

Al-Li 합금 윙립의 고속가공 변형특성에 관한 연구

이인수*, 김해지#

(* 경남과학기술대학교 대학원 자동차공학과, # 경남과학기술대학교 자동차공학과)

A Study on High Speed Machining Distortion Characteristics of Aluminum Lithium Alloys Wing Rib

In-Su Lee*, Hae-Ji Kim#

(Received 19 November 2014; accepted 10 December 2014)

ABSTRACT

Aluminum lithium alloys are new materials developed for lightweight aircraft parts. However, as compared with conventional aluminum alloys in high-speed machining, problems such as tool wear, machining distortion, and cutting ability arise. This study presents the machining distortion characteristics of an Al-Li alloy wing tip in relation to the cutting heat in high-speed machining. A machining experiment was conducted with high-speed machining equipment for an evaluation of the machining distortion characteristics, with each machining stage temperature change of the workpiece machining surface, and the inside and outside temperature changes of the equipment measured. By measuring the amount of distortion of the workpiece before and after machining, the cutting heat was analyzed with regard to its effect on machining distortion in the product.

Key Words : Wing Rib(윙립), High Speed Machining(고속가공), Machining Distortion(가공변형), Minimum Quantity Lubrication(MQL:극미량 윤활)

1. 서 론

항공기 날개를 구성하는 주요 부품인 윙립(wing rib)은 주익의 대부분의 하중을 지탱하는 대형 구조물로서, 그 형상이 매우 복잡하고 제작과정에서 고난위도 가공기술과 품질관리를 요구한다. 현재 유럽 에어버스사에서 개발 중인 A350XWB 기종의 경우 일체형 대형 윙립으로 설계

되며 부품 하나의 크기가 5,271(L)×1,481(W)× 138(H)mm이다. 가공전의 원자재의 무게는 약 3,200kg이며, 가공완료 후의 제품의 무게는 약 80kg이다. 특히, 항공기 중량 저감을 위해 기존에 많이 사용되는 Al70xx계열 합금보다 비강도가 우수한 Al-Li합금¹⁻³⁾인 Al2050-T84 라는 신소재가 적용된다. Al-Li합금의 경우 기존의 알루미늄합금보다 가공성이 좋지 않아 공구의 마모가 심하게 발생하며, 가공 변형이 많이 나타난다. 가공변형이라 함은 절삭가공에서 발생하는 절삭저항, 마찰열, 진동 등에 의해 잔류응력이 칩으로 배출되지 않고 피삭재로 전위되어 결정 조직의 변화를 유발시켜 제품의 형상이 변하는 것을 말한다. 특히 윙립의 경우 원자재의 대부분인 95%가 절삭칩으로 배출되는데, 이때 발생하는 절삭열이 가공품으로 전위되어 가공변형 등을 유발시켜 제품의 최종 품질에 많은 영향을 미치게 된다.^{4,5)}

* School of Automotive Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology

Corresponding Author :

Dept. of Automotive Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology
E-mail : khji@gntech.ac.kr

본 연구에서는 Al-Li 합금재료의 대형 원립의 고속 가공 시 발생하는 절삭열이 제품의 가공변형에 미치는 영향성을 파악하고자 하였다. 5축 대형 고속 가공장비에서 실험가공을 실시하였으며, 절삭가공 시 발생하는 피삭재의 가공표면 온도 변화, 장비내부 환경온도와 외부 환경 온도 변화를 측정하였다. 가공 전/후의 피삭재의 가공변형량을 측정하여, 절삭열과 가공변형량과의 상관관계를 분석하고자 하였다.

2. 이론적 배경

2.1 잔류응력과 가공변형

항공기 구조물의 기계가공에서 많이 발생하는 문제점은 가공 후에 발생하는 잔류응력으로 인한 제품의 변형이다. 잔류응력이란 응력이 없던 물체가 외부의 힘을 받아서 그 일부가 영구변형이 생기면, 외부의 힘을 제거한 후에도 내부 상호 견제작용에 의한 응력이 발생되어 원래의 상태로 회복이 되질 않는, 내부의 남아있는 응력을 말하며 잔류 변형력이라고도 한다. 선반작업의 예를 들면 바이트가 절삭하는 것은 엄밀하게 보면 재료를 뜯어내는 것과 마찬가지로, 이때 전단응력의 발생 및 바이트와 재료가 닿을 때의 압축응력, 절삭할 때의 인장응력 등이 발생 하게 된다. 연삭작업의 경우에도 숫돌이 재료에 닿으면서 압축되고, 연삭이 일어나면서 발열되고, 인장력이 발생하게 되는데, 이와 같이 절삭가공을 수행한 후에도 재료표면에는 압축이나, 전단, 인장응력 등이 잔류하게 되는 것이다. 대부분의 절삭가공에서는 가공 시 공구와 피삭재간의 절삭표면에 고온의 열⁶⁾이 발생하는데 대부분의 절삭열은 칩으로 배출되지만, 일부는 제품으로 전위되어 잔류응력으로 존재하게 된다. 이를 그냥 방치하면 제품의 최종형상에 치명적인 결함요인으로 작용하여 제품 치수와 품질에 많은 영향을 미친다.

