研 究

研削加工層における X 線の残留ひずみの加工向き依存性*

若林 三記夫** 中山 守** 永田 彰信***

Influence of Grinding Direction on Residual Strains Measured by X-ray

Mikio WAKABAYASHI, Mamoru NAKAYAMA, Akinobu NAGATA

Residual strains in ground layer of carbon steel were measured with change of incident direction in X-ray diffraction method. When X-ray irradiates on the ground work surface from the two directions corresponding to the front and the rear of abrasive grain, two $\sin^2 \psi$ -diagrams are found to differ from each other. These two $\sin^2 \psi$ diagrams have a certain fixed correlation with the grinding direction. This phenomenon concerning with the strain dependence upon grinding direction is concluded to be caused by the phase stresses originating between a ferrite and a cementite phase in a plastic flow layer of ground surface. Direction of one principal axis of the phase stresses agrees with the flow direction of the fiber structure in ground layer and is different from that of the macro-residual stress. Equation can be derived which expresses the relation among the macro-residual stresses, the phase stresses and the residual strains measured by X-ray. The macro-residual stress calculated by the equation agrees with the residual stress determined by removing lamellas on the stressed surface layer and following the changes in curvature of test specimen. Calculation shows that in ferrite phase there exists generally the compressive phase stress in the direction parallel to metal flow and the tensile one in the direction perpendicular to it.

1. 緒 言

炭素鋼の切削・研削加工層における加工方向の残留応力を X 線で測定するとき、切削工具および研削砥石の砥粒切れ刃の逃げ側面とすくい側面とに当たる二つの向きから X 線を入射して得られる二つの X 線の残留応力は一致しない場合がある¹⁾²⁾。

X 線応力測定法の大きな長所は、材料表面の残留応力を非破壊的に測定し得る点にある。しかし、切削・研削加工層における加工方向の二つの X 線の残留応力と、等方性弾性論に基づいて機械的に測定される一つの残留応力との対応などに関して不明確な点が残されている。したがって、X 線応力測定法の長所を生かして、切削・研削加工層の残留応力を高精度で測定するには、加工方向の二つの向きの $\sin^2 \psi$ 線図と残留応力との関係を明らかにしておく必要がある。

また、切削・研削加工層の加工方向の二つの向きの $\sin^2 \psi$ 線図は一致しないが、加工向きとの間に一定の関係、すなわち、「X 線の残留ひずみの加工向き依存性」

がある。この現象は切削・研削加工のように一定の向きに力を作用させて行う加工(以下「有向性加工」と言う)によってもたらされるものであるとすれば、X 線の残留ひずみの加工向き依存性の原因を調べることによって、切削・研削加工層の生成機構の一端を解明できると考えられる。そこで本報では、有向性加工によって生じ、その性状に方向性がある加工層(有向性加工層)の残留ひずみと残留応力との関係について、主として研削加工の観点から研究した結果を報告する。

2. 実験方法

2.1 試 料

実験で使用了 4 種類の炭素鋼と工業用純鉄の化学成分を表 1 に示す。試料は実験の際に素材の圧延方向と直角な方向に研削するように素材から切り出し、荒削り後焼準した。次に研削加工で試料の炭削層を除去し、650°C

表 1 試料の化学成分(重量%)

	C	Si	Mn	P	S
工業用純鉄	0.007	0.09	0.22	0.017	0.012
S 15 C	0.14	0.23	0.41	0.021	0.023
S 25 C	0.23	0.21	0.47	0.019	0.010
S 55 C	0.53	0.23	0.62	0.020	0.028
SK 2	1.12	0.25	0.40	0.025	0.028

* 原稿受付 昭和 50 年 12 月 10 日。昭和 50 年度精機学会関西地方定期学術講演会(昭和 50 年 6 月 21 日)にて発表。

** 正 会 員 大阪市立大学工学部(大阪市住吉区杉本町 459)

*** 大阪市立大学工学部

表2 X線応力測定条件

試料材質	S 55 C
使用 X 線	Cr $K\alpha$
測定格子面	Fe(211), (200), (110)
X 線強さ	30 kV-10 mA
照射面積	8×2 mm
時定数	8 s, (1 s)
走査速度	4°/min, (1/4°/min)
測定装置	標準法兼用の全回折角応力測定装置
測定機構	θ - 2θ 平行ビーム法
ピーク位置決定法	半価幅法
応力決定法	$\sin^2 \phi$ 法

