) \sin^2 \psi \\ & + \frac{1}{2} s_{44} (\sigma_{23} \sin \varphi + \sigma_{31} \cos \varphi) \sin 2\psi \end{aligned} \quad (11)$$

が得られる。すなわち、右边第1項を除いて他の項は試料座標系に対するX線測定方向(φ , ψ)によって完全に記述され、異方性の効果は第1項のみに表れることが理解できる。

3 理想集合組織材の格子ひずみ

前節で異方性単結晶材料の応力-ひずみの関係を調べた。多結晶材料の場合、結晶粒相互の拘束により各結晶粒の変形機構は複雑であるが、弾性挙動はおおむね一定応力の ReuB モデルに近い挙動をするという実験結果^(8,9)を支持すれば、単結晶について求めた関係式⁽¹⁰⁾を多結晶材に応用できる。以下 Dölle と Hauk の解析を踏襲して理想方位を有する集合組織材のひずみを計算する。

さて、圧延集合組織を理想方位で表し、また圧延系からの試料の採取方位を定めたとき、 (hkl) 面法線は任意の方向には存在せず、特定方向にのみ ε'_{33} の測定が可能になる。集合組織と試料系が与えられた場合に、いかなる(φ , ψ) 方向に (hkl) 面法線が向くかを調べなければならないが、これにはステレオ投影による方法が図式的で理解しやすい。

純鉄冷延集合組織としてよく知られた理想方位は

□ (001) [100]; △ (111) $[\bar{1}\bar{1}2]$, (111) $[11\bar{2}]$; ○ (112) $[\bar{1}\bar{1}0]$, (112) $[\bar{1}10]$.

Fig. 5. {011} and {001} poles for five ideal rolling textures.

□ (001) [100]; △ (111) $[\bar{1}\bar{1}2]$, (111) $[11\bar{2}]$; ○ (112) $[\bar{1}\bar{1}0]$, (112) $[\bar{1}10]$.

Fig. 6. {112} poles for ideal rolling textures and those tilted by 20 degrees about TD axis.

(001) $[\bar{1}10]$, (111) $[\bar{1}\bar{1}2]$, (112) $[\bar{1}\bar{1}0]$

である。多結晶材料の場合RDおよびTD軸に関する対称性を考慮して、上記方位に加えて

(111) $[\bar{1}\bar{1}2]$, (112) $[\bar{1}10]$

も考慮することにする。

Fig. 5 (a), (b) および Fig. 6 (a) はそれぞれ上記五つの理想方位に対する{011}, {001}および{112}極を描いたものである。RD方向から基本円周上に測った角が φ 、ステレオ投影の中心からの角度が ψ で、極の現れる方向にそれぞれの hkl 回折線が得られる。上記五つの理想冷延集合組織に対して $\varphi=0$ 方位に現れる極とその試料面法線に対する ψ 角をTable Iに一例として挙げた。Fig. 6 (b)はFig. 6 (a)の{112}極点図をTD軸まわりに $\Delta\psi=20^\circ$ だけ回転したものであり、極の現れ方はTD軸に関して非対称になる。

Fig. 7はTable Iに示したような集合組織と極方位に対して、それぞれ

$$\text{I: } \sigma = \begin{pmatrix} \sigma_{11} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad \text{II: } \sigma = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \sigma_{31} \\ 0 & 0 & 0 \\ \sigma_{31} & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

の二つの応力状態について $\varphi=0^\circ$ での $\varepsilon'_{33}/\sigma_{11}$, $\varepsilon'_{33}/\sigma_{31}$ を式(11)に基づいて計算した結果である。ただし

Table I. $\{112\}$ poles for the ideal rolling textures at $\phi=0^\circ$.

