

《論 文》

## 고주파열처리에 의한 SM45C 경도가 가공 표면 품질에 미치는 영향에 관한 연구

김 원 일 · 허 성 중\*

경남대학교 기계공학과

\*경남대학교 대학원

A Study on the Surface Roughness Influenced by SM45C Hardness in High Frequency Induction Hardening

W. I. Kim and S. J. Heo\*

Department of Mechanical Engineering, Kyung-Nam Univ.

\*Graduate School, Kyung-Nam Univ.

### ABSTRACT

In this paper, the surface roughness influenced by Sm45C hardness in high frequency induction hardening and mechanical characteristics for the changed Hv 598 part and the unchanged hardness Hv 223 part by use of cermet and ceramic cutting tools was experimentally examined.

Finally, we could be had some important results by processing surface roughness on cutting conditions such as cutting speed, feed rate, depth of cut and changes of tool nose radius.

The results are summarized as follows.

1. In case of the same cutting condition, the hardness of workpiece was high and acquired the best processing surface roughness when the radius of the tool nose had 0.8mm and feed rate was 0.04 mm/rev.
2. In case of the hardness of workpiece, though the cutting speed didn't have an effect on processing surface roughness, the less feed rate and the more processing surface roughness improved. On the other hand, the low inside the hardness of workpiece, the more cutting speed and the more feed rate increase, the processing surface of roughness improved.
3. Regardless of the hardness of workpiece, the change of the cutting depth didn't have great effect on the surface roughness.
4. On cutting the high surface hardness part with cutting tools of cermet and ceramic, it can be

acquired the higher processing surface roughness because it hadn't been taken effect on cutting speed. In case of the cutting process of the low inside hardness part the two cutting tools have acquired the similar processing surface roughness.

## 1. 서 론

재료의 표면이 기계부품으로서 성능을 충분히 발휘하기 위해서는 적절한 경도 및 내마멸성이 요구되고, 내부에는 인성이 있는 성질을 얻기 위하여 표면 열처리를 하며 이와 같은 금속 재료를 사용한 제품의 품질 향상과 생산성의 증대를 위하여 가공조건 및 가공면 조도 개선에 관한 연구가 활발하다.<sup>1)</sup>

절삭가공에 있어서 이론적으로 가공면 조도에 영향을 미치는 인자는 이송량과 공구선단 반경에 의해서 결정되지만, 실제 절삭가공시 가공면 조도는 이론치와 많은 차이가 있다. 이와 같은 현상의 주된 원인은 구성날끝(Built-up edgy)과 절삭속도의 변화에 있으며 공작물과 공구재질, 공구마멸, 공작기계-공작물-공구사이의 강성, 측면 흐름등도 가공면 조도에 영향을 주는 중요한 인자라고 할 수 있다.<sup>2-4)</sup>

일반적으로 가공면 조도는 기계재료의 성질에 의해 상당히 다른 양상을 보이고 있으며, 이 표면 가공성은 재료의 조직에 의해서도 크게 다르다는 것을 볼 수 있다.

실제의 가공면 조도를 계산할 수 있는 식은 여러 학자들에 의해서 발표되었다. 즉 Petropoulos<sup>5)</sup>는 절삭속도를, Solaja<sup>6)</sup>는 절삭길이를 매개변수로 하여 이송량 및 공구선단 반경의 함수로써 가공면 조도치를 구하였고, Chisholm<sup>7)</sup>는 3차원 절삭가공에서 기하학적 가공면의 조도치를 구하는 공식을 제시하였으며, Cook<sup>8)</sup>와 Gallowaya<sup>9)</sup>들에 의해서도 절삭시 절삭력 및 가공면 조도에 관한 연구보고가 있다.

따라서 본 연구는 고주파열처리에 의한 공작물의 경도와 가공면 조도에 관한 연구로서 크랭크축 및 일반 축류에 많이 사용되고 있는 기계구조용탄소강(SM45C)을 고주파 열처리 한 후 표면 및 내부의 조직과 경도 특성을 고찰하고 경도 변화에

따라 공구선단 반경과 이송량, 절삭속도, 절삭깊이를 변화시켜 가공면 조도를 검토하고자 하였다.