OP: 測定格子面法線, $2\theta = 180 - 2\eta$
 図1 加工向きとX線ひずみ測定向きとの関係

1: 入射スリット, 2: 受光スリット, 3: 低回折角法兼用試料台, 4: 試料, 5: φ回転台, 6: 低回折角法用φ設定ダイヤル, 7: ゴニオメータ, 8: X線管球

図2 全回折角X線応力測定装置

で1 h 保持して焼鈍し, 前加工の残留応力を除去した。工業用純鉄の試料寸法は $18 \times 10 \times 28 \text{ mm}^3$, 炭素鋼は $18 \times 6 \times 64 \text{ mm}^3$ で, 実験では幅 18 mm の面を長手方向に研削した。

2.2 測定方法

加工層の残留ひずみおよび残留応力はX線によって, 表2に示す条件で測定した。加工の向きとX線の残留ひずみおよび $\sin^2 \phi$ 線図との関係は, 図1のように試料面法線のまわりに角φを設定して, 砥粒切れ刃の逃げ面側

(a) 研削面の $\sin^2 \phi$ 線図 (圧縮残留応力形) (b) 研削面の $\sin^2 \phi$ 線図 (引張残留応力形)(c) 旋削面の $\sin^2 \phi$ 線図

S 55 C, Fe(211)

図3 有向性加工層の $\sin^2 \phi$ 線図

を $\phi = 0^\circ$, すくい面側を $\phi = 180^\circ$ とした。ゴニオメータには図1のφを任意に設定できる縦型全回折角応力測定用試料台を取付けて回折強度曲線を測定した (図2)。

3. 実験結果

3.1 有向性加工層の $\sin^2 \phi$ 線図

炭素鋼の研削・切削加工層の 2θ - $\sin^2 \phi$ 線図を図3に示す。図3(a)は研削加工層の $\sin^2 \phi$ 線図が正の勾配を持つ例である。ここで仮に等方性弾性論に基づき $\sin^2 \phi$ 線図は直線であるとして一般に使われている応力計算法³⁾に最小二乗法を適用して各応力を計算すると, 図中の各値を得る。 $\phi = 0^\circ$ と $\phi = 180^\circ$ の残留応力 σ_0 と σ_{180} との差は 10 kg/mm^2 で, 測定誤差の範囲を越えており, 二つの $\sin^2 \phi$ 線図は明らかに分離している。他方, $\phi = 90^\circ$ と $\phi = 270^\circ$ の残留応力は測定誤差を考慮すれば十分に一致していると言える。

図3(b)は負の勾配をもつ研削加工層の加工方向の 2θ - $\sin^2 \phi$ 線図で, (c)は旋削面の例である。いずれの場合も二つの $\sin^2 \phi$ 線図は明らかに分離している

図4 ラップ加工面の $\sin^2 \phi$ 線図

ラッピング条件
 砥粒: WA #400
 押付圧力: 0.5 kg/cm²
 ラップ速度: 2.53 m/min
 軽油による湿式加工
 鋳鉄ラップを使用
 試料の往復運動による加工

図6 工業用純鉄の研削加工層の $\sin^2 \phi$ 線図 図5 炭素鋼の 2θ - $\sin^2 \phi$ 線図

もに彎曲しており、この傾向は(a-1)にもみられる。さらに、図3(a-1)、(b)および(c)において $\varphi=0^\circ$ と $\varphi=180^\circ$ の回折角 $2\theta_0$ と $2\theta_{180}$ との間には常に $2\theta_0 < 2\theta_{180}$ の関係がある。また $\varphi=180^\circ$ の $\sin^2 \phi$ 線図は上に凸、 $\varphi=0^\circ$ のそれは下に凸に彎曲している。これらの傾向は概して加工層内部にも共通のものである。

