冷延軟鋼板における集合組織とヤング率の異方性*

北 川 孟**

Anisotropy of Young's Modulus and Texture in
Cold Rolled Mild Steel

by

Hajime KITAGAWA

(Research Laboratories, Kawasaki Steel Corporation, Chiba)

In order to study the possibility of calculating the Young's modulus, E , for a cold rolled mild steel sheet on the basis of its texture represented by the three-dimensional orientation distribution function, $w(\psi, \theta, \phi)$, the E value calculated was compared with the experimental value. ψ , θ , and ϕ denote a set of Eulerian angles between the coordinate system of crystallite and the reference system of specimen. From the E value calculated, $E(\psi, \theta, \phi)$, which was specified by means of Eulerian angles in the same definition as used in describing the orientation of a crystallite in a polycrystalline sheet, the E value for a polycrystalline sheet, E_{ca1} , was computed by

$$E_{ca1} = \frac{4}{\pi^2} \int_0^{\pi/2} \int_0^{\pi/2} \int_0^{\pi/2} E(\psi, \theta, \phi) w(\psi', \theta, \phi) \sin \theta d\theta d\psi' d\phi$$

where $\psi' = \psi + \omega$ and ω is an angle between the rolling direction and stretching direction.

Experiments were made on rimmed steel, aluminium killed steel and decarburized rimmed steel, and their Young's modulus were measured by using the resonant vibration method.

The results obtained are summarized as follows:

(1) As for planar anisotropy of the calculated Young's modulus, E_{ca1} at the transverse direction, E_T , was smaller than that making an angle of 45° with the rolling direction, E_D , and larger than that along the rolling direction, E_L . The planar anisotropy of the observed one, E_{obs} , showed the same tendency as that of E_{ca1} for all samples.

(2) The observed Young's modulus $\bar{E}_{obs}$, coincided with $\bar{E}_{ca1}$ within the relative error of 1% for the sample having a strong preferred orientation. For the rimmed steel sample, which has the weakest preferred orientation, the ratio of $\bar{E}_{obs}$ and $\bar{E}_{ca1}$ was 1.07. (where $\bar{E} = (E_L + E_T + 2E_D)/4$)

It was concluded from these results that the Young's modulus of a polycrystalline material can be, quantitatively, estimated from its texture analysed three-dimensionally.

(Received Oct. 25, 1979)

キー・ワード：冷延軟鋼板，集合組織，ヤング率

1 結 言

低炭素冷延鋼板（冷延軟鋼板）の物理的，機械的性質のうちには素材の異方性の影響をうけるものが少なくない。異方性の表れる原因としては，成分偏析，非金属介在物の形態や分布，残留応力なども考えられるが，主たる要因は個々の結晶の構造に基づく本質的な物理的，機械的異方性である。

冷延鋼板の塑性加工性（特にプレス成形性）に関しては Lankford らが¹⁾，特定の塑性異方性をもつ材料の方が等方性材料より優れていることをあきらかにし，

塑性異方性を表示する特性値として r 値（ランクフォード値）を提案した。それ以来， r 値と材料の集合組織とを関係づける多くの研究がなされてきている。

しかしながら今までの多くの実験結果は定性的な経験則にすぎず， r 値と集合組織との関係を定量的に把握するためには集合組織を正確に解析する方法と各方位成分の r 値に対する寄与を正しく評価する方法が確立されなければならなかった。

筆者らは⁴⁾，リムド鋼，Al-キルド鋼などの冷延鋼板を対象に集合組織そのものを精密に解析して主方位および分散方位の存在密度を一義的にあきらかにした後，鉄単結晶の特性より各単一方位ごとのランクフォード

