

고속 머시닝센터용 HSK Clamping 장치의 설계 및 해석에 관한 연구 Design and Analysis of HSK Tool Clamping System for High-speed Machining Center

*권해웅¹, 박진효¹, 강익수¹, #김정석¹, 정수영², 박성원²
*H. W. Kwon¹, J. H. Park¹, I. S. Kang¹, #J. S. Kim(juskim@pusan.ac.kr)¹, S. Y. Jung², S. W. Park²
¹ 부산대학교 기계공학부, ² ㈜한성NTM

Key words : HSK, Tool Clamping, High-Speed Machining Center

1. 서론

공작기계 산업은 모든 산업의 기반산업이므로 선진국의 경우 끊임없는 신기술 개발로 첨단산업화 하여 국제경쟁력을 유지하고 있으며 수출 전략산업으로 육성시키고 있지만, 국내 공작기계 산업은 주요 핵심 요소부품을 대부분 수입에 의존하고 있어 국제경쟁력을 상실하고 있는 형편이다. 또한 최근 몇 년간 휴대 폰, PMP, MP3 Player, 디지털 카메라 등 소형 디지털 기기들의 수요 증가로 내수 판매는 물론 수출 또한 급증함에 따라 이들 제품에 사용되는 소형 평면 디스플레이를 비롯한 부품들의 금형 산업이 활발한 호황을 보이고 있어 고속가공기의 필요성이 계속 늘어날 것으로 예상된다.[1,2] 고속가공기의 핵심 모듈인 고속주축은 선진국에 비하여 성능이 떨어지고, 고속주축의 주요 요소인 공구 클램핑(Clamping) 장치 및 에어-오일(Air-oil) 순환장치 등도 해외의 공작기계에 대하여 기술적인 열세에 있다. 특히 고속주축 모듈 및 공구 클램핑 장치, 에어-오일 순환장치는 해외 선진업체에서 성능 및 신뢰성을 바탕으로 상품화되어 국내 고속가공기에도 수입 적용되는 실정이다.[3,4] 본 연구에서는 초고속 주축 모듈 중 공구 클램핑 및 유압장치 설계기술을 개발함으로써 초고속 주축 요소부품의 국산화에 목표를 두고 있다. 30,000rpm 급 주축에 적용되는 HSK E50 툴링 시스템(Tooling system) 요소부품 중 클램핑 유닛의 구조설계 및 해석을 수행하고, 시제품 설계보안에 적용하였다.

2. 클램핑 장치의 구성

공구 클램핑 및 유압장치는 공작기계 머시닝센터 주축의 절삭 공구 홀더를 자동으로 장착하고 탈착하는 장치로써, 그 구성품은 크게 공구홀더 클램핑 유닛(Clamping unit), 파워 드로바(Power drawbar), 유압 실린더로 크게 3가지로 구성되며, 3가지 구성품이 머시닝센터용 주축에 조립된 상태는 Fig. 1과 같다.

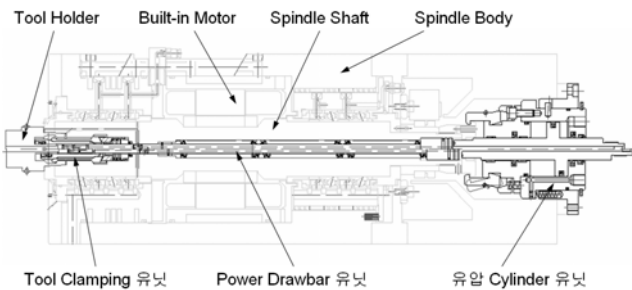


Fig. 1 Tool clamping system for HSK tooling

HSK 공구 홀더는 BT 공구 홀더에 비해 생크부의 길이가 상대적으로 작고, 2면 구속의 특성상 공구 클램핑력(Clamping force)이 크게 적용 하여야 되는데, 드로바에 인가하는 풀링력(Pulling force) 크기는 한계를 가지므로 별도의 배력 기구가 있어야 한다. 드로바에 인가된 풀링력은 축 방향으로 작용하고 이 작용력은 클램핑 콘(Clamping cone) 및 그리퍼(Gripper) 접촉면에서 반경 방향으로 전달되어 작용한다. 전달된 힘은 스핀들 내측 경사면과 홀더의 경사면에 상호 접촉하여 축 방향 힘으로 변환된다. 이 변환된 힘은 전달과정에서 오는 마찰 등으로 일부의 힘이

손실되어 최대로 초기 풀링력의 3~3.5정도 증폭된 힘으로 변환된다. 드로바 유닛도 클램핑 유닛과 동일하게 큰 힘을 전달하여야 함으로 고강도의 재질의 사용하여야 하며, 풀링력에 대한 응력이 집중되지 않도록 설계 되어야 한다. 또한 빈번한 공구 장착 및 탈착이 필요하므로 200만회 이상의 피로 수명에 대한 고려도 동일하게 필요 하다. 그리고 공구 홀더 언클램핑용 유압 실린더는 스핀들에 조립되어 있는 주축 베어링을 보호하기 위하여 완충 스프링에 의한 스핀들 후단부와 유압 실린더에 포함된 완충 그리퍼가 지지된 상태에서 풀링력이 작용하는 반대 방향으로 피스톤이 드로바 유닛의 풀링헤드(Pulling head)를 동작시킴으로써 공구 홀더를 탈착하는 장치이다.