## 2. 이론적 해석

### 2.1. 경도의 특성

기계 부품이나 자동차 부품은 큰 하중이나 충격이 가해지는 수가 많다. 따라서 제품은 내마멸성과 인성이 특히 요구된다. 이의 만족을 위하여 제품의 표면만을 경하게 하고 내부는 연하고 인성을 지니게 하기위해 표면경화(case hardening)를 하며 이 경화법에 의해서 내마멸성과 기계적 강도등이 높아지고 충격에 대해서 내부가 안전하게 된다. 표면경화법중 가열시간이 짧고 복잡한 형상에도 이용할 수 있기 때문에 고주파열처리를 많이 쓴다.

고주파열처리는 1925년 W.J Brown 및 1933년 E.F Northrup 이 크랭크축의 표면 담금질에 응용한 것을 비롯하여 공업적으로 이용하였다.

고주파 유도 전류를 약 1000 cycles/sec 이상의 주파수로 일차쪽에 통하게하고 2차쪽에 강재 부품을 놓으면, 코일과 피가열물에 흐르는 전류를 주파수에 따라 표면에 집중되는 성질 즉, 표피효과(skin effect)에 의하여 극히 얇은 표피에 과전류가 유도되어 표면으로 부터 가열된다. 강재의 표층을 변태점이상으로 아주 짧은 시간안에 가열했을 때 냉각수를 분사시켜 급냉하면 금속의 화학조성을 바꾸지 않고 표층의 조직만 경화하고 내부는 그냥 있게 된다.

유도 전류가 피가열재의 표면층을 흐를 때 유도 전류의 심도는 다음과 같다.<sup>10)</sup>

$$P = 3560\sqrt{\rho/\mu f}$$

P : 전류 유도심도 (Cm)

$\rho$  : 피가열재의 전류저항 ( $\Omega \cdot \text{Cm}^3$ )

$\mu$  : 피가열재의 도자율

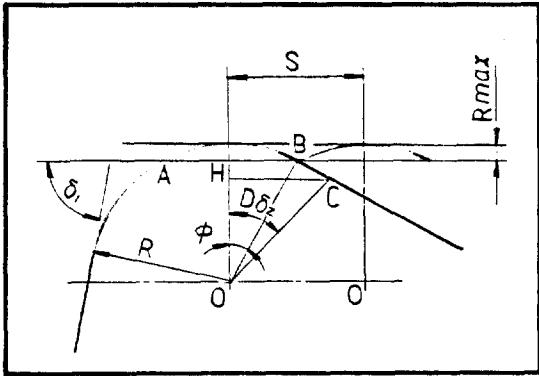


Fig.1.  $R_{max}$  when  $S < 2R \sin \delta_2$ .

f : 주파수 (C/s)

### 2.2. 가공면 조도

절삭 가공면의 조도는 이론적으로 공구선단 반경의 형상과 이송량의 크기에 의해 기하학적인 파형곡선이 된다. 이 곡선의 최대높이를 이론치  $R_{max}$ 로 표시한다.

Fig.1에서  $\delta_1 > \delta_2$ 이며,  $\angle BOH$ 를  $\phi$ 라 하면  $\phi < \delta_2$ 일 때 이다.

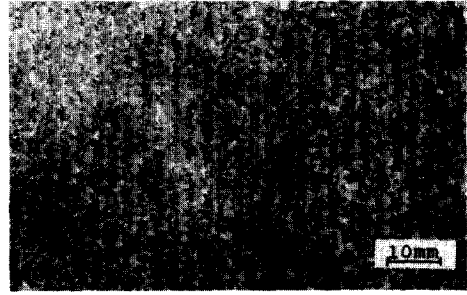
$$OH = R \cos \phi, \quad BH = R \cdot \sin \phi = S/2, \\ \sin \phi = (S/2R) < 1$$

$$R_{max} = R - OH \\ = R(1 - \cos \phi) = R(1 - \sqrt{1 - \sin^2 \phi}) \\ = R(1 - 1 + 1/2 \sin^2 \phi + 1/8 \sin^4 \phi + \dots) \\ = R \cdot 1/2 \sin^2 \phi = R \cdot 1/2 \cdot S^2/4R^2 \\ \approx S^2/8R \quad (2.1)$$

