

A17075-T6 시편의 절삭이송속도와 쇼트피닝 유무에 따른 피로수명 연구

김형태*, 신기훈⁺

(논문접수일 2007. 3. 30, 심사완료일 2007. 6. 26)

A Study on the Effects of Feedrate and Shotpeening on the Fatigue Life of A17075-T6 Specimens

Hyoung-Tae Kim*, Ki-Hoon Shin⁺

Abstract

This paper presents a study on the effects of feedrate and shotpeening on the fatigue life of A17075-T6 specimens. For this purpose, six groups of specimens, each of which consists of eight specimens, were first machined at six different feedrates(0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30mm/rev). Half of eight specimens in each group were then peened and the others remained un-peened. Then, the fatigue life was measured by using 4-point rotatry bending machine. One observation was that the fast the feedrate was, the large the diameter of a specimen was. To make sure that the bending stress was the same in all cases, different loading conditions were thus applied to specimens based on their diameters. Next, comparison of fatigue life among twelve sets of specimens(six groups times two sets, peened and un-peened) was performed. Finally, based on machining cost analysis, a guideline for optimal feedrate was presented.

Key Words : Feedrate(이송속도), Fatigue life(피로수명), Shotpeening(쇼트피닝)

1. 서론

절삭가공공정으로 제작되는 부품들은 절삭속도, 이송속도, 절삭깊이, 절삭공구의 각도 등 여러 절삭가공조건에 의해 그 품질이 결정되고 있다. 그러나 이러한 가공조건들이

요구되는 부품 품질에 대하여 필요 이상으로 엄격하다면 절삭가공 시간의 증가에 따른 생산 비용의 증가를 가져오게 된다. 그러므로 일반적으로 가공 재질 및 사용공구별 절삭조건 표에 근거하여 권장되는 가공조건으로 가공이 이루어진다. 하지만, 이러한 절삭조건에 한계에 의해 제품의 생산성은

* 서울산업대 에너지환경전문대학원
교신저자, 서울산업대 기계공학과 (shinkh@snut.ac.kr)
주소: 139-743 서울시 노원구 공릉2동 172

고정되기 마련이고, 더욱 향상된 생산성을 기대하기는 어렵다. 또한 산업현장에서의 생산리드타임 단축 및 고품질에 대한 요구는 날이 갈수록 더욱 엄격해 지고 있기 때문에 절삭 가공과 연계하여 품질향상을 위한 다양한 가공방법(예 쇼트 피닝)들이 연구되고 있다⁽¹⁾. 한편 AI 7075-T6 소재는 고강도, 고경량, 내식성이 뛰어난 재료로서 항공기 부품, 자동차 부품, 로봇골격 및 스포츠 용품까지 다양하게 쓰이고 있으며, 피로수명평가에 의한 다양한 연구가 진행되고 있다⁽²⁻⁴⁾.

그러므로 본 연구에서는 AI 7075-T6를 사용한 절삭가공 부품의 생산성을 향상시키면서 적절한 피로수명을 확보할 수 있는 방법으로 절삭이송속도 증감 및 쇼트피닝 처리 유무가 부품의 피로수명에 미치는 영향을 분석하기 위하여 실험하였다.

먼저 2장에서는 관련된 선행연구와 쇼트피닝 이론을 소개하고, 3장과 4장에서는 실험방법과 실험결과를 각각 소개하였다. 마지막으로 5장에서는 실험결과를 요약하고 결론을 도출하였다.

