

극저온 열처리된 Al7075-T6의 선삭특성 분석

임학진^a, 오정규^b, 김평호^b, 이종환^c, 김정석^{d*}

Estimation of Machinability Turning Process for Al7075-T6 by Cryogenic Heat Treatment

Hak Jin Lim^a, Jeong Kyu Oh^b, Pyeong Ho Kim^b, Jong Hwan Lee^c, Jeong Suk Kim^{d*}^a PoongSan Corporation, Sandae-ri, Angang-Oup, Kyung Ju, Republic of Korea^b School of Mechanical Engineering, Pusan National University, Republic of Korea^c Dept. of Mechatronics Engineering, Korea Aviation Polytechnic, Republic of Korea^d School of Mechanical Engineering, NCRC/NSDM, Pusan National University, Republic of Korea

ARTICLE INFO

Article history:

Received	11	June	2013
Revised	26	July	2013
Accepted	29	August	2013

Keywords:

Aluminum alloy Al7075-T6
Cryogenic heat treatment
Machinability
Cutting force
Surface roughness

ABSTRACT

In recent years, aluminum processing has been increasing in the aerospace, vehicle, airplane industries etc., because aluminum has abundant resources and has a high specific strength. Aluminum alloys have a high coefficient of thermal expansion therefore, it is necessary to consider the temperature problem in the cutting process. The objective of this research is to investigate the machinability of a hardened aluminum alloy Al7075-T6 by using cryogenic heat treatment. The machining test is conducted by comparing the cutting force and surface roughness, corresponding to various cutting conditions of depth of cut, cutting speed, and feed rate, with those of Al7075-T0.

1. 서론

알루미늄은 지각을 이루는 주 구성 원소 중 하나로 지각에서 가장 풍부한 원소 중 하나이다. 가볍고 내식성이 우수하며 비강도가 뛰어나 철강 다음으로 널리 사용되는 금속 소재이며 열처리 및 합금 기술의 개발로 그 수요는 증가하고 있다. 이러한 알루미늄은 고강도 알루미늄합금인 두랄루민의 개발로 우주산업, 항공기, 자동차 등 여러 분야에서 해가 갈수록 그 용도와 추세는 점점 더 증가하고 이에 걸맞게 기존의 부품을 대체하기 위해 많은 연구가 진행되고 있다^[1].

알루미늄합금인 Al7075 소재는 두랄루민의 한 종류인 초두랄루

민(Extra super duralumin)으로 알루미늄, 마그네슘, 구리, 아연 등의 합금으로 이루어져있다. 또한 알루미늄합금 소재 중에서 가장 우수한 강도를 지니고 있으며 우수한 피로강도를 가짐과 동시에 철강재료나 다른 비철 재료에 비하여 쾌삭성을 띠기 때문에 절삭성이 우수하다고 볼 수 있고 이로 인해 정밀한 금속 부품이나 제품 제조에 적용되고 있다. 하지만 특유의 연성으로 인하여 절삭가공시 가공 열에 의한 절삭온도상승으로 공구와 소재 사이에서 마멸의 증가를 발생시키고 소재의 열변형으로 인해 고정밀도 부품 생산에 어려움이 있다. 이를 최소화하기 위해서는 특성에 영향을 미치는 가공조건을 확보하는 것이 우선이지만 소재의 기계적 특성이나 공구의 특성 또한 절삭성에 많은 영향을 미치기 때문에 임의적인 절

* Corresponding author. Tel.: +82--51-510-3079

Fax: +82-51-518-7207

E-mail address: juskim@pusan.ac.kr (Jeong Suk Kim).

삭조건으로 정확한 결과를 유도하기가 어렵다. 선행연구에 의하면 대표적인 실험계획법중 하나인 다꾸찌 방법을 통하여 절삭가공에서 절삭깊이, 절삭속도, 이송량, 절삭환경, 공구선단반경, 공구형상 등의 기여도를 분석한 결과 절삭깊이, 절삭속도, 이송량의 세인자를 주요 인자로 선정하고, 각 인자를 3단계로 설정하여 절삭가공 특성을 측정하였다²⁾. 따라서 본 연구에서는 Al7075-T0 소재와 극저온 열처리된 Al7075-T6 소재의 선삭가공시 절삭깊이, 이송량, 절삭속도 등의 절삭조건 변화에 따라 어떤 가공특성의 변화가 생기는지 절삭력과 표면거칠기를 측정하여 경향을 파악하고 비교 분석하고자 한다.

