

平面研削에 있어서 슷들의 粒度와 表面거칠기와의 關係

鞠 畧 漢* · 金 成 天** · 黃 炳 秀**

On the Relation between Grain Size of Grinding Wheel and Surface Roughness in Surface Grinding

Kook Jeong Han · Kim Seong Chun · Hwang Byoung Soo

Abstract

The Surface roughness is affected by the factors such as elements of grinding wheel, grinding conditions, and so on.

Of all these factors, we studied surface roughness variation in accordance with grain size of grinding wheel and grinding depth of cut on the surface grinding. Tempered, annealed, quenched, and non-heat treated materials were used as specimen.

The results obtained in these experiments are as follows:

- 1) The smaller the hardness is, the better the grinding surface roughness becomes.
- 2) Tempered materials after quenching shows the finest finished surface on grinding.

1. 序 論

機械部品에 있어서 다듬질面이 要素의 耐磨耗性, 疲勞強度 및 耐蝕性에 影響을 미치고 있음을 많은 研究結果¹⁾에서 알 수 있다. 研削作用과 研削機構에 대한 理論的인 展開과 實驗的인 究明은

상당한 發展을 하여 왔으나, 아직도 未決의 問題가 남아 있어, 將來에 많은 研究가 이루어져 定立되어 갈 것으로 思料된다.

研削加工面의 表面거칠기 生成에 影響을 미치는 諸因子는 加工物의 材質에 따른 研削스틀 粒子의 種類²⁾, 研削스틀 粒子의 크기와 有效切削날과

* 仁荷大學校 大學院 機械工學科

** 仁荷工業專門大學 副教授

無効切削날의 關係³⁾ 등 여러가지가 있다.

이와 같이 研削加工面の 表面거칠기는 여러가지 條件에 따라 變化되므로 本 研究에서는 合金 工具鋼 (STS3)을 使用하여 研削숫돌의 粒度變化와 研削깊이에 따른 表面거칠기 關係를 實驗을 통하여 考察하였으며, 아울러 工作物의 熱變形에 따른 形狀誤差에 대하여도 檢討하여 보았다.

또한, 이 實驗에 있어서는 素材를 熱處理 (Quenching, Annealing, Quenching and Tempering)한 材料와 熱處理하지 않은 材料를 同一한 平面研削條件으로 加工한 結果에 대하여 研究檢討하였다.

2. 研削加工에서 表面거칠기에 關한 理論式

2-1. 佐藤의 理論式⁴⁾

表面거칠기를 研削方向의 거칠기와 이것과 直角方向의 거칠기로 나누어 Fig.2-1 과 같이 円筒研削인 境遇에 대하여 誘導하였다.

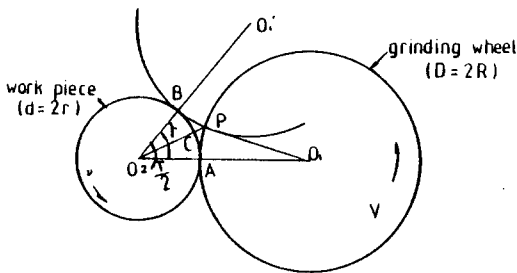


Fig. 2-1. Relation between grinding wheel and work piece in cylindrical grinding

研削숫돌粒子的 間隔을 λ , 研削숫돌과 工作物의 半徑을 各各 R과 r, 그리고 숫돌의 圓周速度를 V, 工作物의 圓周速度를 ν 라 할 때 다음과 같은 關係式이 成立된다.

$$r = \frac{\nu}{V} \cdot \frac{\lambda}{r} \quad \dots\dots\dots (2-1)$$

한편, $\triangle O_1 O_2 P$ 에서

$$\overline{O_1 P}^2 = \overline{O_1 O_2}^2 + \overline{O_2 P}^2 - 2\overline{O_1 O_2} \cdot \overline{O_2 P} \cos(\gamma / 2) \quad \dots\dots\dots (2-2)$$