$(n_1 \ n_2 \ n_3)$	$(w_1 \ w_2 \ w_3)$	$(h \ k \ l)$	$\psi(\text{deg})$
(1 1 1)	$(1 \ 1 \ \bar{2})$	$(1 \ 1 \ \bar{2})$	-90.00
(1 1 1)	$(\bar{1} \ \bar{1} \ 2)$	$(\bar{1} \ \bar{1} \ 2)$	-90.00
(1 1 2)	$(1 \ \bar{1} \ 0)$	$(\bar{1} \ 2 \ 1)$	-60.00
(1 1 2)	$(\bar{1} \ 1 \ 0)$	$(2 \ \bar{1} \ 1)$	-60.00
(0 0 1)	$(1 \ 1 \ 0)$	$(\bar{1} \ \bar{1} \ 2)$	-35.26
(1 1 1)	$(1 \ 1 \ \bar{2})$	$(1 \ 1 \ 2)$	-19.47
(1 1 2)	$(1 \ \bar{1} \ 0)$	$(1 \ 1 \ 2)$	0.00
(1 1 1)	$(\bar{1} \ \bar{1} \ 2)$	$(1 \ 1 \ 2)$	19.47
(0 0 1)	$(1 \ 1 \ 0)$	$(1 \ 1 \ 2)$	35.26
(1 1 2)	$(\bar{1} \ 1 \ 0)$	$(\bar{1} \ 2 \ 1)$	60.00
(1 1 2)	$(1 \ \bar{1} \ 0)$	$(2 \ \bar{1} \ 1)$	60.00
(1 1 1)	$(\bar{1} \ \bar{1} \ 2)$	$(\bar{1} \ \bar{1} \ 2)$	90.00
(1 1 1)	$(1 \ 1 \ \bar{2})$	$(1 \ 1 \ \bar{2})$	90.00

□ $\epsilon'_{33}/\sigma_{11}$, ○● $\epsilon'_{33}/\sigma_{31}$.
Thick elliptic lines and thin straight lines represent the strain distribution under uniaxial stress state (σ_{11}) and shearing stress state (σ_{31}), respectively, for a material without textures.

Fig. 7. Effect of ideal rolling textures on strain distribution.

$s_{11}=7.57 \times 10^{-6} \text{MPa}^{-1}$, $s_{12}=-2.82 \times 10^{-6} \text{MPa}^{-1}$, $s_{44}=8.62 \times 10^{-6} \text{MPa}^{-1}$ である。集合組織をもたない系について実線で描いたひずみ分布と比較すると、集合組織を有する材料については200回折は実線に一致するひずみが各々の極方位に対して得られるが、110および211回折では集合組織の存在によって実線からの偏差が生じる。同様のことは $\Delta\psi=20^\circ$ の場合に対して計算したFig. 8についても言える。また同図の211回折の図およびFig. 9に細い破線で示したように、 $\Delta\psi \neq 0^\circ$ の場合は一軸応力状態においても ψ の正負に従って $\sin^2\psi$ 線図上で異なるひずみ分布(広義の ψ スプリット)を与えることがわかる。

Fig. 9には $\Delta\psi$ の種々の値について上記二つの応力状態でのひずみ分布を示した。同じ理想集合組織状態で

Fig. 8. Effect of ideal textures tilted by 20 degrees about TD axis of rolling texture on strain distribution. Symbols are the same as those in Fig. 7.

Fig. 9. Variation of strain distribution with increasing tilt angle. Symbols are the same as those in Fig. 7.

Fig. 10. Effect of transverse stress σ_{22} on strain distribution in textured material.

も試料の採取方位、すなわち $\Delta\psi$ の値に従って格子ひずみ分布の形が変化する。ここに計算したBCC鉄の場合、第IIの応力状態(せん断応力状態)では、結晶方位が等分布の場合に得られるひずみの円分布をゆがめるとともに $\Delta\psi$ が0でない場合、とくに $\psi=0^\circ$ 付近のひずみ分布に特徴的な形が現れる。

また当然のことながら、Fig. 10に示すように σ_{22} の存在によっても格子ひずみは非直線性を示し、 $\Delta\psi \neq 0^\circ$ のとき ψ スプリットを生じる。実際の場合には集合組織の状態、各応力成分の値が互いに影響を及ぼしあって $\sin^2\psi$ 線図上の複雑なひずみ分布が決ってくる。