* 原稿受理 昭和54年10月25日

** 正 会 員 川崎製鉄(株)技術研究所 千葉市川崎町

値を詳細に検討し、三次元結晶方位分布関数と、これら単一方位のランクフォード値から多結晶体としての r 値を定量的に評価した。

r 値以外の材料特性のうち弾性特性としてのヤング率も集合組織依存性の強いものであり、結晶方位依存性の立場から種々解析がなされてきた。

Liu と Atlers^{37~5)} は、変形を受けた F. C. C. 金属を対象にその集合組織を研究する目的でヤング率の異方性を測定している。

Hoddinott⁶⁾ らは、B. C. C. 金属における圧延集合組織を正極点の代用として利用することの可能性を検討するためにヤング率の解析を行っている。

Stickels⁷⁾ らは、冷圧および焼なまし後の数多くの低炭素冷延鋼板についてヤング率と r 値を測定しその相関を求めている。

Mould⁸⁾ らは、Stickels⁷⁾ らによって確認された結果に基づいて冷延軟鋼板の深絞り性の迅速な測定方法を発表している。Hoddinott⁶⁾ らの研究の最終目標は集合組織の簡便測定技術の確立である。すなわち従来の集合組織測定法としての正極点図の作成は非常に複雑であるとし、ヤング率測定により方位を推定しようとするものである。冷延鋼板集合組織を $\{100\}\langle 011 \rangle$, $\{112\}\langle 1\bar{1}0 \rangle$, $\{111\}\langle 1\bar{1}0 \rangle$, $\{111\}\langle 11\bar{2} \rangle$ 理想方位にて代表させ、試料ヤング率をこれらの方位のヤング率の値の一次結合関係式と仮定し、実測された試料ヤング率: $E(\alpha)$ から各係数を決定しようとするものである (α : 圧延面内において圧延方向となす角度)。

α 鉄の96.5%冷延後の集合組織について、1例として示すと、

$$E(\alpha) = 0.30 E_{\{100\}\langle 011 \rangle} + 0.15 E_{\{112\}\langle 1\bar{1}0 \rangle} + 0.55 (E_{\{111\}\langle 1\bar{1}0 \rangle} + E_{\{111\}\langle 11\bar{2} \rangle}) \quad (1)$$

を満足すると報告している。

Stickels⁷⁾ らは、 $\{hkl\}$ 結晶面の各方位を平均化したヤング率を $\bar{E}_{\langle hkl \rangle}$ としステレオ三角形上の $\bar{E}_{\langle hkl \rangle}$ の値を

$$\bar{E}_{\langle hkl \rangle} \doteq \frac{\bar{E}_{\langle 111 \rangle} + \bar{E}_{\langle 100 \rangle}}{2} - \frac{\bar{E}_{\langle 111 \rangle} - \bar{E}_{\langle 100 \rangle}}{2} \cos \frac{\pi \lambda}{55^\circ 44'} \quad (2)$$

と定義し、(ここで λ : $\langle hkl \rangle$ と $\langle 100 \rangle$ のなす角度) $\bar{r}_{\langle hkl \rangle}$ と $\bar{E}_{\langle hkl \rangle}/E_{\langle 100 \rangle}$ の関係を統計的に解析している。(ここで $\bar{r}_{\langle hkl \rangle}$ は、 $\langle hkl \rangle$ 結晶面の圧延方向の r 値: r_L , 圧延面内において圧延方向と 45° をなす r 値: r_D , 圧延面内において圧延方向と直角方向の r 値: r_T , とより, $\bar{r}_{\langle hkl \rangle} = (r_L + 2r_D + r_T)/4$ で与えられる。)

最初、彼らはこれら両因子の間に直線関係があるとしていたが、その後、協同研究者の Mould⁷⁾ によって次のように訂正されている。

すなわち、

$$\bar{r} = \frac{101.44}{(\bar{E} - 38.44)^2} - 0.564 \quad (3)$$

本回帰式的相关係数=0.92, 標準偏差=0.15

(3)式を論拠として $\bar{E}$ より $\bar{r}$ を推定しようとするものである。

ここで $\bar{E} = (E_L + E_T + 2E_D)/4$ である。

これら Stickels, Mould らによる一連の研究は、おたがいに集合組織に依存するランクフォード値とヤング率の両特性値を統計的に関係づけようとしたものである。すなわち、

上記の表示において、実線は理論的に予想される関係、点線は統計的に関係づけられたもの、である。

しかしながら、従来の実験で用いられた集合組織のデータは、本来三次元的に決定さるべき優先方位を二次元に表示したものであり解析データそのものに本質的に一次元の自由度をもっている²⁾。したがって(1)集合組織の解析が不正確であるばかりでなく(2)ヤング率の面内異方性の評価は従来の集合組織解析結果からでは原理的に不可能である。