가공변형은 피삭재의 재질, 절삭조건, 가공방법, 제품의 형상 등의 변화에 따라 발생하는 휨 변형과 뒤틀림 변형, 절삭환경 및 온도변화에 의해 발생하는 제품의 줄어듦, 늘어남의 변형 등이 있다. 일반적으로 제품의 단면이 U타입의 제품의 경우 절삭가공 시 한쪽 방향에서 절삭 가공량이 과다하게 일어남으로 제품의 휨(틀림현상) 변형이 많이 발생하며, 뒤틀림 변형의 경우 원인파악 및 문제해결이 가장 어려운 변형이다. 가공변형을 최소화 하는

방법으로는 황/정삭 공정을 분리하여 황삭가공 시 가공량을 최소화하여 변형을 많이 유발시키면 정삭가공 시 변형량은 줄어들며, 황삭가공 시 외부 잔재를 많이 제거하면 잔류응력을 최소화시켜 정삭가공 시 잔재에 존재하던 잔류응력이 제품으로 전위되는 것을 억제할 수 있다. 이와 반대로, 소재의 결방향(grain direction)으로 가공하면 결방향으로의 변형은 더 많이 유발되며, 직경이 큰 공구로 제품 바닥면(web) 가공 시 피삭재와 공구의 접촉면적이 많아져 절삭열이 칩보다는 피삭재쪽으로 전달될 가능성이 높아 가공변형이 더 많이 발생한다.

2.2 절삭저항과 고속가공

절삭은 공구 또는 피삭재가 이동함에 따라 피삭재가 탄성변형, 소성변형의 과정을 거쳐 칩의 형태로 제거되는 과정이다. 대부분의 재료들은 재료시험에서 변형률 0.002(0.2%)에서 항복(yield)하고 0.01~0.1 범위에서 파단된다. 그리고 인장시험에서의 단위시간당 변형률의 크기는 약 $10^{-3}/\text{sec}$, 충격시험에서는 약 103/sec의 크기가 된다. 그러나 절삭에서 칩 형성시의 변형률은 1 이상(2~5)의 크기가 되고 단위시간당 변형률의 크기가 약 105/sec로 매우 큰 값이 된다. 재료시험에서와 달리 칩 형성과정에서 파단이 일어나지 않는 것을 열 발생과 높은 압력에 기인한다.

고속가공에서는 가공속도의 증가에 따라 보다 높은 절삭온도가 되며, 높은 전단변형으로 인하여 발생하는 단열전단(adiabatic shear)현상으로 피삭재가 국부적으로 연화(softening)현상이 일어나 상온의 전단강도보다 작은 값의 고온 전단강도를 갖게 된다. 고온, 고압으로 인하여 국부적으로 피삭재가 유체거동(hydrodynamic behavior)하는 양상을 보이게 되며, 공구의 경사면에서 국부적으로 전단변형이 일어나는 경계층이 칩 두께에 대한 경계층의 비는 0.02~0.05의 크기이므로 식 (1)에 의해 계산하면

$$\text{strain rate} : r = V / \delta \quad (1)$$

단위시간당 변형률은 108/sec 이상이 된다.

고온, 고압으로 인한 피삭재의 연화현상은 칩 유동층에서의 전단강도가 작아지고, 칩의 유동이 보다 원활하게 되며, 그 결과 절삭력이 감소하게 된다. 또한 전단각의 증가로 칩의 두께가 얇아지고, 칩의

배출속도가 절삭속도보다 커지게 되어 칩의 배출 특성이 좋아지고 표면 품질의 저하가 감소되며, 최종적으로 잔류응력을 최소화할 수 있어 가공변형량을 줄일 수 있게 된다.

