

觸針式表面거칠기 測定器에 있어서
觸針의 先端曲率半徑과 測定圧이 測定에 미치는 影響

康明順* · 韓應教* · 權炯湖** · 趙南圭**

The Influence by Stylus Tip Radius and Measuring force on the
Stylus Type Surface Roughness Tester

Myung-Soon Kang, Eung-Kyo Han, Dong-Ho Kwon and Nahm-Gyoo Cho

ABSTRACT

The measuring Method by stylus, which measures surface roughness, has been widely used since G. Schmaltz developed the first equipment of that type.

With the resent development of the measuring method by stylus, surface roughness testing instruments of the very high magnification ratio, hundreds of thousands, are manufactured.

However, as the techniques of the high precision roughness measurement are being required, the response problems due to the tip shapes and the plastic deformations of measured surfaces due to the measured surface of mild material are to be serious factors.

In this study, diamond stylus of tip radius $0.5\mu\text{m}$, $2\mu\text{m}$, $5\mu\text{m}$ and $10\mu\text{m}$ were used under the measuring force of 0.01gf , 0.02gf , 0.07gf , 0.4gf and 1.6gf , and from the experimental data, maximum measured value decrements between $2\mu\text{mR}$ stylus and $5\mu\text{mR}$ stylus, $2\mu\text{mR}$ stylus and $10\mu\text{mR}$ stylus are 22% and 31%, respectively when the measured value of $2\mu\text{mR}$ stylus goes to $0.01\mu\text{m Ra}$, $\lambda c2.5\text{mm}$. And it is shown that plastic deformations on the measured surface are proportional to W/R (W ; measured force, R ; stylus tip radius).

* 漢陽大學校 教授

** 漢陽大學校 大學院

Nomenclature

B	: Width of the plastic deformation (μm)	L	: Traversing length
f(X)	: Output wave from input wave g(X)	O'	: Center point of stylus
f _t (S)	: Output wave from input wave gt(X)	R	: Stylus tip radius (μm)
g(X)	: Input wave of cosine curve form	R _a	: Arithmetical mean deviation
g _t (X)	: Input wave of sinusoidal curve form	R _{max}	: Maximum height of irregularities
H	: Height of the plastic deformation (μm)	R _z	: Ten point height of irregularities
HB	: Brinell hardness	T	: A period of cosine curve
		W	: Measuring force (gf)
		θ	: Tangential angle between g(X) curve and X axis
		θ_0	: Inclination of the g(X) curve
		ψ	: W/R

1. 緒 論

觸針式表面거칠기測定器는 1) 大部分의 固體表面의 檢査가 可能하고 2) 縱과 橫의 測定範圍가 크며 3) 橫方向의 分解能이 우수하고 4) 直接表面의 凹凸데이터가 얻어지기 때문에 統計處理가 容易한 點 等의 長點이 있어 表面거칠기 測定에 있어서 가장 많이 使用되고 있다. 그러나 觸針의 形狀에 의해 測定精度가 左右되고 測定에 의한 試料의 變形等의 問題點이 있다.

現在 KS 規格에는 觸針의 先端曲率半徑은 12.5 μm 以下로 規定되어 있고, 測定壓은 觸針의 先端曲率半徑이 2 μm , 5 μm , 10 μm 인 경우에 各各 0.07 gf, 0.4 gf, 1.6 gf 以下로 規定되어 있으나 高精度의 表面거칠기가 要求되는 경우에는 特別한 考慮를 하지 않으면 안된다.

表面거칠기 測定値와 觸針形狀의 關係는 0 Rogg^{1,2)} 等에 의해 橫形의 形狀面과 觸針의 先端曲率半徑과의 關係가 指摘되었으며, 大越博士³⁾ 等은 研削砥石의 組織을 檢査하기 위해 여러종류의 先端半徑 (0.15~5 μm) 의 鋼球를 使用하여 그 先端半徑과 單位길이당의 凹凸의 平均値 및 突起의

粗密을 測定하였다. 佐藤⁴⁾ 는 觸針의 先端이 골짜기까지 到達하지 못하여 發生하는 誤差를 二等邊三角形에 對하여 幾何學的으로 計算하였으며, 中村⁵⁾ 은 入力波形이 餘弦波形인 경우와 三角波形인 경우에 對하여 幾何學的으로 計算하여 거칠기曲線에 近似的인 線形領域의 必要條件을 求하였다.

