韓國精密工學會 2005年度 春季學術大會論文集

소경 엔드밀에 의한 STS 304의 가공특성

김상진*(충남대학교 대학원 기계공학과), 함승덕(충북과학대학 기계자동차과),
김형철(충북과학대학 기계자동차과), 김기수(충남대학교 기술교육과)

Machining characteristics of STS 304 by micro-endmill

S. J. Kim*(Mech. Eng. Dept., CNU), S. D. Hahm(Mech & Auto. Eng. Dept. CPSTU)
H. C. Kim(Mech & Auto. Eng. Dept. CPSTU), K. S. Kim(Tech. Edu. Dept., CNU)

ABSTRACT

Recently, as researches and developments for milli-structure and micro machine are actively progressing, manufacturing technologies and skills for tiny small machine parts are getting more important. So, we have been trying to cut using high revolution air bearing spindle and micro-endmill, and studying for magnitude of cutting force, cutting force wave form and surface roughness. We figured out that in 60,000rpm is so slow that cutting is not perfact. Chatter occured to 2㎛/rev at 80,000rpm and 4.4㎛/rev at 100,000rpm. We confirmed that spindle run out increased surface roughness at high revolution.

Key Words : Micro-endmill(소경 엔드밀), Cutting force (절삭력), Surface roughness (표면거칠기),

1. 서 론

최근 공작기계 기술의 커다란 흐름은 고속 지능화, 미세화를 추구하고 있고, 선진국들을 중심으로 Milli-structure나 Micro machine의 개발을 위한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 기계부품의 소형화가 진행되면서 작은 부품에 대한 가공이 주요 요소기술로서 차지하는 중요성이 매우 크게 대두되고 있다[1].

작은 부품의 생산을 위한 금형의 경우는 작은 슬롯 홈이 존재하게 되고, 이 부분에 대한 가공의 정도는 제품의 품질 및 생산성에 중요한 영향을 미치게 된다. 특히, 소경 엔드밀의 경우, 작은 직경으로 인하여 주 절삭속도가 현저히 저하하게 되어 엔드밀의 파괴, 절삭면의 품질 저하, 가공의 속도가 매우 느려지어 제품의 가공시간이 늘어나는 단점을 가지고 있다.

이런 문제점을 해결하고자 국내 · 외에서 많은 연구가 이루어지고 있다. 그러나 이런 연구의 진행은 대부분 고속 NC밀링의 회전수인 20,000rpm이내에서 연구되고 있다[2)-4)]. 또한, 미세형상의 고속가공은 직경이 큰 엔드밀의 날 끝만을 사용하여 연구되어 오고 있는 실정이다[5)]. 이 결과들을 가지고 소경 엔드밀에 의한 가공에 적용시키기는 어려운 점들이 많이 있다.

본 연구에서는 공작기계의 모성원칙을 따르는 절삭에 의한 재료를 제거하는 미세 절삭가공기술의 확보를 목적으로 고속회전의 초정밀 에어스핀들을 사용하여 Sub-milli 직경의 엔드밀을 이용한 절삭가공을 실시하고, 평면 절삭시 절삭력의 크기, 변화특성, 가공면의 형상 및 표면 거칠기의 특성에 관한 연구를 하였다.

2. 실험장치 및 방법

Fig. 1은 소경엔드밀에 의한 절삭실험 시 발생하는 절삭력을 측정하기 위한 실험장치의 개략도이다. 실험에서는 소경엔드밀을 이용한 고회전 가공을 위해 에어베어링을 적용한 고속 스핀들을 NC밀링의 주축에 부착시켜 사용하였다.

실험에 사용한 에어베어링 스핀들은 최대속도 125,000rpm, 엔드밀 선단의 흔들림은 최대 5㎛이고, NC밀링(독일, FP2NC DECKEL)은 최대 절삭이송속도는 40m/min이고, 최소 이송량은 1㎛이다. 절삭시 발생하는 절삭력은 압전형 공구동력계

(Kistler 9256A)를 이용하여 측정하였다. 측정된 절삭력신호는 앰프(Charge amplifier, Kistler 5019)를 통해 증폭시켰다. 절삭력 신호의 획득은 고속으로 회전하는 에어 스핀들의 회전수를 고려하여 A/D 변환기를 통해 40KHz로 샘플링 하였다. 본 실험에서 절삭시 발생하는 절삭력은 매우 작아 외부에서 발생하는 노이즈는 절삭력에 큰 영향을 미치게 되므로 절삭을 수행하지 않는 실제 실험과 동일한 조건에서 신호를 획득하고 이를 바탕으로 절삭력 신호를 필터링하여 사용하였다.