2. 관련 연구

2.1 선행 연구

절삭가공에서는 절삭속도, 이송속도, 절삭깊이 등 3가지 절삭조건이 매우 중요하다. 그러므로 절삭조건에 대한 많은 연구들이 있었으며, 그 중에서 비철금속 알루미늄을 포함한 4가지 다른 소재를 가지고 실험을 한 선행연구자 전재익⁽⁵⁾ 등은 이송속도 및 절삭각을 달리하여 표면조도를 측정하였다. 그러나 단지 표면조도 향상을 위해 저속 이송속도를 제안하여 생산성에 대한 중요성을 배제하였다. 또한 최근에 김석일⁽⁶⁾ 등은 절삭동력의 측정을 통한 절삭이송속도의 최적화 방법을 제안하였다. 즉 절삭동력을 모니터링하고 피드백 함으로써 허용 절삭동력에서 가공을 도색하였고, 이를 통해 최적 이송속도를 탐색하였다. 그러나 가공된 부품의 질은 평가되지 않았다. 그러므로 본 연구에서는 다양한 절삭이송속도로 가공된 AI 7075-T6 시편들의 쇼트피닝 후처리 유무에 따른 피로수명의 변화를 분석하여, 부품의 품질과 생산성 향상을 동시에 달성함을 목표로 실험하였다.

2.2 쇼트피닝 가공이론

쇼트피닝가공 기술은 쇼트볼이라고 불리는 금속 강구를 소재 표면에 투사하여 햄머링하는 냉간단조 가공으로 금속의 극 표면 부위에 압축잔류응력을 생성하여 내피로를 받는 부품의 피로수명을 증가시키는 가공방법이다⁽⁷⁾. 이러한 쇼

트피닝 가공은 쇼트볼의 속도, 투사각도, 직경 및 경도 그리고 쇼트피닝 가공시간과 같은 다양한 변수들에 의해 가공하게 된다. 이러한 변수들을 바탕으로 쇼트피닝 강도라는 하나의 파라메타로 가공정도를 표현할 수 있다. 쇼트피닝 강도는 Fig. 1과 같이 SAE(Society of Automotive Engineers)의 규정에서 정한 알멘스트립(Almen strip)이라는 얇은 금속 널판 조각들을 일정한 간격으로 결속하여 한쪽 면을 피닝 가공하여 측정한다. 즉, 가공된 면은 햄머링에 의한 인장을 받고, 가공되지 않은 바닥면은 압축을 받기 때문에 쇼트피닝 가공 후 결속을 풀면 인장과 압축에 의한 곡률이 생기게 된다. 이러한 곡률의 정도(아크하이트, *arheight*)를 알멘계 이치라는 전용 측정장치로 측정하여 피닝강도를 평가하고 있다.

이렇게 측정된 아크하이트를 피닝시간을 변수로 하여 그래프로 나타내면 Fig. 2와 같이 아크하이트는 어느 정도 일정한 증가를 나타내다가 일정 시간 이후에서는 증가폭이 감소하는 포화곡선의 형태를 나타낸다.

이러한 아크하이트에서 가공시간을 두 배 했을 때 아크하이트 증가분이 10% 미만인 곳을 커버리지(*coverage*) 100%로 예측한다. 여기서 커버리지는 가공 요구 영역의 면적에 대한 쇼트볼의 압흔 면적 비율로서, 쇼트피닝 가공정도를 나타내며 확률통계법으로 유도하면 식 (1)과 같이 표현할 수 있다⁽⁵⁾.

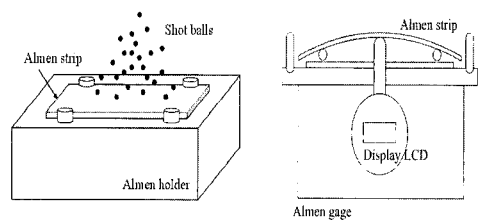


Fig. 1 Measurement of Almen intensity

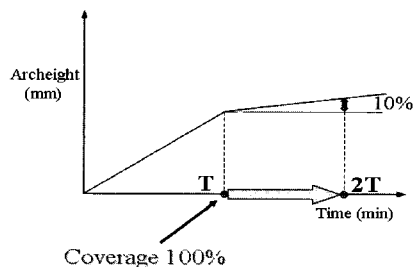


Fig. 2 Archeight curve

$$C = 1 - (1 - C_1)^n \quad (1)$$

여기서, 각 변수를 설명하면 다음과 같다.