그러나, 高精度의 表面거칠기를 測定할 경우에는 線形領域 以下까지의 測定이 불가피하며, 따라서 그 差異가 어느정도 發生하는지를 確實하게 하지 않고서는 測定値에 對한 信賴度의 問題가 發生하게 되므로 이를 明確히 規定하지 않으면 안된다. 또한, 測定面이 軟質材料인 경우에는 被測定面이 損傷될 우려가 있다.

따라서, 本 研究에서는 觸針의 先端曲率半徑이 測定精度에 미치는 影響과 測定壓에 의해 被測定面上에 發生하는 塑性變形에 대하여 檢討, 그 程度를 明確히 하고자 한다.

2. 觸針의 先端曲率半徑에 의한 거칠기曲線의 解析

2-1. 觸針에 의한 波形의 計算

우선 觸針의 周波數應答을 생각해 본다. 入力의

餘弦波形 $g(x)$ 를 $a \cos \omega x$ 로 하고, 先端曲率半徑 R 의 觸針이 滑動하는 경우, 円中心의 軌跡 卽, 出力波形을 $f(x)$ 로 한다.

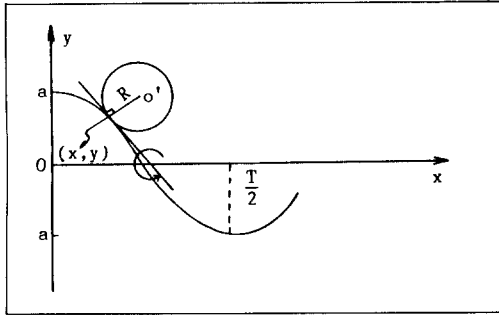


Fig. 1. Output by stylus tip radius R

Fig.1에서 觸針의 中心을 O' , 先端曲率半徑을 R 로 하고 O' 와 $g(x)$ 와의 接點을 (x, y) 라고 하면, $O'(X, Y)$ 와는 다음과 같은 關係가 成立한다.

$$\left. \begin{aligned} X &= x - R \sin \theta \\ Y &= y + R \cos \theta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

여기에서 $g(x)$ 의 接線과 x 軸이 이루는 角 θ 는

$$\tan \theta = y' = -\omega a \sin \omega x \dots\dots\dots (2)$$

로 表示된다.

角 θ 의 絶對值의 極大는 $|\sin \omega x| = 1$ 일 경우

$$f_t(x) = R + \frac{4a\tau}{\pi^2} + \frac{8a}{\pi^2} \left[(\cos \omega x + \frac{1}{9} \cos 3 \omega x) - \frac{\tau}{4} (\cos 2 \omega x + \cos 6 \omega x) \right] \dots\dots\dots (7)$$

이 된다.

2 - 2. 中心線平均거칠기와 觸針의 先端曲率半徑

i) 入力波形이 餘弦波形인 경우

$$\text{中心線平面거칠기의 定義}^{7,8)} \quad Ra = \frac{1}{L} \int_0^L |y| \, dL$$

로부터 入力波形에서

$$Ra = \frac{4}{T} \int_0^{T/4} |g(x)| \, dx = 2a/\pi \dots\dots\dots (8)$$

이고, 出力波形에서는

이므로, 여기에서 $x = n\pi$ (n : 常數)가 된다. 卽, 曲線 $g(x)$ 와 x 軸의 交點에서 $|\theta|$ 의 極大가 存在한다. 이 角의 tangent 값을 θ_0 로 하고, 曲線 $g(x)$ 의 傾斜로 定義한다.

