

고속 동기 탭핑에서의 절삭 특성에 관한 연구

정용수*, 이돈진(부산대 지능기계공학과 대학원), 김선호(한국기계연구원),
안중환(부산대학교 기계공학부)

Study of Cutting Characteristics in High Speed Synchronized Tapping

Y. S. Chung*, D. J. Lee(Dept. of Mech. & Int. system, PNU), S. H. Kim(KIMM),
J. H. Ahn(Pusan National University)

ABSTRACT

High speed machining was accomplished through the technological advances which covers the whole field of mechanical industry. But tapping have many troubles because of its complicate cutting mechanism, for example, tool damage, chip elimination and synchronization between spindle rotation and feed motion. But High speed tapping is so important that it marches in step with the flow of the times and make improvement in the productivity.

In this paper we analyze mechanism of high speed synchronized tapping with the signal of tapping torque and spindle speed obtained through the newly developed high speed tapping machine(NTT-30B). We made an experiment with this machine on condition of various speed from 1000rpm to 10000rpm. As one complete thread is performed through the whole chamfer cutting, cutting torque increases highly in chamfer cutting, but smoothly in full thread cutting functioning of the threads guide. And the size of cutting torque according to spindle speed(rpm) was not enough of a difference to be conspicuous.

Key Words : High Speed Synchronized Tapping(고속 동기 탭핑), Tool damage(공구 파손), Chip elimination(칩 제거), Synchronizing(동기화), Cutting Torque(절삭 토크), Chamfer cutting(챌퍼부 가공), Full thread cutting(완전나사부 가공)

1. 서론

현대 산업에서 행해지는 가공 과정들 중에서 암나사를 가공하는 방법은 크게 선삭에 의한 나사절삭법과 탭에 의한 나사가공으로 구분될 수 있다⁽¹⁾. 그 중 소형의 암나사를 정밀하게 가공하고자 할 때에는 탭에 의한 나사가공 즉, 탭핑 공정을 주로 이용한다. 드릴링이나 밀링 가공 등의 공정에서는 이미 상당한 부분에 있어서 고속화가 진행되었지만, 탭핑은 다른 여러 절삭가공들 중에서도 대단히 복잡한 절삭기구를 가지고 있고, 고품질의 나사형상을 생성하기 위해서는 Z축과 Spindle사이의 동기를 맞추어야 하는 등의 이유로 인하여 탭핑 공정은 고속화에 상당한 어려움이 있다⁽²⁾. 그러나, 대량생산을 필요로 하는 자동차 산업과 고품질의 구멍가공을 요구하는 항공

산업, 최근 급격히 성장하고 있는 IT산업 분야 가운데 HDD, 노트북, PDA, 휴대폰 제작 등의 다양한 분야에서 생산성 향상을 위해 고속 탭핑의 필요성이 점차 증대되고 있다. 특히 IT산업의 경우 나사의 피치가 짧기 때문에 가공시간이 길어지게 되면서 고속화가 더욱 요구되고 있다. 그러나, 이러한 산업계의 요구에도 불구하고 앞서 언급한 여러 가지 어려움으로 인하여 3000rpm이상의 고속 탭핑에 대해서는 많은 연구가 이루어지지 못하고 있는 실정이다.

이 논문에서는 현재 IT산업 등에서 사용량이 증대되고 있는 소직경의 탭(M2, M3)을 이용하여 고속으로 가공을 하였을 때 나타나는 절삭특성을 파악하기 위해 새롭게 개발된 고속 탭핑 머신(NTT-30B)을 이용하여 1000~10000rpm의 조건에서 실험하였고, 그 결과를 분석하였다.

2. 나사 절삭 과정

Fig. 1에서는 실험에 사용된 고속 싱크로 스파이럴(HSS, High Speed Synchro-Spira)탭 중에서 M3의 모양과 일반적인 탭 날의 명칭을 보여주고 있다.

