한국정밀공학회지 제 18 권 제 8 호 (2001 년 8 월)
Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 18, No. 8, August 2001.

◆특집◆ 고속가공을 위한 공구개발

금형 가공을 위한 고속 가공 및 툴링 기술

최창희*

High Speed Machining & Technology of Tooling for Die and Mold Making

Choi, Chang-Hee*

Key Words : 고속 가공, HSM, High speed machining, Balancing, Shrink-Fit

1. 서론

최근 금형가공 산업에 있어서 요구되는 것은 높은 정밀도와 단납기로 요약 될 수 있다. 이는 소비자의 욕구가 고품질의 제품을 단기간에 요구한다는 의미이며, 라이프 사이클(Life cycle)은 짧고 제품은 다양화 되어 간다는 의미 이기도 하다.

이러한 요구에 가장 적절히 대응 할 수 있는 가공 기술은 고속 가공(High speed machining)이며, 전 세계적으로 확산 일로에 있다고 할 수 있다. 따라서 고속 가공 기술과 관련된 공구 기술을 중심으로, 고속 가공의 필수 요건인 공구의 밸런싱 기술과 툴링 선정 기술에 대해 살펴 보고자 한다.

2. 고속 가공(HSM, High speed machining)

2.1. 고속가공 이란?

고속 가공이란 '어떤 피삭재의 절삭에 있어 절삭 속도가 증가하면 공구 날끝의 온도는 증가하다가 임계속도 이상(일반 절삭의 5~10 배)에서는 절삭 속도가 증가 할수록 공구 날끝의 온도는 감소된다'는 1920 년대 독일의 C. Salomon 이 주창한 이론에 근거 한다.

실용의 고속 절삭은 열처리 된 소재를 얇은 깊이로 고속· 고이송으로 가공 하는 것을 말하며, 이러한 가공법은 절삭 시 발생하는 열이 피삭 재로 흘러 들어 감을 막고, 칩을 통하여 발산 시켜 가공 변형을 최소화 할 수 있다. <그림 1>

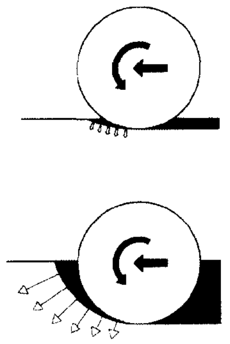


Fig. 1 고속가공과 일반가공

또한 뛰어난 표면 조도(Ra 0.4)와 양호한 3 차원 정밀도를 얻을 수 있고, 고 경도의 열처리 된 소재를 처음부터 사용함으로써, 기존의 기계 가공 후 열 처리와 방전 가공 등의 후 공정이 불필요하여 공정간의 품질 불량 요인의 제거 및 금형 제작의 단 납기, 생산 비용의 절감을 도모 할 수 있는 가공 기법이다.

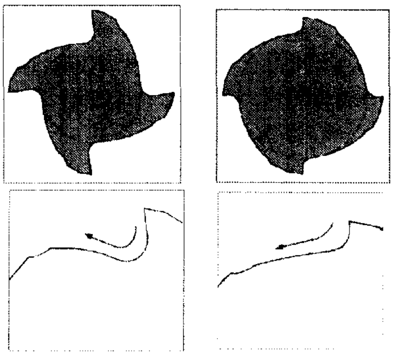
최근 PVD 코팅의 초경 엔드밀의 최고 절삭속도는 분당 150~450m 정도로 고속화 되고 있다.

이에 따른 공작기계의 회전수는 40,000 RPM 이 보편화 되어 가고 있고, 최근에는 60,000 RPM 정도의 고속 장비도 선보이고 있어 비교적 소형의 금형 가공 산업에서는 가장 주목 받고 있는 가공 방법이라 하겠다.

2.2. 고속가공 용 엔드밀

고속용 초경 엔드밀의 형상은 고속 가공의 특성에 적합하게 개량되어 있다.

고속 가공은 그 특성 상 큰 칩이 발생하지 않으므로 넓은 칩 포켓은 불필요하나 보다 부드러운 칩 흐름을 유도 하고, 높은 이송 시 요구되는 공구의 강성 확보를 위해 유연한 형상의 강화 된 단면을 가지는 엔드밀로 개발 되어 있다<그림 2>.



일반용　　고속용

Fig. 2 일반용과 고속용 엔드밀

또한 고속 절삭으로 인해 발생하는 순간 열을 감당하고 내 마모성을 보강하기 위해 PVD TiAlN 코팅이 필요 불가결의 요소 이며, 잘 마무리된 인선 처리(Edge preparation) 기법은 공구의 수명을 연장 시켜 주고 있다.

