

드릴에 의한 유리섬유강화플라스틱의 절삭특성에 관한 연구

박종남[#], 조규재^{*}

A Study on the Cutting Characteristics of the Glass Fiber Reinforced Plastics by Drill Tools

Jong Nam Park[#], Gyu Jae Cho^{*}

ABSTRACT

Composite materials are widely used to make all kinds of machine parts, internal and structural materials of cars, aerospace industries, building structures, ship materials, sporting goods and others. It is worth the while to use composite materials as various substitutions when compared with others. But the use is limited in the field of the mechanical processing because of its difficulties in processing.

Thus, it is proved that the surface is rough in and out of the hole processing the GFRP with HSS drill in the vertical machining center.

Key Words : Composite materials(복합재료), Machining center(머시닝센터), Cutting of metals(절삭가공), GFRP; Glass Fiber Reinforced Plastics(유리섬유강화플라스틱)

1. 서론

산업사회의 발달과 함께 공작기계에서는 이미 정밀도와 높은 생산성을 위한 노력이 계속 되어지고 있으며, 생산되는 제품에 대해서도 정밀도를 비롯한 높은 내구성을 가진 경량의 재료인 신소재에 대한 관심이 높아져 이에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 복합재료(Composite materials) 중에서 연속적인 섬유나 단 섬유로 강화된 섬유강화 복합재료는 특히 밀도에 비하여 강도와 강성이 높고 좋은 피로 특성을 가지고 있을 뿐만 아니라, 가격이 저렴하고 다양한 형태로도 제조가 가능하다는 장점이 있어 각 종 기계부품을 비롯하여 자동차의

내장재와 구조재, 건축 구조물, 선박재료, 우주항공 산업 및 스포츠 용품 등 다방면으로 이용되고 있다.¹⁻²

복합재료는 압축 성형(Compression Molding), 진공 백 성형(Vacuum Bag Molding), 펄루트전(Pultrusion), RTM(Resin Transfer Molding), 증착(Vapor-Deposition), 포일 성형(Foil Metallurgy), 주조(Casting), 전착(Electro-Deposition) 등의 1차 공정만으로 완성이 가능하나 최근에는 그 용도가 광범위해져서 선삭, 드릴링, 밀링가공 등의 2차 공정 등이 필요하게 되었으며, 가공에 따른 정밀도 및 가공형상에 대한 복합재료의 절삭특성에 관한 연구의 필요성이 부각되어 이에 대한 많은 연구들이 진

접수일: 2002년 12월 10일; 게재승인일: 2004년 1월 9일
교신저자, 조선대학교 대학원 기계공학과
Email: end7115@hanmail.net, Tel: (062) 230-7947
* 조선대학교 기계공학과

행되어 왔다.

복합재료를 이용한 실험들로는 Namgung, S³등은 초경드릴에 의한 탄소섬유 에폭시 복합재료의 실험을 통해 드릴과 섬유 적층각이 만나는 각도에 따른 절삭력 변화에 대한 절삭력 신호의 주파수 특성 및 드릴 절삭날의 선단각 변화가 절삭력과 출구면 상태에 미치는 영향 등의 드릴의 특성을 살펴보았으며, Dharan⁴은 탄소섬유 에폭시 복합재료에 관한 연구에서 드릴을 이용하여 홈 가공 시 섬유배열 방향에 의한 추력과 토오크, 공구의 마모 상태, 입구와 출구 현상에 대한 이론적 절삭 모델을 제안했으며, Kim, D-H, Kim, W-S 과 Kim, K-W⁵는 탄소섬유 에폭시 복합재료 프리프레그(Preg)로 적층한 복합재의 절삭가공특성 연구에서 엔드밀을 이용한 홈 가공에서 발생하는 결함을 최소화하고 높은 생산성을 얻기 위해 절삭조건에 따른 홈 가공에서 발생하는 칩의 형상, 입구와 출구의 형상, 공구마모와 절삭력에 미치는 영향 등을 연구함으로써 홈 가공 특성에 대한 규명하는 등 많은 연구가 수행되어져 왔으나,⁶ 건축구조물, 우주항공 산업분야에 비해 상대적으로 기계분야에서는 다른 재료의 대체가능성이 높음에도 불구하고 복합재료의 적용은 미진하다. 특히 복합재료에 대한 드릴가공특성을 정량적으로 규명한 연구결과는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 첨단화되어가고 있는 산업분야에서 복합재료의 사용이 확대될 수 있도록 복합재료 중 GFRP를 수직형 머시닝 센터에서 고속도공구강(HSS)의 드릴을 이용하여 절삭속도의 변화를 통한 절삭조건을 주면서 이에 따른 절삭력, 절삭조건에 따라 발생하는 칩의 형상, 가공된 피삭재의 기지조직 및 표면 거칠기 등을 관찰하여 이 재료에 대한 절삭특성을 실험적 연구를 통하여 알아보고 드릴 절삭특성과 가공 후의 입·출구 상태 등에 관한 문제점을 규명함으로써 GFRP 복합재료의 드릴가공에 있어서 유용한 기초자료를 제공하고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 시험편 제작