또, 小坂, 甲藤⁶⁾등에 依하여 $\tan^{-1} \theta_0$ 는 15° 以內로 實測되어 $\theta_0 < 0.3$ 이므로

$$\theta_0 = 2\pi a/T \dots\dots\dots (3)$$

이다.

다음의 計算을 위해 $\alpha = 2\pi R/T$, $\tau = \alpha \theta_0$ ($\tau \ll 1$)로 定義하면, 式 (1), (2), (3)에서

$$X = x + R \theta_0 \sin \omega x - \tau R \theta_0 \cos X \sin \omega X \dots\dots\dots (4)$$

가 되므로

$$Y = R + \frac{1}{4} a \tau + a \cos \omega X - \frac{1}{4} a \tau \cos 2 \omega X \dots\dots\dots (5)$$

가 된다.

또, 入力波形이 三角波이면

$$g_t(x) = \frac{8a}{\pi^2} \left[\cos \omega x + \frac{1}{9} \cos 3 \omega x + \frac{1}{25} \cos 5 \omega x \right] \dots\dots\dots (6)$$

인 경우 그 出力 $f_t(x)$ 는

$$Ra' = \frac{4}{T} \int_0^{T/4} |f(x) - \bar{Y}| \, dx = 2a/\pi \dots\dots\dots (9)$$

가 된다. 但, $\bar{Y} = R + \frac{1}{4} a \tau$

ii) 入力波形이 三角形인 경우 入力波形에서

$$Ra = \frac{4}{T} \int_0^{T/4} |g_t(x)| \, dx = 15.4 a/\pi^3 \dots\dots\dots (10)$$

이고, 出力波形에서는

$$Ra' = \frac{4}{T} \int_0^{T/4} |f_t(x) - \bar{Y}| dx = 15.4 a / \pi^3 \dots\dots\dots (11)$$

가 된다. 但, $Y = 4a\tau / \pi^2 + R$ 이다.

以上에서 $r < 1$ 인 경우에는 中心線平均거칠기 값의 先端曲率半徑 R을 갖는 觸針에 의한 誤差를 無視할 수 있음을 알 수 있다.^{9,10)}

그러나 $r > 1$ 인 경우에는 被測定面上的의 미소한 거칠기曲線의 끝까지의 追跡이 곤란하여 그 誤差가 커진다.

3. 觸針의 先端曲率半徑과 測定壓에 의한 被測定面上的의 塑性變形

Brinell 硬度 $H_B = W / \pi DH$ 이므로 塑性變形的 높이 H는

$$H = \frac{1000}{2\pi} \cdot \frac{1}{R} \cdot \frac{W}{H_B} \dots\dots\dots (12)$$

이다. 따라서, 硬度를 알고 있는 被測定面的의 경우, 塑性變形的 높이 H는 W/R 의 函數가 된다. 편의를 위해 $W/R = \psi$ 로 한다.^{11,12)}

4. 實驗方法 및 實驗裝置

4-1. 觸針先端曲率半徑에 의한 表面거칠기 測定結果의 影響

a) 使用한 觸針의 先端形狀測定

實驗에 使用한 觸針의 先端形狀은 先端曲率半徑 $0.5\mu m, 2\mu m, 5\mu m, 10\mu m$ 의 다이아몬드 觸針을 形

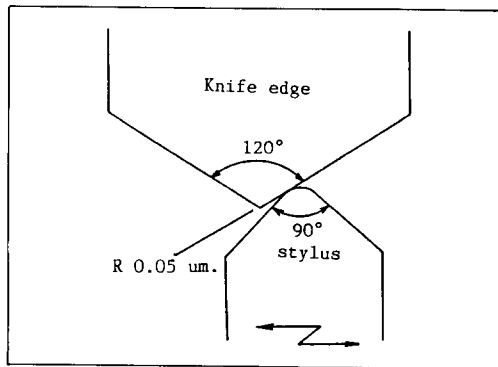


Fig. 2. Measuring method of stylus tip radius

狀測定器와 先端曲率半徑 $0.05\mu m$ 의 Knife edge 로 確認하였다. 또, 先端形狀이 橢圓形狀이 아닌 것을 確認하기 위하여 입의의 直交하는 두 方向에서 測定하였다. Fig.2에 그 方法을 보인다.