고속 가공용 엔드밀은 일본의 히타치사, OSG, KOBELCO, 이스라엘의 ISCAR, 독일의 FRASIA, Jaboro 사 등에서 출시 중이며, <그림 3>에서 보여

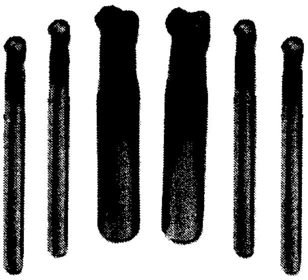


Fig. 3　HSM 용 End Mill

주는 TaeguTec 의 ART Mill 또한 이러한 조건을 만족시키기 위해 개발 된 고속용 엔드밀이다.

3. Tooling System 의 변화

3.1 고속 가공 시의 툴링 기술

고속 가공은 절삭 공구의 변혁 뿐 아니라 툴링 시스템의 변화 또한 요구 하고 있다.

고속 회전에 적합한 생크(Shank)를 적용해야 하며, 무게의 중심이 잘 균형 지어진 상태가 아니면 진동을 피할 수 없게 될 것 이며, 금형의 깊은 부분 가공을 위해서는 피삭물과의 간섭이 없으면서도 강한 구조의 홀더 선정이 요구 된다.

3.2 툴의 생크(Shank)

현재 일반 밀링 머신의 주축에 사용되는 대표적인 생크는 BT 생크이다.

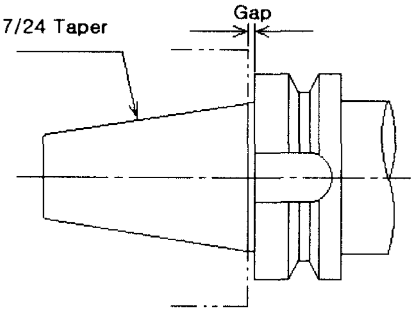


Fig. 4　BT Shank

<그림 4>에서 보여 주는 BT 생크는 테이퍼에 1 면 구속된 형태로 일반절삭에 비교적 잘 적용되고 있으나, 고속 절삭 시는 원심력의 영향으로 주축단의 팽창 되고 생크가 주축 단 안으로 끌려 들어가 가공물의 치수 변동을 가져 온다. 이로 인해 자동 공구 교환에 장애 요소가 되기도 하며, 진동 특성에 취약한 일면을 보이고 있다

따라서 고속회전에 있어 이러한 취약점을 보완하여 독일에서 표준화 된 HSK Shank <그림 5>는 현재까지 소개된 생크 중 가장 진보된 것이라 하겠다.

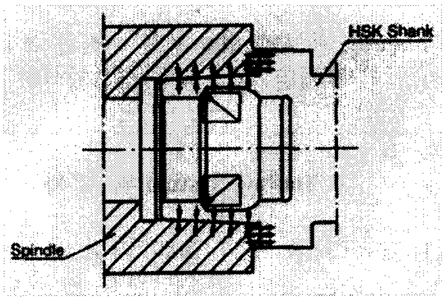


Fig. 5 HSK Shank

HSK 생크는 테이퍼 각이 완만한 Self-Grip 형으로 1/10 의 기울기를 가지고 있으며, 테이퍼부의 길이가 짧고 그 내부는 중공(中空) 으로 이루어져 있어서 고속 회전 시 주축단의 확장 시에 생크도 확장 되는 형태로서, 주축단에 장착 시는 주축단의 단면과도 밀착되는 2 면 구속의 형태로 설계되어 있다.

이러한 특성으로 인하여 고속에서 발생 될 수 있는 진동을 방지하고, 높은 체결력과 2~3 ㎛이내의 축 방향 위치정밀도의 확보와 반복 정밀도의 보증이 이루어짐으로써 정적 및 동적인 안정성을 확보 할 수 있게 하였다.

4. 툴의 밸런싱(Balancing) 기술

4.1. 불균형(Unbalance)의 종류

회전체의 불균형(Unbalance)이란 회전체의 회전축과 질량 중심 축이 일치하지 않는 상태를 뜻한다.