- C : n 회 투사 후 커버리지 (%)
- C_1 : 1회 투사 후 커버리지 (%) = S/A
- S : 쇼트볼 하나에 의한 압흔면적
- A : 가공 총면적
- n : 총 쇼트볼의 수

3. 실험장치 및 방법

3.1 시험편가공

시험편은 Al7075-T6 환봉을 소재로 하여 CNC 선반을 사용하여 가공하였고, CNC선반의 기본사양 및 절삭조건은 Table 1과 같다.

황삭가공으로 한국공업규격에 나와 있는 K20 인서트팁을 장착하여, 직경 20mm의 원소재를 절입깊이 0.5mm씩 4번 가공하였고, 정삭을 위한 가공여유로 0.2mm를 두었다. 황삭가공 후 터릿에 의한 자동공구교환으로 장착된 인서트팁 P20으로 정삭여유 0.2mm를 가공하여 직경 12mm의 환봉을 만들었다. 다음으로, 시험편 중앙에 위치한 R57.67, 최소 직경 Ø8mm 원호형상을 가공하기 위하여 절입깊이 0.4mm로 총 5번의 원호 정삭가공을 하였다. 이때 이송속도를 6 그룹(0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3mm/rev)으로 달리하여 각

Table 1 Machining parameters

CNC Machine	TNL-35
Raw material diameter × length	Ø20mm × 100mm
Spindle's number of revolution	1000rpm
Feedrate	0.05~0.3mm/rev
Tools	K20(rough), P20(finish)
Swing on the bed	350mm
Carriage transfer distance	370mm
Horizontal transfer distance	175mm

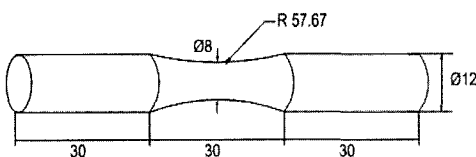


Fig. 3 Dimensions of a specimen

이송속도 별로 8개씩 총 48개의 시험편을 가공하였다. 최종 가공된 Al7075-T6 소재의 시험편 형상은 Fig. 3과 같으며 최소단면부의 직경을 Ø8mm로 가공하여 피로응력에 의한 파단을 유도하였다.

시험편 소재인 Al7075-T6의 화학적 조성과 기계적 성질은 Table 2, 3과 같다.

3.2 쇼트피닝가공

본 연구에서는 참고문헌⁽⁴⁾에서 사용한 임펠러식 쇼트피닝 기계 및 동일소재 치수의 시험편을 사용하였기 때문에, 참고문헌에서 제시한 최적 쇼트피닝 조건을 동일하게 적용하였다 (Table 4).

본 실험에서는 각 이송속도 별 8개의 시험편 중 4개씩 총 24개의 시험편을 쇼트피닝 가공하였다. 시험편을 고정할 테이블이 일정한 속도(18rpm)로 회전하며, 상향식/하향식 각 1개씩의 임펠러를 사용하기 때문에 Fig. 4와 같이 환봉가공부의 전면에 걸쳐 일정한 쇼트피닝 강도를 보장할 수 있다.

Table 2 Chemical compositions of Al7075-T6(wt %)

Cu	Si	Mg	Zn	Mn	Cr	Fe	Ti
1.2	0.4	0.45	5.1	0.2	0.18	0.5	0.2
~2.0		~0.8	~6.1		~0.35		

Table 3 Mechanical properties of Al7075-T6

Properties	Tensile strength (MPa)	Yield strength (MPa)	Elongation (%)	Modulus of elasticity (MPa)
Values	570	505	9	7.2×10^3

Table 4 Shotpeening parameters

Shot ball diameter	Ø0.8mm
Impeller diameter	250mm
Shot ball velocity	40m/s
Time	6min

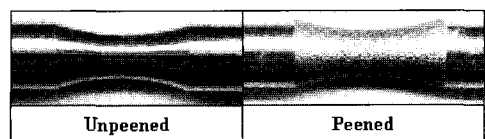


Fig. 4 Unpeened vs. peened specimens

3.3 표면관찰 및 표면조도 측정

쇼트피닝 가공 전후 시편표면의 요철 변화 및 표면조도의 변화를 관찰하기 위하여 광학현미경(배율 31.25X)과 조도 측정기를 사용하였다.