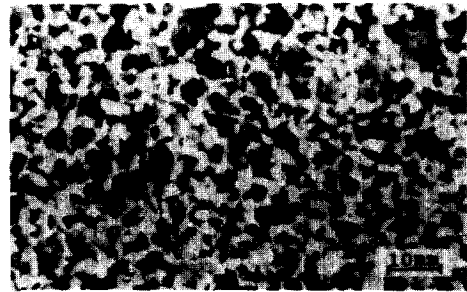
### 3. 실험재료 및 방법

#### 3.1. 실험재료

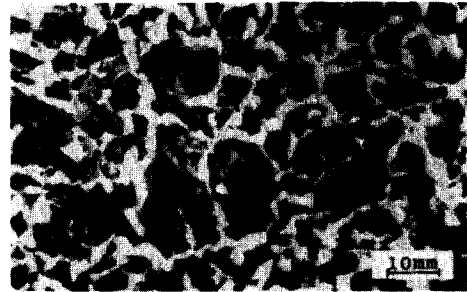
열간 압연된 SM45C는 일반적으로 결정립을 미세화하여 기계적 성질을 개선하기 위하여 노말라이징처리를 하고 있다. 본 실험에서 Photo 1은 노말라이징 처리된 60mm 부분과 고주파열처리 후의 60mm와 그 내부 30mm 부분을 금속현미경으로 투영한 것이다. (a)와 (c)는 고주파열처리 후의 지름 60mm와 30mm 부분의 표면조직이고 (b)는 고주파열처리 전의 지름 60mm 부분의 표면



a) Diameter 60 mm ( $\times 200$ ) Induction hardening



b) Diameter 60 mm ( $\times 200$ )



c) Diameter 30 mm ( $\times 200$ )

Photo 1. Microscope picture of SM45C

조직을 나타낸 것이다.

#### 3.1.1. 탄소강(SM45C)의 서냉조직

탄소강을 오스테나이트 조직으로부터 서냉하면  $A_3$  즉,  $A_{cm}$ 의 온도  $727^\circ \sim 1145^\circ \text{C}$ 에서 페라이트 또는 시멘타이트를 고용석출하기 시작하고  $A_1$  온도,  $727^\circ \text{C}$ 에서 퍼얼라이트 공석조직이 되나 물, 기름등의 냉각제로 냉각하면  $500^\circ \sim 550^\circ \text{C}$ 까지 냉각된 후  $Ar'$  변태를 일으켜 투루우스타이트(퍼얼라이트)조직이 되고 더욱 빠른 속도로 냉각할 경우에는  $200^\circ \sim 250^\circ \text{C}$ 까지 냉각되어  $Ar''$  변태를 일으켜 철의 탄소고용체인 마르텐사이트 조직이 되며 더욱 큰 냉각속도에서는 변태의 일부 또는 전

부가 억제되어 오스테나이트 조직이 상온에 까지 남아 있게 된다. Photo 1에서 보는 바와 같이 백색으로 나타나는 조직이 페라이트이고, 흑색으로 나타나는 조직이 퍼얼라이트이다. 페라이트는 철이 용해되어 있는 고용체로 그 성분은 거의 순철에 가깝다.

0.85% C 이하의 강철 즉, 아공석강(Hypo-eutectoid steel)에서는 자유페라이트(백색)로서 존재하고 그 특징은 연하고 전연성이 크며 강자성체이고 보자력이 크다. 퍼얼라이트는 페라이트와 시멘타이트의 공석정(Eutectoid)이며, 현미경조직상 페라이트와 시멘타이트의 박편(두께 2.5/10, 000 5/100,000 mm)이 서로 층상으로 되어 있으며, 사광선을 사용하여 검경하면 마치 진주(Pearl)와 같은 광택을 낸다. 이 조직을 가열하면 A 변태(726°C)에서 전부 오스테나이트로 변화한다. 퍼얼라이트 속의 탄소농도는 0.85%로 항상 일정하다.

경도 및 강도는 작고 자성을 갖고 있으며 또한, 비중은 오스테나이트와 마르텐사이트의 중간이고 강철의 조직 중에서 가장 안전하다.<sup>10)</sup>

3.1.2. 경도의 측정

Table 1 및 Fig.2는 고주파열처리를 한 시편 SM45C를 지름 60 mm에서 30 mm까지의 경도 곡선을 나타낸 것으로 표면(φ60)에서 φ54 mm까지는 1 mm 단위로 측정 하였다.