나사 절삭 과정을 살펴보기 위해 편의상 첫 번째 날의 절삭높이가 가장 작은 랜드(Land)부부터 차례로 A, B, C라 하면, Fig. 2에서처럼 A1-B1-C1-A2-...-An-Bn-Cn으로 절삭이 이루어지며 플루트를 통해 칩이 배출된다. 그리고 Land A의 첫 번째 날인 A1날은 직접적인 절삭이 일어나지 않고 나사내기 구멍에 대한 안내 역할을 하게 되고, 챔퍼부 마지막 날인 B3의 절삭날이 가공을 끝내게 되면 C3 날부터는 완전한 나사산이 형성된다. 완전 나사부에서는 챔퍼부에서 절삭된 완전 나사산의 암나사에 들어가서, 안내(guide)날이 되면서 나사 가공을 마무리하고 있다. 그러므로 완전 나사부에서는 실제적인 절삭 가공은 없다. 완전나사부가 끝나고 후방에서 다시 챔퍼형으로 직경이 감소함으로써 고속 탭핑에서의 칩 배출을 돕고 마찰력을 최소화하도록 설계되었다. 이때 각 날에 해당하는 절삭 면적들은 실제 $2\pi/n$ 의 위상차를 가진다. 여기에서 n 은 공구의 플루트 개수이며 3개의 플루트를 가진 탭이라면 $2\pi/3$ 의 위상차를 가지고 절삭이 이루어진다는 것이다⁽³⁾.

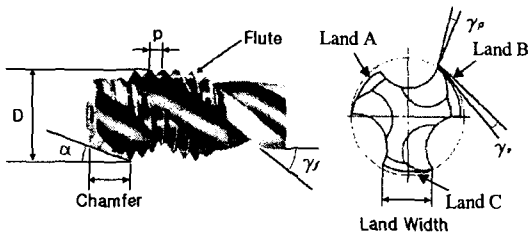


Fig. 1 The shape and geometry of HSS tap

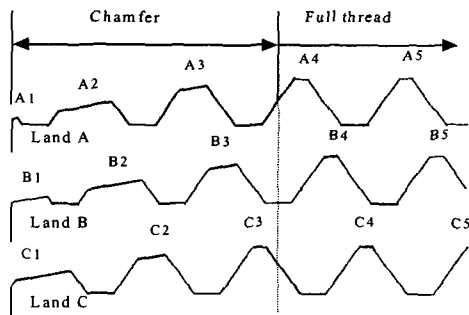


Fig. 2 Cross-sections of tap along lands

3. 실험 결과

3.1 실험장치구성 및 실험조건

Fig. 3는 고속 동기탭핑에서의 절삭특성을 알아보기 위한 실험장치의 구성도이다.

실험에 사용된 탭핑머신은 빌트인 모터를 사용하여 최대 주축속도 30000rpm, 최대 탭핑속도 10000rpm을 구현하는 (주)코마텍의 NTT-30B를 사용하였다. Fig. 3에서와 같이 탭핑시의 절삭토크를 측정하기 위해 공구동력계(Kistler-9272) 위에 바이스를 설치한 후 시편을 부착하고 절삭속도변화와 절삭토크와의 관계를 알아보기 위해 1000rpm에서 10000rpm의 속도로 탭핑실험을 하였다. 또한 소재의 경도변화와의 관계를 알아보기 위해 A1 50, A1 60, A1 70계열의 시편을 사용하여 실험하였고, 사용된 공구는 각각 고바나뎀 하이스 소재의 M2, M3(HS-AL-SFT)를 사용하였다. 공구동력계로부터 얻어진 절삭토크 신호는 Charge앰프를 거쳐 상용의 A/D변환기(ACL-8112PG)를 사용하여 10kHz로 샘플링되어 PC상에 저장되었다.