他方、図4の往復運動によるラップ加工面の加工方向の二つの $\sin^2 \phi$ 線図は直線性がよく、かつ一致している。

回折角 2θ の変化は測定格子面の残留ひずみに対応するものである³⁾から、上の実験結果は炭素鋼の研削・切削加工層のX線の残留ひずみが加工の向きに依存して生ずることを示している。

3.2 炭素量の影響

図5は表1に示した4種類の炭素鋼の研削面について求めた $\sin^2 \phi$ 線図である。なお、炭素量から換算した試料中のセメンタイトの体積割合はSK2で約17%、S55Cで約8%、S15Cでは約2%である。この結果は、炭素

鋼中のセメンタイトの体積割合にかかわらず $2\theta_0 < 2\theta_{180}$ の関係が成り立ち、さらにセメンタイトの体積割合が減少すれば $\sin^2 \phi$ 線図の彎曲・分離の度合いが減少することを示している。

図6は工業用純鉄の研削面の $\sin^2 \phi$ 線図で、単相の場合は研削方向の二つの向きの $\sin^2 \phi$ 線図は一致し、かつ直線性があり、加工向き依存性がないことを示している。

これらの実験結果から、炭素鋼の研削および切削加工層における加工向き依存性は、有向性加工および試料中にフェライトとセメンタイトの2相が存在することによってもたらされるものであると言える。

3.3 測定格子面の影響

以上の実験結果はすべてFe(211)面によるものであるが、図7は $\sin^2 \phi$ 線図に現れる加工向き依存性と測定格子面との関係を調べたものである。これによると、どの格子面でも加工向き依存性が現れ、特にFe(211)面で顕著に現れることを示している。

4. 考 察

有向性加工層における $\sin^2\psi$ 線図の加工向き依存性は, X線で測定したひずみに加工向き依存性があることを示すものであるから, ここではX線の残留ひずみの加工向き依存性が生ずる原因について考察する必要がある。

X線の残留ひずみの加工向き依存性は, 有向性加工によって2相合金である炭素鋼に生ずるものであるから, 加工層の集合組織や微視的残留応力などとの関係を調べることによってその原因を明らかにすることができると考えられる。

4.1 集合組織の影響

切削や研削加工では加工層に集合組織が生ずると言われている⁴⁾。加工層に集合組織があると弾性的な異方性が現れ, 加工層の残留ひずみに影響を及ぼす可能性がある。各加工面の ψ に対するX線回折強度 I_p についてまとめた結果を図8に示す。これによると, ラップ加工面の加工方向の I_p - ψ 線図は, 集合組織のない標準試料(電解研磨した無応力の試料)面のそれとほぼ同じ形態であるから, ラップ加工で新たに顕著な集合組織が生じていないと言える。他方, S55Cと工業用純鉄の研削面では標準試料に比べて I_p - ψ 線図が著しく異なり, 特に工業用純鉄では極度に集合組織が発達している。しかし, 前述のように工業用純鉄の研削面では加工向き依存性がないこと, およびラップ加工面では集合組織も加工向き依存性も現れなかったことから, 集合組織の存在がX線の残留ひずみの加工向き依存性の原因であるとは言えない。

4.2 相応力の影響

次に ψ とX線の残留ひずみ ϵ_ψ との関係, すなわち研削面のひずみ楕円を図9に示す。 ϵ_ψ は, 計数管走査速度 $1/4^\circ/\text{min}$, 時定数 1s で測定したX線回折角 2θ から求めたもので, 計算に当たって無ひずみ状態の Fe(211) 格子面間隔 d_0 は, 電解研磨した無応力の試料についてX線で求めた値 $d_0 = 1.1702 \text{ \AA}$ を用いた。図9のひずみ楕円は, 引張りおよび圧縮残留応力型のいずれの場合も $\psi = 0^\circ$ の軸に対して非対称でゆがんでおり, $\psi = 0^\circ$ の試料面法線を直ちに主ひずみ軸の一つと見ることはできないであろう。しかし, 巨視的な主ひずみ軸は $\psi = 0^\circ$ と $\psi = 90^\circ$ の方向にあるから, ひずみ楕円がゆがむ原因は, 巨視的