시험편은 Bisphenol-A계 액상 에폭시 수지에 반응성 희석제(BGE)로 변성한 저 점도형 에폭시

수지와 Poly-amide계의 에폭시 수지 전염경화제를 조합하여 만든 열경화성 고분자 에폭시 수지를 도포 후 직물형태의 유리섬유를 50겹으로 적층시켜 상온에서 24시간 경화시킨 후 80℃의 오븐에서 3시간 양생시키고 다시 50℃에서 24시간 양생시켜 제조하였다.

Table 1에 시험편에 사용된 에폭시 수지의 물성치와 섬유에 대한 물성치를 나타내었으며, Fig. 1에 제작된 시험편의 가공 후의 형상을 나타내었다.

Table 1 Physical properties of glass fiber & Epoxy resin

Item	Glass fiber	Epoxy resin
Tensile strength(kg/mm ²)	35	7
Density(g/cm ³)	1.74	-
Thickness(mm)	0.2	-
Strain to failure(%)	0.5	-
Poisson's ratio(ν)	0.2	-
Viscosity(25℃,cps)	-	840
Specific gravity(25℃)	-	1.1
Equivalence(g/eq)	-	206

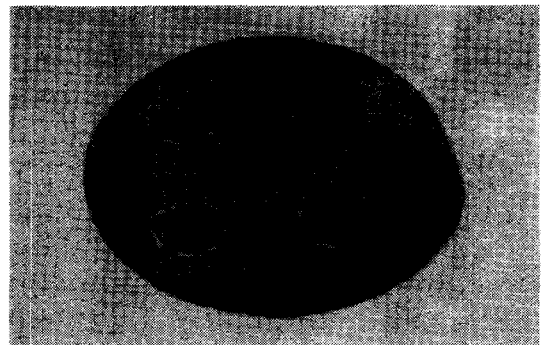


Fig.1 Shape of specimen(after cutting)

2.2 실험장치

본 연구의 절삭실험에 사용된 실험장치는 수직형 머시닝 센터이며 실험장치에 대한 사양은 Table 2에 나타내었다.

드릴홀더는 드릴을 완전히 고정시키기 위하여 BT40-DPSN20-90 콜레트 홀더(한국야금)인 강력형 스프링 콜레트를 사용하였다. 절삭공구는 고속도공구강의 드릴(금강 코리아)을 사용하였으며,

Table 2 Specifications of machining center & servo motor

Specification	Dimension & Illustration		Specification	Dimension & Illustration	
Type	Vertical 3 axis M/C		Steady torque	4.87 kgfm	
Model	Sirius-2 Fanuc korea. Co.		Rapid travel speed	X,Y,Z axis	30000 mm/min
Table size	760× 430 mm		Feed speed	1 ~ 24,000 mm/min	
Table length	X axis	660mm	Servo moter	Xaxis	1.4 kW
	Y axis	410mm		Yaxis	1.4 kW
	Z axis	460mm		Zaxis	2.8 kW
Main shaft rpm	80 ~ 8,000 rev/min		Table movable load	400 kgf	

드릴의 형상은 $\phi 10 \times 90\text{mm} \times 130\text{mm}$ 의 스트레이트 샹크 드릴로서 선단각이 130° 이며 여유각 11° , 비틀림각이 38° 이다.

