

압축냉각공기 시스템을 적용한 항공기 부품 가공 기술

이채문*, 이득우⁺, 김석원⁺⁺, 정우섭⁺⁺, 김상기⁺⁺

A study on machining of aircraft parts using compressed chilly air system

C.M Lee*, D.W Lee⁺, S.W Kim⁺⁺, W.S Jung⁺⁺, S.K Kim⁺⁺

Abstract

Cutting fluid usually has been used in order to improve machinability, tool life, surface quality. However, problems such as pollution, costs of chip and fluid treatment caused. In this paper, compressed chilly air was used to machine aircraft parts and investigate possibility and advantage of that. The experiments were carried out in various cutting environments, such as wet and compressed chilly air. With respect to the cutting environment, compressed chilly air gave advantages such as decrease of pollution and easy chip treatment.

Key Words : compressed chilly air system, aircraft part, cutting environment, eco-machining, high speed machining

1. 서론

최근 절삭가공은 고속화와 공구재료의 개발, 코팅기술의 발전 등으로 인해 절삭속도의 고속화가 가능하게 되었으며, 난삭재의 가공이나 초고속, 초정밀 가공과 같은 특수한 가공기술도 개발되고 있다. 그러나 절삭속도가 증가할수록 공구의 수명은 상대적으로 감소하며 특히 고속가공에서는 공구 수명의 지배적인 요인이 되는 절삭온도가 증가하여 공구수명을 급격하게 감소시킨다. 절삭온도 상승은 공구의 수명을 단축시킬 뿐만 아니라 피삭재의 표면에 가공변질층이나 잔류응력과 같은 결함을 발생시켜 제품의 품질을 격하시키므로 고속가공을 실현하기 위해서 꼭 해결되어야 할 문제 중의 하나로 여겨진다.

일반적인 절삭가공에서는 윤활과 냉각을 목적으로 절삭유를 사용하고 있다. 절삭속도가 낮은 영역에서는 윤활을 주목적으로 공급하며, 절삭속도가 증가할수록 절삭력은 감소하고 절삭온도가 증가하므로 윤활보다는 냉각에 더 큰 목적을 가지고 절삭유를 공급한다. 그러나 절삭유의 사용은 환경오염을 초래하며 강화된 법적 규제에 의한 관리 부담이 문제시되고 있다. 이와 같은 절삭유의 문제점을 해결하고 가공성을 더욱 향상시키기 위해 여러 연구가 진행되었다. 특히 항공기 부품의 경우 일반적으로 소재의 대부분을 절삭을 통해 제거함으로써 대량의 칩이 발생하게 되며, 또한 칩과 절삭유가 서로 혼합된 형태로 존재하여 칩 처리에 상당한 문제점을 야기하고 있는 실정이다. 이와 같은 절삭유 사용으로 발생하는 문제점들을 해결하기 위하여 다양한 가공환경 시스템에 대한 연구가 진행되고 있다.

* 이채문, 부산대학교 정밀기계대학원 (cmlee1971@pusan.ac.kr)

주소: 609-735 부산 금정구 장전동 산 30 부산대학교

+ 부산대 나노과학기술학부

++ (주)테크맥

압축냉각공기를 이용한 가공환경 시스템은 절삭유 사용으로 인해 발생하는 환경오염 및 고속가공에서의 절삭공구의 공구 수명 향상을 위하여 다양하게 연구되고 있다. 특히 압축냉각공기의 경우 절삭가공 후에 건식칩만이 존재함으로써 칩 처리에 상당히 유리한 장점을 가지고 있으며 공구 수명, 표면품질 면에서도 습식과 비슷한 결과를 얻을 수 있는 것으로 알려져 있다.

Kovacevic는 밀링가공에서 고압제트수를 이용한 냉각방법이 표면거칠기와 공구수명을 향상시키는 것으로 나타났다. Wang은 Ti-6Al-4V합금의 선삭가공에서 일반적인 냉각방법대신 액화질소를 이용한 냉각방법이 공구수명을 세배정도 향상시킨다는 연구결과를 제시하였다. 일반적으로 절삭유제는 공구-칩 접촉면상에서 윤활과 냉각작용을 향상시키는데 사용되지만, 오염 및 비용 등이 문제시 되고 있다. 특히 액화질소는 매우 비싸며 재사용이 안 된다는 단점을 가지고 있다. Dewes and Aspinwall에 의하면 고경도 금형강의 고속가공시에는 습식가공보다 건식가공에서 공구수명이 좋아진다고 알려져 있다.