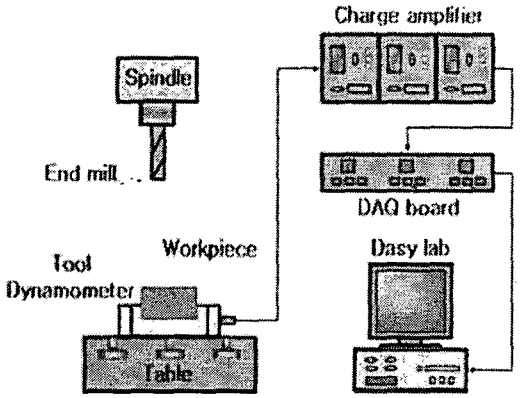

Fig. 1 Schematic diagram of cutting and measuring system

실험에 사용된 시편의 재질은 난삭재 중 하나인 STS 304를 사용하였으며, 공구는 고속, 고정밀 가공을 가능하게 한 ∅0.5 고속가공용 평 엔드밀이다. 모든 가공실험은 공구마멸의 영향을 최소화하기 위해 매 실험마다 공구를 교환하였으며, 건식 절삭방법으로 수행하였다.

가공된 시편은 공구현미경을 통해 표면의 형상을 확대하여 관찰하였으며, 표면거칠기는 광학계를 이용한 비접촉식 측정기인 surface measurement system NT 2000을 이용하여 측정하여 평가하였다.

Table 1 Specification of cutting condition

spindle speed(rpm)	Feed(mm/min)
60,000	10, 20, 30, 40, 50
80,000	10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 120, 140, 160
100,000	10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 240, 280, 320, 360, 400, 440

Table 1은 실험에 사용된 가공조건을 보여주고 있다. 절삭깊이는 0.1mm, step 이송량은 0.4mm로 고정하여 실험하였다. 이송속도는 엔드밀의 불안정한 절삭이 이루어질 때까지 증가시켰다.

3. 결 과

3.1 절삭력 형태와 절삭 현상

가공조건을 달리하여 절삭력을 획득하고, 가장 큰 절삭저항이 발생하는 배분력을 분석한 결과, 절삭력 파형은 대표적으로 3개의 경향을 나타나고 있다. 이 절삭력의 파형과 가공면의 확대사진을 Fig. 2에 나타내었다.

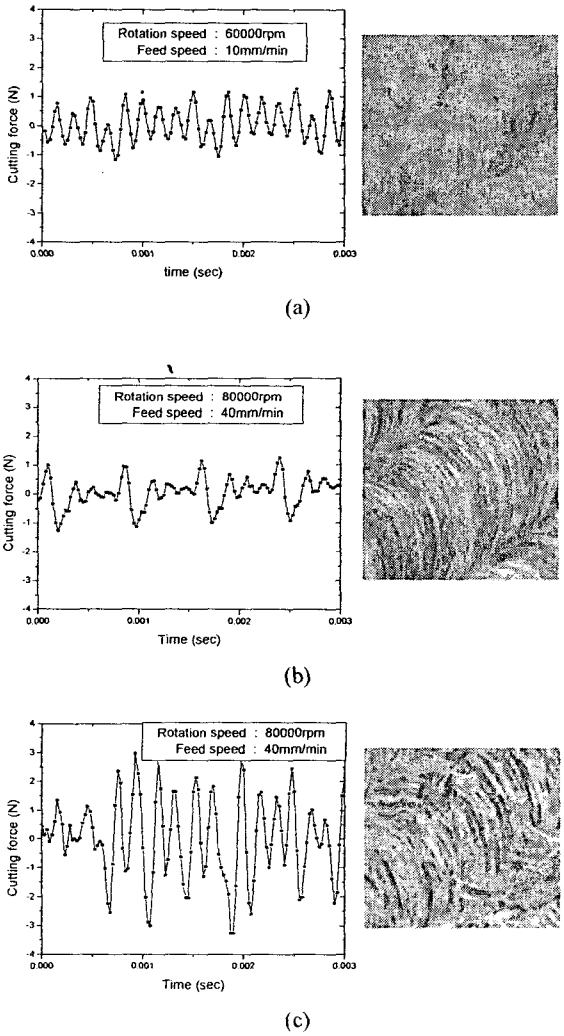

Fig. 2 Cutting force waveform and Cutting surface according to cutting conditions