여기서 表面거칠기 $\overline{CP} = \triangle r$ 이라고 하고 $\triangle r$ 은 半徑 r 에 비하여 작으므로 $\triangle r^2$ 항을 무시하고 또한 γ 가 작기 때문에 $\cos(\gamma / 2) = 1 - (1/8)\gamma^2$ 로 하여 計算하면

$$\triangle r \cong \frac{1}{8}(R+r) \frac{r}{R} \gamma^2 \quad \dots\dots\dots (2-3)$$

式(2-1)을 式(2-3)에 代入하면 다음과 같은 研削方向으로의 表面거칠기에 關한 式을 얻게 된다.

$$\triangle r \cong \frac{1}{8} \cdot \frac{R+r}{Rr} \left(\frac{\nu}{V}\right)^2 \lambda^2 \quad \dots\dots (2-4)$$

다음에 研削方向에 대하여 直角方向의 表面거칠기 ($\triangle b$)는 研削숫돌 粒子的 直径 d_o 인 鋼球 (Ball)로 생각하고 研削面에 남는 研削숫돌 粒子的 자국의 幅을 b라고 하면

$$\triangle b \cong \frac{1}{4} \cdot \frac{b^2}{d_o} \quad \dots\dots\dots (2-5)$$

따라서 一般式은 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} \triangle &= \triangle r + \triangle b = \frac{1}{8} \cdot \frac{R+r}{Rr} \left(\frac{\nu}{V}\right)^2 \lambda^2 + \\ &\quad \frac{1}{4} \cdot \frac{b^2}{d_o} \quad \dots\dots\dots (2-6) \end{aligned}$$

平面研削인 境遇 $r = \infty$ 이므로 一般式은 다음과 같이 變形된다.

$$\begin{aligned} \triangle &= \frac{1}{8} \cdot \frac{1}{R} \left(\frac{\nu}{V}\right)^2 \lambda^2 + \frac{1}{4} \cdot \frac{b^2}{d_o} \\ &\quad \dots\dots\dots (2-7) \end{aligned}$$

2-2. 中山, M.C. Shaw의 理論式⁵⁾

研削숫돌의 粒자가 숫돌의 表面에 同一半徑 位置에 分布하고 있고 또한, 숫돌粒자에 의하여 切削되는 Chip의 모양과 크기는 Fig.2-2와 같이 研削方向에 대하여 $\pm \sqrt{2\rho/D}$ 의 기울기를 갖고 있으며 研削方向에서 보면 숫돌粒자의 先端半徑 ρ

를 半徑으로 하는 円弧를 그리고 側方에서 보면
 숫돌의 直徑D의 形狀을 갖는 것으로 假定하고 理
 論式을 誘導하였다.

$$\ell = 2 \sqrt{Dh} \dots\dots\dots (2-8)$$

$$b = 2 \sqrt{2\rho h} \dots\dots\dots (2-9)$$

$$\ell/b = \sqrt{D/2\rho} \dots\dots\dots (2-10)$$

여기서 ℓ : 研削자극의 길이
 D : 研削숫돌의 直徑
 h : 研削表面거칠기
 ρ : 研削숫돌粒子的 先端半徑

이다.

研削作業을 한 單位面積當 숫돌粒子的 數를 C
 라고 하면 研削숫돌의 圓周速度 V, 工作物의 移送
 速度를 ν 라고 할 때, 單位面積當 研削자극의 數
 는 $C(V/\nu)$ 가 된다. 따라서, 研削숫돌 粒
 子한개의 投影面積은 ν/CV 가 되고 Fig.2-2에
 서의 投影面積 $\ell b/2$ 와 같게 된다.