2. 열처리 과정

일반적으로 알루미늄은 소재에 단조 또는 압출 후 열처리 과정을 통해 기계적 성질을 향상시킨다. 대표적인 열처리 공정인 T6를 비롯하여 대부분의 알루미늄 열처리하는 소재를 고용온도까지 가열하여 경화요소를 고용체상태로 만들고 냉각매체를 이용하여 급랭(Quenching)시켜 과포화 고용체로 만드는 용체화 처리(Solid

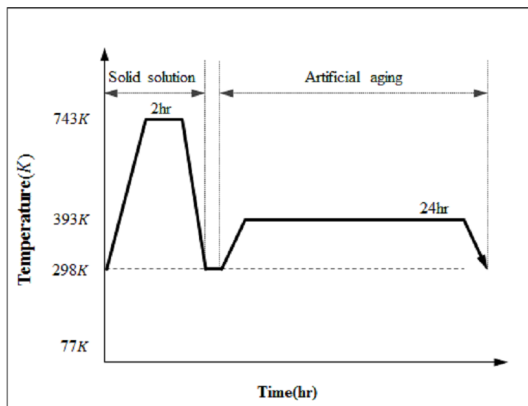


Fig. 1 Al7075-T6 Heat treatment process

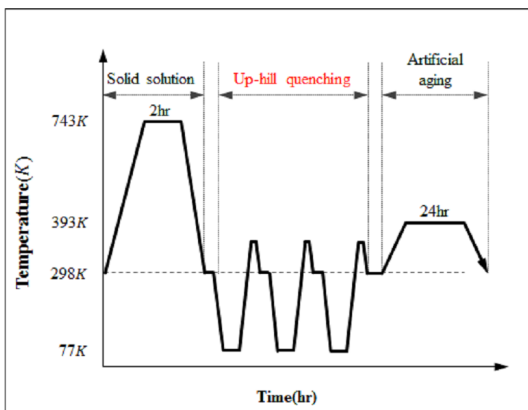


Fig. 2 Al7075-T6 Cryogenic Heat treatment process

Table 1 Chemical comparisons of Al7075

Element	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Si	Ti	Zn	Al
wt(%)	0.2	1.2	0.5	2.1	0.3	0.4	0.2	5.1	rest

Table 2 Mechanical properties of Al7075

Material	Ultimate Tensile Strength (MPa)	Yield Tensile Strength (MPa)	Shear Strength (MPa)
Al7075-T0	228	103	152
Al7075-T6	572	503	331

solution treatment)가 일반적이다. 이러한 급랭과정에 따라서 경화를 수반하지만 온도구배로 인해 잔류응력(Residual stress)이 발생하게 된다. 일반적으로 소재의 열처리 후에 재료 내부에는 인장 잔류응력(Residual tensile stress), 외부에는 압축잔류응력(Residual compressive stress)이 발생하게 되는데 잔류응력은 뒤틀림과 변형을 유발하기 때문에 정밀도 향상을 위해 잔류응력의 최소화 및 효과적인 제거 방법이 필요하다³⁻⁵⁾.

극저온 열처리(Cryogenic heat treatment)는 급열(Up-hill quenching)법을 이용하여 극저온까지 냉각한 뒤 상온 이상으로 급격히 가열하는 방법이다. 이는 잔류응력의 최소화 및 효과적인 제거를 위한 추가공정으로 기계적 성질은 기존의 Al7075-T6와 유사하지만 급랭으로 발생하는 열적응력을 제거할 수 있다. 기존 Al7075-T6는 Fig. 1처럼 743K에서 2시간 동안 용체화 처리 후 24시간 동안 393K를 유지하여 인공 시효경화 시킨 것이고 극저온 열처리된 Al7075-T6는 Fig. 2와 같이 열처리로 용체화 처리 후 상온에서 77K로 급랭시켜 후에 급열법으로 잔류응력을 제거하고 24시간 동안 393K를 유지시켜 인공시효경화를 시킨 것이다.

Table 1은 Al7075 소재의 화학조성을 나타내었으며 Table 2에는 가공성 평가를 위해 Al7075-T0와 극저온 열처리된 Al7075-T6의 기계적 특성을 각각 나타내었고 전반적으로 극저온 열처리된 Al7075-T6가 뛰어난 특성을 보였다.