3. 클램핑 장치 구조설계 및 해석

선진사(OTT-Jakob) 클램핑 장치의 경우 그리퍼의 움직임이 정밀하여 스핀들 축의 접촉면과 그리퍼가 면으로 접촉하므로 일정한 풀링력을 유지하는 특성을 가지고 있다. 따라서, 본 논문에서는 선진사 클램핑 장치의 설계사양을 검토한 후 특히 칩해의 요소를 피하는 범위 내에서 클램핑 유닛, 드로바, 유압실린더를 설계하였다. 특히, 드로바에서 인가된 풀링력의 3.5배가 증폭되어 인가되는 그리퍼와 콘에 대해서는 3D CAD 프로그램인 UG(Unigraphics)를 이용해서 솔리드 모델링을 하였고, 설계의 안정성을 확보하기 위해 상용 유한요소해석 프로그램인 ANSYS를 통해서 선진사의 제품보다 안정성이 우수한 구조로 설계변경을 하였다. 클램핑 유닛이 구조적으로 안정적인지 유한요소해석을 통해 평가하기 위한 두 부품의 솔리드 모델링을 하였다. Fig. 2는 선진사 클램핑 유닛의 모델링 결과이고, Fig. 3은 설계된 클램핑 유닛이다. 동일한 클램핑 콘에 대하여 두 종류의 그리퍼를 설계하였다. Type 1은 그리퍼 중간에 홈이 있도록 설계하여 콘과 안정적으로 클램핑 되도록 설계하였고, Type 2은 강성이 Type 1에 비해 높도록 설계하였다.

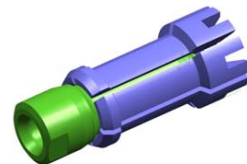


Fig. 2 HSK clamping unit of OTT-Jakob

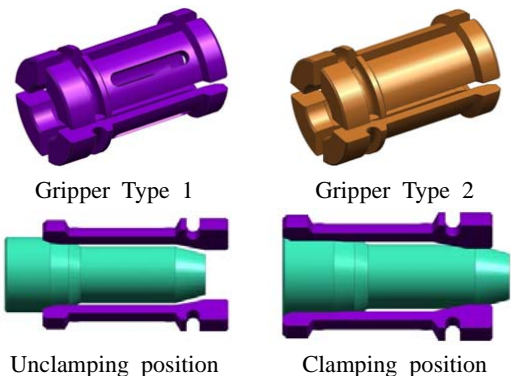


Fig. 3 Developed HSK clamping unit

앞서 수행된 솔리드 모델의 유한요소해석을 위해 Table 1과 같이 절점, 요소를 생성하였고, 재료의 물성치는 Table 2와 같다. 본 해석에서는 조밀하지 않은 메쉬(Mesh)를 가진 유한요소 모델을 이용하여 해석한 뒤 여기에서 얻어진 결과를 관심영역에 상세하게 표현된 상대적으로 매우 조밀하게 메쉬가 생성된 부 모델로 넘겨줌으로써 관심영역에서의 정확한 해석결과를 효율적으로 얻을 수 있는 기법을 사용하였다.

Table 1 Analysis condition

| | OTT-Jakob | Type 1 | Type 2 |
|------------------|---------------------|--------|--------|
| Method | Hex dominant method | | |
| Relevance | 100 | | |
| Relevance center | Fine | | |
| Elemental size | Default | | |
| Node | 80,607 | 46,451 | 76,119 |
| Number of mesh | 21,540 | 4,033 | 20,104 |

Table 2 Material property

| | |
|---------------------------|---------------------------|
| Young's modulus | 2.05E+5MPa |
| Poisson's ratio | 0.29 |
| Density | 7.85E-6kg/mm ³ |
| Tensile yield strength | 1,165MPa |
| Tensile ultimate strength | 1,255MPa |

HSK E50 클램핑 유닛이 드로바에 의해 최대 인가되는 힘은 약 11,000N이고, 구속되는 위치는 그리퍼가 콘, 홀더 및 스피들 내부와 접촉하는 부위로 나눌 수 있다. 따라서 최대 하중이 가해질 때 3위치를 구속하여 해석을 수행하였다. Fig. 4와 5는 등가응력, 최대 변형량 해석 결과를 보여주고 있다. 선진사와 Type 1은 유사한 결과를 보였고, Type 2는 모든 부분에서 가장 우수한 구조를 가진 것으로 나타났다. 선진사 그리퍼의 경우 선단부에서 응력이 가장 크게 작용했고, Type 1과 2는 그리퍼를 스프링으로 고정하기 위한 홈 부분에 응력이 집중되는 현상이 보였다. Type 2의 경우 최대 응력이 발생하는 위치에서 그 값이 344MPa로 다른 모델에 비해 응력값이 30% 정도로 가장 안정적인 구조로 해석되었다. 각 모델의 최대 변형량은 동일하게 공구 홀더와 접촉하는 선단부에서 발생했으며, 각각 0.07, 0.05, 0.03mm로 Type 2가 가장 우수하게 나타났다.