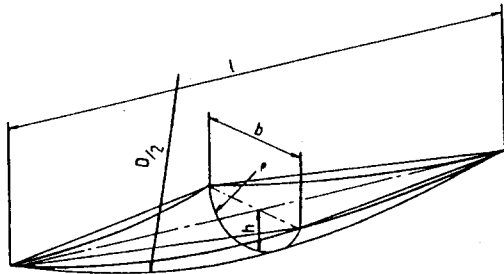


Fig. 2-2. Idealistic grain track in surface grinding

따라서 式 (2-8), (2-9) 와 함께 考慮하면

$$\nu / CV = \ell b / 2 = 2h \sqrt{2\rho D}$$

$$\therefore h = \frac{\nu}{2VC \sqrt{2\rho D}} \dots\dots\dots (2-11)$$

또한 單位 體積當 숫돌粒子的 數를 $A(\text{個}/\text{mm}^3)$,
 숫돌粒子的 切刃높이 (grain depth of cut)를
 h_0 라고 하면, $h > h_0$ 인 領域에서는 $C = A(h -$
 $h_0)$ 인 關係가 되어 結果적으로 式 (2-11) 은 다
 음과 같이 變形된다.

$$h = \frac{h_0}{2} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{2\nu}{VAh_0^2 \sqrt{2\rho D}}} \right) \dots\dots\dots (2-12)$$

3. 實 驗

3-1. 試片製作

試片材料는 合金工具鋼 (STS3) 을 使用하였으
 며 그 化學的 組成은 Table3-1 과 같다.

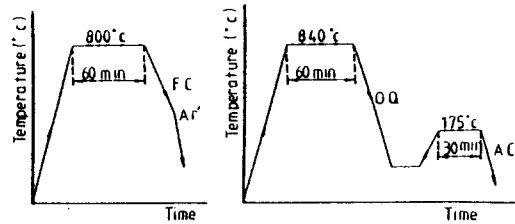
Table. 3-1. Chemical composition of specimen

(%)								
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	W	Ni
1.1	0.25	0.94	0.015	0.008	0.9	0.05	0.83	0.09

試片의 크기는 22 mm x 18 mm x 60 mm (폭 x 두께 x
 길이) 로 택하였으며 上面은 Milling machine
 (Enshu, UF型; Japan) 에서 End mill로 加工
 한 後, Quenching, Annealing, Tempering의
 熱處理 作業을 行하였으며 熱處理作業을 하지 않
 은 試片과 함께 平面研削 加工을 하였다.

使用한 研削機는 Surface grinding machine
 (Hikari Co. HG-500 A; Japan) 으로 숫돌의
 圓周速度 1760 m/min 研削깊이 5 μ 으로 하여
 Table 移送速度는 10 m/min 으로 同一한 作業
 條件 狀態에서 Spark out 될 때까지 反復, 研削
 加工하였다.

또한 熱處理作業에 使用한 爐는 Muffle 形 電氣
 加熱爐 (Wild barifield Ltd Model HW 0905,
 Type SMO-S-30, Capacity 10Kw; England)



(a) Annealing (b) Quenching and Tempering

Fig. 3-1. Schematic diagram of heat treatment

이며 試片을 800 °C까지 加熱하고, 그 溫度에서 約 60 分間 維持시킨 後 Ar₁ 變態點區間을 20 °C/h 로 爐冷시켰으며, Ar' 變態點 以下에서는 空冷하였다.

Quenching- Tempering 할 試片은 Fig.3-1과

같이 840 °C에서 約 60 分間 維持시킨 다음 油冷 (60 °C)시켰으며, Tempering 은 175 °C에서 30 分 維持시킨 다음 空冷하였다.

Table.3-2.는 熱處理 作業條件 및 試片의 硬도를 表示하였다.