図7 炭素鋼の研削加工層における各格子面の 2θ - $\sin^2\psi$ 線図

図8 加工方法および材質とX線回折強度との関係

図9 研削方向のX線の残留ひずみ楕円

主ひずみ軸と方向を異にする主ひずみ軸を持つ微視的残留ひずみが巨視的残留ひずみに重畳していることにあると考えられる。

図5の実験結果で明らかのように, 試料中に占めるセ

(a) 相応力の発生 (b) 巨視的残留応力の発生

$\sigma_{mF}, \sigma_{mC}; \epsilon_{mF}, \epsilon_{mC}$: フェライト相, セメンタイト相の相応力およびひずみ, $\sigma_{FX}, \sigma_{CX}; \epsilon_{FX}, \epsilon_{CX}$: フェライト相, セメンタイト相のX線の応力とひずみ, σ_M, ϵ_M : 巨視的残留応力, σ'_M, ϵ'_M : 巨視的残留ひずみ

図10 相応力と巨視的残留応力の発生

メンタイトの割合が減少すれば、フェライト相における研削方向の $\sin^2\psi$ 線図の彎曲・分離の度合も減少するので、機械的性質が著しく異なるフェライト相とセメンタイト相からなる加工層では2相間に微視的残留応力である相応力が存在すると考えられる。炭素鋼を図10(a)の応力・ひずみ線図に沿って塑性変形させてから除荷すると、フェライト相とセメンタイト相にそれぞれ σ_{mF} と σ_{mC} なる相応力が両者の体積割合に応じて発生すると報告されている⁵⁾。相応力は相間で互いに平衡していて機械的な方法では検出できないものであるが、X線で測定すると、図10(b)に示す過程を経て生じた巨視的残留応力 σ_M に重畳してそれぞれフェライト相とセメンタイト相で σ_{FX} と σ_{CX} とが検出されることになる。

一般に切削・研削加工層には、 $\varphi=0^\circ$ 側から $\varphi=180^\circ$ 側に向かって繊維状組織の塑性流動層がある。そこでは各結晶粒は加工中に塑性流動方向に降伏応力を越えて変形され、セメンタイトの降伏応力がフェライトの降伏応力と異なり著しく高い⁶⁾ため、加工後に相応力が発生し、その主応力軸は塑性流動方向になると考えられる(図11)。

したがって、加工層のX線の残留ひずみは、巨視的残留ひずみと相応力による微視的残留ひずみとの和になり、微視的主ひずみ軸は塑性流動の方向にあって巨視的主ひずみ軸と一致していないのでX線のひずみ楕円はゆがみ、その結果、X線の残留ひずみに加工向き依存性が生ずるものと考えられる。

4.3 相応力を伴う場合の残留応力計算式

前記のX線の残留ひずみの加工向き依存性の原因に対する考え方の当否を検討するには、ゆがみを持つひずみ楕円を具体的に表して、実験結果との対応を調べる必要

図11 切削・研削加工層の塑性流れ角と応力軸との関係

$\tan \delta_\varphi = \tan \delta_0 \cdot \cos \varphi$

がある。そこで、巨視的残留応力 σ_M と相応力 σ_m との重量によって生ずるX線のひずみ ϵ_φ を表す式を求めると、次のようになる。

この計算を行うにあたり、以下の仮定を行った。

- 1) ψ を変えてもX線侵入深さは変わらない。
- 2) X線侵入深さの範囲内では応力勾配は無視できる。
- 3) 塑性流動層は図11のように直線的に形成される。
- 4) 集合組織による弾性異方性などは無視できる。
- 5) 塑性流動層内でも各相内では等方性が成り立つ。