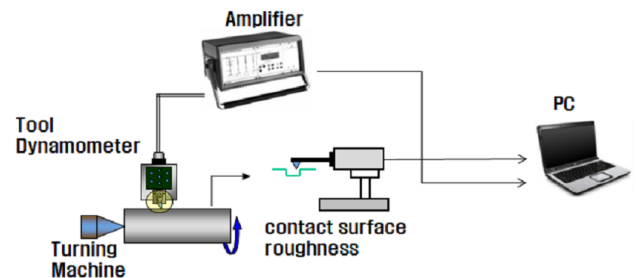


Fig. 3 Experimental setup

3. 절삭성 평가

3.1 실험장치

실험 장치는 Fig. 3에 보이는 바와 같이 범용 선반을 사용하여 선삭가공을 수행하였다. 실험에 사용된 공구는 KORLOY DGCCT55°, 인선반경 0.8 R, 절입각 90°을 사용하였으며 절삭력은 공구동력계 (Kistler 9257B)와 Charge amplifier (Kistler 5019), DAQ (Dynoware)를 통하여 신호 분석하였고 표면거칠기는 표면조도계 (Taylor Hobson, Surtronic 3+)를 사용하여 측정하였다.

3.2 실험방법

가공실험의 변수로 사용된 제어인자는 절삭깊이, 이송량, 절삭속도로 선정하였으며, 실험계획법의 하나인 반응표면법의 중심합성

Table 3 Cutting conditions

Factor	Level			Increment
	-1	0	1	
Depth of cut (mm)	0.25	0.5	0.75	+0.25
Feed (mm/rev)	0.05	0.1	0.15	+0.05
Cutting speed (m/min)	275	325	375	+50

Table 4 Test data for tuning conditions

No.	Depth of cut (mm)	Feed rate (mm/rev)	Cutting speed (m/min)
1	0.5	0.1	325
2	0.75	0.05	275
3	0.25	0.1	325
4	0.5	0.15	325
5	0.5	0.1	375
6	0.5	0.1	325
7	0.75	0.15	375
8	0.25	0.05	375
9	0.25	0.15	375
10	0.25	0.05	275
11	0.75	0.05	375
12	0.75	0.15	275
13	0.5	0.1	325
14	0.75	0.1	325
15	0.5	0.1	325
16	0.5	0.1	325
17	0.25	0.15	275
18	0.5	0.1	275
19	0.5	0.1	325
20	0.5	0.05	325

계획을 이용하여 실험조건을 도출하였고 각 변수의 크기는 3단계로 나누었다. Table 3은 실험변수의 수치를 선형 변환하여 레벨 -1, 0, 1로 나타낸 표이고 Table 4에는 반응표면법에 의해 도출된 실험조건 표를 생성하였다. AI7075 소재 가공시의 절삭조건에 따른 절삭력과 표면거칠기를 측정 비교하였고, 가공시 마찰에 의한 절삭열을 1분간 상온에서 냉각한 후 가공 표면거칠기를 측정하였다.

3.3 실험결과

Fig. 4는 가공시 발생하는 절삭력의 방향을 표시하였으며 반응표면법을 이용하여 생성된 실험조건에 따라 극저온 열처리된 AI7075-T6와 T0에 대한 절삭력 신호 데이터를 얻을 수 있었다. 소재는 원통형 실린더를 홈 절삭 바이트(Recessing tool)를 이용하여 7단으로 나누어 실험하였고 가공 후 가공조건 변화에 따른 주분력, 배분력, 이송분력과 표면거칠기의 가공조건에 따른 변화를 측정하였다.

주분력(Principal cutting force) F_z 의 경우 Fig. 5의 그래프에서 보이는 바와 같이 기울기가 각 인자에 대한 주분력의 영향도라고 볼 때 극저온 열처리된 AI7075-T6는 절삭깊이에서 최소 34.8 N에서 최대 48.8 N까지 분포했으며 AI7075-T0는 최소 12.1 N에서 최대 33.4 N까지 분포하였다. 이송의 경우 극저온 열처리된 AI7075-T6는 최소 23.5 N에서 최대 66 N까지 분포하였고 AI7075-T0는 최소 15.9 N에서 최대 34.2 N까지 분포하였다. 절삭 속도 역시 비슷한 양상을 나타냈는데 극저온 열처리된 AI7075-T6가 최소 43 N에서 최대 52.8 N까지 분포하였고 AI7075-T0의 경우 22.0 N에서 23.9 N까지 분포하고 있다. 실험 결과에 따르면 주분력은 이송량의 변화에 민감하며 절삭속도는 상대적으로 둔감함을 나타내고 있고 가공에서의 절삭력이 AI7075-T0에 비해 극저온 열처리된 AI7075-T6가 더 큰 특성을 보이고 있다.