일반적으로 알루미늄 합금은 용융온도가 절삭공구의 마모가 심각하지 않은 온도영역 이하이기 때문에 고속가공의 적용이 다른 금속보다 용이하다. 알루미늄 합금의 절삭가공 시 가공속도가 증가함에 따라 절삭온도는 증가하여 피삭재의 용융온도에 근접하게 된다. 그 이상의 절삭온도에서는 절삭온도가 증가하지 않으므로 상대적으로 단위 공구 마모량에 대한 가공량이 증가하게 된다. 그러나 용융온도가 높은 피삭재의 경우 고온에서의 공구마모에 의하여 고속가공의 적용이 쉽지 않다. 고속가공 시 절삭온도가 용융 온도에 근접하게 되면 피삭재가 국부적으로 유동성을 갖게 되는 연화현상의 발생으로 인해 절삭력이 감소하여 절삭저항을 최소화 하면서 절삭속도를 높일 수 있다. 이는 절삭력의 감소로 공구의 휨이 작아져 정밀가공 및 박판형 부품의 가공이 가능하게 되며, 높은 절삭속도로 인해 가공 시 발생하는 절삭열의 대부분은 칩으로 배출되어, 제품으로 전위되는 절삭열의 전위량을 최소화할 수 있어 가공변형을 줄일 수 있다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험제품(원립) 형상

현재 국제 공동개발로 진행 중인 차세대 여객기인 A350XWB기종의 원립은 주익 대부분의 하중을 지탱하는 구조물로 중량절감을 위해 신소재인 Al-Li 합금의 적용된다. 그리고 일체형 박판형상으로 설계되어 그 형상이 매우 복잡하고, 제작과정에서 고난위도의 고속가공기술 및 품질관리를 요구한다. 특히, 주요 조립 기능 홀의 위치공차 및 제품두께공차, 기능면 윤곽공차를 엄격하게 규제하고 있어 기계가공 시 발생하는 변형에 대한 관리가 중요시 되고 있다.

Fig. 1에서는 원립의 형상 및 주요공차를 나타내고 있다.

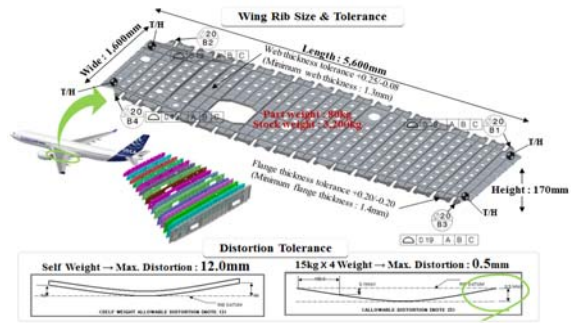


Fig. 1 A350 Wing Rib part

3.2 피삭재 재질 및 가공장비, 절삭공구

항공기 내부 구조물은 매우 두꺼운 알루미늄 플레이트를 소재로 제작된 높은 경도를 요구하는 복잡한 형상을 가진 기계가공품들로 구성되어 있다. 이러한 구조물은 강도와 피로내성, 인성, 내부식성 등의 기계적 특성들이 조화를 이루고 있는 Al70xx계열의 알루미늄합금이 현재까지 최적의 소재로 널리 적용되고 있다. 그러나 신소재인 Al-Li 2050계열의 합금 소재로 대체함으로써, 항공기 성능의 중요 인자인 중량을 약 10% 절감할 수 있는 효과를 얻을 수 있다. Al-Li 2050계열의 합금은 손상으로 인한 공차와 급랭으로 인한 민감성을 개선하기 위해 매우 적은 양의 리튬을 사용하는 것으로 알려져 있으며, 미소합금 원소로 은이 첨가된다. 초기 열 노출 테스트 결과, 항복 강도가 매우 안정하고, 심지어 100℃의 온도에 장시간 노출된 후에도 인성이 빠른 속도로 저하되지 않는 것이 입증됐다. 이 합금은 높은 피로내성과 낮은 밀도를 가진 합금으로써, Al7050합금과 거의 유사한 기계적 성질을 가지고 있다.

Table 1 The main chemical compositions of Al2050-T84 aluminum lithium alloy

Component	Wt%	Component	Wt%
Si	0.08 max	Mg	0.20 ~ 0.6
Fe	0.10 max	Li	0.7 ~ 1.3
Cu	3.2 ~ 3.9	Ag	0.20 ~ 0.7
Mn	0.20 ~ 0.50	Zr	0.06 ~ 0.14

Table 2 The mechanical properties of Al2050-T84 aluminum-lithium alloy

Thickness(mm)	Direction	50mm	100mm
Tensile strength(MPa/ksi)	L	520/75	520/75
Yield strength(MPa/ksi)	L	490/71	490/71
E[tension] (GPa/Msi)	L	76.5/11.1	
Toughness K1c(MPa/ksi)	L-T	40/36	35/32
SCC min(MPa/ksi)		450/65	350
ASTM G47		(LT)	(ST)
Density(g/cm ³ /lbs/in ³)		2.70/0.098	

Table 1은 실험가공에 사용된 피삭재인 Al-Li합금 계열의 Al2050-T84 플레이트 소재의 주요 원소함유량을 나타내었고, 아래 Table 2는 기계적 성질을 나타낸 것이다.