b) 測定壓의 確認

使用한 Pick-up의 測定壓은 電子式저울과 分銅으로 壓力을 確認하여 實驗에 使用하였다.

c) 表面거칠기 測定結果의 差異

i) 試驗片 A의 測定

測定壓 $0.07 gf, 0.4 gf, 1.6 gf$ 의 Pick-up에 先端曲率半徑이 $2\mu m, 5\mu m, 10\mu m$ 인 觸針을 交換하며, 測定速度 $0.5 mm/sec$, 測定길이 $2.5 mm$ 로 試作한 Fig.3의 試驗片 A를 測定하였다.

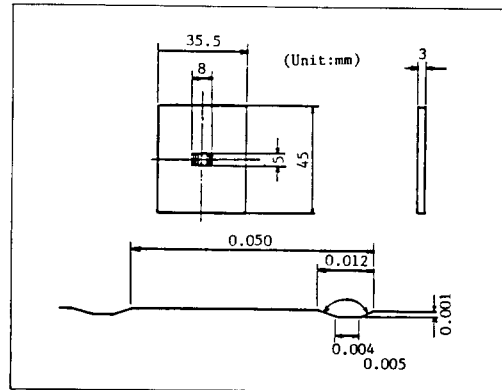


Fig. 3. Specimen A

ii) 試驗片 B의 測定

形狀測定器(測定壓 $0.02 gf$, 測定速度 $4\mu m/sec$,

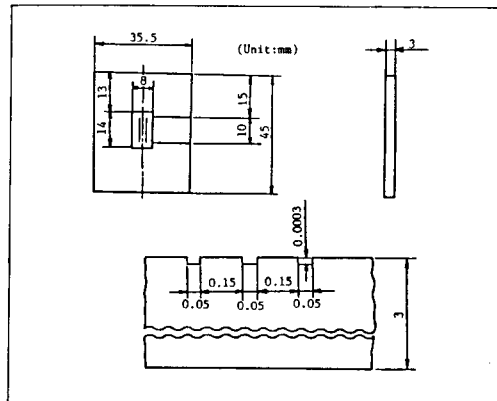


Fig. 4. Specimen B

倍率 500,000 倍)로先端曲率半徑 $0.5 \mu\text{m}$, $2 \mu\text{m}$, $5 \mu\text{m}$ 의 各 觸針을 交換하여 試作한 試驗片 B를 測定하여 그 出力波形을 檢出하여 先端曲率半徑에 의한 影響을 檢討하였다 (Fig. 4 참조).

iii) 실제 加工面에 있어서 測定結果의 影響

先端曲率半徑 $2 \mu\text{m}$, $5 \mu\text{m}$, $10 \mu\text{m}$ 의 觸針으로 0.07gf , 0.4gf , 1.6gf 의 測定壓下에서 研削面, 切削面, 放電加工面, Lapping 加工面 등을 임의로 5 個所의 測定位置를 選定하여 測定하였다. Photo. 1은 그 試片을 나타낸 것이다.

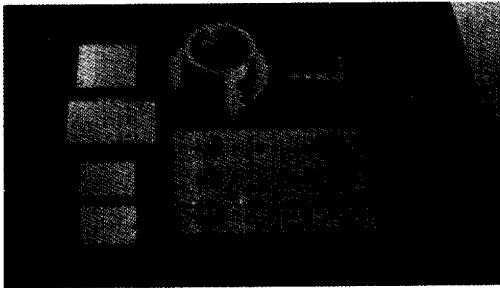


Photo. 1. Specimens

4 - 2. 觸針先端曲率半徑과 測定壓에 의한 塑性變形의 測定

a) 被測定面의 確認測定

實驗에 使用한 알루미늄蒸着面(蒸着두께 $5 \mu\text{m}$)의 初期表面을 微分干涉顯微鏡으로 確認하였다.

b) 初期測定面上의 塑性變形의 測定

먼저, 測定壓 0.01gf , 0.02gf , 0.07gf , 0.4gf , 1.6gf 로 先端曲率半徑 $0.5 \mu\text{m}$, $2 \mu\text{m}$, $5 \mu\text{m}$, $10 \mu\text{m}$ 의 各 觸針을 使用하여 알루미늄蒸着面의 測定實驗을 하였다(알루미늄蒸着面의 Brinell 硬度: 536).