Fig. 6의 배분력(Radial cutting force) F_y 의 절삭깊이에 따른 절삭력 변화량에서 극저온 열처리된 AI7075-T6의 경우 최대 52.7 N에서 최소 27.2 N으로 감소하는 경향을 보였고 AI7075-T0는 최소 7.8 N에서 최대 10.7 N까지 분포하였다. 이송량 변화의 경우

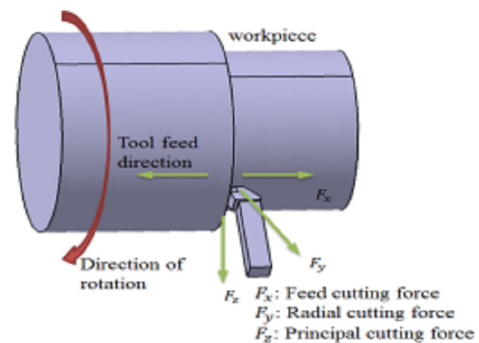
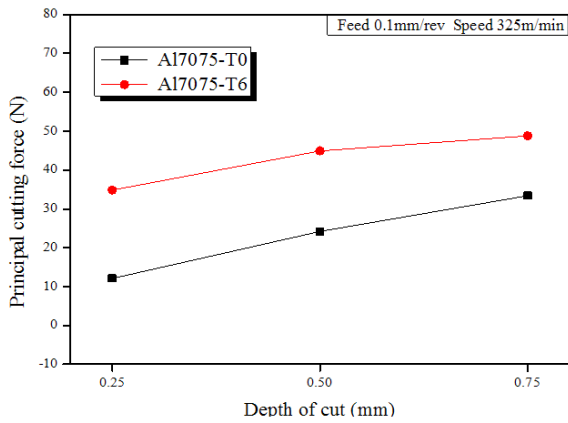
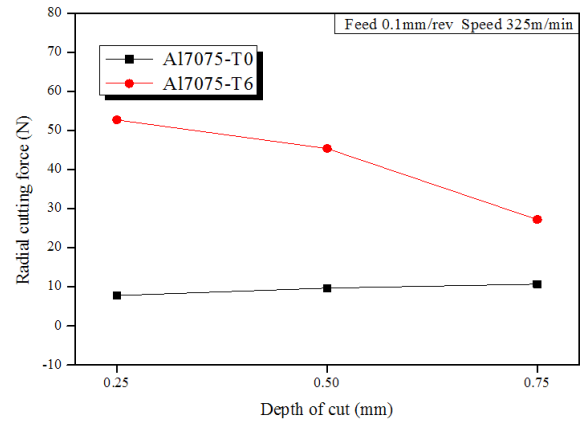