실험가공은 독일 DST사에서 제작한 Ecospeed F2060 고속가공장비에서 진행하였다. 최근에 항공기 대형구조물의 고속가공에 많이 운용되는 장비로써, 병렬기구형태의 주축을 가진 수평형 타입의 대형 5축 고속가공 장비로 주축강성이 매우 높아서 중절삭 고속가공이 가능하다. 기존의 절삭유 대신 스피들 내부에서 MQL이 분사되는 방식으로 주축 스피들의 최대출력은 120kW이며, 최대 30,000rpm의 주축회전수와, 최대 이송속도는 50,000mm/min, 가공범위는 6000x2000x570mm의 사양을 가지고 있다. Fig. 2에서는 실험에 사용된 가공장비를 나타내고 있으며, 세부 사양은 Table 3과 같다.

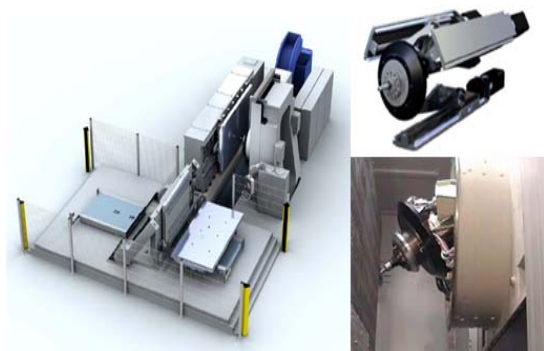


Fig. 2 High speed 5axis machine(Ecospeed2060)

Table 3 Specification of experimental machine

Items	Details	Specification	Unit
Traverse	X-axis	6,300	mm
	Y-axis	2,500	mm
	Z-axis	670	mm
	A/B-axis	±40	degree
Axis speed	X-axis	50,000	mm/min
	Y-axis	50,000	mm/min
	Z-axis	50,000	mm/min
	A/B-axis	1sec/80	degree
Pallet size	Width	2,000	mm
	Length	6,000	mm
Machining force	X/Y/Z-axis	1,500	N
Spindle	Capacity(100% ED)	120	kW
	Speed, max.	30,000	rpm
CNC control	SINUMERIK 840D		

실험가공에 사용된 절삭공구는 독일 Walter사의 MQL 공구를 사용하였다. 내부급유 방식의 MQL 공구의 적용은 스피들 내부 축심과 절삭공구 내부축심을 통하여 절삭날 끝 표면에 직접 분사함으로써 윤활유의 지속적 공급이 가능하여 깊은 홀 및 포켓형상을 높은 절삭속도로 가공할 수 있는 장점이 있다. Fig. 3에서는 실험에 사용된 MQL공구를 나타내고 있다.

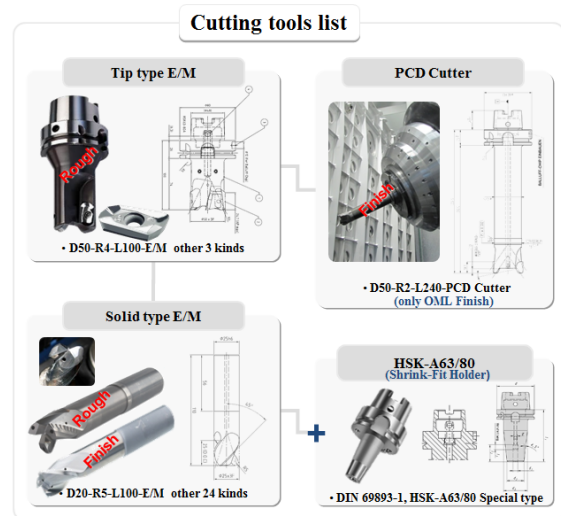


Fig. 3 Cutting tools

황삭가공은 주로 인서트 팁(Ø50mm, CR4mm) 공구와 라핑 엔드밀(Ø25mm, CR4mm)을 이용하여 가공하였으며, 정삭가공은 Ø20mm, CR5mm 사양의 엔드밀 외 24종의 솔리드엔드밀로 가공하였다. 그리고 항공기 날개 외피(skin)와 조립되는 기능부분인 Rib Feet OML(out mold line)부위의 정삭가공은 일체형 PCD cutter(Ø50mm, CR2mm)로 가공하였다. 공구홀더는 스핀들과 접촉면적을 증가시켜 고속가공 시 발생하는 진동을 억제하기 위해서, 현재 고속가공에 많이 사용되는 열박음 방식 HSK-63 홀더의 플랜지 부위를 기존 Ø63mm에서 Ø80mm로 증가시켜 제작하였다. 주요 공구 절삭조건은 Table 4와 같다.

