

5-Head Router Machine 의 이면 구속 공구 시스템

성승학*(부산대 기계공학과), 이득우(부산대 나노과학기술학부), 이채문(부산대 기계공학과),
백효정(부산대 기계공학과), 옥주선(수성기체), 최운집(수성기체)

Dual-Contact Tooling System for 5-Head Router Machine

S. H. Seong(Mech. Eng. Dept., PNU), D. W. Lee(Nano Sci.&Tech. Sch., PNU), C. M. Lee(Mech. Eng. Dept., PNU), H. J. Baek(Mech. Eng. Dept., PNU), J. S. Oak(Soosung Airframe), U. J. Choi(Soosung Airframe)

ABSTRACT

This paper presents a general description of single and dual contact tooling systems, finite element analysis, and discussions on the application of the system to the 5-head router machine which is in particular for aerospace components. This study has been performed as part of the development of the new generation 5-head router machine which is designed for high productivity. Such high productivity in essence requires high speed rotation and multiple spindles in one machine. The high speed rotation may exceed a range in a conventional single contact tooling system. The conventional tooling system is reevaluated in comparison with the dual-contact system. Finite element analysis using simplified spindle models compares major differences in the two systems. Some problems in the application to the 5-head router machine are discussed.

Key Words : Dual-face-contact tooling system (2면 구속 공구 시스템), BT type tool holder (BT 홀더), BBT type tool holder (BBT 홀더), HSK type tool holder (HSK 홀더), Deformation analysis (변형 해석)

1. 서론

항공기 기체 부품은 종래의 조립형 부품에서 최근 일체형 부품 형태로 전환되면서 높은 생산성 및 고정밀이 요구되고 있다. 최근 이와 같은 목적을 수행할 수 있는 고속 가공기의 도입이 국내 항공산업의 국제 경쟁력 확보를 위해 추진되고 있으며, Multi Spindle 을 장착하여 보다 높은 생산성을 추구하고 있다. 최근의 머시닝센터는 주축 회전수가 10,000rpm 이상으로 고속화되면서 지금까지 채용되고 있는 Tool holder인 BT 생크로는 여러 가지 문제점들이 나타나고 있다. 주축의 고속 회전으로 원심력과 열변형 등이 발생하여 주축 선단에 확장 현상이 일어나게 되고 이로 인해 Tool holder가 주축으로 미끄러져 들어가 축방향 정밀도를 저하시켜 가공형상 정밀도를 악화시키게 된다. 또한 횡방향으로 진동을 발생시켜 공작물의 가공 정밀도를 악화시킨다.

고속 머시닝센터에 적용될 Tool 생크는 일반적

으로 자체 질량을 줄여서 원심력을 감소시키고, 고강성 구조를 채택하여 고속 회전시에도 안정적인 회전이 가능하게 설계되어야 한다. 고속 회전시 적용되는 대표적인 Tool 생크 형식으로 Flange 측면과 테이퍼부를 2면 접촉시켜 결합부 강성을 보강한 방법인 2면 구속 공구 시스템이 개발되어 이용되고 있다. 2면 구속 방식은 BT 생크에 비하여 굽힘 강성이 일반적으로 높고 자동 공구 교환시 위치 정도가 극히 양호하며 공구의 위치 조정 없이 고정도가공 조작을 행할 수 있고 공구 교환 시간이 짧아 가공 부품이 정밀도와 생산성을 향상시킨다.

대표적인 2면 구속 공구 시스템으로는 HSK, KM, BIG-PLUS(BBT) 방식이 있는데 HSK와 KM type은 Tool 생크 자체의 질량을 줄여 원심력을 감소시키고 고강성 구조로 고속 회전시에도 안정적인 회전을 가능하게 한다. 하지만 Tool 생크의 질량을 줄이기 위해 홀더 부분을 중공으로 만들어 기존의 방식인 BT type과 체결 방식이 달라지게 되며 결합부의 강성을 보강하고 2면 구속 방식을 사용하기

위해 생크 부분의 길이와 테이퍼 각도를 다르게 함으로써 전용 Spindle 을 이용하여야 하는 단점이 있다. 그리고 HSK type 을 이용할 경우 몇 가지 문제점이 발생하는데 생크 부분의 장기간 사용에 의해 마모로 인한 노화나 장착시 발생하는 편심으로 인해 2면 접촉이 제대로 이루어지지 못하게 된다. 이에 홀더 장착시 노하우가 필요하다. 그에 반해 BIG-PLUS(BBT) type은 2면 구속의 방법을 이용하면 서도 BT type 과 동일한 Tool 생크의 형상을 유지하여 기존의 Spindle 을 사용할 수 있고 HSK type 에서 발생하는 문제점들이 나타나지 않고 있다.