本研究においては、鉄単結晶の弾性特性より各単一方位ごとのヤング率を求め、一方、三次元結晶方位分布関数で解析、表示された各方位成分の多結晶体ヤング率に対する寄与を定量的に評価することを目的とした。

2 理 論 (解析方法)

本研究において集合組織はすべて三次元結晶方位分布関数にて表示する。三次元結晶方位分布関数とは、Roe, Bunge⁹⁾ らによって提唱されてきた方法であり、複数個のことなる結晶面に関する極密度関数(正極点図表示されたデータ)より結晶の対称性を考慮して一般化した球面調和級数に展開し、結晶方位を三次元的に、かつ一義的に決定する方法である。本方位では、結晶座標系(B. C. C. 金属の場合、 $\langle 100 \rangle$, $\langle 010 \rangle$, $\langle 001 \rangle$ の直交三軸)と試料座標系(圧延方向、圧延面法線方向、圧延面内において圧延方向と直交する方向、それぞれを, RD, ND, TD と略記する)との間の角度をオイラー角: ψ , θ , ϕ にて表示する。

この方法は、特に冷延軟鋼板のような複雑な集合組織をもつ材料の方位解析に有力な方法である。鉄単結晶の単一方位ごとのヤング率を上記の定義によるオイラー角で表示する。

いま、 C_{ij} を弾性係数 (elastic stiffness, または elastic modulus) とすると、結晶の弾性係数36個のうち、独立なものは21個である¹¹⁾。さらに対称性の高い等軸晶系では三軸が等価なので独立な弾性係数は、

C_{11} , C_{12} , C_{44} の3個である. 等軸晶系の単結晶を方向余弦 α , β , γ の方向に弾性的に引張変形を与えてヤング率を測定するとき, その値: $E_{\alpha\beta\gamma}$ は次式で与えられる.

$$\frac{1}{E_{\alpha\beta\gamma}} = \frac{C_{11} + C_{12}}{(C_{11} - C_{12})(C_{11} + 2C_{12})} + \left(\frac{1}{C_{44}} - \frac{2}{C_{11} - C_{12}} \right) (\alpha^2\beta^2 + \beta^2\gamma^2 + \gamma^2\alpha^2) \quad (4)$$

α 鉄について, C_{11} , C_{12} , C_{44} の値は, Mason によると¹²⁾, それぞれ, 23.7, 14.1, 11.6 ($\times 10^{11}$ dyne/cm²), であり, 宮原によると¹¹⁾, それぞれ, 24.2, 14.6, 11.2 ($\times 10^{11}$ dyne/cm²) が与えられている.

Mason の値を用いると,

$$\frac{C_{11} + C_{12}}{(C_{11} - C_{12})(C_{11} + 2C_{12})} = 0.0759 \times 10^{-11} (\text{cm}^2/\text{dyne}) \quad (5)$$

$$\frac{1}{C_{44}} - \frac{2}{C_{11} - C_{12}} = -0.1221 \times 10^{-11} (\text{cm}^2/\text{dyne}) \quad (6)$$

となり, 宮原の値を用いると, それぞれ

$$0.0757 \times 10^{-11} (\text{cm}^2/\text{dyne}) \quad (7)$$

$$-0.1190 \times 10^{-11} (\text{cm}^2/\text{dyne}) \quad (8)$$

となる.

Hoddinott⁶⁾ らは, Mason の値を用いて, Stickels⁷⁾ Mould⁸⁾ らは, Barrett¹³⁾ によって,

$$\frac{1}{E} = S_{11} - 2[(S_{11} - S_{12}) - S_{44}/2](\alpha^2\beta^2 + \beta^2\gamma^2 + \gamma^2\alpha^2) \quad (9)$$

より, 特殊な方位のヤング率を計算している. (9)式の場合, (5), (6)式に相当する値は, それぞれ, 0.0757×10^{-11} , 0.1216×10^{-11} (cm^2/dyne) となる.