따라서 본 논문에서는 항공기 부품의 고속가공에서 압축냉각공기를 이용한 친환경적인 가공, 부품 품질, 칩 처리 용이성, 습식 가공환경을 대체할 수 있는 한 방법으로 압축냉각공기에 대하여 연구하였다.

2. 항공기 부품 가공의 대용량 칩 발생

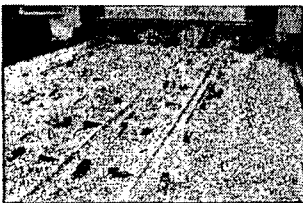
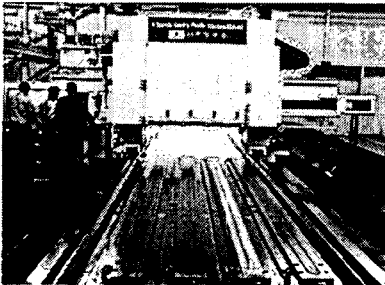


Fig. 1. chip generation in machining aircraft parts

Figure 1에 나타난 것은 항공기 부품 중 stringer 제품을 4축 멀티 스펀들이 장착된 가공기를 이용하여 가공하였을 때 발생한 칩의 모습을 나타낸 것이다. 그림에서도 알 수 있듯이 항공기 부품의 경우 대부분의 소재를 절삭을 통해 제거하기 때문에 가공 후 베드위에는 상당량의 칩이 남아 있게 된다. 또한 절삭유를 사용하기 때문에 칩은 절삭유와 혼합된 상태로 존재하게 되고, 이와 같은 이유로 다음 공정을 위해 베드위의 칩을 제거해야 하는 경우 상당한 어려움과 시간을 요구하게 되고 이는 곧 생산성 저하를 야기하는 문제점이 되고 있다. 또한 생산성 향상을 위해 칩처리 장치를 사용할 경우에도 절삭유를 함유한 무거워진 칩을 회수하기 위해 필요이상의 대용량 칩처리 장치가 필요하게 되어 생산현장의 비용부담은 매우 크게 증가하게 된다. 압축냉각공기를 이용한 가공환경 시스템은 위에 언급한 절삭유 사용으로 야기되는 칩 회수의 어려움을 해결하기 위한 한 방법으로 매우 효과적이라 판단되며 공구 수명 및 부품 품질에 별다른 문제점이 발생하지 않는다면 대체 가공 환경 시스템으로 활용 가능성이 매우 크다 할 수 있다.

3. 실험 장치 및 실험 방법

3.1 압축냉각공기 시스템

본 논문에서는 “고속·지능형 가공시스템 개발” 사업의 일환으로 제작된 압축냉각공기시스템을 이용하여 실험을 수행하였다. 본 시스템은 크게 두 부분으로 구성되어 있는데, 흡입된 압축공기의 열교환 부분과 냉매 순환 부분으로 구성되어 있다. 본 시스템의 작동원리는 압축기와 에어 드라이어를 이용하여 충분히 건조된 압축공기를 흡입하여 열교환기에서 냉매를 이용하여 압축공기의 온도를 저하시킨 후 토출구를 통해 압축냉각공기를 토출하는 방식이다. 또한 냉매는 압축, 응축, 팽창, 증발을 순환하며 열교환을 행하는 방식이다. 일반적으로 냉각공기를 발생시키는 장치에는 vertex tube를 이용한 방법도 있으나, 이는 토출되는 압축공기의 압력을 떨어뜨려 압축냉각공기의 효과를 감소시키는 것으로 알려져 있다. 본 장치의 최대 냉각 설정값은 -30℃까지 가능하며 외부온도에 따라 토출되는 압축공기의 온도는 달라질 수 있지만 최저 -20℃까지는 충분히 냉각시킬 수 있으며 -30℃까지 압축냉각공기를 토출하는 것을 실험을 통해 확인하였다.