본 연구는 현재 개발 중에 있는 항공기 기체 부품 전용 설비인 5-Head Router Machine에서 주축 시스템의 고속 회전에 적합한 Tooling system에 대하여 고찰한다.

2. 단면구속 공구시스템 (BT type)

일반적으로 범용 공작기계에서는 주로 BT type 의 홀더가 사용되고 있으며 현재 머시닝센터의 Tooling system으로 널리 사용되고 있다. BT 생크는 고속 회전시 주축 선단의 변형으로 인해 별도의 전용 Tool 생크가 필요하게 된다. BT 생크는 테이퍼부만이 접촉하면서 회전하므로 고속 회전시 원심력과 열변형 등으로 인해 주축 테이퍼부가 확장되고 Draw bar의 인장력에 의해서 Tool 생크가 주축에 미끄러져 들어가므로 축방향 정밀도를 저하시키게 된다. 또한 테이퍼 구멍 마멸에 의해 형상 정밀도를 악화시키고 횡방향 진동을 발생시켜 공작물의 가공 정밀도를 악화시킨다. 그리고 생크 질량이 크고 길이가 길어서 공구 교환 시간이 길어지는 문제 등의 여러 가지 문제점을 가지고 있어 고속 회전의 Tool 홀더로는 적당하지 않다.

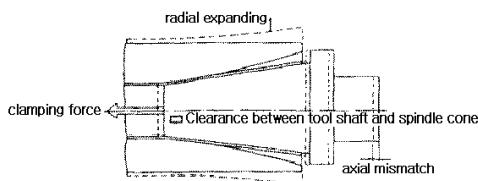


Fig. 1 Deformation of BT type tooling system

3. 이면 구속 공구 시스템

2면 구속은 고정용 Draw bar를 주축에서 인장시키면 생크와 주축 테이퍼부가 서로 탄성 변형을 일으켜 밀착되고 동시에 공구와 주축의 Flange 부분도 밀착되어 구속이 이루어지게 되므로 BT 생크와 비교해서 보다 고강성의 주축 시스템이 만들어지게

된다. 테이퍼부와 Flange 부가 양면으로 접촉하여 공구에 작용하는 Bending Moment 를 지지하게 되므로 공구 Bending 강성이 높아지고, 공구 교환 위치 정밀도를 높일 수 있다.



Fig. 2 Combination of two-face-contact tooling system

3.1 HSK type

고속 가공용 주축 시스템에 가장 많이 사용하는 공구 시스템 중 하나로 Fig. 3에 나타내었다. 홀더의 생크 부분이 중공 형태로 제작된다는 것이 특징이다. 홀더의 생크 부분의 길이가 짧고 중공 형태를 가지므로 홀더 자체의 질량이 작아지므로 고속 회전시 원심력 발생이 적어서 횡진동 발생이 적어지게 된다. 또한 짧은 길이로 인해 ATC 행정이 짧아지고 가벼운 질량으로 인해 공구 교환 시간이 단축되게 되어 가공 시간을 절감시킬 수 있다. Fig. 4는 HSK type 홀더의 체결 장치를 나타낸 것으로 주축에서 Draw bar 를 인장시키고 클램프 해방기구가 Collet finger를 삽입하여 중공의 Tool 생크 내부에서 Collet segment 와 공구의 테이퍼부가 서로 접촉되어 인장력이 전달되어지는 구조이다. 하지만 이런 방식은 기존의 주축으로는 이용할 수 없으므로 여기에 적합한 새로운 주축을 제작하여야 한다.