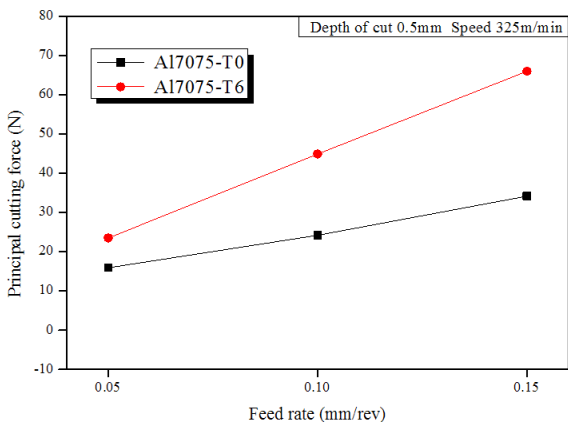
Fig. 4 Scheme of turning process



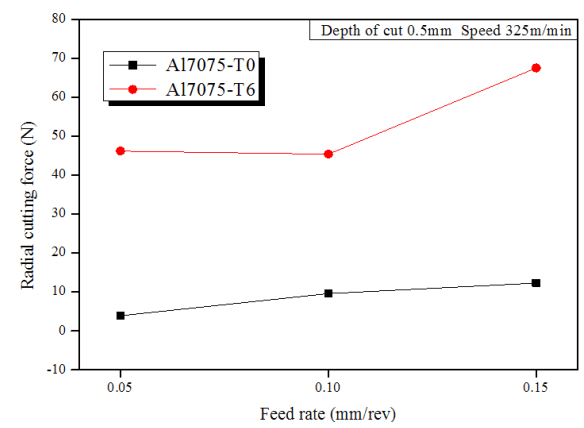
(a) F_z according to depth of cut



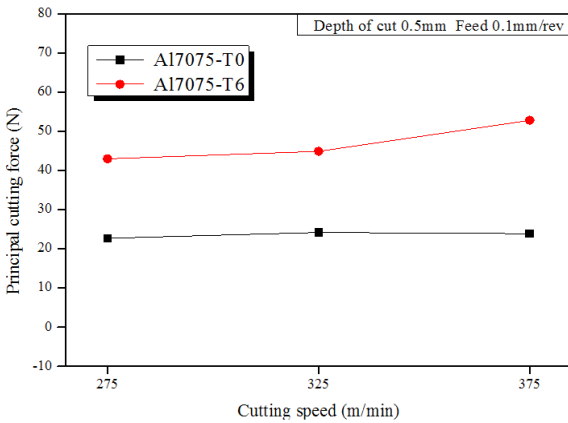
(a) F_y according to depth of cut



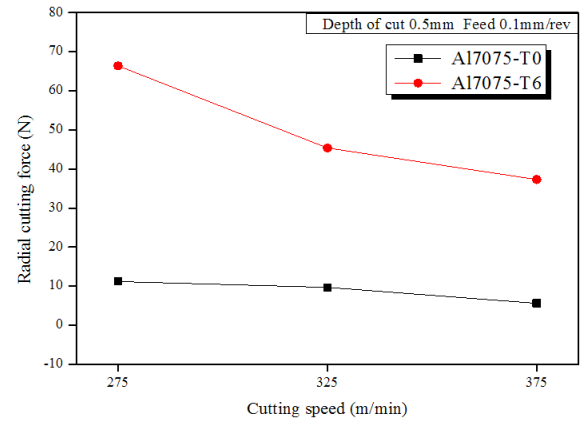
(b) F_z according to feed rate



(b) F_y according to feed rate



(c) F_z according to cutting speed



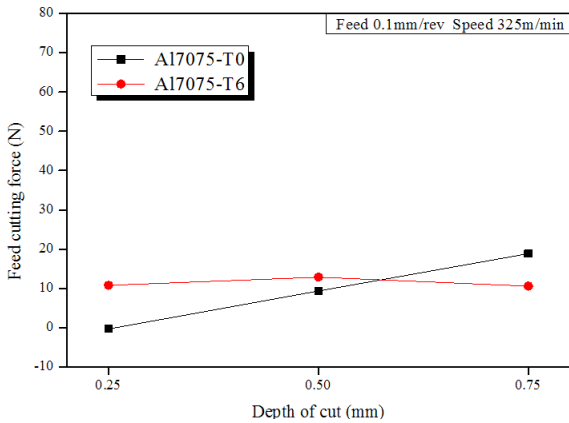
(c) F_y according to cutting speed

Fig. 5 Principal cutting forces

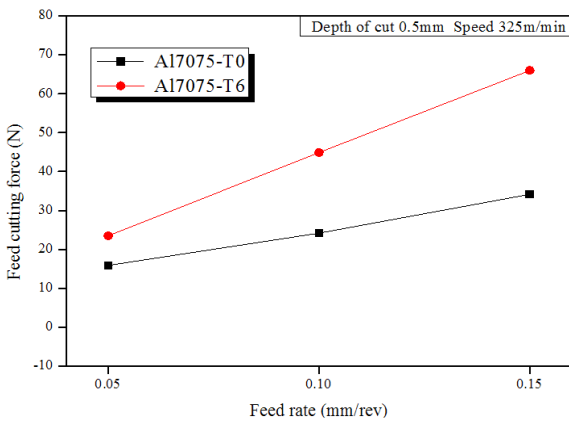
Fig. 6 Radial cutting forces

극저온 열처리된 Al7075-T6는 최소 46.2 N에서 최대 67.5 N까지 분포하였고 Al7075-T0는 최소 3.9 N에서 최대 12.3 N까지 분포하였다. 절삭속도 변화의 경우, 절삭깊이와 유사한 경향을 보이며 극저온 열처리된 Al7075-T6는 최대 66.4 N에서 최소 37.3 N까지 감소하였고 Al7075-T0 또한 최대 12 N에서 최소 5.6 N으로 감소하는 경향을 보였다. 배분력 변화의 경우, 상대적으로 상승 또는