Table 4 The cutting conditions of wing rib machining

Cutter	rpm (rev./min)	Feed rate (mm/min)	ap (mm)	Q (cm ³ /min)
Ø50/CR4	21,000	1,1340	10	5,670
Ø25/CR4	28,750	10,350	20	5,175
Ø20/CR5	26,500	9,540	8	1,526

3.3 가공 공정 및 치공구

본 실험에서 윙립 가공은 황삭, 황삭 및 정삭, 정삭가공 등의 순서로 진행되었으며, 각 공정마다 피삭재를 안정적으로 고정하기 위한 전용 치공구를 사용하였다. 황삭가공은 피삭재의 측면에 슬롯가공을 하여 클램퍼로 고정하였고, 최종 정삭가공은 진공 고정구(vacuum fixture)를 이용하여 볼트로 가공품을 고정하였다. Fig. 4에서는 가공 공정별 셋업방법과 절삭가공 후의 가공품 형상을 나타내고 있다.

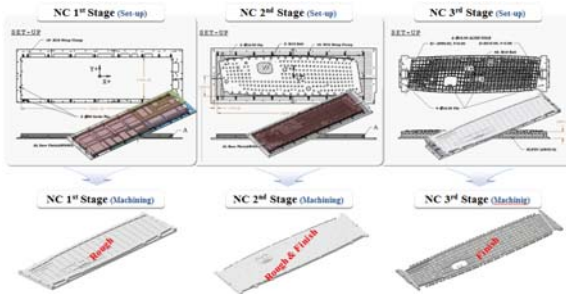


Fig. 4 Process of wing rib machining

3.4 가공 공정별 온도 측정

고속가공 시 발생하는 절삭열에 의한 피삭재의 온도 상승이 가공변형에 미치는 영향성을 파악하기 위하여 각 가공 공정마다 피삭재와 장비 내부 온도, 외부환경온도의 변화량을 측정하였다. 피삭재의 온도는 접촉식 센서로 가공표면에 직접 접촉하여 측정하였고, 장비내부의 온도변화는 온도센서를 부착하여 모니터링 하였다. 항온지역인 장비외부의 주변환경 온도측정은 피삭재와 동일한 재질의 시편을 비치한 후 이를 접촉센서로 접촉하여 측정하였다. 측정 시점은 가공 전, 가공 진행 중간(황삭 가공의 경우 20분 간격으로 측정), 가공 후의 720분 경과시점의 온도를 측정하였다. Fig. 5에서는 실험에 사용된 온도 측정위치를 나타내고 있다.

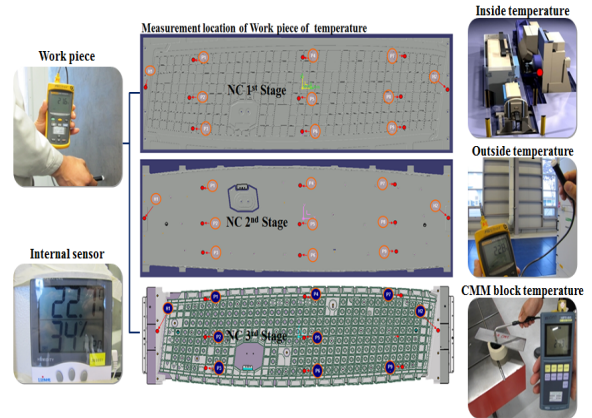


Fig. 5 Measurement point of temperature

3.5 가공 공정별 변형량 측정

가공변형의 측정은 각 공정별로 가공 전과 후에 치공구 바닥 기준면과 피삭재사이의 들림 간격을 테이프 게이지(tape gage)를 이용하여 측정하였다. 최종 완성품의 변형량은 CMM 정반 블록위에 제품을 안착 후 중량부하를 가하지 않은 상태에서 제품의 들림간격을 측정하였다. Fig. 6에서는 피삭재의 가공 전과 후의 변형량의 측정 위치와 완성품의 최종 변형량의 측정 위치를 나타낸 것이다. 가공변형의 방향성 표기는 피삭재의 양끝단 부위의 들림현상 발생의 경우 양(+)의 방향으로 표기하고, 중앙부위의 들림현상 발생의 경우는 음(-)의 방향으로 표기하였다.