2.3 실험방법

본 실험은 고속도강의 드릴로 강화 플라스틱 재료를 가공할 때, 적합한 범위내의 절삭조건에서 31.4m/min, 62.8m/min, 94.2m/min의 3종류 절삭속도와 0.067mm/rev, 0.1mm/rev, 0.2mm/rev의 이송속도로 하였다. 드릴을 홀더의 체결은 드릴홀더를 지그에 고정시킨 후 드릴 척 고정공구를 이용하여 충분한 힘으로 체결하였다. 가공부위는 구멍들간의 절삭열에 대한 영향을 최소화하기 위해 일정한 간격으로 하여 각 시험편에 $\phi 10\text{mm}$ 의 드릴을 사용하여 구멍의 총 깊이 15mm를 한 번에 절삭하여 관통하는 일반이송절삭과 세 구간으로 나누어 5mm씩 단계적으로 이송절삭을 하면서 관통하는 단계이송절삭으로 건식 절삭가공을 하였다.

각 실험조건에 대한 드릴의 절삭력 변동 성분을 압전형 공구동력계(Kistler, type9272)를 사용하여 측정하였으며, 이때 공구동력계로 부터 측정된 절삭력 성분은 증폭기를 사용하여 증폭하였다. 증폭된 아날로그 신호를 A/D 변환기(DAS-16)를 이용하여 디지털화하여 개인용 컴퓨터에서 데이터 해석을 하였으며, 컴퓨터에 전송된 신호는 절삭력

측정 소프트웨어를 이용하여 분석하였다.

피삭재 가공 시 배출되는 칩은 절삭조건에 따라 공구현미경을 통하여 관측하였고, 표면 거칠기는 3차원 측정기(Mitutoyo, BRT-S916)를 이용하여 7회 반복하여 측정하여 최대 값과 최소 값을 제외한 나머지 5회 측정치의 평균 값으로 정하였다. 또한, 흠 가공한 가공물의 기지 조직의 변화를 검사하기 위하여 다이아몬드 휠 커팅기로 절단 한 후 주사전자현미경(Jeol, JSM840-A)을 통해 비교 분석하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 일반 이송절삭

Fig. 2는 GFRP를 절삭속도 62.8m/min 와 드릴 이송속도 0.1mm/rev 인 절삭조건에서 $\phi 10\text{mm}$ 의 고속도강 드릴을 사용하여 구멍깊이에 따른 절삭 성분인 스러스트 F_z 를, Fig. 3에는 토오크 M_z 를 나타내었다.

Fig. 2, 3에서 GFRP는 구멍깊이에 따른 스러스트와 토오크의 변화가 초반부와 후반부를 제외한 가공을 시작한 1.5mm부근에서 13mm부근까지 거의 변화가 없이 일정하게 나타나며, 이 구간에서의 스러스트와 토오크는 각각 110N, 12N·cm 정도의 값을 가진 것을 볼 수 있다. 또한 절삭저항 중에서 토오크에 대한 동적성분이 스러스트 보다 변화가 크게 나타남을 알 수 있다.

이 결과로부터 스러스트와 토오크의 두 절삭저항 성분은 구멍의 초반부와 후반부를 제외한 나머지 부분은 깊이의 영향이 매우 적다는 것을 알 수 있다. 그러나 절삭저항의 동적성분에서 토오크의 동적성분이 스러스트 보다 크게 나타나는 것은 드릴의 외주부와 공작물의 내벽과의 마찰에 의한 영향이 지배적으로 작용하고, 또한 내부에서 발생한 열의 영향과 가공 시 생성된 칩의 누적 때문이라고 생각된다.

3.2 단계 이송절삭

본 실험에서는 단계 이송에 따른 절삭저항의 변화를 검토하였다. 피삭재의 구멍 깊이가 15mm 이기 때문에 5mm씩을 한 구간으로 하여 3단계 이송가공을 하였다.