3.2. 실험방법

3.2.1. 시편가공

지름이 60 mm인 SM45C 환봉을 고주파열처리를 한 다음 φ60 mm × 100 mm와 세라믹공구를 사용하여 φ30 mm × 100 mm인 단이 있는 시편을 20개 제작하였으며 φ60 mm 부분에 4개, φ30mm 부분에 5개 구간을 만들었다.

3.2.2. 절삭가공

본 실험에 사용한 절삭공구는 주로 한국야금의 SNGG 서메트 교환용팁(T.A)공구를 사용하였으며 날끝반경은 0.4, 0.8, 1.2 mm와 NTK사의

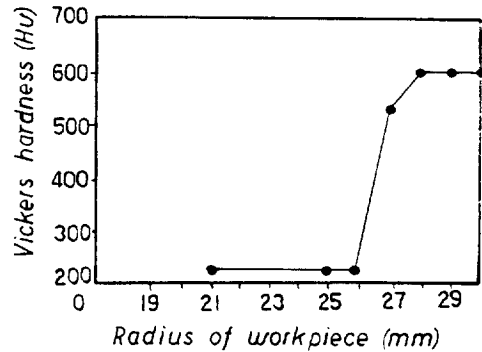


Fig.2. Hardness depth curve.

DNGA150408 세라믹 교환형 팁(T.A)을 사용하여 절삭실험을 하였다.

3.2.3. 절삭실험

가공한 시편을 한쪽은 연동척에 라이브 센터를 만들고 다른 한쪽은 심압대의 센터로 지지한 후, 돌리개(Dog)에 붙여 절삭실험을 하였다.

절삭조건에 있어서는 비커어스 경도(Hv)598, 223으로 각각 나누고 이때 절삭속도를 60, 80, 100, 120 m/min와 이송량은 0.04, 0.08, 0.12, 0.16 mm/rev, 절삭깊이는 0.2, 0.5 mm 공구

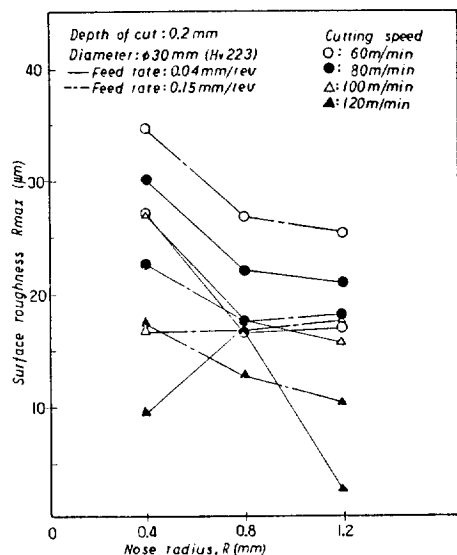


Fig.3. The effect of nose radius on surface roughness.

Table 1. Vickers Hardness.

Radius(mm)	15	25	26	27	28	29	30
Hardness Hv	223	223	223	223	527	598	598

선단 반경은 0.4, 0.8, 1.2mm로 변화시켜 경도 차이에 따른 가공면의 조도를 비교 검토하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1. 공구선단 반경의 변화에 따른 가공면조도

Fig.3~4는  $\phi 30$ mm(Hv223)인 경우로써 절삭깊이와는 관계없이 공구의 날끝 반경이 0.4mm와 절삭속도가 낮은 80m/min 이하에서는 이송량의 영향을 받아 0.15mm/rev 이상부터는 가공면의 조도가 증가하고 절삭속도가 100m/min 이상의 높은 속도와 공구의 날끝 반경을 0.8mm 이상에서는 이송량의 변화에 따라 적은 차이를 나타내며 양호한 가공면의 조도를 얻을 수 있었다.

Fig.5~6은  $\phi 60$ mm(Hv 598)인 경우로써 절삭깊이가 0.2mm일 때 공구의 날끝 반경과 절삭속도에 거의 영향을 받지않아 가공면의 조도는 일정하며, 절삭깊이가 0.5mm일 때는 절삭속도에 관계없이 공구의 날끝 반경이 0.8, 1.2mm로 증가됨에 따라 가공면의 조도가 양호함을 알 수 있다.