표면조도 측정에는 촉침 접촉식 표면거칠기 측정장치인 Mitutoyo SJ-400 모델을 사용하였으며, 장비 사양은 Table 5와 같다. 피로파단이 이루어지는 최소직경부위에 곡률이 존재하기 때문에 Fig. 5와 같이 최소단면부를 기준길이 0.8mm 범위에서 직선으로 근사하여, 각각 원주방향으로 90°씩 4개의 위치를 측정하여 평균조도를 계산하였다.

3.4 피로실험

초기 피로실험에서는 쇼트피닝 가공한 시험편과 가공하지 않은 모든 시험편에 동일한 하중을 적용하였다. 피로실험에 사용한 4점접 근굽힘 피로실험기의 형상 및 시험편 장착방법은 Fig. 6과 같다⁽⁸⁾.

Table 5 Detailed specifications of surface roughness tester

Mesuring force	0.75mN~4mN
Stylus tip radius	2μm
Mesuring range	800μm(±400μm)
Evaluation parameters	Ra, Rmax, Rz
Cutoff length	λc: 0.8mm

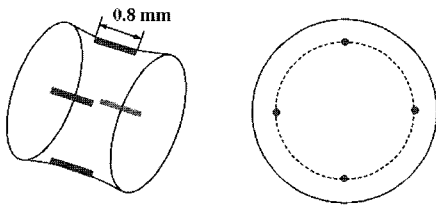


Fig. 5 Measurement of surface roughness

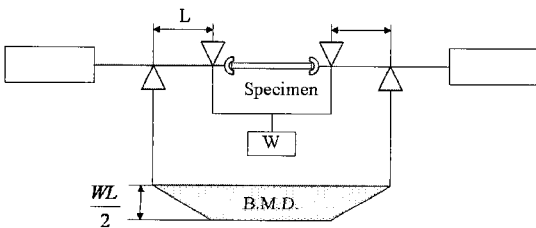


Fig. 6 Four point rotary bending machine

적용된 피로하중 $W(=150\text{ N})$ 및 시험기의 지점거리 $L(=200\text{mm})$ 에 따른 굽힘모멘트는 식 (2)와 같으며, 굽힘응력(σ)과 단면계수(Z)는 식 (3)과 같다.

$$M = \frac{WL}{2} \tag{2}$$

$$\sigma = \frac{M}{Z}, \quad Z = \frac{\pi D^3}{32} \tag{3}$$

여기는 D 는 시편의 최소단면 직경으로 $\varnothing 8\text{mm}$ 를 사용하였다. 식 (2), (3)으로 부터 굽힘피로응력(σ)은 다음 식 (4)와 같이 계산할 수 있다.

$$\sigma = \frac{WL}{2Z} = \frac{16WL}{\pi D^3} = 298.4\text{MPa} \tag{4}$$

동일한 인서트 팁을 이용하여 절삭가공 하였기 때문에 쇼트피닝 가공하지 않는 시험편의 최소단면부는 동일한 직경 ($\varnothing 8\text{mm}$)을 가진다고 가정할 수 있다(Fig. 7 (a)). 하지만 쇼트피닝 가공 후 Fig. 7 (b)와 같이 산과 골이 상쇄되어 시험편의 평균직경이 Δd 만큼 증가하는 것으로 측정되었다. 실험결과 직경오차 Δd 는 절삭이송속도에 비례하여 증가하는 경향을 보였으며, 비교적 낮은 이송속도에서는 무시할 수 있었으나 높은 이송속도에서는 무시할 수 없었다.