Fig. 4는 GFRP를 절삭속도 62.8m/min, 이송량

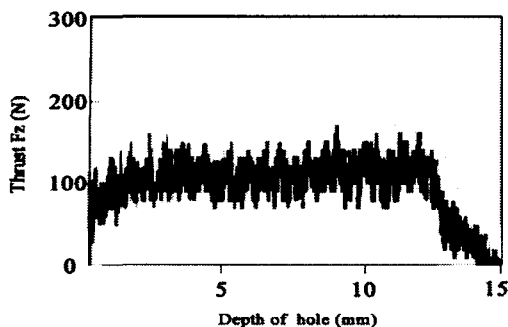


Fig. 2 Relation between hole depth and thrust on GFRP for HSS, $V=62.8\text{m/min}$, $f=0.1\text{mm/rev}$

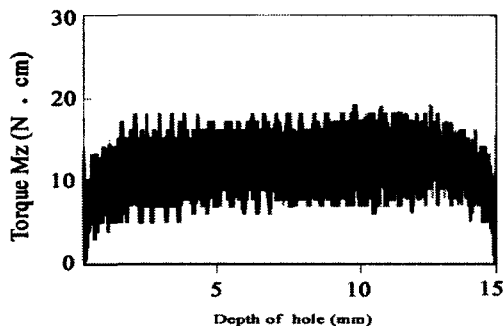


Fig. 3 Relation between hole depth and torque on GFRP for HSS, $V=62.8\text{m/min}$, $f=0.1\text{mm/rev}$

0.1mm/rev의 3단계 이송 절삭한 경우 이 때의 스러스트를 나타낸 것이다. 스러스트는 일반 이송절삭의 경우인 Fig. 2와 비교할 때 GFRP는 약간 상승한 130N 정도의 값을 가지는 것을 알 수 있다.

그리고 Fig. 5는 GFRP의 토크를 표시한 것으로서 토크는 구멍의 깊이가 깊어질수록 미소하게 상승하고 있고, 일반 이송절삭인 Fig. 3 보다 토크가 약 4N·cm 정도 감소하고 있다는 것을 알 수 있다. 이것은 단계 이송절삭의 경우 GFRP는 일반 이송절삭 때 보다 칩의 배출이 용이하여 이로 인한 절삭온도 상승이 낮아 스러스트와 토크가 감소된다고 생각된다. 그리고 단계 이송절삭의 경우 이송회수의 증가에 따라 토크의 진폭변화가 크게 나타나는 것은 단계이송으로 인한 충격력으로 공구인선에 미소파괴(micro chipping) 현상이 연속적으로 발생하기 때문이라고 생각된다.

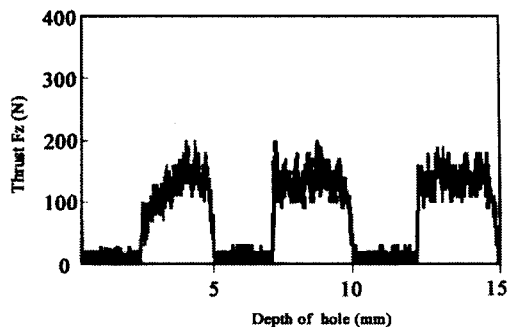


Fig. 4 Relation between hole depth and thrust on step feed for and GFRP, $V=62.8\text{m/min}$, $f=0.1\text{mm/rev}$

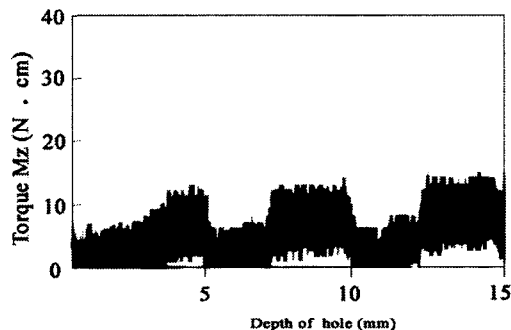
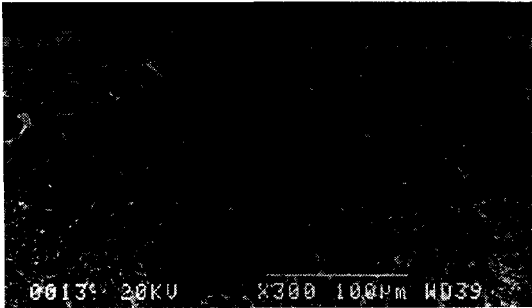