4.2. 절삭속도와 이송량 변화에 따른 가공면 조도

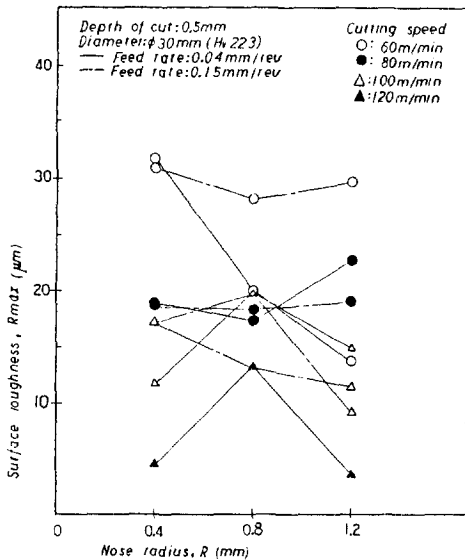


Fig. 4. The effect of nose radius on surface roughness.

Fig.7~10은 공구선단 반경이 0.8mm인 서메트 공구를 사용하여 절삭속도를 60, 80, 100, 120 m/min, 이송량을 0.04, 0.08, 0.12, 0.15 mm/rev로 변화시켰을 때의 가공면 조도를 측정한 값이다.

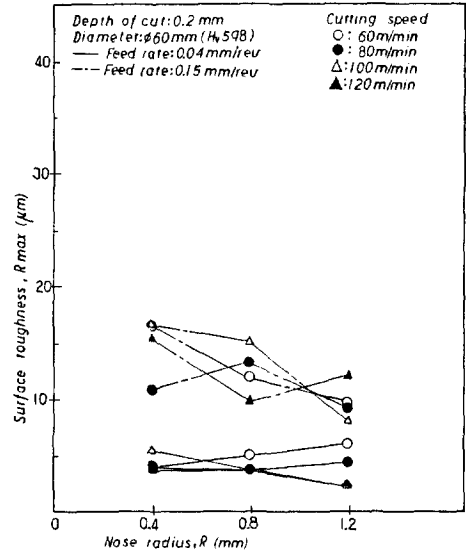


Fig. 5. The effect of nose radius on surface roughness.

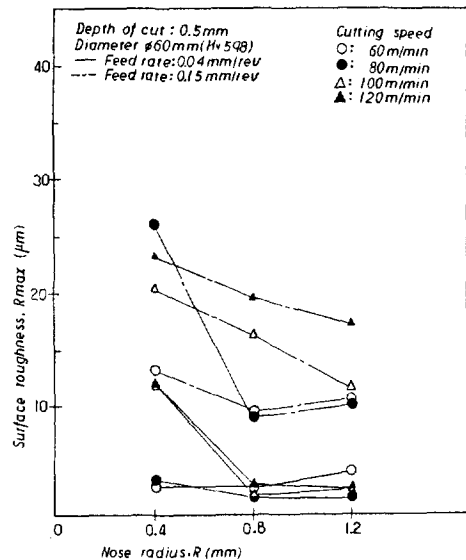


Fig. 6. The effect of nose radius on surface roughness.

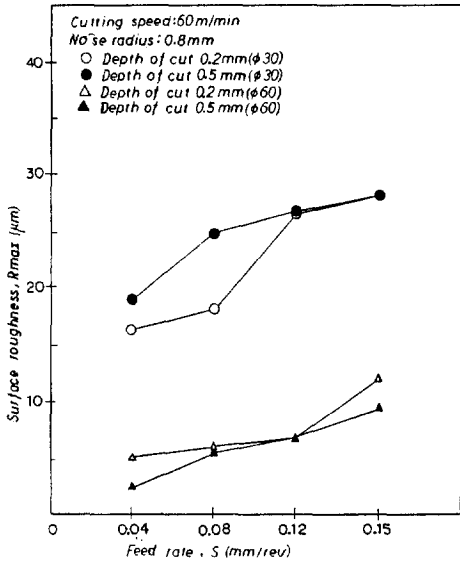


Fig. 7. The effect of feed rate on surface roughness.

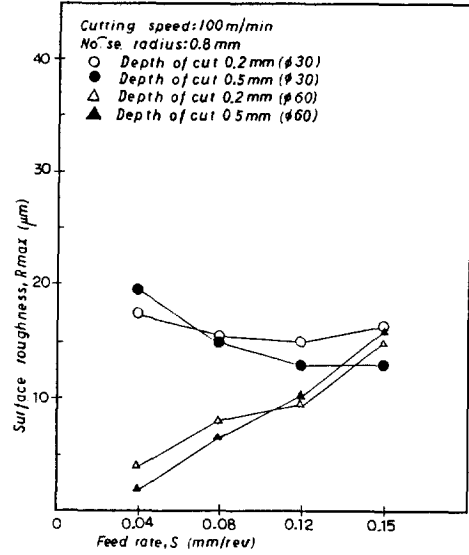


Fig. 9. The effect of nose radius on surface roughness.