Table. 3-2. Heat treatment conditions

No-heat treatment	Annealing	Quenching	Quenching and Tempering	Transition Point (°C)	
				Ac	Ar
	800 °C (60 min.) F.C	840 °C (60 min.) O.Q	175 °C (30 min.) A.C	745 -775	675 -690
H _R C 18	H _R C 15	H _R C 62	H _R C 60		

F.C: Furnace Cooling, O.Q: Oil Quenching, A.C: Air Cooling

3-2. 實驗方法

研削숫들은 Al₂O₃ 系의 WA 숫들을 使用하였으며 숫들의 結合度 (L), 組織(5), 結合劑(V)는 同一한 것으로 選擇하였다. 研削숫들의 粒度는 一般의으로 구입이 容易하고 많이 利用되고 있는 No 60,80,100 의 3種을 選擇하여 숫들의 粒度變化에 따른 表面거칠기의 變化를 考察하였다. Photo. 3-1 은 WA 60L5V-10'×3'×1'의 研削숫들을 使用한 平面研削作業을 나타낸 것이다.

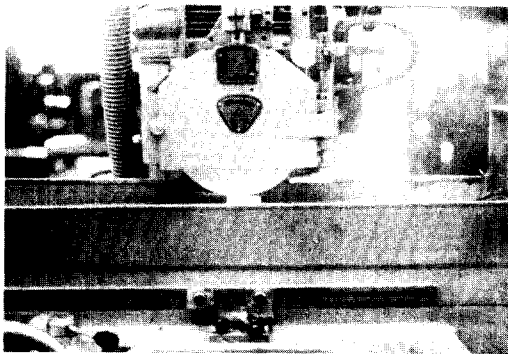


Photo. 3-1. Surface grinding operation

平面研削作業條件은 研削숫들의 圓周速度 1760 m/min 테이블의 移送速度는 10m/min 로 하

였으며, 研削깊이는 精密研削의 範圍내에 있는 5 μ, 10μ, 15μ, 20μ 로 變化를 하여 同一한 作業條件으로 實驗하였다. 加工方法은 Magnetic Chuck 에 試片을 裝着하고, 精度 0.001 mm 의 Dial gage 를 利用하여 所要의 研削깊이를 測 다음, 1 회 上向作業이 되도록 自動移送시켰다.

工作液은 使用하지 않았으며 研削加工前에 숫들을 每回 dressing 作業을 하여 同一한 條件을 갖도록 努力하였고, 發生된 磁性은 脫磁機로 除去하였다.

3-3. 試片의 測定

1) 表面거칠기의 測定

平面研削方向에 대하여 直角方向으로 中心線平

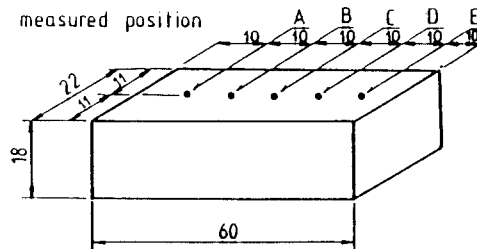


Fig. 3-2. Specimen and measuring position

均거칠기 (Ra)로 表面거칠기를 測定하였으며, 測定位置는 Fig.3-2와 같이 試片의 길이 方向으로 끝에서 10mm等間隔으로 나누어 5個所를 測定하였다. 使用한 測定器는 Surface roughness tester (Kosaka, SE-3C型; Japan)로 Cut off 값은 0.8mm로 하였다.

2) 平面研削 加工面의 形状誤差測定

試片의 形状誤差를 檢討하기 위하여 Fig.3-2와 같이 測定位置로 各 試片마다 同一하게 定한 後 0.0001mm의 精度를 갖는 Electro-Comparator (Model MC-501-3; Japan)를 利用하여 測定하였다.

4. 實驗結果 및 考察

4-1. 研削숫돌의 粒度和 表面거칠기와의 關係
中心線 平均거칠기 (Ra)로 測定한 結果를

Table4-1에 나타내었으며 한 부분을 Fig.4-1에 보였다.