Fig. 5 Relation between hole depth and torque on step feed for and GFRP, $V=62.8\text{m/min}$, $f=0.1\text{mm/rev}$

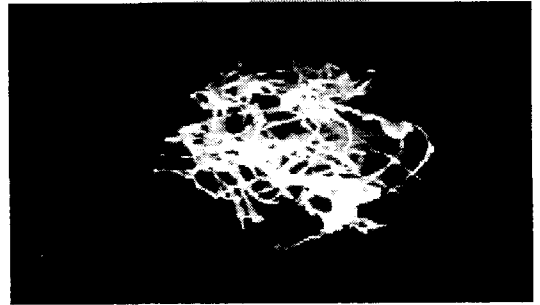
3.3 가공물의 입·출구 상태

Fig. 6(a), (b)는 시험편을 $\phi 10\text{mm}$ 의 드릴을 이용하여 절삭속도를 94.2m/min 으로 하여 홈 가공한 후의 입구와 출구의 상태를 주사전자현미경(SEM; Scanning Electron Microscope) 촬영을 통해 나타낸 것이다.

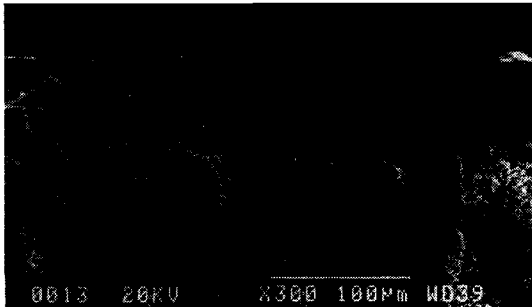
그림에서처럼 홈 가공된 입·출구부에서 내부 표면 박리현상이 일어나고 있으며, 입구부 보다는 출구부에서 내부 표면 박리현상이 더 심하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이것은 출구 쪽으로 갈수록 절삭 시 발생하는 절삭열이 공구에 축적되어 공구마멸을 촉진시키고 이로 인하여 보강재인 섬유와 기지재인 수지를 제대로 절삭하지 못하고 인장시켜 찢기는 현상으로 절삭되기 때문에 발생하는 현상이라 생각된다.



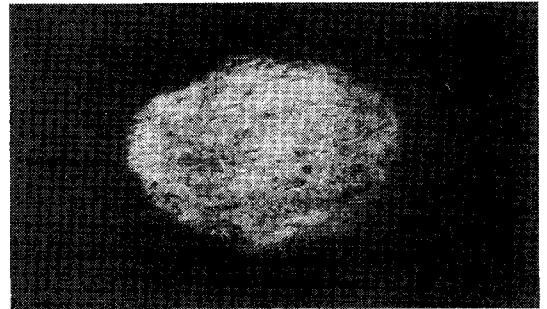
(a) IN



(a) 5th hole



(B) OUT



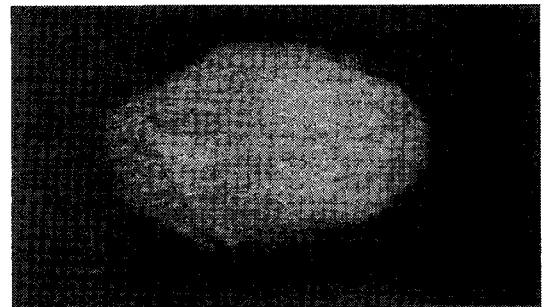
(b) 52th hole

Fig. 6 Groove of GFRP, V=94.2 m/min

3.4 칩의 형상

Fig. 7(a), (b), (c)는 절삭속도를 62.8m/min로 하여 ϕ 10mm의 드릴공구로 각각 5개, 52개, 112개의 홈 가공을 한 후 GFRP에서 발생하는 칩의 형상이다. Fig. 7(a)에서 보는바와 같이 5번째의 홈 가공 시 발생한 칩의 형상은 유동형의 칩인데, 유동형의 칩이 발생하는 가장 큰 이유는 플라스틱 성질의 수지가 다량 함유되어 있기 때문이다.