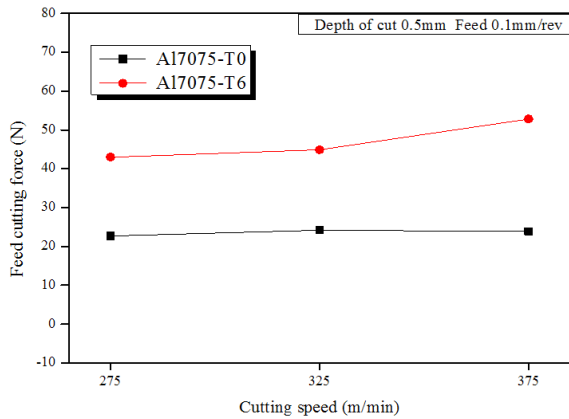
하강하는 그래프를 보이는데 이는 진동현상 또는 절삭깊이가 공구의 절삭날 반경 보다 작아지면서 플로잉(Ploughing) 현상이 발생했기 때문으로 사료된다. 플로잉 현상은 공구날 끝의 반경에 의해 공작물이 탄성 변형되었다가 공구가 지나간 이후 복원되는 과정으로, 공구가 공작물을 누르면서 진동을 증가시키고 안정성을 저하시킨다.^[6] 따라서 열처리 이후 탄성회복이 많으므로 가공 후 치수정



(a) F_x according to depth of cut



(b) F_x according to feed rate



(b) F_x according to feed rate

Fig. 7 Feed cutting forces

밀도를 향상시키기 위해서는 플로잉 현상을 피해야 하며 절삭깊이를 인선반경보다 크게 취야 함을 알 수 있다.

절삭력 중 칩 형태와 표면거칠기에 큰 영향을 미치는 이송분력 (Feed cutting force) F_x 의 특성을 나타내는 Fig. 7의 그래프를 보면 절삭깊이에 따른 이송분력은 극저온 열처리된 Al7075-T6의

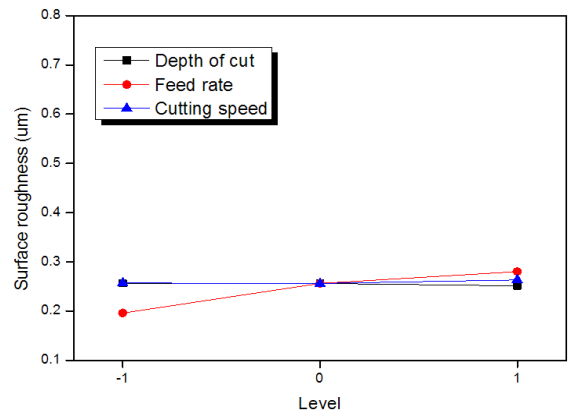


Fig. 8 Surface roughness of Al7075-T0

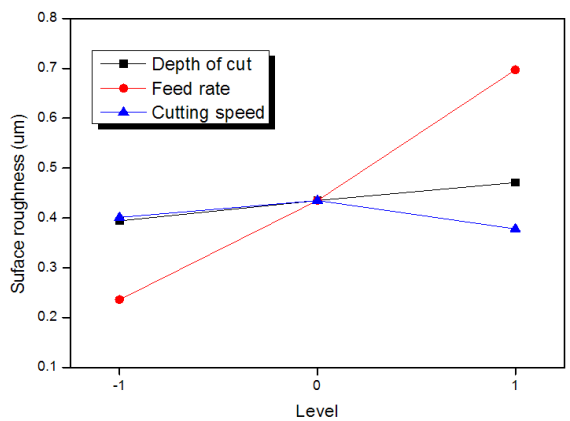


Fig. 9 Surface roughness of Al7075-T6

경우 최대 10.8N에서 최소 10.6N으로 큰 차이가 없었으나 Al7075-T0는 최소 -0.3N에서 18.9N까지 분포하였다. 여기서 음(-)의 값은 양(+)의 유효경사각을 가지는 공구로 저압축비의 피삭재를 절삭하면 이송분력이 음(-)의 값으로 나타날 수도 있다.^[7] 이송의 경우 극저온 열처리된 Al7075-T6는 최소 23.5N에서 최대 66 N까지 분포하였고 Al7075-T0는 15.9 N에서 34.2 N까지 일정하게 상승하며 분포하였다. 절삭속도의 경우 Al7075-T6는 최소 43 N에서 최대 52.8 N까지, Al7075-T0는 최소 22.7 N에서 최대 23.9 N까지 분포하며 근사한 변화를 보였다.