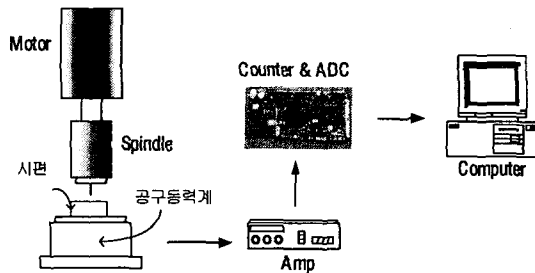


Fig. 3 Schematic diagram of the experimental set-up

3.2 일반적인 절삭토크 특성

Fig. 4는 일반적인 절삭토크의 신호특성을 알아보기 위해 A1 70을 M3탭을 이용하여 2000rpm으로 가공한 경우의 절삭토크를 보여준다.

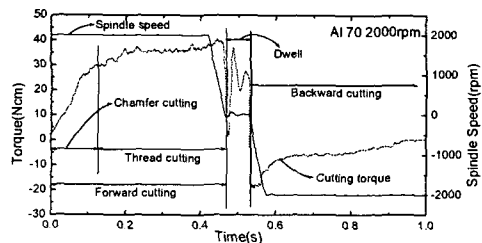


Fig. 4 Behaviour of cutting torque during one cycle of tapping

절삭토크에 영향을 미치는 여러 가지가 있으나 크게 두 가지의 이유에서 발생하는데 첫째, 칩 배출 시 공구와의 마찰에 의한 것과 둘째, 금속의 내부마찰과 전단에 의해 발생한다⁽²⁾.

절삭토크의 특성은 이론적으로 실제 가공이 이루어지는 챔퍼부의 가공에서만 절삭력이 증가하고 완전 나사부에서 탭이 안내역할을 하는 시점에서는 거의 일정치를 나타낸다. 그러나 실제의 가공에 있어서는 챔퍼부 구간에서 각 절삭날이 절삭에 들어갈 때마다 단계적으로 절삭토크가 상승하고 완전나사부가 절삭에 들어가기 시작하면 칩의 배출에 의한 구멍주변의 구속 및 공구날과 생성된 나사면 사이의 마찰에 의한 영향 등으로 절삭토크가 완만히 증가한다. 전방가공(Forward cutting)이 끝나고 Dwell구간에서는 역회전을 위하여 큰 폭의 토크 변화가 있게 되며, 후방가공(Backward cutting)이 시작되면 공구의 회전방향이 전방가공과는 반대가 되어 토크는 (-)가 되고 각 날들이 공작물에서 빠져 나옴에 따라 토크가 서서히 감소하는 것을 볼 수 있다.

3.3 M2 탭의 절삭속도 및 절삭소재의 변화에 따른 절삭토크 특성 비교

Fig. 5에서는 Al 60 시편에 대해서 M2 탭을 사용하여 각각 2,000rpm, 5000rpm, 8000rpm으로 실험한 결과를 나타내었다. 모든 신호는 작업 환경의 noise를 고려하여 200Hz의 차단 주파수를 갖는 Low Pass Filter로 필터링 하였다

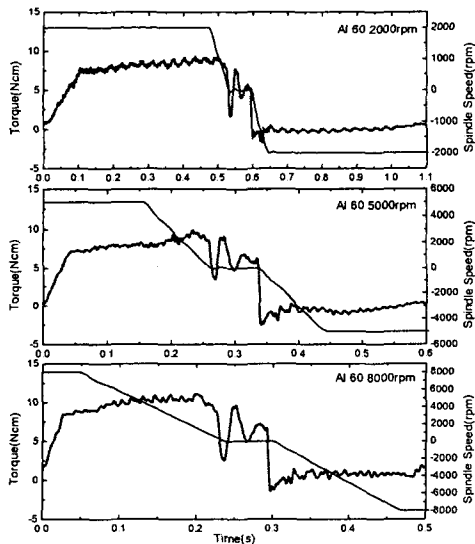
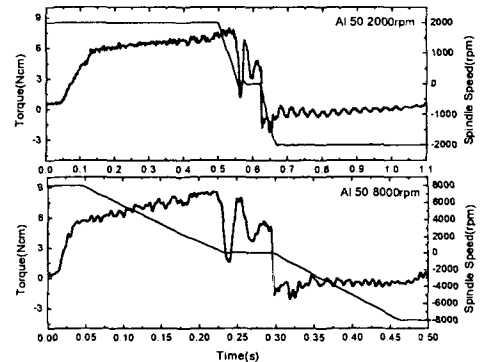