4 実験方法

理想集合組織を仮定して $\sin^2\psi$ 線図上のひずみ分布を理論的に計算したが、このような情況の実証のため、純鉄焼なまし材の薄片を仕上用平バイトでシェーパ加工した試験片を用意した。すくい角 12.4° 、にげ角 8.0° 、切削速度は 12.6 m/min で約 $10 \mu\text{m}$ の切込みで1回のみ切削した。試料方位はバイトすくい面方向を $\varphi=0^\circ$ とし試料面に向かって反時計方向に ψ をとった。この切削仕上面に対して切削加工層集合組織を調べるため、 $\text{CrK}\alpha$ 線 (30 kVP , 8 mA) を用いて 110, 200および211回折線の強度分布を測定した。測定間隔は ψ は全方位にわたって 30° 間隔, φ は 0° から 60° までを 5° 間隔にとった。また、X線ひずみ測定は全回折角応力測定装置を用いて200および211回折について測定した。

5 実験結果および考察

5・1 切削加工層集合組織の測定

Fig. 11 は110, 200および211回折の切削方向における回折強度曲線のピーク強度を粉末から得た強度分布で修正して描いたものである。わずか $10 \mu\text{m}$ の切込であるにもかかわらず ψ による強度変化は顕著であり、著しい集合組織の形成がうかがえる。211回折の強度分布は前報の実験結果と全く同一であった。

Fig. 11. Measured intensity distribution at $\varphi=0^\circ-180^\circ$ for orthogonally planed pure iron.

Fig. 12 は全方位からとった回折ピークをもとに極点図を示したものであり、切削方向 ($\varphi=0^\circ-180^\circ$) 軸に対しては対称、切削直角方向 ($\varphi=90^\circ-270^\circ$) 軸に対しては非対称な切削加工層特有の集合組織を有していることがわかる。切削集合組織と圧延集合組織を比較するために、圧延集合組織の理想方位をその TD 軸のまわりに 20° 回転して得られる極を同図にプロットするとほぼ実測の極大位置に一致するので、Fig. 4 に示したように切削加工層集合組織は冷延集合組織を TD 軸のまわりに $4\psi=20^\circ$ だけ傾けて切出したもので近似できる。ただし、前述の (111) $(\bar{1}\bar{1}2)$ 成分は極点図の極大位置に一致しないものもあるため副方位的な存在であろうと考えられる。

○ (112) $(\bar{1}\bar{1}0)$, (112) $(\bar{1}\bar{1}0)$; △ (111) $(\bar{1}\bar{1}0)$, (111) $(\bar{1}\bar{1}0)$; □ (001) $(\bar{1}\bar{1}0)$.

Fig. 12. Measured pole figures for orthogonally planed pure iron and poles for textures tilted by 20° about TD axis of ideal rolling textures.

5・2 切削加工面のひずみ測定

Fig. 13 は加工面から得た200回折の加工方向および直角方向の $d\text{-}\sin^2\psi$ 線図である。もともと回折強度が小さいうへ、Fig. 11 のように強度変化が著しいので Fixed time 法で4回の測定値 (Gauß 近似) を平均した。図より系統的な非直線性かつ ψ スプリットは認められないので $\sin^2\psi$ 法により応力値を計算した結果、 $\sigma_{11}^{Bt}=469\pm 50 \text{ MPa}$, $\sigma_{22}^{Bt}=606\pm 80 \text{ MPa}$ であった (90%信頼限界)。ちなみに Dölle と Hauk の方法¹³⁾を使って3軸解析した結果は

$$\sigma = \begin{pmatrix} 761 & 0 & 3 \\ & 885 & 0 \\ & & 288 \end{pmatrix} \text{ MPa}$$

であり、 $(\sigma_{11}-\sigma_{33})^{T_{ri}}$ および $(\sigma_{22}-\sigma_{33})^{T_{ri}}$ の値は

Fig. 13. Interplanar spacing vs. $\sin^2\psi$ measured for 200 diffraction of orthogonally planed pure iron.

Fig. 14. Interplanar spacing vs. $\sin^2\psi$ measured for 211 diffraction of orthogonally planed pure iron and calculated for ideal poles of textured material.