이렇게 하여 發生한 被測定面上의 塑性變形을 우선 微分干涉顯微鏡으로 관찰한 다음 非接觸式 光 Sensor 와 觸針式(先端曲率半徑 $0.5 \mu\text{m}$, 測

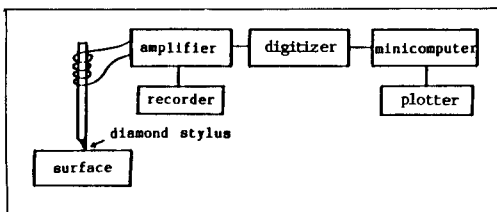


Fig. 5. Block-diagram of stylus type surface roughness measuring instrument

定壓 0.01gf , 測定速度 $4 \mu\text{m}/\text{sec}$)의 두가지 方法으로 確認測定하였다.

5. 實驗結果 및 考察

5 - 1. 觸針先端曲率半徑에 의한 表面거칠기 測定結果의 影響

a) 使用한 觸針의 先端形狀

Fig. 6에 實驗에 使用한 觸針의 先端形狀을 보인다. 左右의 두 그림은 先端形狀이 橢圓이 아닌 것을 確認하기 위하여, 임의의 直交하는 두 方向의 測定結果이며, 先端角 90° 의 觸針이 120° 로 測定된 것은 測定에 使用된 Knife edge의 先端角 120° 에 依한 것이다.

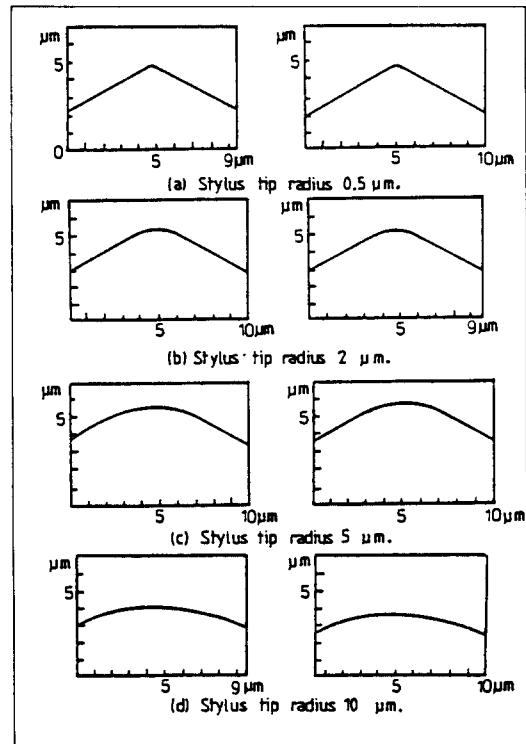


Fig. 6. Stylus tip radius used in experiments

b) 表面거칠기 測定結果의 差異

i) 試驗片 A의 測定結果

Fig. 7은 試作한 試驗片 A의 測定結果를 보이며, 右側의 참고도는 실제의 測定時에 現在 KS規格에 依해 先端曲率半徑 $5 \mu\text{m}$ 와 $10 \mu\text{m}$ 의 觸針이

各各 測定壓 0.4 gf 와 1.6gf 下에서 測定되고 있으므로 첨가하였다.