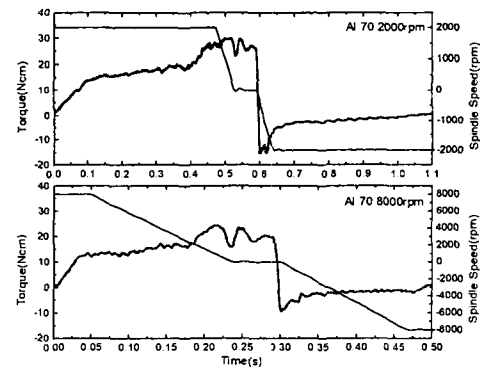
Fig. 5 Comparison of cutting torque to the spindle speed variation (2000rpm, 5000rpm, 8000rpm)

Fig. 5에서 2000rpm의 경우 챔퍼부가 끝나고 완전 나사부의 가공이 시작되는 지점의 토크를 보면 약 12.5Ncm인 것을 알 수 있고 이런 값은 각각 5000rpm과 8000rpm에서도 동일하다. 또, Fig. 6의 (a), (b)는 각각 Al 50과 Al 70을 M2 탭을 이용하여 2000rpm과 8000rpm으로 가공한 경우의 절삭토크를 보여준다. Fig. 5과 마찬가지로 Al 50의 절삭토크의 경우는 완전나사부의 시작 부분에서 약 6Ncm로 동일하고, Al 70의 경우는 13Ncm 정도로 거의 같은 것을 볼 수 있다. 이런 결과로 볼 때 소재의 경도차에 의한 절삭토크의 크기는 달라지지만, 탭핑속도 변화는 절삭토크의 크기에 별다른 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있다.

그러나, 후방가공(Backward cutting)에서는 실제적인 가공이 이루어지지 않고 탭에 완성된 암나사를 빠져나오면서 칩 등과의 마찰력에 의해 (-)의 토크가 발생되는데⁽³⁾, Al 70 계열의 경우는 후방가공에서 Fig.



(a) Cutting torque fo Al 50



(b) Cutting torque of Al 70

Fig. 6 Cutting torque patterns by the kind of Al

5의 AI 60계열이나 Fig. 6의 AI 50계열에서보다 이 값이 크게 나타난다. 이것은 상대적으로 경도가 높은 AI 70계열에서 연속적으로 배출되는 칩 이외에도 잘게 쪼개진 칩의 형태를 발견할 수 있었는데, 경도의 크기가 커짐에 따라 이러한 현상이 발생하고 이 작은 알갱이의 칩들이 소구경의 탭에서는 마찰에 의해 주로 나타나는 후방가공의 절삭토크를 크게 하는 것으로 판단된다.

전방가공(Forward cutting)의 경우에는 AI 70의 경우 스피indle 속도와 비교해 볼 Dwell구간이 시작되기 직전 급격한 토크 증대를 보이는 경우가 보인다. 이것 역시 앞서 언급한 잘게 쪼개지는 칩 알갱이들의 영향으로 완전 나사부와 생성된 나사면과의 마찰력이 증대되어 이것이 토크의 증대를 가져오는 것으로 보인다. 그러나 AI 70을 저속으로 가공했을 때에는 칩 배출이 연성의 AI 50, AI 60보다 원활히 될 수 있는 시간적인 여유가 충분함으로 Fig. 6의 (b)에서 볼 수 있듯이 챔퍼부 가공과 완전 나사부 가공의 전방부근에서처럼 AI 50, AI 60과 비교해 깨끗한 신호를 얻을 수 있었다.