Table 4-1. Experimental data (Surface roughness)

熱處理	研削숫돌 研削깊이 (μ)	WA60L5V	WA80L5V	WA100L5V
		Quenching	5	0.46
	10	0.48	0.43	0.36
	15	0.52	0.47	0.38
	20	0.55	0.48	0.40
No-heat treatment	5	0.37	0.34	0.29
	10	0.37	0.35	0.30
	15	0.39	0.37	0.33
	20	0.43	0.39	0.34
Annealing	5	0.34	0.29	0.26
	10	0.36	0.30	0.27
	15	0.39	0.33	0.28
	20	0.41	0.36	0.30
Tempering	5	0.30	0.26	0.22
	10	0.31	0.29	0.24
	15	0.35	0.31	0.27
	20	0.37	0.32	0.28

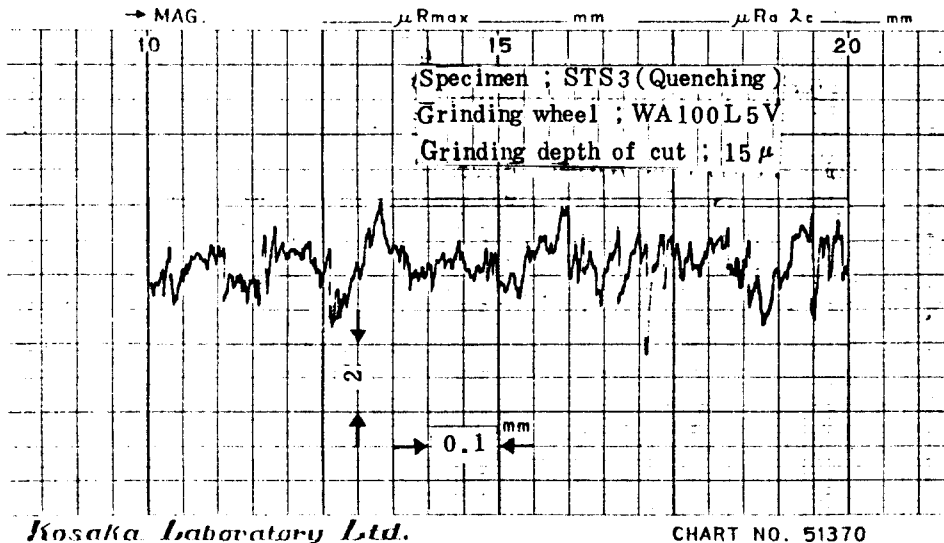


Fig. 4-1. Profile of surface roughness

Fig. 4-2 ~ 4-5에 나타난 바와 같이 숫돌의 粒度番號가 클수록 表面거칠기는 向上하는 傾向을 보이고 있으며 研削깊이가 20μ, 15μ, 10μ, 5μ로 작아질 수록 表面거칠기는 良好함을 나타내었다.

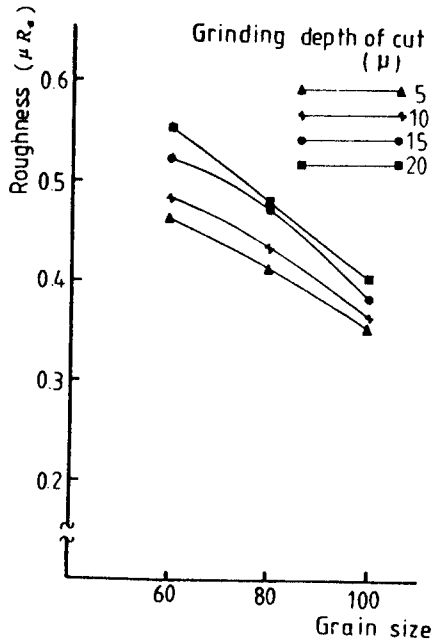


Fig. 4-2. Roughness variation in accordance with grain size (Quenching)