Fig. 2의 (a)는 회전수 60,000rpm에서 이송속도 10㎜/min 절삭조건에서의 절삭력 파형과 가공면의 확대사진이다. 절삭력 파형의 크기는 매우 작게 분포하지만, 절삭력의 파형이 비 반복적이다. 이는 엔드밀의 직경이 매우 작아 피삭재를 제거시키기 위한 주 절삭 속도가 작기 때문에 이 구간에서는 전단변형의 완전한 절삭이 이루어지지 않고, 엔드밀에 의한 가공부의 소성변형이 주를 이루는 것으로 판단된다. 이는 가공면의 사진에서 엔드밀의 절삭라인은 보이지 않는 것을 통해 좀 더 명확하게 알 수 있다. 이런 현상은 가공속도가 더 빠른 80,000이나 100,000rpm에서는 나타나지 않았다.

Fig. 2의 (b)는 실험한 대부분의 절삭조건에서 나타나는 절삭시 가장 전형적인 절삭력 파형과 가공면의 확대사진이다. 절삭력 파형은 절삭의 주기와 동일하게 완전한 주기적인 신호를 보여주고 있으며, 가장 이상적인 가공이 이루어지고 있는 구간의 절삭력 형태로 보여 진다. 이 경우, 가공 면을 살펴보면, 가공 면에 엔드밀의 절삭라인이 일정하게 주기적으로 보여 지고 있음을 알 수 있다.

Fig. 2의 (c)는 절삭속도에 비해 이송속도가 너무 빠른 경우를 나타내고 있다. 이 경우는 과다한 절삭으로 인해 절삭력은 커지게 되고 이로 인해 공구의 불안정한 떨림을 가져오게 되고 이에 기인하여 절삭력 파형은 매우 크고 불규칙적으로 나타나고 있다. 가공 면은 역시 엔드밀의 절삭라인이 매우 불규칙적이고 표면이 거칠게 가공이 되었음을 확인할 수 있다.

3.2 가공조건에 따른 절삭력과 표면 거칠기

절삭회전수에 따른 절삭력의 분포를 Fig. 3에 나타내었다. 엔드밀에 의한 평면가공의 경우 절삭력은 가공 중 절삭방향이 음의 값에서 양의 값으로 변화하므로 최소자승평균법을 이용하여 나타내었다. 가공속도에 대한 영향을 정량적으로 분석하기 위해 이송속도는 회전 당 이송량으로 나타내었다.

스핀들의 회전수가 80,000rpm인 경우, 회전당 이송량이 1.5㎛/rev까지는 절삭력의 크기는 거의 비슷하나, 조금씩 상승하는 경향을 보이나, 2㎛/rev이 될 때 급격히 상승하는 경향을 보였다. 이 시점에서 과도한 절삭에 의한 엔드밀의 불완전한 떨림인 채터 등의 영향을 나타내고 있음을 알 수 있다. 100,000rpm의 경우도 유사한 경향을 보이나, 80,000rpm보다 회전 당 이송량이 두 배에 달하는 4㎛/rev까지 안정적인 절삭력의 분포를 보이고 있음을 알 수 있다. 회전당 이송량이 같은 경우는 발생하는 절삭력의 크기는 절삭속도와는 무관하게 나타난다. 하지만, 절삭속도가 높아지면 더 높은 회전 당 이송량을 갖는 구간에서도 절삭력이 큰 차이를 보이지 않게 되는데, 이는 스핀들의 고속회전에 기인하여 공구의 강성이 증가되어 안정적인 절삭을 이루는 구간이 더 넓어짐을 알 수 있다.

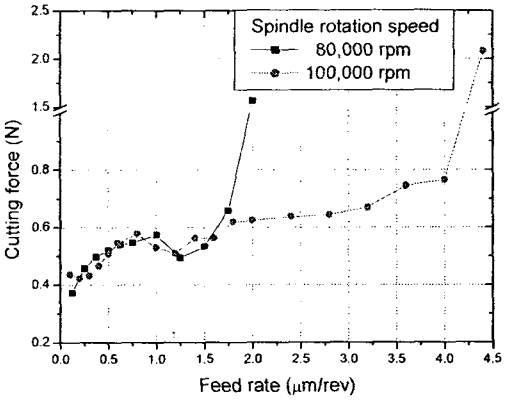

Fig. 3 Cutting force according to rotational speed and feed rate

가공면의 품질을 비교 분석하기 위해 각 절삭속도에서의 가공면의 표면 거칠기를 측정하였으며, 이를 비교하기 위해 중심선 평균 거칠기인 Ra 값으로 환산하였으며, 그 결과를 Fig.4에 나타내었다.