Fig. 8은 Al7075-T0 소재의 표면거칠기를 측정하여 나타난 것이다. 표면거칠기 값의 변화 특성을 살펴볼 때, 절삭속도와 절삭깊이 변화에는 큰 영향이 없음을 알 수 있었으며, 이송량의 증가와 수준에 따라 증가하는 특성을 보였고 최소 0.20 μm 에서 최대 0.28 μm 까지 분포했다. 극저온 열처리된 Al7075-T6의 실험결과는 Fig. 9에 나타내었으며, Al7075-T0와 유사하게 이송량에 가장 큰 영향을 받았고 이송량 수준에 따라 표면거칠기는 최소 0.24 μm 에서 0.70 μm 까지 분포하였다.

3.4 실험결과 평가

절삭실험을 통해 극저온 열처리된 Al7075-T6 소재의 가공성을 평가한 결과, Al7075-T0 소재와 유사한 경향의 절삭조건 의존도를 보이고 있다. 주분력과 표면거칠기의 변화 특성에서는 절삭조건 중 이송량의 변화에 가장 민감한 변화 특성을 보이며, 절삭깊이와 절삭속도 순으로 영향도가 작아짐을 알 수 있고 이는 알루미늄 소재의 연성 특성이 그대로 반영된 것으로 볼 수 있다. 표면거칠기 측면에서 살펴볼 때, 극저온 열처리된 Al7075-T6 소재의 특성이 Al7075-T0에 비해 상대적으로 불량한 거칠기를 나타내고 있다.

본 극저온 열처리된 Al7075-T6 소재의 양산가공에서 최적가공 조건을 선정하고자 할 때는 이송량의 최적화가 극저온 열처리된 Al7075-T6와 Al7075-T0 소재의 가공 최적화에 가장 효과적인 것으로 사료된다.

4. 결론

극저온 열처리된 Al7075-T6의 선삭 가공성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 극저온 열처리된 Al7075-T6 소재의 절삭특성은 Al7075-T0 소재의 절삭특성과 유사한 경향을 보이며, 주분력과 표면거칠기는 이송량에 가장 큰 민감도를 보였다.
- (2) 극저온 열처리된 Al7075-T6 소재 가공시의 절삭력이 Al7075-T0 소재 가공시의 절삭력에 비해 2배정도 크게 나타났다.
- (3) 극저온 열처리된 Al7075-T6 소재의 경우 Al7075-T0 소재에 비해 가공성이 열악해짐을 확인하였으며, 비교적 거친 표면거칠기를 보였고 가공조건에 따른 변화 특성은 유사한 경향을 띠었다.

References

- [1] Lee, H. I., Han, Y. S., Kim, D. H., Kim, W. T., 2005, Comprehension and Apply of Advanced Technique on Aluminum, The Korea Metal News, Republic of Korea.
- [2] Jeong, J. H., Kim, J. K., Kim, P. Y., Koo, J. Y., Im, H. J., Lee, J. H., 2012, Machining Optimization of Al7075-T0 Turning Process Considering Surface Roughness and Cutting Forces, Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers 21:5 842-847.
- [3] Ian, M., 2004, Residual Stress Reduction During Quenching of Wrought 7075 Aluminum Alloy, Master Thesis Worcester Polytechnic Institute, United States of America.
- [4] Jang, H. S., 1997, The handbook of advanced Aluminum Technology, Hanlimwon, Republic of Korea.
- [5] Kim, P. H., Lim, H. J., Lee, J. M., Lee, J. H., Kim, J. S., 2012, A Study on Roundness Improvement of Heat-treated Large Diameter Aluminum Tube-turning with Collet Type Jig, Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers 21:5 824-829.
- [6] X, Liu., R, E. Devor., S, G. Kapoor., 2005, An Analytical Model for the prediction of Minimum Chip Thickness in Micromachining, Journal of Manufacturing Science and Engineering 128:2 474-481.
- [7] W, K. Luk., 1969, The direction of Chip Flow for a Single Point Lathe Tool with Zero nose Radius, International Journal of Machine Tool Design and Research 9 391-399.