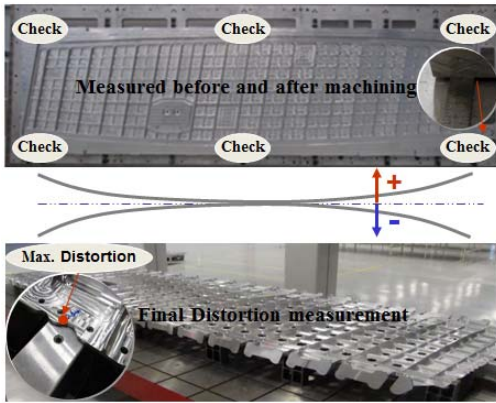


Fig. 6 Measurement point of distortion

4. 실험결과 및 고찰

4.1 가공 공정별 온도변화 측정 결과

원립의 가공공정에 따른 주요 측정위치의 온도변화를 살펴보면 다음과 같다. 황삭가공 공정(NC 1st stage)에서는 Fig. 7에서 보는 바와 같이 피삭재의 가공 전의 온도는 21.7℃에서 시작하여 점차 표면온도가 높아졌고, 160분의 가공 시점에 최대 29℃까지 표면온도가 높아졌다. 가공완료 시점인 720분에서는 초기온도인 22℃로 다시 낮아졌다. 장비 내부의 환경온도는 23℃에서부터 최대 25.8℃까지 약 2.8℃로 온도가 높아졌으며, 장비외부의 환경온도는 21~23℃ 범위에서 지속적으로 유지되었다.

황삭/정삭가공 공정(NC 2nd stage)의 경우 공구직경이 큰 인서트 팁(Ø50mm, CR4mm)공구를 사용하여 지속적으로 황삭 가공을 진행한 결과, Fig. 8에서 보

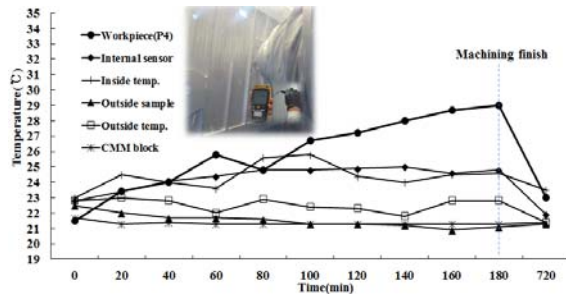


Fig. 7 Temperature result of NC 1st stage machining

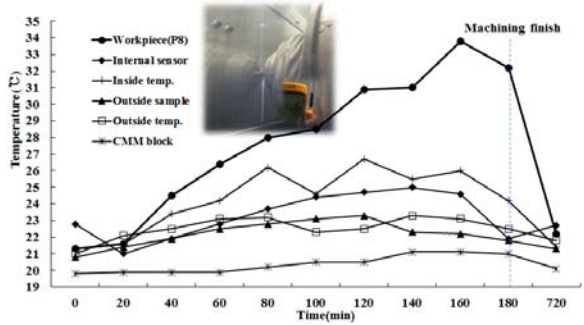


Fig. 8 Temperature result of NC 2nd stage machining

는 바와 같이 피삭재의 가공 전의 온도는 21.3℃에서부터 시작하여 점차 온도가 높아졌고, 160분의 가공 시점에 최대 33.8℃까지 급격하게 표면온도가 높아졌다. 이후 정삭가공 진행시 절삭저항의 감소로 온도가 점차 낮아짐을 알 수 있다. 장비 내부의 환경온도는 21.5℃에서부터 최대 26.7℃까지 약 5.2℃ 온도가 높아졌으며, 장비외부의 환경온도는 20~23℃ 범위에서 지속적으로 유지되었다.

최종 정삭가공 공정(NC 3rd stage)의 경우에는 가공시간이 840분으로 황삭가공 공정 대비 매우 길었다. Fig. 9에서 보는 바와 같이 약 180분 간격으로 피삭재의 표면온도를 측정하였다. 피삭재의 가공 전의 표면온도는 19.7℃에서부터 시작하여 점차 높아졌으며, 510분의 가공 시점에서 최대 23.2℃까지 표면온도가 높아졌다. 그러나 황삭가공 공정과 비교하여 표면의 온도 변화는 미미한 차이를 나타내었다. 장비 내부의 환경온도는 20.6℃에서부터 최대 21.6℃까지 미미하게 높아졌으며, 장비외부의 환경온도는 19~21℃ 범위에서 지속적으로 유지되었다.

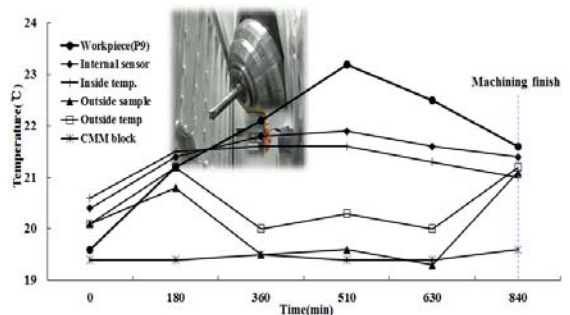


Fig. 9 Temperature result of NC 3rd stage machining

4.2 가공 공정별 변형량 측정 결과

Fig. 10에서는 가공 공정별 가공 전과 후의 가공품의 변형량을 측정된 값을 나타낸 것이다.