표면 거칠기 측정값은 이송속도가 10~20㎜/min인 구간은 그 이상의 이송속도 구간보다 측정값이 높게 나타났다. 이는 매우 적은 양을 절삭하므로 절삭구간의 일부구간에서는 공구에 의한 소성변형이 일부 개재하기 때문이다. 절삭력과 비슷하게

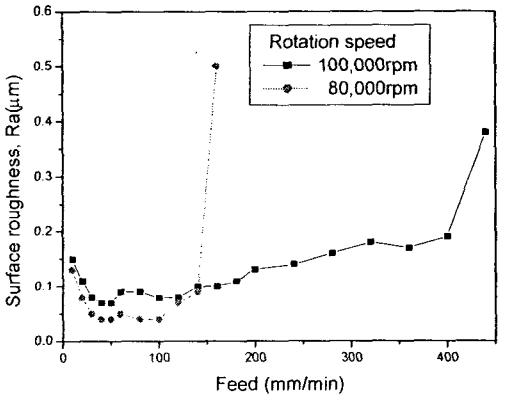

Fig. 4 surface roughness according to rotational speed and feed

안정된 절삭조건에서는 이송속도의 증가에 따라 표면 거칠기가 거의 비슷하나 약간 상승하는 경향으로 측정되었다. 절삭력이 급상승한 구간에서는 공구에 과도한 절삭력이 전달되어 공구의 채터에 의한 불안정적인 절삭이 발생하게 되어 표면 거칠기 역시 급상승하는 결과를 가져왔다. 또한, 회전수 80,000rpm이 100,000rpm보다 더 낮은 표면 거칠기를 보이는 것은 고속회전에 따른 엔드밀의 런아웃(runout) 증가에 기인하는 것으로 판단된다. 따라서 공구의 런아웃은 가공의 품질에 영향을 미치게 된다.

4. 결 론

본 연구에서는 미세 절삭가공기술의 확보를 목적으로 고속회전의 초정밀 에어스핀들을 사용하여 ∅0.5 엔드밀을 이용한 절삭가공을 실시하고, 평면 절삭시 절삭속도와 이송량에 따른 절삭력의 크기, 변화특성, 가공면의 형상 및 표면 거칠기의 특성에 관한 연구를 하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1) 60,000rpm에서는 주 절삭속도가 너무 작기 때문에 전단에 의한 완전한 절삭이 이루어지지 않고, 공구에 의한 소성변형의 효과가 나타나게 되고, 80,000rpm이나 100,000rpm에서는 정상적인 절삭현상이 이루어지지만, 과도한 이송량에서는 채터현상이 발생하였다.

2) 절삭력 크기는 이송속도에 비례하여 증가하고 회전당 절삭량이 같은 경우는 절삭속도에 무관하나, 회전수가 높아지면 공구강성의 증가에 따른 가공가능 이송속도의 영역이 증가된다.

3) 이송속도의 증가에 따라 표면 거칠기 값은 미소하게 증가하는 경향을 보였으며, 고속회전에 따른 공구의 런아웃 차이가 표면거칠기에 영향을 미친다.

후 기

이 논문은 충남대학교 자체연구비의 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. 특허청, ? 003 신기술동향조사보고서 — 정밀절삭가공기술? 2003
2. 강명창 외 4 "고속가공용 엔드밀 형상변화에 따른 가공성 평가" 한국정밀공학회지, 제19권, 제5호, pp. 133-138, 2002.
3. 이춘만 외 4 "SKD11 금형강의 고속가공에서 가공조건 선정" 한국정밀공학회지, 제20권, 제8호, pp. 30-38, 2003.
4. 배효준, 박홍식, "엔드밀 고속가공시 표면정도 향상을 위한 가공인자의 영향분석" 한국정밀공학회지, 제21권, 제6호, pp. 52-59, 2004
5. J.K. Park, C.M. Lee, D.W. Lee, "Mechanical Machining Methods of Micro/Nano Grooves on Brittle Materials", Machine Engineering, Vol. 4, No. 1-2, pp. 228~234, 2004