一方, ミラー指数表示で引張方向を $\langle uvw \rangle$ とすると,

$$\alpha = u/(u^2 + v^2 + w^2)^{1/2} \quad (10)$$

$$\beta = v/(u^2 + v^2 + w^2)^{1/2} \quad (11)$$

$$\gamma = w/(u^2 + v^2 + w^2)^{1/2} \quad (12)$$

$$\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2 = 1 \quad (13)$$

u , v , w をオイラー角で表示する. Fig. 1 にオイラー角の定義を示す. 同図(a)のように引張軸: TA, 試料面内において引張方向と直角方向: TT, 試料法線: TN よりなる右手系直交座標と, $\langle 110 \rangle$, $\langle 010 \rangle$, $\langle 001 \rangle$ 結晶座標系の間の角をオイラー角であらわす.

一方, 方位解析に対しては試料座標系を RD, TD, ND に固定している. RD と TA とが一致したときには, RD, TD, ND 座標系と結晶座標系のオイラー角は等しい. TA が試料面内で時計まわりの方向に RD から角: ω 回転したとき, 引張座標系からみた任意の方向: $\mathbf{g}'$ のオイラー角を ψ' , θ' , ϕ' とすると(b)図のように, $\psi' = \psi + \omega$, $\theta' = \theta$, $\phi' = \phi$ となる.

Fig. 1. Definitions of Eulerian angles.

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \psi \cdot \cos \theta \cdot \cos \phi - \sin \psi \cdot \sin \phi \\ -\cos \psi \cdot \cos \theta \cdot \sin \phi - \sin \psi \cdot \cos \phi \\ \cos \psi \cdot \sin \theta \end{pmatrix} \quad (14)$$

となる.

また, 宮原の定数がこれらのうち最も新しいので筆者らはこれを用いた.

(4), (7), (8), (14)式より

$$E_{\alpha\beta\gamma} = 10^{11} / [0.0757 - 0.1190 \{ \alpha^2\beta^2 + \gamma^2(1 - \gamma^2) \}] \quad (15)$$

をうる (単位は, dyne/cm²).

(10), (11), (12), (15)式より,

$$\begin{aligned} \alpha^2\beta^2 + \gamma^2(1 - \gamma^2) &= (\cos \psi \cdot \cos \theta \cdot \cos \phi - \sin \psi \cdot \sin \phi)^2 \\ &\times (\cos \psi \cdot \cos \theta \cdot \sin \phi + \sin \psi \cdot \cos \phi)^2 \\ &+ \cos^2 \psi \cdot \sin^2 \theta (1 - \cos^2 \psi \cdot \sin^2 \theta) \end{aligned} \quad (16)$$

(16)式を $D(\psi, \theta, \phi)$ とおくと,

$$E(\psi, \theta, \phi) = 10^{11} / [0.0757 - 0.1190 D(\psi, \theta, \phi)] \quad (17)$$

三次元結晶方位分布関数を算出する場合と同様, 結晶の対称性を考慮して, $0^\circ \leq \psi, \theta, \phi \leq 90^\circ$ の範囲において 5° ごとの値を算出した (単位は dyne/cm²).

このように, オイラー角: ψ , θ , ϕ 表示で単一方位ごとに求められた一群のヤング率と, 各方位の存在確率 (あるいは存在密度, すなわち三次元結晶方位分布関数値): $w(\psi, \theta, \phi)$ とより, 多結晶体のヤング率を

$$E = \frac{4}{\pi^2} \int_0^{\pi/2} \int_0^{\pi/2} \int_0^{\pi/2} E(\psi, \theta, \phi) \cdot \psi(\psi', \theta, \phi) \sin \theta \times d\theta d\psi d\phi \quad (18)$$

としてその面内異方性を含めて算出し, 実測値と比較した. すなわち, RDとTAとが角: ω をなすとき, 各

単一方位ごとのヤング率： $E(\psi, \theta, \phi)$ に引張座標系による三次元分布関数値： $w(\psi', \theta, \phi)$ を重みづけして全方位空間について平均して多結晶試料のヤング率を求める。単位は実用上よく用いられる kg/mm^2 とした。