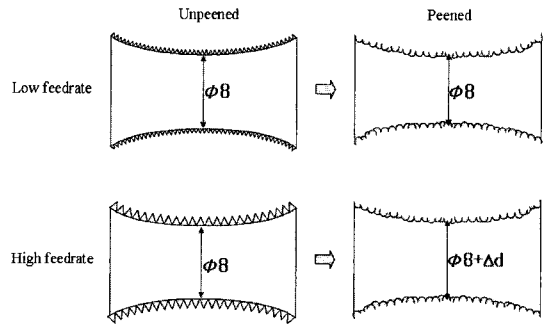


Fig. 7 Diameter error

Table 6 Loads compensated for diameter error

Feedrate [mm/rev.]	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3
Diameter error[mm]	0	0.01 ~0.02	0.05 ~0.08	0.12 ~0.15	0.2	0.22 ~0.24
Load[N]	150	151	153	157	161	163

그러므로 각 6개의 이송속도 별로 4개씩 총 24개의 시험편을 추가로 절삭 및 쇼트피닝가공을 한 후, 직경오차에 따라 각각 다른 하중조건으로 피로실험을 수행하였다. 이 때 하중조건은 시험편에 동일한 굽힘피로응력 298.4MPa이 작용하도록 Table 6에서와 같이 150~163N 범위에서 가변하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 광학현미경 관찰결과

각각의 이송속도변화에 따라 쇼트피닝 가공전, 후의 광학현미경에 의한 표면관찰결과는 Fig. 8과 같다.

쇼트피닝 가공전 표면은 0.05~0.3mm/rev 범위에서 이송속도가 증가함에 따라 가공 결의 수는 감소하지만, 산과 골의 차이가 증가하여 결의 형상이 점접 뚜렷하게 관찰되었고, 산과 골의 뚜렷한 차이에 의한 노치에 의해 피로수명의 감소를 예상할 수 있었다. 그러나 쇼트피닝 가공 후에는 쇼트볼에 의한 충격에 의해 산과 골이 상쇄되고, 압입 흔적만 남게 되어 이송속도의 변화에 따른 표면조도의 차이는 뚜렷이 나타나지 않고 있다.

4.2 표면조도 측정결과

이송속도 및 쇼트피닝 유무에 따른 시편의 표면조도 (R_{max}) 측정결과는 Fig. 9와 같다. 일반시험편은 이송속도의 증가에 따라 비례적으로 표면조도의 증가를 나타내고 있으나, 쇼트피닝 가공한 시험편은 이송속도에 관계없이 22.2~28.5 μm 의 범위로, 일반시험편 보다 높게 나타났다. 하지만 이송속도가 0.3mm/rev에서는 오히려 일반시험편의 표면조도가 다소 높게 측정되었다.

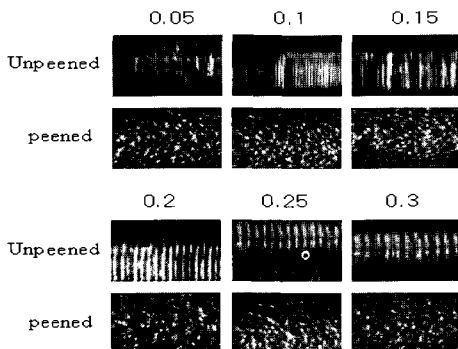


Fig. 8 Microscopic view of surfaces

4.3 피로실험결과

Fig. 10은 동일한 하중조건($W=150\text{N}$)으로 피로실험 시 이송속도 및 쇼트피닝 가공 유무에 따른 시험편의 피로수명을 평균과 편차로 도시하고 있다. 전체 이송속도 범위에서 쇼트피닝 가공 후 시험편의 피로수명은 약 220~390%로 뚜렷이 증가하며, 이송속도가 증가할수록 피로수명의 향상 정도가 증가하는 경향을 보였다.

쇼트피닝 가공 전, 후 시험편의 피로수명은 그 정도는 다르지만 전체적으로 이송속도가 증가함에 따라 감소하다가 증가하는 경향을 보여주고 있다. 하지만 산업현장에서 사용되고 있는 실용이송속도 범위(0.08~0.20mm/rev)에서는 쇼트피닝 전 시편의 피로수명은 뚜렷이 감소하며, 쇼트 피닝 후 시편의 피로수명은 어느 정도 일정한 경향을 보여주고 있다.