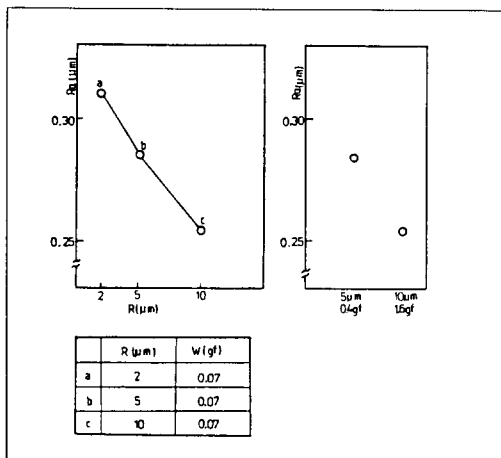


Fig. 7. Experimental data of specimen A

ii) 試驗片 B의 測定結果

Fig. 8은 試作한 試驗片 B의 測定結果를 보이며, 觸針이 그림과 같은 골짜기를 測定하며 進行할 경우, 실제의 거칠기면과 先端曲率半徑 0.5 μm, 2 μm, 5 μm의 各 觸針에 依한 出力의 差異를 보인다.

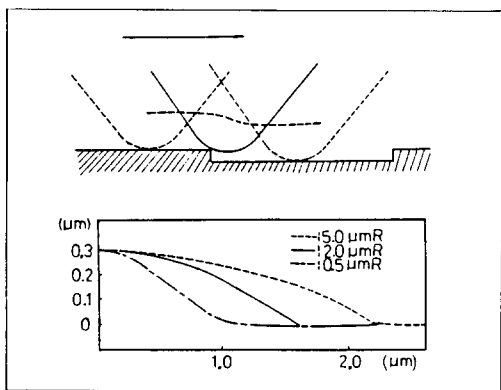


Fig. 8. Experimental data of specimen B

iii) 실제 加工面に 있어서의 測定結果의 影響

Fig. 9~ Fig. 14는 실제 加工面の 測定結果를 보이고 있으며, 右側의 참고도는 Fig. 7과 같은 의미에서 첨가한 것이다. 또한, 참고로 最大높이 (R_{max})와 十點平均거칠기 (R_Z) 表示法에 의한 測定結果를 함께 表示하였다.

그리고, 各 表示法에 依한 測定値는 Microcomputer에 依하여 同時に 測定한 結果임을 밝혀둔다.