이러한 원인으로, 생크의 드라이버 슬롯(Driver slot)이나 비 대칭 형상과 같은 설계상의 근원적인

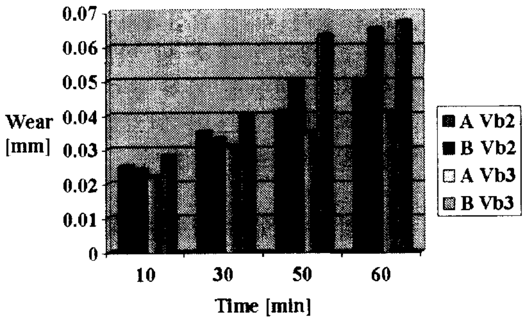


Fig. 6 Balancing 과 공구 수명

불균형 원인(Fixed or Controllable Source)을 가지고 있거나, 조립되는 볼트나 콜렛 등의 틈새와 절삭공구나 풀 스터드 볼트 등에 의한 유동적인 불균형(Variable or Uncontrollable Source) 등을 그 원인으로 들 수 있다.

이러한 불균형은 회전체의 진동을 야기하고, 이에 따라 공작물의 표면 조도 악화, 공구 수명의 감소, 소음 및 스핀들 베어링의 손상 등을 초래하게 된다.

<그림 6>은 Unbalancing 정도에 따른 엔드밀의 공구 수명(마모) 차이를 보여 주는 그림으로 Balancing 의 중요성을 알게 해준다.

DI 실험에 사용된 홀더는 BT 40 ER20 x 10 이며, 엔드밀은 3 날의 직경 8mm 이며, RPM 14,000 에서 테스트 한 결과이다. 홀더 A 는 0.5 gr x mm, 홀더 B 는 6 gr x mm 의 Balancing 상태를 유지하고 있으며, Vb2 는 엔드밀의 코너부 마모를, Vb3 는 주인선부 마모량을 나타낸다.

따라서 고속 가공용 홀더를 생산하는 제조업체는 1 차로 예측 할 수 있는 진동의 요인인 Fixed source 를 제거한 상태로 출고 해야 할 것이며, 2 차로 사용자가 Variable Source 를 손쉽게 제거할 수 있는 홀더를 공급 해야 할 것이다.

불균형체는 3 종류로 분류 되는데 다음과 같이 구분 할 수 있다.

4.1.1. Single Plane or Static Unbalance

질량의 불 균일로 회전체의 중심과 질량 중심이

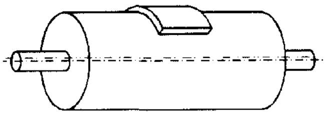


Fig. 7 Single plane unbalance

평행하게 되는 불 균일 상태를 의미한다<그림 7>

4.1.2. Couple Unbalance

불균일 질량체가 대칭으로 배치해 있어 질량

Fig. 8 Couple unbalance

축과 회전축이 교차하며, 회전체의 중심점은 회전

축 내에 있다<그림 8>

4.1.3. Two Plane or Dynamic Unbalance

불 균일 질량체가 비대칭으로 배치되어 있고 질량 중심축과 회전 중심축이 교차하지 않고 평행하지도 않는다. 이러한 불균형은 Static Unbalance 와 Couple Unbalance 가 조합된 상태다. <그림 9>

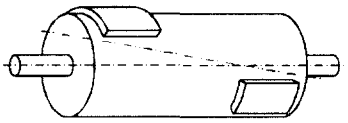
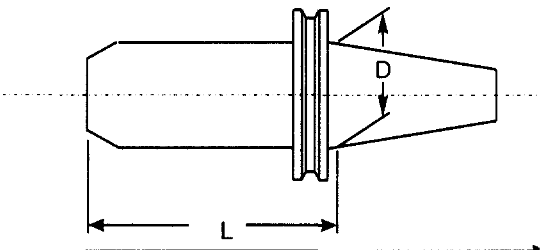


Fig. 9 Dynamic Unbalance

고속 가공에 이용되는 홀더는 제조업체에서 Two-Plane Unbalance 를 제거하여 제작 된 제품이어야 한다. 왜냐하면 대부분의 Variable Source 에 의한 불균형은 Single Plane Unbalance 로, 사용자가 4.3.항에서 설명하는 방법으로 쉽게 제거 할 수 있기 때문이다.

<표 1>은 BT 혹은 SK 생크에서 게이지 라인 (ϕD)에 대한 홀더의 길이(L)의 비 2 를 기준으로 한 일반적인 Balancing 가이드라인을 보여 주고 있다.