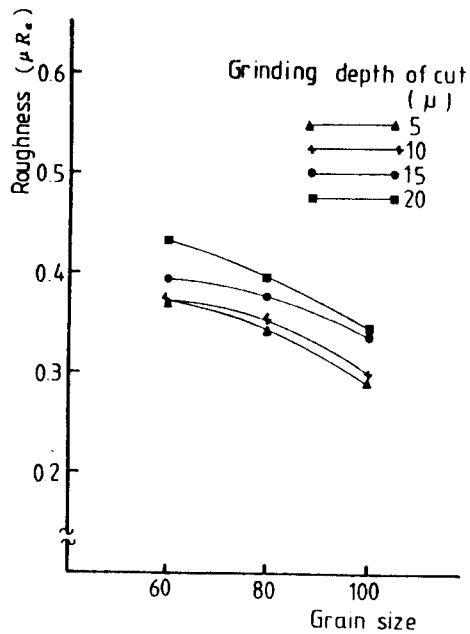


Fig. 4-3. Roughness variation in accordance with grain size (No-heat treatment)

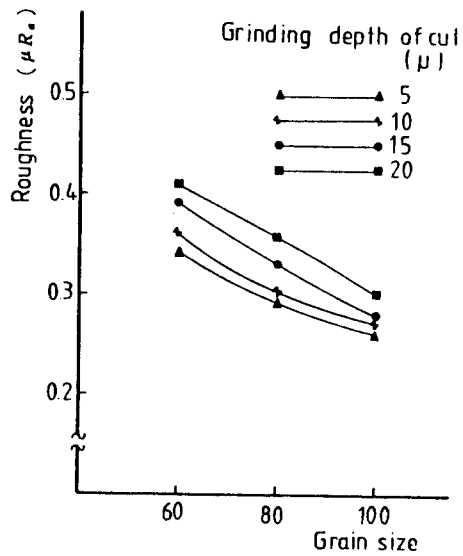


Fig. 4-4. Roughness variation in accordance with grain size (Annealing)

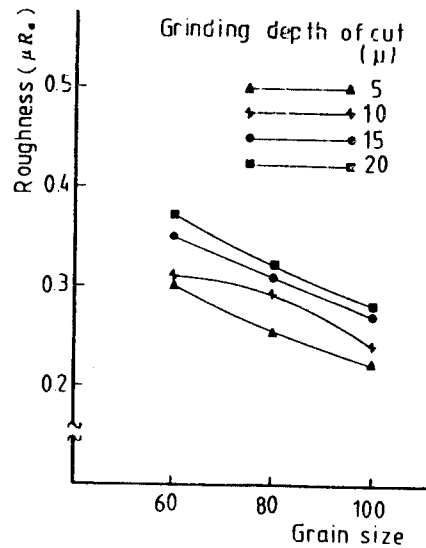


Fig. 4-5. Roughness variation in accordance with grain size (Tempering)

위의 결과를 佐藤, Shaw의 理論式을 토대로 하여 檢討하여 보겠다. 물론 실제의 平面研削에 있어서는 工作物의 溫度上昇을 抑制하기 위하여,

工作液을 使用하는 것이 一般的이며, 또한 工作物은 往復運動을 하므로 숫돌과 工作物과의 相對速度는 數시로 變化한다.

이와 같이 本研究에서 행한 實驗과 실제 平面研削에서의 條件은 相異하나 1回 研削으로 나타나는 結果는 基本的으로 유사하다고 볼 수 있다. 또한 이 基本理論을 擴張시킴으로써 실제의 平面研削에 適用할 수 있는 可能性이 있는 것으로 思料된다. 이들 結果는 佐藤, Shaw의 理論式과 유사한 傾向을 나타내고 있음을 알 수 있다. 즉, 研削숫돌의 粒子가 작을수록 (숫돌의 粒度番號가 클 수록) 單位體積當 숫돌 粒子의 數가 많으므로 表面거칠기는 良好하여지는 傾向을 나타내고 있다.

4-2. 研削깊이와 表面거칠기와의 關係

Fig.4-6에 담금후 뜨임 (Tempering)한 試片에 대하여 研削깊이에 따른 表面거칠기 關係를 나타내었다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 研削깊이가 적을수록 表面거칠기는 良好하여지는 傾向을 보이고 있다.