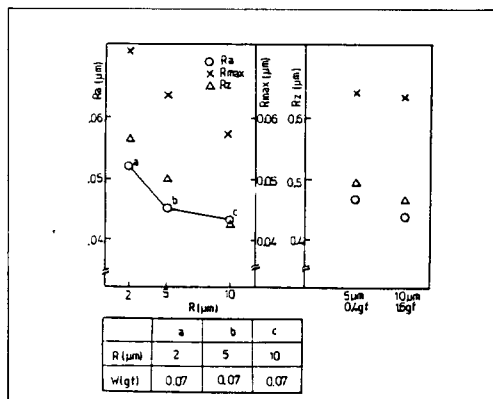


Fig. 9. Experimental data of machined surface A by grinding

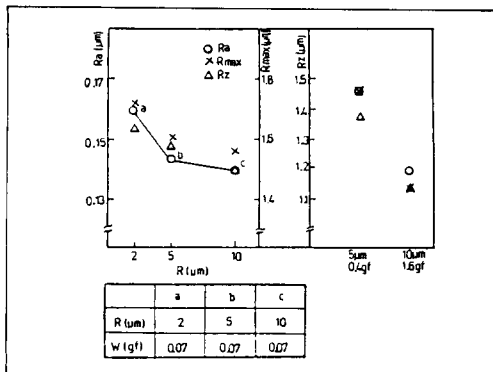


Fig. 10. Experimental data of machined surface B by grinding

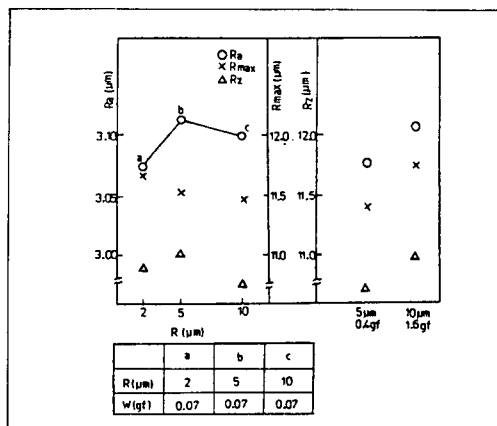


Fig. 11. Experimental data of machined surface B by cutting

5 - 2. 觸針先端曲率半徑과 測定壓에 의한 被測定面上的 塑性變形 測定

Fig. 15는 觸針先端曲率半徑과 測定壓에 의해 被測定面上에 發生한 塑性變形的 높이를, Fig. 16은 幅을 보인다. Fig. 15에서 나타낸 바와 같이 塑性變形的 높이는 ψ 即, W/R 에 比例하여 增大함

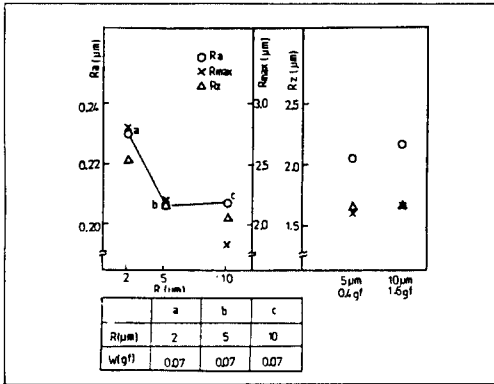


Fig. 12. Experimental data of machined surface A by electrical-discharge machining

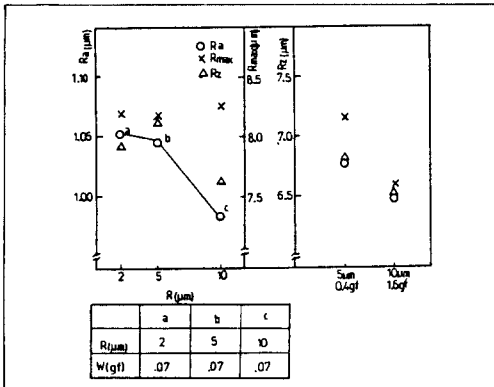


Fig. 13. Experimental data of machined surface B by electrical-discharge machining