드릴에 의한 홈 가공을 52개째 했을 때 칩의 형상은 Fig. 7(b)처럼 칩의 길이가 상당히 짧아졌으며 배출된 칩의 50% 정도가 분진가루처럼 생성되기 시작하여, 112개째 가공 했을 때 칩의 형상은 Fig. 7(c)와 같이 완전한 분진가루로 변하는데 이 현상은 공구의 주 절연부인 플랭크 부분 선단면의 상당한 마멸로 인하여 절삭성이 저하되어 피삭재의 절삭을 제대로 하지 못하기 시작하여 가공 시 피삭재의 기지재인 에폭시 수지와 보강재인 탄소섬유에 의해 발생하는 열이 공구에 축적되어 공구의 온도가 극도로 상승하여 공구의 수명을 거



(c) 112th hole

Fig. 7 Chip schematics of GFRP, V=62.8m/min

의 잃어버렸기 때문이라 생각된다.

3.5 표면 거칠기

GFRP 시험편을 고속도강의 드릴로 절삭속도를 각각 31.4m/min, 62.8m/min, 94.2m/min, 이송속도를 0.1mm/rev로 하여 홈 가공을 한 후 표면 거칠기 값과 표면형상을 Fig. 8과 Fig. 9에 각각 나

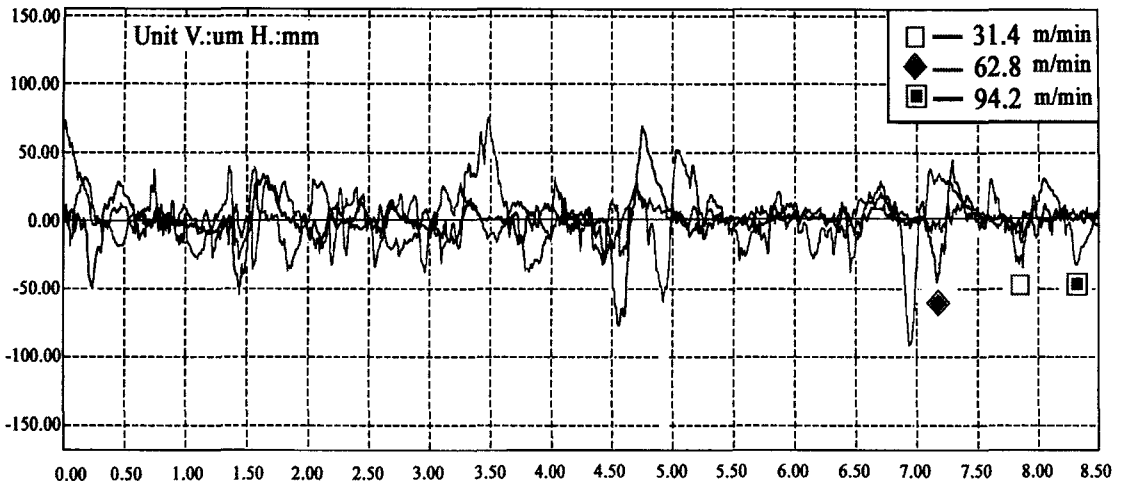
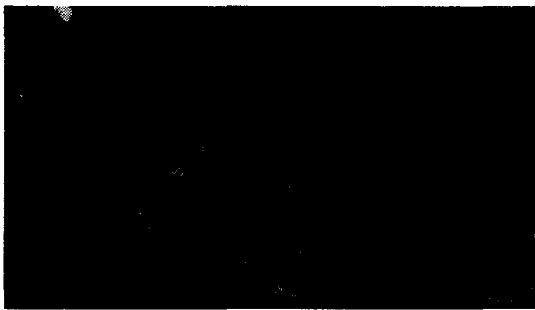


Fig. 8 Surface roughness with respect to cutting length at cutting speed of GFRP



(a) V=31.4m/min



(b) V=62.8m/min



(c) V=94.2m/min

Fig. 9 Scanning Electron Microscopes of GFRP

타내었다.