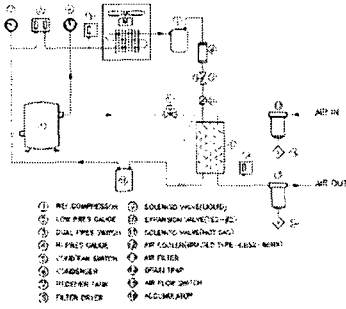


Fig. 2. Compressed chilly air system

3.2 실험 장치도 및 조건

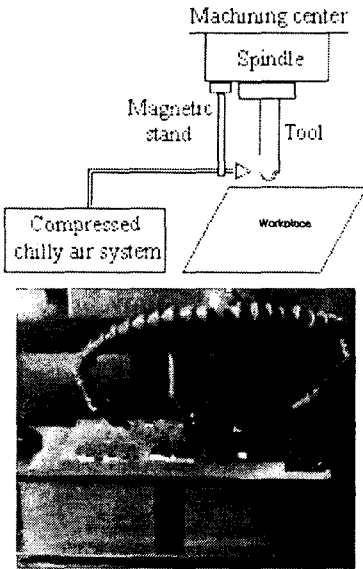


Fig. 3. Experimental set-up

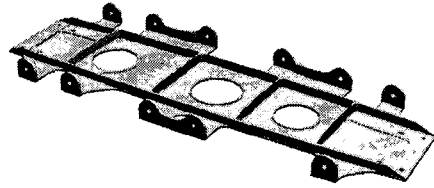


Fig. 4. wing rib

Figure 3.은 본 논문의 실험 장치도를 나타낸 것이다. 일반 고속 가공기는 크기의 제한으로 인해 대형 부품을 실험하기에 부적합하여 본 논문에서는 항공기 부품 중 wing rib을 선택하여 실험을 수행하였으며 형상은 fig.4에 나타내었다. 본 실험에서는 습식과 압축냉각공기의 가공성, 표면 품질 등을 비교하기 위하여 습식과 14℃, -3℃의 압축냉각공기 하에서 가공을 수행하였다. 압축냉각공기는 fig.3에서 보듯이 두개의 노즐을 이용하여 공구에서 약 10cm 떨어진 거리에서 분사를 하였으며 분사압력은 약 7kg/cm²였다. 모든 가공 조건은 현장에서 사용하는 조건을 가능한 반영하였으며 황삭, 중삭, 정삭의 세 가공 공정으로 나누어 수행하였다.

4. 실험 결과

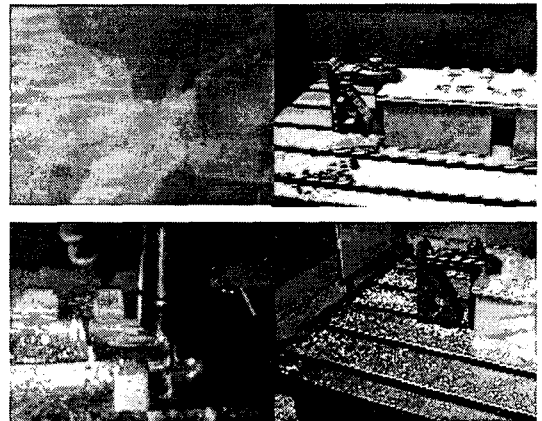
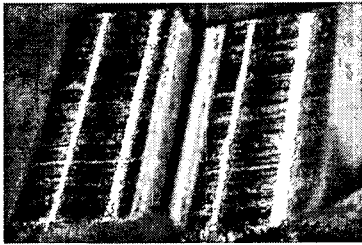


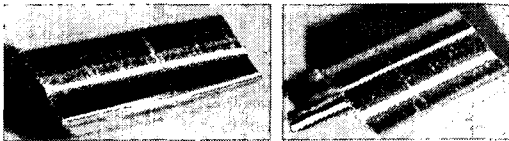
Fig. 5. chip generation after rough cutting