쇼트피닝 전, 후 시험편의 피로수명이 이송속도의 증가에 따라 다소 증가하는 경향은 Fig. 7 (a)에서의 가정과 달리

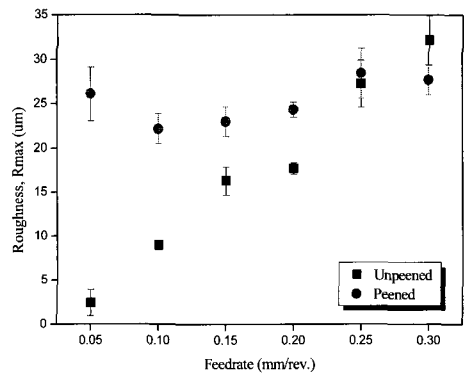


Fig. 9 Maximum peak to valley roughness

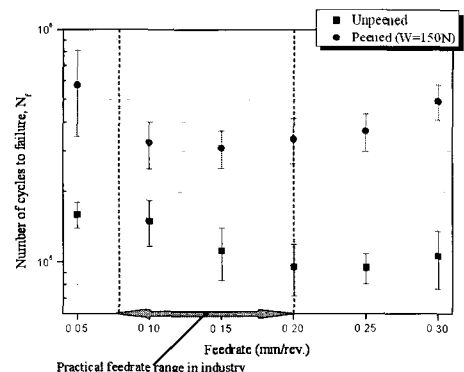


Fig. 10 Fatigue life vs. feedrate

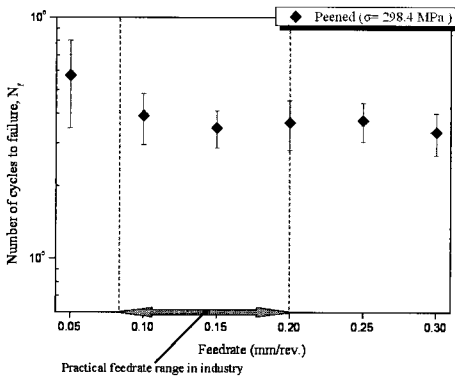


Fig. 11 Modified fatigue life vs. feedrate

Fig. 7 (b)에서와 같이 이송속도의 증가에 따라 쇼트피닝 전, 후 시편의 평균직경이 공통적으로 증가하기 때문에 판단된다. 즉, 직경오차를 고려하지 않고 동일하중으로 피로실험을 수행함에 따라 발생한 오차로 사료된다.

Fig. 11은 직경오차를 고려하여 하중조건을 달리했을 때 쇼트피닝 가공된 시험편의 피로수명을 보여주고 있다. 이 경우 아주 낮은 이송속도 0.05(mm/rev)를 제외한 나머지 이송속도에서 시험편의 피로수명은 이송속도에 관계없이 어느 정도 일정한 경향을 보이고 있다.

아주 낮은 이송속도(0.05mm/rev)에서 피로수명이 다소 높게 나타나는 원인 분석을 위해서는 향후 압축잔류응력 측정 및 피로파단면 분석 등이 필요하다고 판단된다.

4.4 공구수명을 고려한 이송속도의 최적화

본 실험을 통하여 절삭이송속도를 증가시켜도 쇼트피닝 가공된 시험편의 피로수명은 거의 일정하게 향상된다는 결론을 얻었다. 즉, 비교적 높은 이송속도로 가공해도 피로수명을 저하시키지 않으면서 생산성을 향상시킬 수 있다는 결론을 얻을 수 있다. 하지만 절삭가공의 총 비용을 고려하여 최적의 이송속도를 선정할 필요가 있다. 일반적으로 절삭조건은 절삭속도(V), 이송속도(f), 절삭깊이(d)를 의미한다. 이들 절삭조건들 중에서 절삭 속도가 공구수명(T)에 가장 큰 영향을 미친다. 또한 절삭속도가 절삭날의 위치에 따라 변하게 되는 경우에는 속도가 최대가 되는 값을 절삭속도로 계산한다. 절삭속도, 이송속도, 절삭깊이를 고려한 공구수명 관계식은 일반적으로 알려진 Taylor의 공구수명 식을 확장하여 식 (5)와 같이 표현할 수 있다.

$$VT^n f^m d^p = K \quad (5)$$

식 (5)에서 n, K는 작업물의 특성, 공구재질, 절삭두께, 공구의 기하학적 형상에 영향을 받는 값이고, m, p는 이송속도(mm/rev) 및 절삭깊이(mm)의 영향을 나타내는 지수이다.