표면 거칠기(Ra) 값은 각각 7.37 μ m, 8.87 μ m, 14.65 μ m을 나타냈으며, 그림에서 보는바와 같이 표면은 불안정한 모습을 보이고 있으며 절삭속도가 증가할수록 표면상태가 더 나쁘게 나타나고 있는데, 이것은 절삭가공 중 수지가 드릴 절삭 날 부분에 용착하는 현상이 일어나 가공이 제대로 이루어지지 않고 피삭재의 기지재로 사용된 열경화성 수지가 다량 함유되어 있어 절삭속도의 증가에 따라 열의 발생량이 공구와 피삭재의 표면에 악영향을 주기 때문이라 생각된다.

4. 결론

GFRP 시험편을 고속도강의 드릴로 일반이송절삭과 단계 이송절삭을 통한 홈 가공을 하면서 이에 따른 절삭력, 가공부위의 기지조직 변화, 칩의 형태, 표면 거칠기 등을 실험적 고찰을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 스러스트와 토오크는 GFRP에서 110N, 12N·cm의 값을 나타내었으며, 홈 가공 길이 2.5mm지점부터 13mm부근까지 거의 일정한 스러스트와 토오크 값을 가지면서 변화한다.

2) 단계이송절삭이 일반 이송절삭에 비해 스러스트는 80N정도 증가하고 토오크는 4N·cm정도 감소하였다.

3) 홈 가공한 입구 쪽의 형상은 대체로 양호하나 출구 쪽에서는 심한 내부 표면 박리현상이 일어난다.

4) 처음엔 유동형의 칩이 생성되나 홈 가공을 112개째 했을 때의 칩은 공구의 심한 마멸로 인하여 분진가루처럼 변한다.

5) 절삭속도가 증가할수록 표면 거칠기는 나쁘게 나타나며, 표면 거칠기(Ra)의 값은 절삭속도가 31.4m/min, 62.8m/min, 94.2m/min에서 각각 7.37 μ m, 8.87 μ m, 14.65 μ m 로 나타났다.

후 기

이 논문은 2003년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었습니다.

참고문헌

1. 문창권, “ 고분자 복합재료 ”, 시그마프레스, 2000.
2. Bang, K. G., Kim, H. S., Lee, D. G. and Jeon, H. S., “Development of Guide Roller Using Electroplated Carbon Fiber Composite for Thin Polymer Film Processing,” Composite Structures, Vol.38, pp.321-328, 1997.
3. Namgung, S., Kim, H. C. and Lee, W. Y., “A Study on Effects of the Fiber Orientation and Point Angle on Drilling Characteristics of Carbon fiber Epoxy Composite Materials,” Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol.14, April, pp.119-125, 1997.
4. Ho-Cheng, H., Dharan, C. K. H., “Delamination During Drilling in Composite Laminates, Transactions of the ASME, PP.236-239, 1990.
5. Kim, D. H., Kim, W. S. and Kim, K. W., “A Study on the Machining Properties of CU175NS Composite Laminates,” Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers, Vol.10, No.1, pp.88-93, 2001.
6. Nig, W. K., Wulf, Ch., Graß , P. and H. Willerscheid, “Machining of Fiber Reinforced Plastic,” Annals of the CIRP, Vol.38, No.1, pp.119-124, 1989.
7. Wang, D. H., Nakayama, K. and Arai, M., “Improvement of Surface Finish in the Cutting of GFRPC,” Proceedings of the First International Conference on New Manufacturing Technology, pp.33-38, 1990.
8. Sakuma, K., Seto, M., “Tool Wear in Cutting Glass Fiber Reinforced Plastics,” The Relationship between Fiber Orientation and Tool Wear, Bulletin of JSME, Vol.26, No.218, pp.1420-1427, 1983.