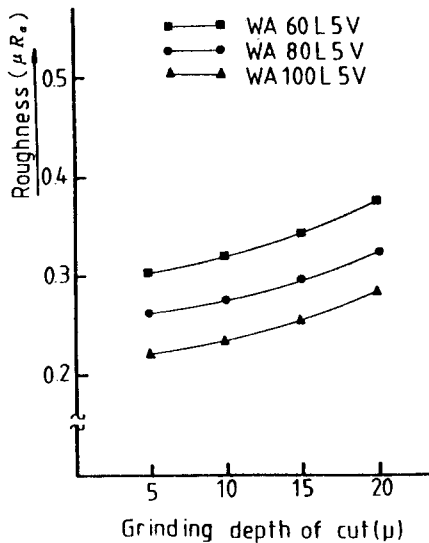


Fig. 4-6. Roughness variation according to the grinding depth of cut

또한 素材를 담금질 (Quenching)한것, 담금後 뜨임 (Tempering)한것, 풀림 (Annealing)한것, 熱處理하지 않은것 (No-heat treatment)의 4種으로 分類하여 Fig.4-7에 나타난 바와 같이 表面거칠기는 담금후 뜨임한 素材가 가장 良好하게 나타났으며 熱處理하지 않은 素材 - 풀림한 素材 - 담금질한 素材의 順으로 表面거칠기는 良好한 傾向을 나타내었다.

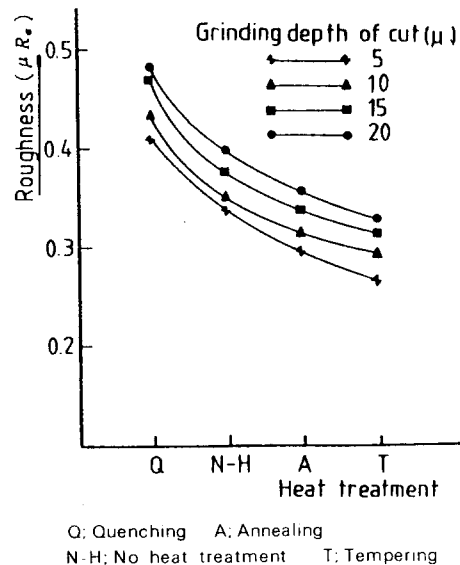


Fig. 4-7. Roughness variation according to the heat treatment

4-3. 平面研削 加工面の 形狀誤差에 關한 考察

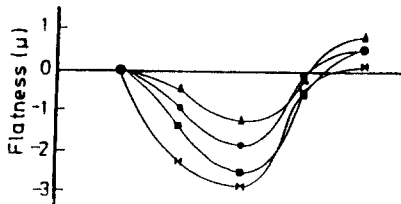
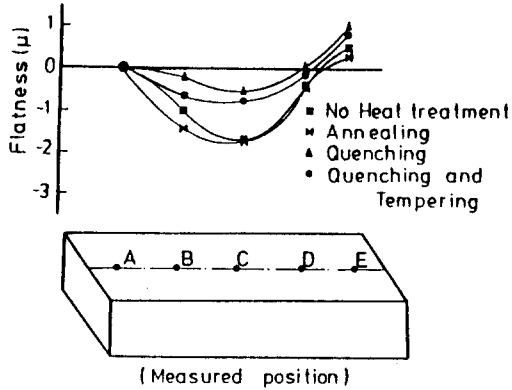
平面研削에서 熱變形으로 인한 加工面の 形狀誤差를 檢討하기 위하여 測定한 結果를 Table4-2에 表示하였으며, 研削깊이가 5μ, 15μ인 境遇에 대하여 研削숫돌 WA 60 L 5 V를 使用하였을 때 測定한 結果를 Fig.4-8에 나타내었다.

本 實驗에 따르면 平面研削 加工面은 中央이 오목한 面으로 됨을 알 수 있으며 熱處理에 따른 形狀誤差 變化는 Quenching한 素材가 가장 熱變形이 적어 良好한 狀態를 나타내고 있으며 研削깊이가 적을수록 加工面の 中央이 낮은 오목한 形狀을 나타내었다.