3 実験内容

3・1 実験材

実験材として、SPCC、SPCE（それぞれ JIS 表示）および r 値の高い脱炭リムド鋼の 3 種の冷延軟鋼板を用いた。

実験材の化学成分を、Table I に示す。

板厚はすべて 0.8 mm である。

3・2 ヤング率の測定

ヤング率の測定方法としては次のようなものがある。

3・2・1 引張り、圧縮法 断面積： A 、長さ： l の試料に F なる力を加えたとき長さの変化を Δl とする。ヤング率： E は定義より、

$$E = (F/A) / (\Delta l/l) \quad (19)$$

によって与えられる。 Δl は、抵抗線ひずみ計などによって測定される。簡易法としては引張試験の際の「応力-ひずみ曲線」の弾性域の直線のこう配から測定可能であるが、横軸（ひずみ軸）を充分拡大しないと精度のよい値はえられない。

3・2・2 たわみ法 試料の端部近傍に、端部から等間隔の位置におかれたナイフエッジ上に試料をおいて、両端に等しい荷重をかけて試料のたわみの曲率半径から求める。

3・2・3 たて振動法 一樣な断面をもつ両端が自由な試料の固有振動数： f は

$$f = (n/2l) (E/\rho)^{1/2} \quad (20)$$

で与えられる（ n ：振動の次数、 l ：試料長さ、 ρ ：試料の密度）。したがって試料の固有振動数を測定すればヤング率が求められる。固有振動数を測定する方法として、(1)衝撃振動法、(2)共振周波数を求める方法の二つがあり、後者がよく用いられ、種々の方式が

Fig. 2. Schematic block diagram of the instrument for Young's modulus measurement.

具体化されて利用されている。

筆者は前出の文献で r 値を求めることを目的として利用されている「磁わい振動方式」共振法によってヤング率を測定した。本方式の装置は“Modul- $\bar{r}$ ”という商品名で製品化されており、U. S. Steel 社と Ford 社の両社での多くの r 値測定データの解析結果、よい対応がえられていると発表されている。集合組織→ヤング率→ r 値の関係を前提とし、「実測 r 値」と「ヤング率測定結果より統計解析した結果を用いて換算した r 値」とがよく一致するならば、ヤング率測定装置としてより信頼性のある測定値がえられるので本研究においては、本方式を用いた。測定原理を Fig. 2 に示す。

Drive Coil にて高周波を試料に印加し磁わい共振周波数を Pick up Coil にて検出する。Bias Coil を中央に配置することにより振動の次数 n を 1 にしている。したがって (20) 式より

$$E = 4\rho l^2 f^2 \quad (21)$$

としてヤング率が測定される。

3・3 集合組織の測定

本研究における集合組織解析はすべて計算機とオンラインに、結合された正極点図作成装置にて行われた。¹⁴⁾

計算機システムとして構成された本測定手法は能率向上、省力化の面で優れた効用を発揮するばかりでなく測定データの質的向上の点においても現在十分に満足する成果をえている。本システムによってえられた $\{110\}$ 、 $\{200\}$ 、 $\{211\}$ 極密度分布関数（正極点図）か

Table I. Chemical compositions (wt. %).

Specimens	No.	C	Si	Mn	P	S	Total N	O	Sol. Al	Insol. Al
SPCC	C-1	0.068	0.001	0.33	0.012	0.019	0.0020	0.0269	—	—
	C-2	0.034	0.001	0.28	0.008	0.010	0.0016	0.0269	—	—
	C-3	0.046	0.001	0.38	0.011	0.019	0.0018	0.0263	—	—
	C-4	0.065	0.001	0.35	0.023	0.025	0.0022	0.0285	—	—
	C-5	0.076	0.001	0.32	0.018	0.029	0.0020	0.0250	—	—
SPCE	E-1	0.007	0.010	0.11	0.013	0.010	0.0050	0.0022	0.032	0.003
	E-2	0.009	0.034	0.15	0.011	0.008	0.0043	0.0027	0.033	0.002
	E-3	0.007	0.012	0.23	0.009	0.012	0.0079	0.0024	0.052	0.001
	E-4	0.009	0.006	0.13	0.007	0.006	0.0077	0.0021	0.043	0.002
	E-5	0.033	0.038	0.29	0.014	0.012	0.0071	0.0025	0.050	0.002
Dec R.*	R	0.002	0.001	0.35	0.010	0.020	0.0005	0.0305	—	—

* Decarbonized rimmed steel.