図11で、OP方向のひずみ $\epsilon_{\varphi\psi}$ は、 $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ を各方向余弦とすると、 $\epsilon_{\varphi\psi} = \gamma_1^2 \epsilon_1 + \gamma_2^2 \epsilon_2 + \gamma_3^2 \epsilon_3$ であるから、

$$\epsilon_{\varphi\psi} = \epsilon_1 \cos^2\psi \sin^2\varphi + \epsilon_2 \sin^2\varphi \sin^2\psi + \epsilon_3 \cos^2\psi \\ = \sin^2\psi (\epsilon_1 \cos^2\varphi + \epsilon_2 \sin^2\varphi) + (1 - \sin^2\psi) \epsilon_3 \quad (1)$$

式(1)を使うと、巨視的ひずみ $\epsilon_{M\varphi\psi}$ および相応力による微視的ひずみ $\epsilon_{m\varphi\psi}$ はそれぞれ次式で表される。

$$\epsilon_{M\varphi\psi} = \sin^2\psi (\epsilon_{M1} \cos^2\varphi + \epsilon_{M2} \sin^2\varphi) + (1 - \sin^2\psi) \epsilon_{M3} \quad (2)$$

$$\epsilon_{m\varphi\psi} = \sin^2(\psi - \delta_\varphi) \cdot (\epsilon_{m1} \cos^2\varphi + \epsilon_{m2} \sin^2\varphi) \\ + \{1 - \sin^2(\psi - \delta_\varphi)\} \epsilon_{m3} \quad (3)$$

ただし、 δ_φ は図11に示す巨視的主応力軸と微視的主応力軸とのなす角 δ_0 のZOQ面への投影角である。

加工層のX線の残留ひずみ $\epsilon_{\varphi\psi}$ は、 $\epsilon_{\varphi\psi} = \epsilon_{M\varphi\psi} + \epsilon_{m\varphi\psi}$ 。3軸の応力とひずみの関係式を用いると σ_M, σ_m と $\epsilon_{\varphi\psi}$ との関係は次式で表される。

$$\epsilon_{\varphi\psi} E = \sin^2\psi \{ [\sigma_{M1} - \nu(\sigma_{M2} + \sigma_{M3})] \cos^2\varphi \\ + [\sigma_{M2} - \nu(\sigma_{M3} + \sigma_{M1})] \sin^2\varphi \\ + (1 - \sin^2\psi) [\sigma_{M3} - \nu(\sigma_{M1} + \sigma_{M2})] \}$$

計算結果

実験(1): $\sigma_{M1} = -8\text{kg/mm}^2$, $\sigma_{m1} = -15\text{kg/mm}^2$, $\sigma_{m3} = 7\text{kg/mm}^2$ ($\delta = 10^\circ$, $\sigma_{M2} + \sigma_{m2} = -31.5\text{kg/mm}^2$)
 実験(2): $\sigma_{M1} = 30\text{kg/mm}^2$, $\sigma_{m1} = -6\text{kg/mm}^2$, $\sigma_{m3} = 8\text{kg/mm}^2$ ($\delta = 20^\circ$, $\sigma_{M2} + \sigma_{m2} = 10\text{kg/mm}^2$)

図12 実測値と計算値による $\varepsilon_\phi - \sin^2\psi$ 線図

$$\begin{aligned}
 & + \sin^2(\psi - \delta_\phi) \{ \sigma_{m1} - \nu(\sigma_{m2} + \sigma_{m3}) \} \cos^2\phi \\
 & + \{ \sigma_{m2} - \nu(\sigma_{m3} + \sigma_{m1}) \} \sin^2\phi \\
 & + \{ 1 - \sin^2(\psi - \delta_\phi) \} \{ \sigma_{m3} - \nu(\sigma_{m1} + \sigma_{m2}) \} \quad (4)
 \end{aligned}$$

ここに, E : 縦弾性係数, ν : ポアソン比.

式(4)は, 任意の角 ϕ における X 線の残留ひずみと残留応力との関係を表すものである.

表面近傍では $\sigma_{M3} = 0$ とすれば, 加工方向の X 線の残留ひずみ ε_ϕ と残留応力との関係式は次のようになる.