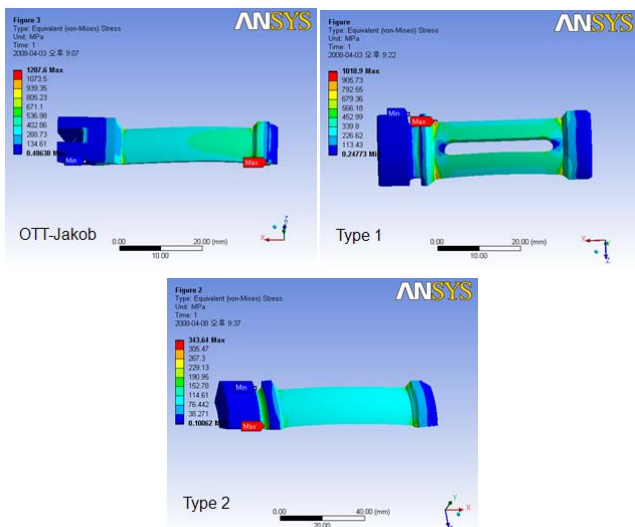


Fig. 4 Analysis results of equivalent stress

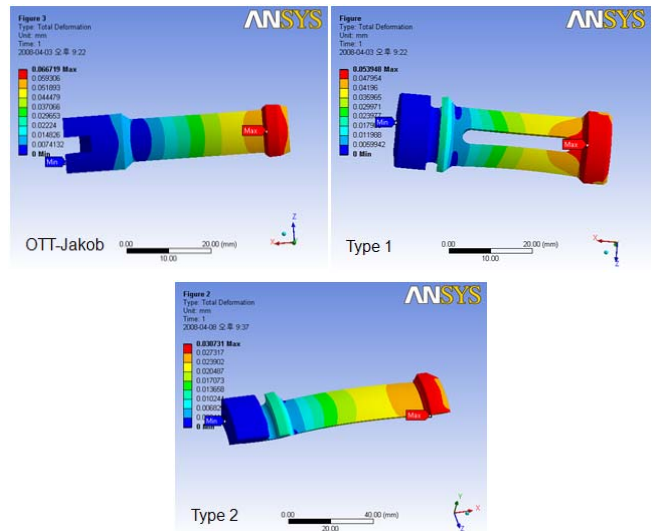


Fig. 5 Analysis results of deformation

4. 결론

고속 머시닝센터의 핵심 요소인 초고속 주축 모듈의 공구 클램핑 및 유압장치 설계기술에 관한 1차년도 연구결과는 다음과 같다.

HSK E50 클램핑 장치의 설계사양을 검토한 후 클램핑 유닛, 드로바 및 유압 실린더를 설계하였다. 클램핑 유닛의 그리퍼와 콘에 대해서는 설계의 안정성을 확보하기 위해 유한요소해석을 통해서 선진사의 제품보다 안정성이 우수한 구조로 설계변경을 하였다. 그 결과 설계된 부품은 최대 응력이 발생하는 위치에서 그 값이 344MPa로 다른 구조의 응력값의 30% 정도로 가장 안정적인 구조를 가지는 것으로 나타났다.

향후 시제품의 성능평가를 통해 양산화를 위한 최종 설계보완이 수행될 것이며, 양산 제품에 대해서는 클램핑력 증폭비 3배 이상인 9kN 이상, 탈착수명 150만회 이상의 성능을 만족시킬 것이다. 또한, 탈착 횟수의 증가에 따른 클램핑력의 변화와 클램핑 콘과 그리퍼의 마모 및 수명테스트 실험을 병행하고자 한다.

후기

본 연구는 2007년도 산업자원부 부품소재기술개발사업의 일환인 '고속화 요소기술 개발' 과제로 화천기공(株)의 연구비 지원에 의해 수행된 것으로 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Choi, U. D., Son, H. S. and Park, J. K., "Development of an Autonomous Spindle for High Speed Milling Machine," 2nd Intelligent High Speed Machining System Workshop, 21-28, 2001.
2. Urbanski, J. P., Koshy, P., Dewes, R. C. and Aspinwall, D. K., "High Speed Machining of Moulds and Dies for Net Shape Manufacture," Materials & Design, 21, 395-402, 2000.
3. 신우철, 노승국, 이득우, 박종권, "초소형 공작기계 주축용 공구 클램핑 특성 기초연구," 한국공작기계학회 2006 춘계학술대회 논문집, 134-138, 2006.
4. 정원지, 이춘만, 조영덕, 황영국, 정동원, "유압 회로를 이용한 초고속 스피들의 언클램핑 시간 저감 방안 연구," 한국정밀공학회 2005년도 춘계학술대회 논문집, 398-398, 2005.