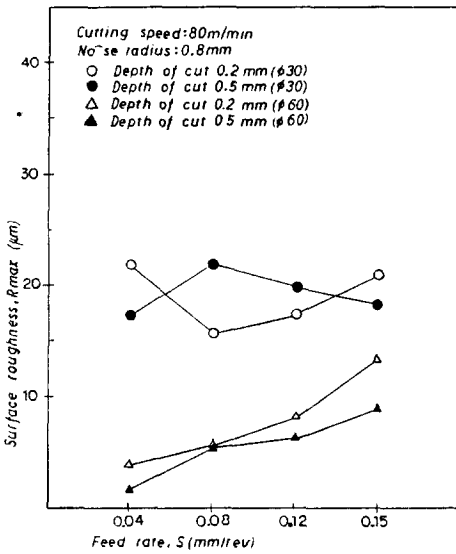


Fig. 8. The effect of feed rate on surface roughness.

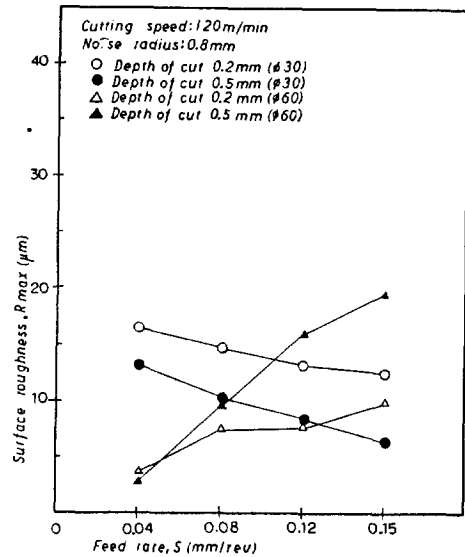


Fig. 10. The effect of nose radius on surface roughness.

경도와 절삭속도가 낮고 이송량이 적을 때 가공면의 조도가 증가하는 반면, 경도가 높은 재질인 경우, 절삭속도에는 큰 영향을 미치지 않았으나

이송량을 증가시킬수록 가공면의 조도가 증가하는 것을 알 수 있다.

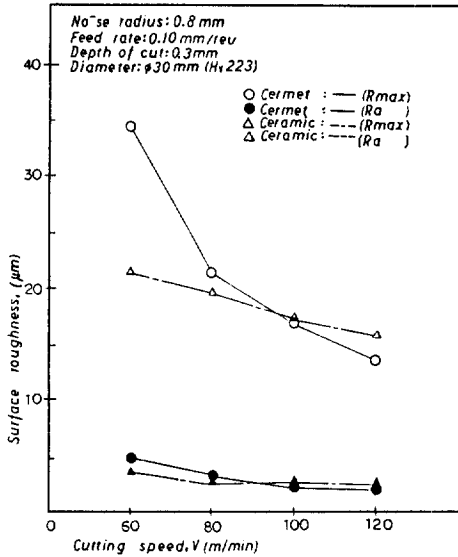


Fig. 11. The effect of cutting speed on surface roughness.

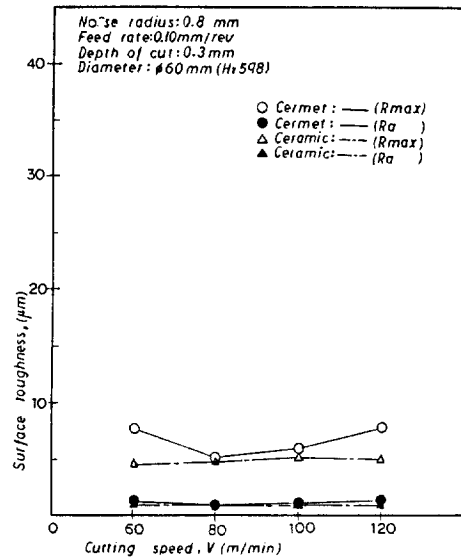


Fig. 12. The effect of cutting on surface roughness.