Table II. $\bar{E}_{\text{obs}}$ versus $\bar{E}_{\text{cal}}$.

Sample No.	$\bar{E}_{\text{obs}}$	$\bar{E}_{\text{cal}}$
C-1	22 018	20 505
C-2	22 024	20 510
C-3	22 043	20 550
C-4	22 041	20 605
C-5	21 910	20 497
E-1	22 706	22 300
E-2	22 714	22 250
E-3	22 732	22 285
E-4	22 712	22 297
E-5	22 740	22 292
R	22 931	23 145

ら三次元結晶方位分布関数を求めた。級数の打ち切り次数は22次とした。

3・4 ヤング率の計算

算出された三次元結晶方位分布関数： $\omega(\psi, \theta, \varphi)$ と単一位位ごとのヤング率： $E(\psi, \theta, \varphi)$ とから、多結晶試料のヤング率： E_{cal} を(18)式から面内異方性を求めて算出した。

4 実験結果

4・1 試料の集合組織

供試材の集合組織の1例を SPCC, SPCE および r 値の高い脱炭リムド鋼について示す。それぞれを C-1, E-1, R とする。Fig. 3 は $\{100\}$ 正極点図, Fig. 4 は、三次元結晶方位分布関数の $\phi=45^\circ$ 断面図である。

Fig. 3. $\{100\}$ pole figures of rimmed steel (C-1), aluminium killed steel (E-1) and decarburized rimmed steel (R).

Fig. 4. $\phi=45^\circ$ sections of the crystallite orientation distribution functions for steel C-1, steel E-1 and steel R.

Fig.4 から、それぞれの試料は $\{111\}\langle 011 \rangle$ を主方位とし、 $\{111\}\langle uvw \rangle$ 織細組織が優先方位であることがわかる。主方位への集積は C-1 の場合、 $5 \times (\times: 全く$

集合組織をもたないときの回折強度値)、E-1 は $10 \times$ 、R は $15 \times$ である。

4・2 実測ヤング率； E_{obs} と E_{cal} の比較

$\bar{E}_{\text{obs}}$ と $\bar{E}_{\text{cal}}$ の値を Table II に示す。

Fig. 5 に E_{cal} の面内異方性と E_{obs} の $\omega=0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ の値をプロットした (C-1, E-1, R 材について)。

E_L, E_T, E_D の値を計算値と実測値と Fig. 6 に比較した。

5 考 察

5・1 単一位位のヤング率について

筆者は(17)式によって、 $0^\circ \leq \psi, \theta, \varphi \leq 90^\circ$ の範囲で、 ψ, θ, φ それぞれについて 5° ごとのヤング率を求めた。これら $19^3 (=6859)$ 個の方位のヤング率は、

Fig. 5. Planar anisotropies of calculated Young's moduli and observed ones for steel C-1, steel E-1 and steel R.

Fig. 6. Relationship between calculated Young's modulus and observed one.

約 $13 \times 10^3 \text{ kg/mm}^2$ から約 $28 \times 10^3 \text{ kg/mm}^2$ の範囲の値をもつ。一例として $g\{\psi, \theta, 45^\circ\}$ 方位のヤング率： $E\{\psi, \theta, 45^\circ\}$ の値を Fig. 7 に等高線表示する。 $g\{\psi, \theta, 45^\circ\}$ 方位のうちには、 $\{100\}\langle 001 \rangle$, $\{100\}\langle 011 \rangle$, $\{110\}\langle 001 \rangle$, $\{110\}\langle 1\bar{1}0 \rangle$, $\{111\}\langle uvw \rangle$, $\{211\}\langle 011 \rangle$, など基本的に重要な方位がほとんど含まれる。また冷延軟鋼板集合組織の優先方位の一つであるかのように称せられている $\{554\}\langle 225 \rangle$ 方位も含まれる。同図に表示されている値から主要結晶方向のヤング率を求めてみると、 $E_{\langle 111 \rangle} = 28435$, $E_{\langle 001 \rangle} = 13210$,