Fig. 3 HSK type tooling system

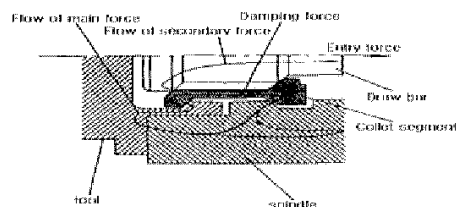


Fig. 4 Clamping device of HSK type tooling system

3.2 BBT type

2면 구속 공구 시스템으로 일반 BT type 홀더에 주축 선단 구속 기능만 추가한 형태이다. 기존 BT type 홀더용 Spindle 을 공용으로 사용할 수 있어 따로 전용 Spindle 을 제작하지 않아도 된다. Fig. 5는

BBT type 홀더의 형상을 나타낸 것이고 Fig. 6에 체결 방식을 나타내었는데 일반적인 BT type 홀더의 생크 끝부분을 Clamping bar로 잡아당기면 홀더가 부착되면서 탄성 변형이 일어나 주축과 Tool 홀더의 단면이 밀착된다. 장착시 특별하게 균형을 맞추지 않아도 되고 주축도 홀더에 맞춰 따로 제작하지 않아도 되므로 기존에 사용 중인 주축 시스템에 적용할 때 적합하다.

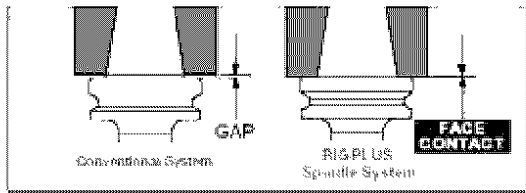


Fig. 5 BBT type tooling system

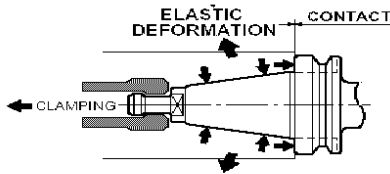


Fig. 6 Clamping device of BBT type tooling system

4. 공구 시스템의 변형 해석

구조해석 상용프로그램을 이용하여 공구 홀더 부착 전후 고속 회전에 의한 주축 선단 변형과 홀더를 부착했을 때 BT type과 BBT type, 그리고 HSK type간의 변형량을 비교한 결과이다.

4.1 구조해석조건

해석에 사용된 추축부는 IBAG사의 직경 260mm, 길이 830mm, 최대 10,000rpm, BT50 용 스피들을 단일 물체로 단순화시켜 사용하였다. 공구 홀더부는 단면 구속과 2면 구속의 특징만을 갖도록 단순화시켰다. 2 차원 축대칭으로 회전에 의한 원심력과 Clamping force만이 작용하도록 모델링 되었다. 공구 홀더 체결시 주축 선단부와의 마찰계수는 0.17을 적용하였으며 접촉문제해석을 위하여 접촉부위의 메시를 조밀하게 분포시켰다.

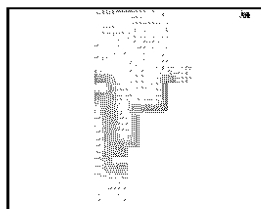


Fig. 7 Mesh distribution of spindle end part

4.2 공회전시 선단 변형

Fig. 8, 9, 10은 공구 홀더를 체결하지 않은 상태에서 주축의 회전속도 증가에 대한 변형량을 비교한 것이다. 주축이 점차 고속화될수록 선단의 변형량이 증가함을 알 수 있다. 해석에 사용한 주축은 최대용량이 10,000rpm 이므로 현실적으로 일어나지 않은 변형이지만 본 해석에서는 단면 구속과 2면 구속 간에 변형의 기구학적 특징을 비교 조사하기 위하여 다소 과대한 변형 조건에서 해석을 수행하였다.



Fig. 8 10,000rpm



Fig. 9 20,000rpm



Fig. 10 30,000rpm

4.2 BT type의 선단 변형

단면이 구속이 되는 BT type의 경우 테이퍼부의 변형이 비선형적으로 폭면을 이루므로 초기의 면접촉이 선접촉으로 변하면서 체결력이 약화된다. 회전속도가 증가하면서 테이퍼부가 더욱 확장되어 공구 홀더가 체결력으로 인해 축방향으로 이동하는 것을 관찰할 수 있다. 이러한 선접촉 상태에서는 측면력 등에 의하여 공구 홀더 축이 불안정하게 되므로 runout의 원인이 될 수 있다.