Fig. 7에서는 소구경 탭(M2, M3)에서의 RPM별 토크의 크기를 나타내었다.

토크의 크기는 챔퍼부의 가공이 끝나는 시점을 기준으로 하여 표시하였으며 그 결과 알루미늄의 경도의 차이에 따라서는 절삭력의 크기가 경도가 높을수록 조금씩 높게 나타나나, Spindle의 회전속도(rpm)에 따라서는 거의 차이가 없음을 알 수 있다.

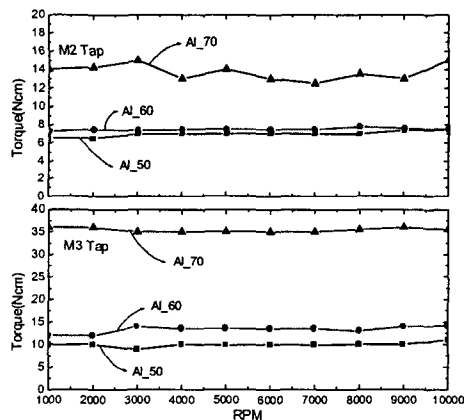


Fig. 7 Cutting torque of tapping according to variation of spindle speed

4. 결론

M2, M3와 같은 소구경 탭의 고속 탭핑에서의 절삭특성을 알아보기 위하여 1000rpm에서 10000rpm까지 1000rpm씩 속도를 증가시키며 가공실험을 하여 다음의 결과를 얻었다.

- (1) 절삭토크의 크기는 소재의 경도차에 따라서는 달라지지만 탭의 완전나사부의 시작부분을 기준으로 생각할 때 속도변화에 따른 절삭토크의 변화는 나타나지 않았다.
- (2) 상대적으로 경도가 큰 AI 70의 경우 잘게 부서진 칩들의 영향으로 전방가공이 끝날 무렵 큰 토크의 증가가 발생하였다.
- (3) 마찰과 칩 배출이 좋지 않은 경우 전방가공이 끝나갈 무렵에 토크증가가 발생하였으며, 이런 현상은 충분한 절삭유 사용 등으로 예방될 수 있었다.

참고문헌

1. Man-Sung Choi, Ji-Bok Song, "On Tap Geometry and Characteristics of Torque in High Speed Tapping," KSPE, Vol. 13, No. 8, pp.139-145, 1996.
2. 최만성, "고속탭핑에 있어서 절삭토크에 관한 연구," 대한기계학회논문집, 제18권, 제12호, pp.3195-3201, 1994.
3. 이돈진, 강지웅, 전현배, 김선호, 안중환, "마찰력을 고려한 고속탭핑 토크 모델링," 한국정밀공학회지, 제18권, 제11호, 2001.
4. 강지웅, 김용규, 이돈진, 김선호, 김화영, 안중환, "고속 탭핑에서의 절삭 특성 해석," 한국정밀공학회 추계학술대회, pp.243-248, 2000.
5. 이정길, 최만성, "STS304의 태핑과 탭 형상에 관한 연구," 한국정밀공학회지, 제17권, 제11호, pp.55-61, 2000.
6. Shigeru Futami, Hiroshi Nakamura, "High-speed Precision Numerically Controlled Tapping Using Dual Predictive Control," IEEE, 2000.
7. 金東垣 著, "機械工作法," 清文閣, 1997
8. Takeyama, "On Synchronous and Torsional Rigidity in a Threading Machine," Annals of the CIRP, Vol.37, No.1, pp.361-364, 1988
9. 김하룡 역, "구멍가공용 공구의 모든 것," 성안당, 1996.
10. 신정식, 김찬호, 안중환, 김화영, 김선호, "고속 탭핑의 가공상태 감시시스템(I)-탭 형상에 기초한 절삭토크 시뮬레이션," 대한기계학회 학술대회 논문집[A] pp. 1074-1078, 1999.