Table. 4-2. Experimental data of measuring flatness

研削寸數 測定位置		熱處理		No-Heat treatment		Annealing		Quenching		Tempering	
		研削 깊이 (μ)		5	15	5	15	5	15	5	15
		A	B	5	15	5	15	5	15	5	15
WA 60 L 5 V	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	B	-1.0	-1.3	-1.5	-2.2	-0.2	-0.4	-0.7	-0.9	-0.7	-0.9
	C	-1.9	-2.5	-1.8	-2.9	-0.6	-1.3	-0.8	-1.9	-0.8	-1.9
	D	-0.4	-0.6	-0.4	-0.6	+0.0	-0.3	-0.2	-0.1	-0.2	-0.1
	E	+0.5	+0.5	+0.3	+0.1	+1.0	+0.8	+0.8	+0.5	+0.8	+0.5
WA 80 L 5 V	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	B	-0.5	-0.9	-0.6	-1.8	-0.1	-0.3	-0.5	-0.7	-0.5	-0.7
	C	-1.0	-1.8	-0.9	-1.7	-0.5	-1.9	-0.6	-1.0	-0.6	-1.0
	D	+0.0	+0.0	-0.1	-0.2	+0.4	+0.3	+0.1	+0.1	+0.4	+0.1
	E	+0.3	+0.4	+0.3	+0.2	+0.6	+0.8	+0.4	+0.6	+0.6	+0.6
WA 100 L 5 V	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	B	-0.4	-0.5	-0.5	-1.1	-0.1	-0.2	-0.2	-0.5	-0.2	-0.5
	C	-0.7	-2.0	-0.9	-1.9	-0.5	-1.2	-0.5	-1.7	-0.5	-1.7
	D	-0.2	-0.3	-0.6	-0.5	+0.0	-1.0	-0.1	-0.4	-0.1	-0.4
	E	+0.1	+0.3	+0.0	+0.2	+0.2	+0.5	+0.2	+0.4	+0.2	+0.4

(a) Grinding depth of cut(5μ)



(b) Grinding depth of cut(15μ)

Fig. 4-8. Configuration error of working surface in plane grinding (WA 60L 5V)

5. 結 論

平面研削作業에 있어서 合金工具鋼 (STS3)을 素材로 使用하여 研削寸數의 粒度番號와 研削깊이의 變化에 의한 表面거칠기의 關係와 素材의 熱處理에 따른 表面거칠기의 變化 및 研削加工面의 形狀誤差 關係에 대하여 考察하였다. 考察한 結果를 要約하면 다음과 같다.

- 1) 素材의 熱處理 方法에 따른 研削加工面의 表面거칠기는 담금후 뜨임한 素材가 가장 良好하였으며, 熱處理하지 않은 素材 - 풀림한 素材 - 담금칠한 素材의 順으로 良好하였다.
- 2) 本 實驗에서와 같이 冷却劑를 使用하지 않은 境遇에 있어서, 平面研削 加工面의 形狀도 살펴 본 結果, 熱變形으로 인한 影響으로 加工面의 中央이 오목한 形狀을 나타내었다.

参 考 文 献

1. 高澤孝哉, 研削加工精度, 精密機械, 39 卷, 2 号, p.186~p.193(1973)
2. 稲崎一郎, 米津栄, といし作業面のうねりに關する研究, 日本機械學會論文集, 34 卷 257 号, p.183~p.190(1967)
3. 進村 男, 研削砥石の有効切わ刃に關する 一解機械の研究, 24 卷 9 号, p.1209~p.1211 (1972)
4. 佐藤, 研削仕上面のあらさ, 精密機械, 16 卷 4 号, p.117(1950)
5. 中山一雄, M.C. Shaw, 研削仕上面のあらさ, 日本 機械學會論文集, 37 卷 293 号, p.178~p.186(1971)