$\sin^2\psi$ 法による σ_{11}^{Bi} , σ_{22}^{Bi} とよく一致し、残留せん断応力 σ_{31}^{Tri} は無視できる値である。

Fig. 14 に211回折線から半価幅法により得られた実測値を丸印で示す。 $\varphi = 0^\circ - 180^\circ$ では明らかに非直線性および ψ スプリットが見られ、 $\sin^2\psi = 0.5$ 付近で交差して8の字形の分布をする。この結果は前報 Fig. 7 の結果を良く再現している。図の直線は200回折の実験結果から $\sin^2\psi$ 法により求めた応力値を使って均質・等方性体の仮定の下に計算した格子面間隔の分布であり、三角印（破線で結んである）は圧延理想方位をTD軸まわりに 20° 傾けて得られる極方位で式(11)により計算した値である。実験値に完全に一致するものではないが $\sin^2\psi = 0.5$ 付近で交差する定性的な一致は満足し得る結果と言える。また $\varphi = 90^\circ$ では計算値と実験値がよく一致した。

このように純鉄切削加工表面では残留せん断応力はほぼ無視できるが、切削加工層特有の非対称な集合組織が原因して $\sin^2\psi$ 線図上に ψ スプリットを生じることが明らかになった。もちろん、第2相（セメンタイト相など）の存在する中高炭素鋼では集合組織形成が純鉄ほど著しくなく、このような場合には微視的残留

せん断応力がだ円状 ψ スプリット挙動に対して重要な役割を演じることは推測するのに困難でない。

6 結 言

異方性単結晶の3軸応力状態でのX線測定ひずみの式を定式化し、Reußモデルを仮定して理想集合組織を有する材料のひずみ分布を計算した。そして切削加工層の集合組織が冷延集合組織をそのTD軸のまわりに回転したもので近似できると仮定して、その集合組織が格子ひずみにどのように影響するかを検討した。

その結果、切削加工特有の組織流動に關係する集合組織が存在すると、 σ_{11} 成分のみによっても ψ の正負でのひずみの値が異なることを、また σ_{31} 成分への効果はだ円状ひずみ分布の形をゆがめる原因になることが明らかになった。

また、純鉄2次元切削加工層の集合組織を実測した結果、圧延集合組織を約 20° だけTD軸のまわりに傾けたもので近似することができた。さらにX線ひずみ測定結果では(200)面を使って残留せん断応力が無視できること、また(211)面の格子ひずみは $\sin^2\psi$ 線図上で非直線性、 ψ スプリットを生じ、これは測定方向の非対称集合組織と試料面内方向の応力成分 σ_{11} および σ_{22} の相互作用によるものであることを明らかにした。

(昭和58年7月21日 第20回X線材料強度に関するシンポジウムにて講演)

参 考 文 献

- 1) 英 崇夫, 藤原晴夫, 材料, **30**, 1095 (1981).
- 2) 英 崇夫, 藤原晴夫, 材料, **31**, 227 (1982).
- 3) W. Lode und A. Peiter, HTM, **35**, 148 (1980).
- 4) 英 崇夫, 大阪大学学位論文 (1982).
- 5) 英 崇夫, 藤原晴夫, 材料, **32**, 245 (1983).
- 6) 本田和男, 細川智生, 有間淳一, 常永寿伸, 材料, **18**, 1053 (1969).
- 7) 本田和男, 細川智生, 皿井孝明, 非破壊検査, **26**, 539 (1977).
- 8) 有間淳一, 細川智生, 本田和男, 材料, **18**, 1060 (1969).
- 9) 本田和男, 細川智生, 皿井孝明, 材料, **27**, 278 (1978).
- 10) H. Dölle and V. Hauk, Z. Metallkde., **69**, 410 (1978).
- 11) 長島晋一, “集合組織”, p. 16 (1966) 日本金属学会.
- 12) 日本材料学会編, “X線材料強度学”, p. 160 (1973) 養賢堂.
- 13) H. Dölle and V. Hauk, HTM, **31**, 165 (1976).