Figure.5는 황삭 공정에서 습식과 압축냉각공기를 이용하여 wing rib을 가공한 후, 가공기 베드의 상태를 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 절삭유를 공급하면서 가공을 수행했을 때에는 가공 후 베드에 상당량의 절삭유가 남아 있을 뿐 아니라 칩이 절삭유와 결합하여 무거워진 상태로 베드 상에 남게 되었다. 또한 칩 발생 순간에 칩이 절삭유로 인해서 가공 지점의 바로 근처에 쌓이게 되는 현상도 실험을 통해서 확인할 수 있었다. 이는 곧 대량의 칩 발생시 일정 시간마다 베드를 수작업으로 청소를 해주어야 하고, 자동 칩 회수 장치를 사용할 경우에는 상당히 큰 용량의 장치를 제작해야만 하는 문제점을 야기하는 것이다.

반면에 압축냉각공기를 사용하여 황삭 가공을 수행한 후에는 베드위에 약간의 건식 칩만이 존재하였으며 대부분의 칩은 압축냉각공기의 고압의 분사공기에 의해 가공지점에서 상당히 먼 곳까지 배출되었다. 또한 건식 칩만 배출됨으로 일반적인 칩 회수 장치를 사용하여도 자동화 된 공정으로 베드위 칩을 청소할 수 있다.



습식



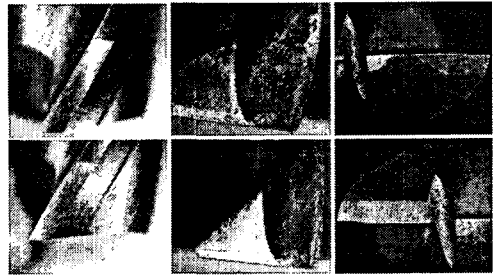
14°C

-3°C

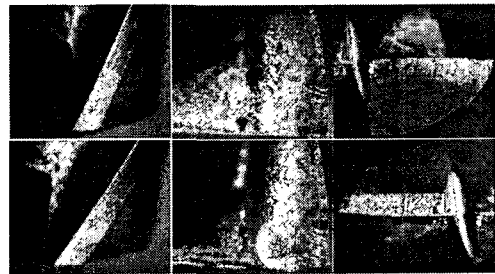
Fig. 6 Chip formation for various cutting environment

Figure. 6은 습식과 압축냉각공기의 가공환경을 이용하여 황삭 공정을 수행한 후 획득 된 칩의 사진을 나타낸 것이다. 소재로 사용된 wing rib 부품은 항공기 부품으로써 일반적으로 알루미늄을 사용하며, 알루미늄은 연질소재로써 가공시 절삭온도가 비교적 낮게 발생한다. 절삭유를 이용한 가공환경은 매우 큰 냉각효과를 발휘하게 되는데, 이와 같은 경우 발생하는 절삭열에 비해 절삭유가 지나치게 큰 냉각효과를 나타내게 된다.

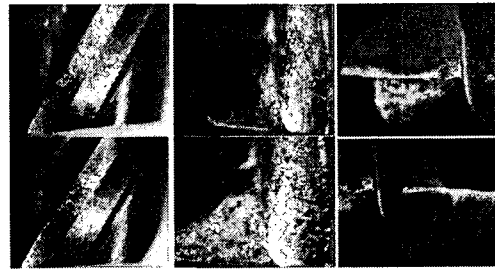
그림에서 볼 수 있듯이 습식의 경우 칩의 압축냉각공기에 비해 큰 냉각효과를 받았음을 알 수 있다. 압축냉각공기의 경우 습식에 비해서 냉각효과를 낮지만 연질 소재인 알루미늄의 절삭 가공에서 발생한 절삭열을 충분히 냉각시킬 만큼의 냉각효과를 나타내고 있음을 알 수 있다. 또한 14°C의 압축냉각공기보다는 -3°C의 압축냉각공기가 더욱 큰 냉각효과를 나타냄을 그림을 통해 알 수 있다. 압축냉각공기를 이용하여 알루미늄을 절삭 가공 할 때, 충분한 냉각효과를 압축냉각공기가 수행 할 수 있다면 앞서 언급한 바대로, 베드위의 칩 처리 문제를 매우 쉽게 해결할 수 있게 될 것이다.