Table 1 회전 수 별 Balancing 가이드라인



L>2D	1-Plane Pre-Balanced	2-Plane Pre-Balanced	2-Plane pre-balance by Toolholder Manufacturer 1-Plane Balanceable in the Field	2-Plane pre-balance by Toolholder Manufacturer 2-Plane Balanceable in the Field*	2-Plane Pre-Balanced Trim Balance in situ
L<2D	Off the Shelf	1-Plane Pre-Balanced	1-Plane Balance-able	2-Plane pre-balance by Toolholder Manufacturer 1-Plane Balanceable in the Field	2-Plane Pre-Balanced Trim Balance in situ

0 5K 10K 15K 20K 25K 30K

4.2 불균형(Unbalance)

<그림 10>는 불균형 체의 형상을 도식화 한 것으로 회전체 내부에 불균형 질량이 존재 할 때, 회전체의 무게 중심점의 변화 상태를 보여 주고 있다.

불균형의 단위는 'Gram x mm'로 표기한다.

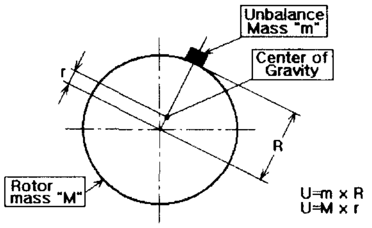


Fig. 10 Unbalance

예를 들어 반경 100mm 위치에 불균형 질량 1Gram 이 있을 때 Unbalance 는 1Gram x 100mm = 100 gr·mm 로 나타낸다.

회전체의 질량을 5,000 Gram 이라 가정하면 이때의 회전체의 무게 중심점까지의 거리 r = 100/5,000 = 0.02mm 가 된다.

4.3. 균형(Balancing) 기술

이러한 불균형 체를 균일화 하는 기술로는 다음과 같은 세가지 방법이 적용 되고 있다.

4.3.1. 질량 제거 법

불 균일 질량과 같은 쪽에 동일 질량을 제거하는 방법으로 보링 공구(Boring Tool)나 크랭크 샤프트 등의 Balancing 시 주로 사용 된다.

질량을 제거하는 방법은 Grinding, Drilling, Milling 등을 통해 홀더의 표면을 제거하여 균형된 상태를 유지 할 수 있다.

4.3.2. 질량 추가 법

불 균일 질량의 반대편에 동일 질량을 더하는 방법으로 여러 개의 나사 구멍을 원주 방향에 균일한 간격으로 가공 해 둔 후, 가공 된 구멍에 스크류를 삽입하여 질량을 추가 하는 방법으로 Lindex Coporation 사 등에서 출시 되고 있다.

4.3.3. 질량의 재 분배 방법

Kennametal 과 Iscar/ETM/TaeguTec 은 두개의 회전하는 불균형한 질량을 가진 링을 사용하여

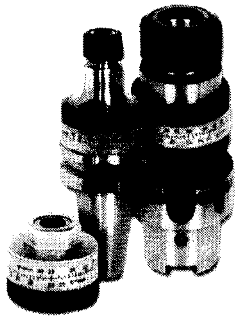


Fig. 11 BalanceIN

Balancing 하는 제품을 선보이고 있다.<그림 11>

고속 가공용으로 사용되는 Balancing 등급 2.5G 를 만족하는 홀더로써 가장 적절한 형태의 하나라 할 수 있는데, 그 원리는 다음과 같다.

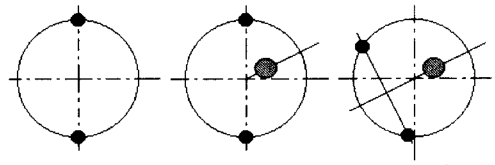


Fig. 12 질량 조정 기구의 원리

초기 기준 위치에서 두개의 불균형의 질량을 가진 링은 180°로 위치 되어 있어 균형을 유지한다. 공구를 삽입한 후 Balancing Machine 에 의해 불균형 각도와 질량이 확인 되면, 두개의 링을 조정하여 균형을 유지 할 수 있도록 조정 하는 메커니즘으로 되어 있다.<그림 12>

4.4. 고속 가공에 적합한 홀더

4.4.1. Shrink-Fit Chuck

균형 측면에서 가장 좋은 디자인의 척이다.

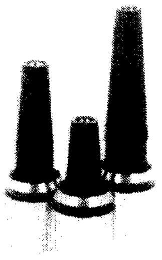


Fig. 13 ShrinkIn Chuck

일반적으로 Slim Design 이며, 부품이 없어 근원적으로 불균형의 소지가 없다. 삽입되는 절삭공구만이 불균형의 원인이 될 수 있다.