Fig. 11 10,000rpm

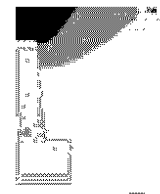


Fig. 12 20,000rpm

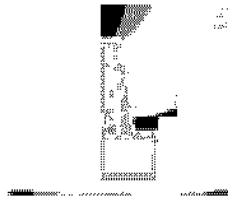


Fig. 13 30,000rpm

4.3 HSK type 의 선단 변형

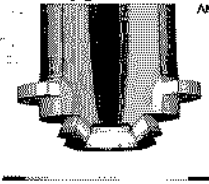


Fig. 14 10,000rpm

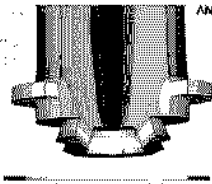


Fig. 15 20,000rpm

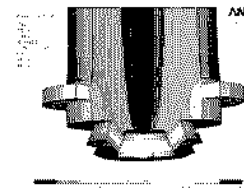


Fig. 16 30,000rpm

Fig. 14, 15, 16은 HSK type 홀더를 주축에 부착하였을 때의 주축 선단 변형을 해석한 것으로 2면이 구속되는 방식이라 고속 회전시에도 일정한 면접촉 상태를 유지하고 있어 주축 선단 변형이 BT type 과 비교하여 감소함을 알 수 있었다.

4.4 BBT type 의 선단 변형



Fig. 17 10,000rpm



Fig. 18 20,000rpm



Fig. 19 30,000rpm

Fig. 17, 18, 19는 두 개의 면이 동시에 구속되는 BBT type 의 경우를 보여 주고 있다. 이 경우는 회

전 속도가 증가해도 축과 수직인 접촉면은 면접촉을 유지하는 것을 알 수 있다. 또한 면접촉에 의하여 주축의 테이퍼부를 따라 이동하는 현상도 일어나지 않음을 알 수 있다. 그러나 30,000rpm 의 고속의 경우 공구 홀더가 주축의 테이퍼면과 접촉하지 않게 되는 문제를 일으키게 됨을 관찰할 수 있다. 따라서 이면 구속의 경우 특정한 회전속도 이내에서는 두 개의 면이 동시에 접촉을 유지할 수 있도록 하는 설계가 필요하다.

5. 결론

대형 공작 기계의 고속 회전시 발생하는 주축 선단 변형의 문제를 해결하기 위해 구속 방식에 따른 공구 시스템의 장단점을 비교 조사하였다. BBT type 2 면 구속 공구 시스템이 현재 본 연구와 관련하여 개발중인 5-Head router machine 의 주축에 적용 가능하며 고속 회전시 발생하는 주축 선단의 변형을 억제하는데 효과적으로 판단된다. 또한 주축 선단의 변형을 더욱 억제하기 위해서는 Pulling force 와 Clamping 체결 방식, 현장작업자의 편의성 등 다양한 요소에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

후 기

본 연구는 산업자원부의 중기거점기술개발사업 으로부터 연구비를 지원 받아 수행되었으며 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참고문헌

1. 김배석, 김종관, “공작 기계 주축 테이퍼 결합부 정강성에 관한 연구”, 한국공작기계학회, Vol. 10, No. 6, pp. 15-20, 2001
2. 김종관, “2 면 구속 Hollow shank(HSK) 시스템의 특성”, 한국공작기계기술학회지, Vol. 4, No. 3, pp. 7-11, 1995
3. “고강성의 2 면 구속 틀생크”, 월간기계설계, pp. 119-127, 1994
4. J.H.Wang, S.B.Hong, “Investigation of the tool holder system with a taper angle 7:24”, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 34, pp. 1163-1176, 1994
5. W.A.Kline, R.E.Devor, “The effect of runout on cutting geometry and forces in end milling”, International Journal of Machine Tool Design and Research, Vol. 23, pp. 123-140, 1983
6. “基礎研究動向調査報告書”, 日本工作機械工業會, pp. 224-252, 1994