습식



14°C



-3°C

Fig. 7 tool wear

Figure. 7은 습식과 압축냉각공기 가공환경 하에서의 절삭가공 후의 공구 상태를 나타낸 것이다. 절삭유를 사용하는 습식가공환경에서는 절삭유로 인한 윤활과 냉각효과가 상당히 크다고 할 수 있다. 또한 알루미늄은 연질재료로써 절삭열은 적게 발생하지만 소재의 용융점이 낮아서 칩과 공구의 응착현상이 쉽게 발생한다. 따라서 알루미늄의 고속 절삭 가공에서는 칩과 공구의 응착을 방지하는 것이 가장 중요하다고 할 수 있다. Fig. 7에서, 습식의 경우 공구의 상태가 매우 깨끗하게 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 절삭유의 냉각과 윤활작용이 충분히 작용하여 칩의 응착을 방지했기 때문이다. 14℃, -3℃의 압축냉각공기에서는 윤활효과는 매우 미미하며 냉각효과는 냉각공기의 온도에 따라 결정된다. 하지만 고압의 압축공기를 이용하여 발생한 칩을 아주 짧은 시간에 불어냄으로써 칩과 공구의 응착을 방지할 수 있다. 물론 이는 절삭유의 윤활효과에 비하여 상대적으로 그 효과가 적다. 따라서 그림에서 보듯이, 공구 인선 부근에 칩이 부딪힌 자국이 나타나게 된다. 전체적으로, 압축냉각공기의 경우 습식에 비해서 공구 마멸이 조금 증가한 것으로 판단되며, 이는 압축냉각공기의 윤활작용이 충분하지 않기 때문에 발생하는 것으로 생각된다. 하지만 식물성 미스트와 같은 윤활제를 첨가하여 사용한다면 환경오염 방지, 공구수명 향상, 용이한 칩 처리등의 이득을 충분히 얻을 수 있을 것이다.

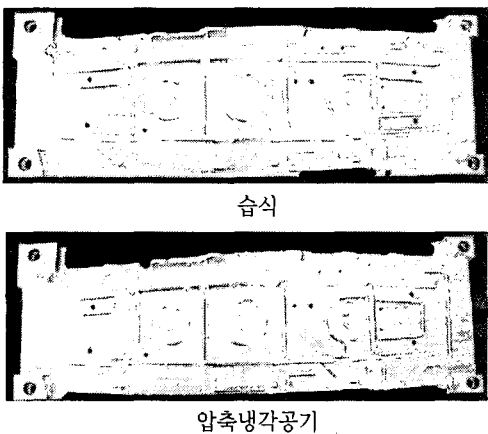


Fig. 8 Machined wing rib part

Figure. 8은 습식과 압축냉각공기를 이용하여 실제 가공된 wing rib 부품을 나타낸 것이다. 육안으로 부품의 상태를 판단했을 때 특별히 두 조건 모두 별다른 이상 현상을 발견할 수 없었으며, 압축냉각공기의 경우 습식에 비해 표

면의 광택이 좋은 것으로 보였다.

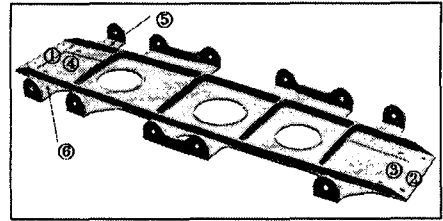


Fig. 9 Measuring points

Table 1 Roughness values

가공환경 측정점	습식	14℃	-3℃
1	1.3 μm	1.1 μm	0.7 μm
2	0.9 μm	1.7 μm	0.6 μm
3	0.3 μm	0.3 μm	0.5 μm
4	0.2 μm	0.3 μm	0.4 μm
5	0.2 μm	0.3 μm	0.5 μm
6	0.3 μm	0.3 μm	0.5 μm

Figure. 9는 가공한 wing rib 부품의 가공환경에 따른 표면 상태를 측정하기 위한 측정 지점을 나타낸 것이다. 표 1은 각 지점의 표면 거칠기를 측정한 결과를 표시한 것이다.