TaeguTec/ETM <그림 13>, KENNAMETAL, CARBOLOY, KELCH, Lyndex, OSG, SHUNK, NT Tool 등 여러 업체에서 생산 된다.

Shrink Chuck 은 사용 시 <그림 14>과 같은 가열 및 냉각 기구가 있어야 하며, 200~300℃ 정도의 고온에서 작업 되므로 보호용 장갑 등이 구비되어야 한다.

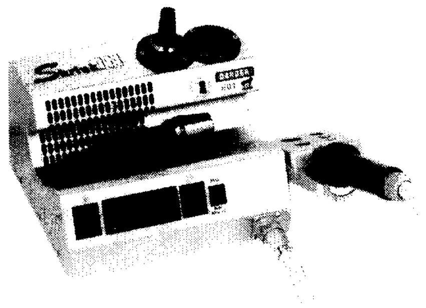


Fig. 14 ShrinkIn 가열 기구

4.4.2. 유압 척(Hydraulic Chuck)

균형 측면에서 양호한 척이기는 하나 유압 작동을 위한 스크류가 불균형의 원인이 된다.

4.4.3. 테이퍼 콜렛 척(Taper Collet Chuck)

10,000 RPM 이내로 사용할 수 있도록 균형 잡혀 있다. 이 이상의 회전수에서는 절삭 공구를 교체 할 때 마다 Re-balancing 해야 할 필요가 있다. 잠금 너트, 콜렛 및 절삭 공구가 불균형의 원인이 되기 때문이다. 따라서 Balance 조절 기구가 부착된 <그림 11>의 홀더를 사용하면 공구나 콜렛에 의한 Variable Source 를 제거 할 수 있어 고속 작업에 적합 한 척이다.

4.4.4 밀링 척(Milling Chuck)

많은 수의 부품과 상당히 큰 중량의 잠금 장치(Collar)를 가지고 있어서 Pre-balancing 이 사실상 어렵다. 고속 작업에 적합하지 않다.

4.4.5. 엔드밀 홀더(End Mill Holder, Side Lock Holder)

근원적으로 비교적 큰 세트 스크류와 같은 불균형의 요소를 가지고 있다. 그리고 여기에 사용되는 Weldon 생크의 절삭공구 또한 불균형 상태이다. 고속용으로는 적합하지 않다.

이상에서 언급한 척 들을 살펴 볼 때 고속가공용으로 가장 적합한 홀더는 Shrink Chuck 에 Balance 를 조정 할 수 있는 척이 가장 우수한 척이 될 것이다. 이는 <그림 13>와 같은 Pre-Balanced Shrink Chuck 과 공구 조립 시 발생 되는 Variable Source 를 제거 할 수 있는 Re-Balanceable Chuck <그림 11>과 조합하여 사용함으로써 우수한 균형성을 실현 할 수 있다.

미국의 한 저명한 기술 잡지<Cutting Tool Engineering>는 이러한 열 박음 척을 공구 수명 4배, 3~5μm 의 Run out, 5,000 회 반복 사용 가능한 홀더로 소개 하고 있으며, 향후 5 년 내 미국 금형 현장의 70%정도가 이 척을 사용 하게 될 것이라고 소개 하고 있다.

5. 결론

향후 금형 가공 시장은 제품의 Life Cycle 이 더욱 짧아지면서 금형의 단납기를 요구하게 될 것이며, 보다 정밀한 금형의 요구로 인해 고속 가공 기술의 적용은 확산 될 것이다.

향후 고속 가공용 공작기계는 더욱 고속화 하면서 중·대형화 되어 갈 것이다. 여기에 사용되는 공구 또한 고도의 신뢰성과 무인화 실현을 위해 내마모성과 인성의 향상이 동시에 요구 될 것이며, 공구와 홀더 간에 발생되는 불균형 요소를 제거 할 수 있는 홀더로 끝없이 개발/개선 되어 갈 것이다.

참고문헌

1. Swiss MIKRON 사 "HIGH SPEED CUTTING TECHNOLOGY" 4th Edition. DEC. 6, 2000.
2. Cutting Tool Engineering, Volume52, No 9. Sept. 2000.
3. Michael H. Layne, "Detecting and Correcting Unbalance in Toolholders for High Speed Machining".
4. Michael H. Layne, "Toolholder Balancing for High Speed Machining".
5. 機械と 工具, Vol. 45, No 4. 2001 년 4 월호 pp. 31~32, 2001.
6. Israel ETM 사 "High Speed Machining" presentation . May. 2001.