가공품의 변형량을 살펴보면, 황삭가공 전의 원자재 상태에서 우측 상단 모서리 부분(a)에 최대 2.5mm 변형량이 발생하였으며, 가공 후의 동일부위(b)에 최대 9.3mm의 변형량이 발생하였다.

뒷면 황삭과 정삭가공을 위해 가공품을 뒤집어 변형량을 측정된 결과, 가공품 중앙 하단부위(c)에 최대 5.3mm의 변형량이 발생하였으며, 가공 후 가공변형은 역방향으로 작용하여 좌측 상단부(d)에 최대 14mm의 변형량이 발생하였다.

최종 정삭가공을 위해 가공품을 다시 뒤집어 측정된 결과 중앙 맨홀부위(e)에 최대 7.0mm의 변형량이 발생하였다. 최종가공 후 CMM 정반블록 위에 제품

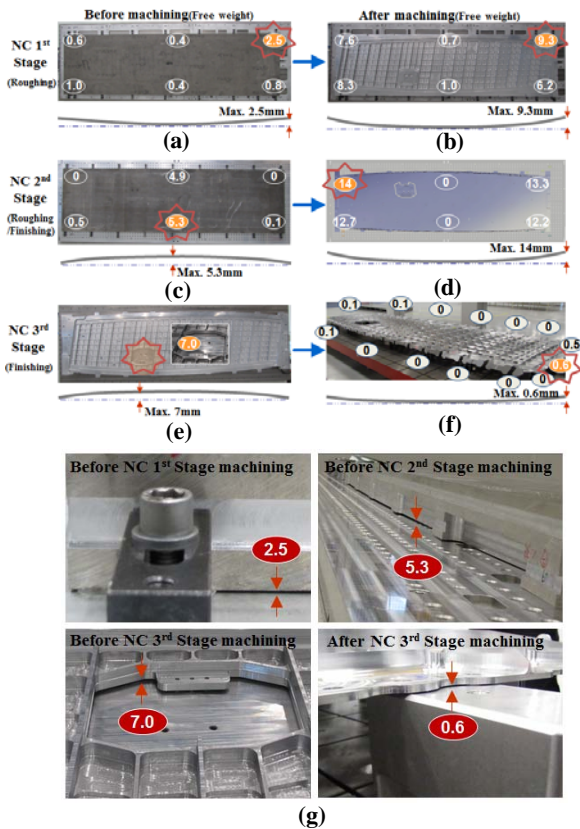


Fig. 10 Result of distortion measurement

을 안착시켜 변형량을 측정결과, 원립 가공품의 우측 끝단부(f)에 최대 0.6mm 변형이 측정 되었으며, 대부분의 측정위치에서는 변형이 발생하지 않았다. (g)는 각 공정별 셋업 전 가공변형량을 나타낸 것이다.

4.3 가공 온도와 변형량 상관관계 비교

Fig. 11에서는 공정에 따른 가공품의 표면 온도변화를 나타내었고, Fig. 12에서는 공정에 따른 가공품의 변형량을 나타낸 것이다.

황삭가공 공정에서의 피삭재 표면온도 변화는 21.7℃(가공시작), 29℃(가공중간), 23℃(가공종료) 등으로 표면의 온도변화를 나타내었고, 최대 7.3℃의 온도차이가 피삭재의 표면온도 변화가 발생함을 확인하였다. 가공품의 가공변형량은 가공 전에서는 +2.5mm에서 가공 후에는 +9.3mm로 최대 6.8mm의 가공변형량의 차이가 발생함을 확인하였다.