식 (5)를 기본으로 넓은 절삭조건 범위에서 공통적으로 사용할 수 있는 공구수명 식으로 Gorczyca⁽⁹⁾가 제안한 식 (6)이 있다.

$$T = \frac{48.36 \times 10^6}{V^4 f^{1.6} a^{0.48}} \quad (6)$$

본 실험에서는 절삭속도 ($V = \pi \cdot D \cdot N$)와 절삭깊이가 일정하므로, 이송속도만이 공구수명에 직접적인 영향을 준다. 예로 절삭이송속도가 2배로 증가하면 공구수명은 기존의 33%로 감소하게 된다. 식 (6)을 단순화하면 공구수명과 이송속도의 관계를 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$T = \frac{K'}{f^n} \quad (7)$$

선삭작업에서의 부품당 절삭가공 비용(C) 식⁽¹⁰⁾에 식 (7)을 적용하여 전개하면 아래의 식 (8)을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} C &= C_1 + C_2 + C_3 + C_4 \\ &= c_0 \left(\frac{L}{fN} \right) + c_1 \left(\frac{f^{n-1}L}{NK'} \right) + t_0 c_0 \left(\frac{f^{n-1}L}{NK'} \right) + C_4 \end{aligned} \quad (8)$$

여기서, 각 변수를 설명하면 다음과 같다.

- C_1 : 부품당 기계가공 비용(= $c_0 T_m$)
- C_2 : 공구비용(= $c_1 (T_m/T)$)
- C_3 : 공구교환비용(= $t_0 c_0 (T_m/T)$)
- C_4 : 부품당 취급비용
- c_0 : 절삭시간 당 경비(\$/min)
- c_1 : 공구단가(\$)
- T_m : 절삭시간(= $L/(fN)$)
- T : 공구수명(= K'/f^n)
- t_0 : 공구교환시간(min)

결국 총 비용(C)은 이송속도(f)의 함수로 극소점을 가지는 포물선 형상이 된다. 그러므로 총 비용이 최소가 되는 이송속도 f_m 은 $dC/df = 0$ 에 의하여 식 (9)와 같이 계산된다.

$$f_m = \left\{ \frac{c_0 K'}{(q-1)(c_1 + t_0 c_0)} \right\}^{\frac{1}{q}} \quad (9)$$

5. 결론

본 연구에서는 절삭가공 부품의 생산성을 향상시키면서 적절한 피로수명을 확보할 수 있는 방법으로 절삭이송속도 증감 및 쇼트피닝 처리 유무가 Al 7075-T6 시편의 피로수명에 미치는 영향을 분석하기 위한 실험을 수행하였다.