표 1의 결과에서 알 수 있듯이 압축냉각공기의 경우 표면 거칠기 측면에서는 습식에 비해 오히려 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 이는 습식의 경우 발생한 칩이 절삭유와 결합하여 공구의 가까운 지점에 바로 떨어지게 되고, 이 칩이 다시 재 절삭되는 경우가 발생하게 되는데, 이와 같은 재절삭 등의 이유로 표면이 다소 좋지 않은 것으로 판단된다. 반면에 압축냉각공기는 고압의 공기의 분사로 인해 발생 칩이 절삭 지점에서 매우 먼 곳까지 날려가기 때문에 칩의 재절삭은 전혀 일어나지 않으므로 다소 표면거칠기가 좋은 것으로 생각된다.

5. 결론

본 논문에서는 중기저점 과제인 “고속·저능형 가공시스템 개발”의 세부과제로써 개발된 압축냉각공기를 이용하여 항공기 부품 가공시 발생하는 절삭유와 혼합된 대용량 칩의 처리를 보다 용이하게 하기 위한 한 방법으로 절삭유를 대체한 압축냉각공기 가공환경 시스템을 제안하였다. 실제 항공기 부품의 하나인 wing rib 부품을 이용하여 실험을 수행하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 항공기 부품의 경우 대부분의 소재를 절삭을 통해 제거하기 때문에 대용량의 칩이 발생하게 되며, 다음 공정을 위해 베드위의 칩을 처리할 때 많은 시간과 비용이 발생하게 된다. 본 논문에서는 절삭유를 대체하여 압축냉각공기를 가공환경 시스템으로 적용하여 건식칩이 발생하도록 하여 베드위의 칩처리에 발생하는 문제를 해결할 수 있음을 확인할 수 있었다. 또한 자동화 된 칩 회수 장치를 설치할 경우에도 매우 유리하다는 것을 알 수 있었다.

2. 압축냉각공기를 이용한 가공환경 시스템에서 알루미늄 소재를 고속가공할 경우, 절삭유 시스템에 비해 공구수명 측면에서는 다소 불리한 면이 있으나, 표면 거칠기 측면에서는 비슷하거나 오히려 유리한 측면이 있음을 알 수 있었다. 결론적으로, 압축냉각공기를 이용할 경우 기존의 절삭유 시스템을 충분히 대체할 수 있으며 생산량 향상 및 부가적인 장치설치비용을 감소시킬 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

- (1) Tonshoff, H.K., Hernandez-Camacho, J, 1989, "Die Manufacturing by Sand 3Axes milling", Journal of Mechanical Working Technology, vol.20, pp.105-119.
- (2) Chu, C.N., Kim, Y.S., Lee, J.M., Kim, B.H., 1997, "Feed rate of Ball End Milling Considering Local Shape Features", Annals of the IRP, vol.46, pp.433-436.
- (3) R.Kovacevic, C.Chelukuthota and M.Mazurkiewicz, 1995, "High Pressure Waterjet Cooling/Lubrication to Improve Machining Efficiency in Milling", Int. J. Mach. Tools Manufact., vol. 35, pp.1459-1473.
- (4) Z.Y.Wang, K.P. Rajurkar, J. Fan, 1996, "Turning Ti-6Al-4V ally with cryogenic cooling", Trans. NAMRI/SME, vol.24, pp.3-8.
- (5) R.C. Dewes, K.K. Aspinwall, 1996, "The use of high speed machining for the manufacture of hardened steel dies", Trans. NAMRI/SME, vol. 5, pp. 21-26
- (6) N. Narutaki, Y. Yamane, K. Hayashi, T. Kitagawa, 1993, "High speed machining of Inconel 718 with ceramic tools", Ann. CIRP, vol42, pp. 103-106
- (7) R.R. Lindeke, F.C. Schoenig Jr., A.K. Khan, J. Haddad, 1991, "Machining of α,β titanium with ultra high pressure through the insert lubrication/cooling", Trans. NAMRI/SME, pp. 154-161.
- (8) H.Schulz, St. Hock, 1995, "High speed milling of dies and moulds-cutting conditions and echnology", Ann. CIRP, vol. 44, pp. 35-38