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_\phi E = & \sigma_{M1} \{ (1 + \nu) \sin^2\psi - \nu \} + \sigma_{m1} \{ (1 + \nu) \sin^2(\psi - \delta_\phi) \\
 & - \nu \} - \sigma_{m3} \{ (1 + \nu) \sin^2(\psi - \delta_\phi) - 1 \} \\
 & - \nu(\sigma_{M2} + \sigma_{m2}) \quad (5)
 \end{aligned}$$

式(5)に最小二乗法を適用して σ_{M1} , σ_{m1} , および σ_{m3} を求めるには, X 線測定で求めた ε_ϕ のほかに δ_0 と研削直角方向の残留応力 $\sigma_{M2} + \sigma_{m2}$ を知る必要がある. 研削直角方向の二つの向きの $\sin^2\psi$ 線図はよく一致し, かつ直線性が良いので, 一般に行われている $\sin^2\psi$ 法によって求まる残留応力をもって $\sigma_{M2} + \sigma_{m2}$ とする. また, $\sin^2\psi$ 法で求まる応力は表面下 $4.4\mu\text{m}$ の応力に相当するといわれている⁷⁾ので, 塑性流れ角 δ_0 は試料の研削方向断面の顕微鏡観察によって求めた表面下約 $4.5\mu\text{m}$ の平均値を採用する.

この方法で Fe(211) 面の ε_ϕ の実測値から計算した σ_M とフェライト相の相応力 σ_m を図12に示す. 図中の計算結果 σ_{M1} に対して, 同一試料について層除去法で求めた

表面下約 $4.5\mu\text{m}$ での巨視的残留応力は, 実験(1)の場合 -5kg/mm^2 , 実験(2)では 26kg/mm^2 であった. これらの値は, それぞれの測定誤差を考慮すれば, 計算値 σ_{M1} とよく一致していると言える. したがって X 線の残留ひずみの加工向き依存性は, 巨視的主応力軸と方向を異にし塑性流動方向に一つの主応力軸を持つ相応力によってもたらされたものであると結論できる.

また, 巨視的残留応力と同時に計算で求めたフェライト相中の相応力は図12中に示したが, 本実験のすべての試料について $\sigma_{m1} < \sigma_{m3}$ の関係が成り立ち, 概して σ_{m1} は圧縮残留応力, σ_{m3} は引張残留応力であった. これは, 砥粒による研削過程でフェライトとセメンタイトが同時に図10(a)の応力・ひずみ線図の経過をたどって塑性流れの方向, すなわち σ_{m1} 方向に引張りの塑性変形を受け, 除荷後フェライト相の σ_{m1} 方向に圧縮の相応力が残留したことを示すものである. また σ_{m3} の方向では, 逆に研削過程で圧縮の塑性変形を受け, 除荷後フェライト相の σ_{m3} 方向に引張りの相応力が残留したことを示すものである.

5. 結 言

以上の実験と考察の要点をまとめると次のようになる.

- (1) 炭素鋼の切削・研削加工層の X 線の残留ひずみには加工向き依存性がある. すなわち, 加工方向の工具または砥粒切れ刃すくい面側と逃げ面側との二つの向きで測定した $\sin^2\psi$ 線図は一致せず, 加工の向きに依存してそれぞれ彎曲し, 分離する.
- (2) 切削・研削方向と直角な方向の二つの向きの $\sin^2\psi$ 線図はよく一致し, かつ直線性がある.
- (3) X 線の残留ひずみの加工向き依存性は, 切削・研削などの方向性を有する加工 (有向性加工) によって生ずるもので, 往復運動によるラップ加工を施した非有向性加工層には生じない.
- (4) 単相の純鉄の研削加工層では, X 線の残留ひずみの加工向き依存性は生じない.
- (5) 炭素鋼の研削や切削による加工層における X 線の残留ひずみの加工向き依存性は, 巨視的残留応力の主応力軸と方向を異にし, 繊維状組織の塑性流れの方向に主応力軸を持つフェライト相とセメンタイト相との間で生ずる相応力に起因するものである.
- (6) 研削加工層の X 線の残留ひずみと巨視的残留応力および相応力との関係を表す式を示した. この式によって研削加工層の X 線の残留ひずみから巨視的残留応力と相応力とを分離して求めることができた.