먼저 6 그룹(0.05,0.1,0.15,0.20,0.25,0.30mm/rev)의 이송속도로 시편들을 선반가공 한 후 각 그룹의 반수는 쇼트피닝 후 가공을 수행하였다. 다음으로 4절점 회전굽힘 피로시험기를 사용하여 쇼트피닝 가공된 시험편과, 쇼트피닝 가공되지 않은 시험편의 피로수명을 평가하였다. 이 때 동일 피로하중을 적용한 피로실험과 이송속도 변화에 따른 직경오차를 고려하여 피로하중을 달리한 피로실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 동일한 피로하중으로 실험한 경우, 전체 이송속도 범위에서 쇼트피닝 가공 후 시험편의 피로수명은 약 220~390%로 뚜렷이 증가하며, 이송속도가 증가할수록 피로수명의 향상 정도가 증가하는 경향을 보였다. 쇼트피닝 가공 전, 후 시험편의 피로수명은 그 정도는 다르지만 전체적으로 이송속도가 증가함에 따라 감소하다가 증가하는 경향을 보여주었다. 하지만 산업현장에서 사용되고 있는 실용이송속도 범위(0.08~0.20mm/rev)에서는 쇼트피닝 전 시편의 피로수명은 뚜렷이 감소하며, 쇼트피닝 후 시편의 피로수명은 어느 정도 일정한 경향을 보였다.
- (2) 직경오차를 고려하여 하중조건을 달리했을 때, 쇼트 피닝 가공된 시험편의 피로수명은 아주 낮은 이송속도(0.05mm/rev)를 제외하고는 이송속도에 거의 관계없이 일정하게 향상된 결과를 얻었다. 이러한 결과는 절삭이송속도가 증가하면 크랙이 진전할 수 있는 노치가 증가하여 피로수명이 감소하지만, 쇼트피닝 후 가공을 하게 되면 표면의 노치들이 상쇄되어 표면균열에 의한 크랙의 진전이 억제되기 때문으로 판단된다. 하지만 아주 낮은 이송속도에서 피로수명이 다소 높게 나타나는 원인 분석을 위해서는 향후 압축잔류응력 측정 및 피로파단면 분석 등이 필요하다고 판단된다.
- (3) 실험결과를 토대로, 쇼트피닝 가공이 후처리로 반드시 필요한 고강도 부품의 경우 현 절삭가공 공정에서 사용되는 이송속도보다 비교적 높은 이송속도로 가공해도 피로수명을 저하시키지 않으면서 생산성을 향상시킬 수

있다고 판단된다. 하지만 단순히 절삭이송속도를 무한정 증가시키는 방법은 공구수명을 오히려 단축하여 총비용을 증가시키는 문제를 발생시킬 수 있다. 그러므로 본 연구에서 제안된 방법처럼 공구 수명 및 총 절삭비용을 고려한 최적의 절삭이송속도를 찾는 것이 중요하다.

참고 문헌

- (1) Kang, S. J. and Kim, J. K., 2004, "Characteristics Evaluation of Surface Roughness with Ultra Precision Maching," *Trans. of KSMTE*, Vol. 13, No. 1, pp. 9~15.
- (2) Choi, J. B. and Choi, H. O., 1998, "A Study on the Fatigue Life Prediction of Al 7075-T6 alloy," *Trans. of the KSME*, A, pp. 230~235.
- (3) Kim, T. H., Cheong, S. K. and Shin, Y. S., 2002, "A Study on the Fatigue Characteristics of Al 7075-T6 by Shot Peening," *Trans. of the KSMTE*, pp. 335~340.
- (4) Nam, J. H., Kim, T. H. and Cheong, S. K., 2002, "High Temperature Fatigue Characteristics of Al 7075-T6 by Shot Peening," *Industry of technology symposium*, pp. 424~428.
- (5) Jun, J. U., Chung, J. S., Shin, K. D., Koo, Y. and Ha, M. K., 2000, "Study of Surface Roughness by Cutting Angle at Turning of Non-iron Metal," *Trans. of KSMTE*, pp. 236~241.
- (6) Kim, S. I. and Cho, J. W., 2005, "Cutting Power Based Feedrate Optimization for High-Efficient Machining," *Trans. of KSME*, Vol. 29A, No. 2, pp. 333~340.
- (7) Cheong, S. K. and Lee, S. H., 2001, *The theory of shotpeening processing*, Sehwa company.
- (8) Cheong, N. Y., Lee, G. S., Kim, J. K. and Han, M. G., 2004, *Material test*, Wonkwang, pp. 249~255.
- (9) Gorczyca, 1987, *Application of Metal Cutting Theory*, Industrial Press, New York.
- (10) Degarmo, E. P., Balck, J. T. and Kohser R. A., 2003, *Materials and Process in Manufacturing*, John Wiley & Sons.