から応力を求める方法である。筆者らも以前にこの方法によりいくつかの研究を行いその成果を本誌に発表している。^{16)~19)}

本測定におけるヤング率の値として通常 2.1×10^4 kg/mm² が用いられている。

本方法での計算結果、 $\{211\}\langle uvw \rangle$ 方位の平均ヤング率: $\bar{E}=21\,337$ となり、その面内異方性は最大値 28 435 ($\{211\}\langle \bar{1}11 \rangle$ 方位)、最小値 17 283 (単位はいずれも kg/mm²) となる。

したがって厳密に解析するならば測定対象格子面の方位解析も必要かも知れないが、前出の結果からも集合組織のあまり鮮鋭でない材料の場合は通常用いられているヤング率を用いても大きな誤差を生じないであろう。

6 結 言

単一方位ごとのヤング率を算出しこれらの値と三次元結晶方位分布関数とより冷延軟鋼板多結晶試料のヤング率を求め、実測ヤング率と比較、解析し以下の結論を得た。

(1) E_{cal} , E_{obs} ともに各鋼種について $E_D > E_T > E_L$ の傾向が得られた。

(2) $\bar{E}_{obs}/\bar{E}_{cal}$ の値は、集合組織集積度の弱い SPCC 材で 1.07, 最も鮮鋭な R 材で 1.01 となった。

(3) ヤング率の面内異方性を含めて E_{obs} , E_{cal} の差について検討を行い、その原因を集合組織の優先方位集積度から解明した。

(4) 集合組織のかなり鮮鋭な SPCE 材について E_{cal} と E_{obs} の値が、 E_T , E_D 値に若干差がある理由も T 方向、 D 方向の集合組織の分散から説明しうる。

(5) 電磁鋼板と比較すると各段に複雑な集合組織をもつ脱炭リム材において E_{cal} と E_{obs} がその面内異方性を含めてよく一致したこと、方位分散の多い SPCC 材においても 7% 程度の差で両者が互いに近い

値を得られたことなどから、三次元的に解析された集合組織から多結晶体ヤング率を定量的に評価することが可能であることがわかった。

参 考 文 献

- 1) Lankford, W. T., S. C. Snyder, and J. A. Bauscher, Trans. ASM, **142**, 1197 (1950).
- 2) 北川 孟, 片山道雄, 鉄と鋼, **62**, 10, 1339 (1976).
- 3) Atlers, G. A., and Y. C. Liu, Trans. TMS-AIME, **236**, 482 (1966).
- 4) Liu, Y. C., and G. A. Atlers, Trans. TMS-AIME, **236**, 489 (1966).
- 5) Atlers, G. A., and Y. C. Liu, Trans. TMS-AIME, **237**, 210 (1967).
- 6) Hoddinott, D. S., and G. J. Devis, J. Inst. Metals, **97**, 155 (1969).
- 7) Stickels, C. A., and P. R. Mould, Metallurgical Transactions, **1**, 1303 (1970).
- 8) Mould, P. R., and T. E. Johnson, Sheet Metal Industries, **50**, 328 (1973).
- 9) Roe, R. J., J. Appl. Phys., **36**, 2024 (1965).
- 10) Bunge, H. J., Z. Met., **56**, 872 (1965).
- 11) 宮原将平, 金属結晶の物理, p. 211 (1971) アグネ
- 12) Mason, W. P., "Piezoelectric Crystals and Their Applications to Ultrasonics", p. 417 (1950) D. Nosttrand
- 13) Barrett, C. S., Structure of Metals, p. 531 (1952) McGraw Hill
- 14) 北川 孟, 片山道雄, 森本一三, 丸山英雄, 鶴岡一夫, 鉄と鋼, **63**, 147 (1977).
- 15) 伊藤 庸, 神崎文晔, 鉄と鋼, **52**, 1188 (1966).
- 16) 神崎文晔, 縄田 望, 北川 孟, 材料, **13**, 978 (1964).
- 17) 神崎文晔, 縄田 望, 北川 孟, 材料, **14**, 1014 (1965).
- 18) 神崎文晔, 縄田 望, 北川 孟, 材料, **15**, 871 (1966).
- 19) 神崎文晔, 縄田 望, 北川 孟, 材料, **16**, 926 (1967).