#### 4.3. 서메트 및 세라믹 공구에 의한 가공면의 조도

Fig. 11~12는 공구선단 반경이 0.8 mm인 서메트 및 세라믹 공구를 사용하여 이송량을 0.10 mm/rev, 절삭깊이를 0.3 mm로 일정하게 하고 절삭속도를 60, 80, 100, 120 m/min로 변화시켰을 때 가공면의 조도를 측정된 값이다.  $\phi 30$  mm (Hv 223)일 때 절삭속도는 가공면의 조도에 큰 영향을 미쳐 60 m/min일 때 서메트 공구의 가공면 조도는 거친 가공면을 나타내었으나 절삭속도가 100 m/min 이상으로 증가될수록 세라믹 공구보다 가공면의 조도가 향상되는 것을 알 수 있다. 세라믹 공구는 절삭속도가 증가될수록 가공면의 조도가 일직선으로 향상되는 것을 알 수 있다.  $\phi 60$  mm (Hv 598)인 경우는 경도가 598일 때 서메트와 세라믹 공구는 절삭속도에 영향을 받지 않고 일정한 값을 나타내며, 세라믹 공구로 절삭속도가 60 m/min일 때 가공면조도가  $4.48 \mu\text{m}$ 로 우수한 가공면을 얻을 수 있었다.

#### 5. 결 론

본 연구에서는 서메트 및 세라믹 절삭공구를 사

용하여 고주파열처리에 의한 공작물의 경도가 Hv 598로 변화된 부분과 경도 변화가 없는 Hv 223 부분에 있어서의 특성을 검토하였다. 또한 절삭조건인 절삭속도 이송량, 절삭깊이, 공구선단 반경의 변화로써 가공면조도에 미치는 영향에 관하여 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 동일한 절삭조건에 있어서는 공작물의 경도가 크고, 공구선단 반경 0.8 mm 및 이송량 0.04 mm/rev일 때 가장 우수한 가공면 조도를 얻을 수 있었다.

2. 공작물의 표면경도가 큰 경우, 절삭속도는 가공면조도에 영향을 미치지 않았고 이송량이 적을수록 가공면의 조도가 향상되었다.

또한, 공작물의 내부 경도가 작은 경우, 절삭속도와 이송량이 증가할수록 가공면의 조도는 향상됨을 알았다.

3. 절삭깊이의 변화는 공작물의 표면과 내부의 경도 차이에 관계없이 가공면조도에 큰 영향을 미치지 않았다.

4. 서메트 및 세라믹 절삭공구로써 표면경도가 큰 부분을 절삭할 때 세라믹 절삭 공구는 절삭속도에 영향을 받지 않았고 우수한 가공면 조도를 얻을 수 있었으며, 내부의 경도가 작은 부분의 절

삭가공에 있어서는 두 공구 모두 유사한 가공면의 조도를 얻었다.

### 참고문헌

1. KIMM N.C Center : F.M.S 와 Sensing 技術, '84 國際 FMS 技術 세미나, -3(1984) 1-15.
2. M.S. Selvam and V. Radhakrishnam, Groove wear : Built-up Edge and Surface in Turning, Wear 30 (1974) 179-188.
3. A.Lsaev : Influence of the Rigidity of the Machine-workpiece Tool System on the Roughness of Machined Surface, Proc.INT. Mach. Tool. Des.Res.Conf., (1967) 75-81.
4. A.J. pekelharing and C.A. Gieszen : Material Side Flow in Finish Turning, Ann.CIRP 20 (1971) 75-81.
5. P.G.Petropoulos : The Effect of Feed Rate and Tool Nose radius on Roughness of Oblique Finish Turned Surface, Wear 23 (1973) 299-310.
6. V.Solaja : Wear of Carbide Tools and Surface Finish Generated Infinish Turning of Steel, Wear 2 (1958) 40-58.
7. A.J.Chisholm : The Characteristics of Machined Surface, Machinery, London (1949) 74, 729.
8. N.A Cook and K.L Chanderamani : Investigation on the Nature of Surface Finish and its Variation with Cutting Speed, Tran. ASME.86 (1964) 134-140.
9. D.F.Gallowaya : Recent Research in Matal Machining, Proc. Inst. Mach, Engrs (1945) 113-153.
10. 尹日成 : 金屬熱處理技術便覽, 機電研究社 (1976) 13-17, 875-883.