황삭/정삭가공 공정에서는 21.3℃(가공시작), 33.8

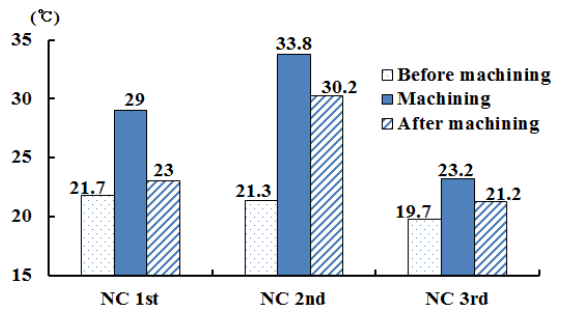


Fig. 11 Surface temperature variation of workpiece according to process

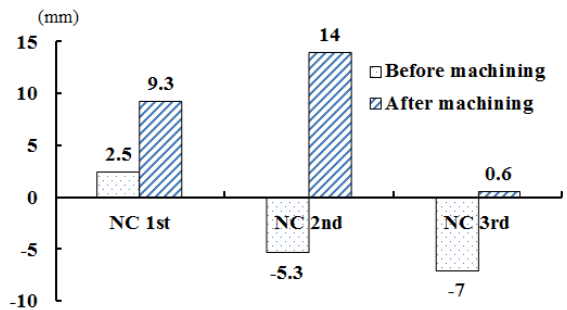


Fig. 12 Distortion variation of workpiece according to process

8℃(가공중간), 30.2℃(가공종료) 등의 피삭재의 표면온도 변화를 나타내었고, 최대 12.5℃의 온도차이가 발생하였다. 가공품의 가공변형량은 가공 전에서 -5.3mm에서 가공 후에는 +14mm의 역변형의 발생하였으며, 최대 19.3mm의 가공변형량의 차이가 발생함을 확인하였다.

최종 정삭가공 공정에서는 19.7℃(가공시작), 23.2℃(가공중간), 21.2℃(가공종료) 등의 표면온도 변화를 나타내었고, 최대 3.5℃의 표면의 온도 차이가 발생함을 확인하였다. 가공품의 가공변형량은 가공 전에 -7mm의 역변형이 나타났으나, 정삭가공 후 CMM 정반 블록에서 측정 시 최종 변형량은 +0.6mm로 아주 우수한 결과를 보였다.

본 실험을 통하여 피삭재의 표면 온도변화와 가공품의 변형량은 상관관계가 있으며, 절삭가공 시 피삭재의 표면 온도의 상승폭이 클수록 가공품의 가공변형량도 비례하여 증가됨을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 신소재인 Al-Li 합금 재질의 대형 날개 구조물인 윙립부품의 고속가공 시 발생하는 절삭열에 의한 제품의 가공변형에 대한 주요 문제점을 고찰 및 분석하였다.

1. 포켓형상이 많은 윙립의 황삭가공은 칩제거량이 높은 공구직경이 큰 공구(Ø25~Ø50mm)가 주로 사용되며, 이로 인해 절삭저항이 높아져 절삭표면에 고온의 열을 발생시키며, 대부분의 절삭열은 칩으로 배출되지만, 일부는 피삭재로 전위되어 가공 후에 잔류응력으로 잔존하여 가공변형을 유발시키는 주요 인자로 작용한다.
2. 절삭가공 시 피삭재의 표면온도 변화의 폭이 클수록 가공 전과 후의 가공변형량도 상대적으로 증가한다. 본 실험의 경우 황삭가공에서 가공 중 최대 12.5℃의 가공표면의 온도상승이 발생하였으며, 이때의 가공변형량은 최대 19.3mm가 발생하였다.
3. 가공 순서를 황삭가공, 황삭과 정삭가공, 및 정삭가공 순으로 가공하면 역변형을 유발시켜 가공변

형량을 상쇄시킬 수 있었다.

후 기

“이 논문은 2014년도 경남과학기술대학교 기성회 연구비 지원에 의하여 연구되었음.”

REFERENCES

1. B. Ahmed, S. J. Wu, "Aluminum Lithium Alloys(Al-Li-Cu-X)-New Generation Material for Aerospace Applications", Applied Mechanics and Materials, Vol. 440, pp. 104-111, 2013.
2. Ph. Lequed, K. P. Smith, A. Danélou, "Aluminum-Copper-Lithium Alloy 2050 Developed for Medium to Thick Plate", Journal of Materials Engineering and Performance, Vol. 19, No. 6, pp. 841-847, 2010
3. C. Giummarr, B. Thomas, R. J. Rioja, "New Aluminum Lithium alloys for aerospace applications", Proceedings fo the Light Metals Technology Conference, pp. 395-396, 2007.
4. U. M. Lee, N. K. Kim, J. H. Jang, Yulkok Ltd, "A Study on th High Speed Machining of Major Structure in Aircraft", Journal of the KSMPE, Vol. 11, No. 1, pp. 119-124, 2012.
5. U. M. Lee, N. K. Kim, H. J. Kim, I. S. Lee, "A Study on Machining distortion of MAJOR Structure in Aircraft" 2009 Fall Conference Proceeding of the KSMPE, pp. 17-19, 2009.
6. S. J. Lee, W. K. Park, S. T. Lee, W. Y. Lee, M. K. Ha, "Characteristics of Heat Generation in time of High-speed Machining using Infrared Thermal Imaging Camera", Journal of the KSMPE, Vol. 2, No. 3, pp. 26-33, 2003.