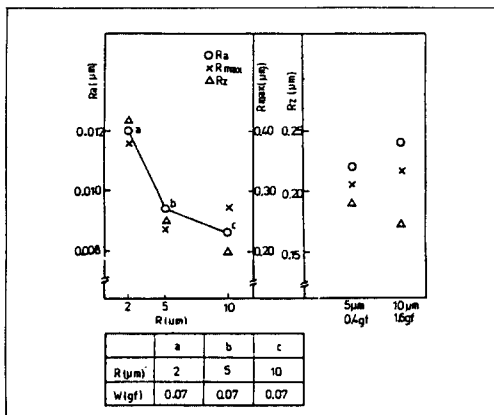


Fig. 14. Experimental data of machined surface A by lapping

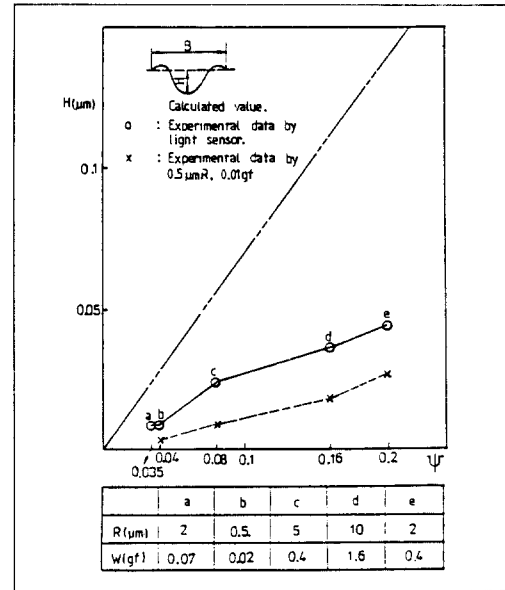


Fig. 15. Height of plastic deformation

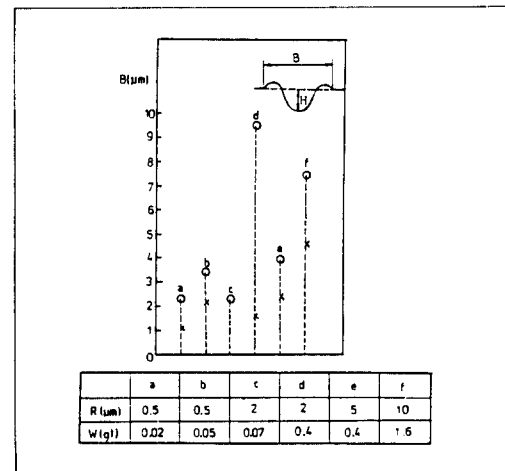


Fig. 16. Width of plastic deformation

을 알 수 있으며, Fig.16의 결과에서 非接觸光 Sensor에 의한 測定値가 觸針式 測定結果보다 크게 檢出된 것은 非接觸光 Sensor의 경우, beam spot의 半徑이 $0.8\mu\text{m}$ 의 크기를 갖고 있어서 나타난 結果로 생각된다.

6. 結 論

以上の 實驗에서 다음과 같은 結論을 얻었다.

1) 測定壓 0.07gf 에서 測定길이 2.5mm 인 경우, 先端曲率半徑 $2\mu\text{m}$ 觸針에 의한 測定値가 $1\mu\text{m Ra}$ 에서 $0.01\mu\text{m Ra}$ 로 變함에 따라 $5\mu\text{m R}$ 觸針과 $10\mu\text{m R}$ 觸針에서는 測定値가 各各 最大 22%와 31%까지의 差異가 發生함을 알았다.

2) 先端曲率半徑 R과 測定壓 W에 의한 被測定面上的의 塑性變形의 크기는 $0.035 < \psi (=W/R) < 0.2$ 의 範圍에서 ψ 에 比例하여 增大되고 있다.

References

- O. Rogg: "Beitrag zur Frage des Zahnradschabens, VDI-Z, 99, 8, p. 311, 1956
- Iones, P. F.: "The Accuracy of Surface Roughness Assessment," I. II. III Microt., Vol. 16, No. 3, p. 105, 1962, Vol. 17, No. 3, p. 114, 1963, No. 4, p. 121, 1963
- 大越諄: "引拔不銹鋼管の迅速研摩法に關する研究," 昭和 30 年度試驗研究依託事業費による 研究報告書, 科學研究所, p. 171, 1955
- 佐藤健兒: "表面測定に於ける觸針法の誤差に就て," 日本精密機械學會誌, 13 卷 2 號, pp. 7-45, 1947
- 中村常郎: "觸針の先端曲率によるアラサ曲線の歪みの解析," 精密機械 26 卷 16 號, p. 86, 1959
- 甲藤好郎: "表面あらさの統計的解析(第 2 報)," 日本機械學會論文集, 22 卷 122 號, p. 699, 1956
- 奈良治郎: "不規則な表面凹凸の測定法と表示法に關する研究," 計量研究所報告, 15, 4, p. 277, 1966
- D.G. Chetwynd: "The Digitization of Surface Profiles," Wear, 57, p. 137, 1979
- 小坂誠市郎: "高倍率の表面粗さメーター試作報告," VII-II, 1940
- 宮本岩男外 3 人: "イオンゼーム加工により成形したナイフエッジを利用した觸針先端半徑の一評價法," 日本精密機械學會秋季大會學術講演論文集, p. 142, 1982
- R.C. Spragg and D.J. Whitehouse: "A New Unified Approach to Surface Metrology, proc. Inst. Mech. Engrs., 185, p. 697, 1970~1971
- R.S. Sayles and T.R. Thomas: "Measurements of the Statistical Microgeometry of Engineering Surfaces," Trans. ASME, J. Lub. Tech., 101, p. 409, 1979