(7) この計算で求めた巨視的残留応力は、機械的に測定した残留応力とよく一致した。また研削加工層のフェライト相では、繊維状組織の塑性流れの方向に圧縮の相応力、これと直角な方向に引張りの相応力が存在する傾向があることなどを明らかにした。

参 考 文 献

- 1) 古市亮蔵, 中山 守, 若林三記夫: X線応力測定による研削残留応力の測定方向依存性(1), 日本機械学会関西支部第228回講演会講演論文集(1972-6) 122.
- 2) 古市亮蔵, 中山 守, 若林三記夫: X線応力測定による研削残留応力の測定方向依存性(2), 日本機械学会講演論文集, 725-1 (1972) 33.
- 3) 日本材料学会: X線材料強度学, 養賢堂(1973) 209.
- 4) 石井勇五郎: 削り加工によるアルミニウム単結晶の変形について, 日本機械学会論文集, 17, 63 (1951) 131.
- 5) 英 崇夫, 福良二郎, 藤原晴夫: 鋼のセメンタイト(Fe_3C) 相中の応力のX線の測定, 日本機械学会論文集, 35, 270 (1969) 237.
- 6) L. Reimer: Röntgenographische Untersuchungen über den Einfluß des Kohlenstoffgehaltes auf Biege-Eigenspannungen in Stahl und Eisen, Z. Metallkde., 46, 1, (1955) 39.
- 7) 岩永省吾, 並川宏彦, 青山威恒: 表面層に急激な応力こう配をもつ試料のX線応力測定, 材料, 21, 231 (1972) 1106.

一表紙写真説明一

MCH-400 マシニングセンタ

本機はマイクロコンピュータ, ICメモリなどの採用により, 強電盤, 機械操作盤, 主軸ドライブユニットお

よび制御をすべてNC機体に内蔵しており, この機電一体化設計によるコンパクト, ローコストなマシニングセンタである。

特長

- 機電一体化設計により, フロアスペースを 8m^2 と大幅に縮小した。
- 完全一体化CNC装置の開発により, 機械と各機器間の無駄を取除き, コストダウンをも実現した。
- 工具マガジンをコラムサイドに設置しているため, 工具の着脱は一段と容易である。
- 同時多文字表示が可能なブラズマ式ディスプレイを採用しており, オペレータはキーインプットとの併用で, 機械と本格的に会話することができる。
- DCモータ採用の主軸回転は無段変速で, 加工物に最適な速度が選べる。

制御装置・主要仕様

(OKK-CNCMATIC三菱電機と共同開発)

機械本体・主要仕様

テーブル寸法	500×500 (mm)
ストローク	X=600, Y=450, Z=450 (mm)
切削送り速度	無段, 1~2,400mm/min
早送り速度	7,200mm/min
主軸回転数	無段, 60~3,000rpm
工具保有数	シーケンシャル方式, 20本
主軸モータ	DC7.5kW
機械重量	5,600kg

制御軸数	3軸, 同時2軸
補間機能	位置決め, 直線・円弧補間
指令単位	0.01mm, 0.001mm/パルス切換え方式
各種制御表示	ブラズマディスプレイ方式・128文字
制御範囲	強電シーケンスおよび強電盤内蔵, 主軸ドライブユニットおよび制御, 機械操作盤
構成	マイクロCPU+ICメモリ

大 阪 機 工 株 式 会 社

大阪市大淀区豊崎西通1~18 TEL (06) 371-2135 (大代)

工場(伊丹) (0727) 82-5121 東京支店 (03) 274-3281 名古屋営業所 (052) 581-9801
 姫路営業所 (0792) 82-7256 広島営業所 (0822) 92-0288 福岡営業所 (092) 281-6055
 北関東営業所 (0276) 45-0481 静岡営業所 (0542) 11-7919