

GC 연삭숫돌을 이용한 탄소섬유 에폭시 복합재료의 평면 연삭특성에 관한 연구

한흥삼*, 윤혁중**, 이동주***

A Study on the Plain Grinding Characteristics of Carbon Fiber Epoxy Composite with the GC Grinding Wheel

Heung-Sam Han*, Hyuck-Joong Youn**, Dong-Ju Lee***

Abstract

Since carbon fiber epoxy composite materials have excellent properties for structures due to their high specific strength, high specific modulus, high damping and low thermal expansion, the hollow shafts made of carbon fiber epoxy composites have been widely used for power transmission shafts for motor vehicles, spindles of machine tools, motor base, bearing mount for tool up and manufacturing.

The molded composite machine elements are not usually accurate enough for mechanical machine elements, which require turning, drilling, cutting and grinding. The experiment are surface grinding of the grinding wheel GC60 to the carbon fiber epoxy composite specimen with respect to stacking angle $[0]_{nT}$, $[45]_{nT}$, $[90]_{nT}$ on the CNC grinding machine.

In this paper, the surface grinding characteristics of composite plate, which are surveyed experimentally and analytically with respect to the grinding force, surface roughness and wheel loading according to the variable depth of cut, wheel velocity and table feed rate are investigated.

Key Words : Cutting length (칩의 길이), Loading (눈매움), Cutting path of length (연삭숫돌의 이송길이), Stacking sequence (적층각), Cure cycle (경화곡선), Depth of cut (절입깊이)

1. 서론

섬유강화 고분자 복합재료(fiber reinforced polymer composite)는 금속재료에 비해 높은 비강성(E/ρ), 비강도(S/ρ), 고감쇠능 및 열적치수 안정성으로 항공기 구조재료, 우주개발 신소재 및 자동차 경량화 분야로부터 일반스프

츠, 레저(leisure)산업까지 폭넓게 사용되고 있다. 특히, 탄소섬유 에폭시 복합재(carbon fiber epoxy composite)의 경우 높은 비강성 및 낮은 회전 관성모멘트로 항공기, 선박, 자동차, 공작기계 등과 같은 구조재료 사용될 경우 에너지 절감효과 및 경량화로인한 이동시 부대비용 절감효과를 기대할 수 있다.^(1,2)

* 한국과학기술원 기계공학과
** 대전기능대학 금형공학과
*** 충남대학교 기계공학과

일반적으로 탄소섬유 에폭시 복합재료를 구조물 또는 기계부품의 소재로 적용하고자 할 경우 정형가공(net shape manufacturing)을 하는 것이 가장 이상적이나 정밀 기계부품의 경우 사용목적에 따라 절단, 드릴링, 절삭 및 연삭가공 등의 후가공이 요구된다. 특히 장섬유 복합재료(long fiber composite material)는 섬유각도와 공구이송방향간의 각도차이에 따라 가공성능의 차이를 보이며 눈매움(loading) 및 날 결손 정도가 금속을 가공할 때와는 다르므로 기존의 금속재료와는 다른 가공조건이 적용되어야한다.⁽⁵⁾ 연삭시스템의 가공 과정 중에 발생하는 이상 상태로는 체터, 버어닝, 크랙, 가공물의 재질 또는 형상의 변화 등이 있다. 이러한 현상은 연삭회수가 거듭되면서 슛들의 눈매움이나 마멸에 의하여 발생하게 된다. 연삭스�들의 눈매움은 피삭재 표면에 문지름 현상을 유발하여 표면의 열적변화 및 표면정밀도 저하를 가져온다.⁽⁶⁾

Domfeld는 연삭가공시 AE(acoustic emission) 신호의 FFT분석을 통하여 AE신호가 눈매움량과 관련 있음을 이용하여 그 양을 추정하는 연구를 하였고⁽⁶⁾, Wang은 유리섬유 에폭시 복합재료의 일방향(unidirectional) 및 다방향 적층구조에 대한 다이아몬드 공구의 가공 조건을 전자 주사현미경(scanning electron microscope) 및 표면조도기로 측정하여 비교하였으며 시편의 가공각도와 공구의 경사각(rake angle) 및 여유각(relief angle)의 변화에 따른 복합재료 가공면의 상태와 다이아몬드 공구의 마멸특성을 연구하였다.⁽⁷⁾ Park은 탄소섬유 에폭시 복합재료를 전해 드레싱(electrolytic in-process dressing) 방법과 금속 결합 초 미립 다이아몬드 슛들을 이용하여 경민 연삭가공을 하였으며 섬유각도가 직각을 이루는 방향으로 가공하였을 경우 우수한 표면조도를 얻었다.⁽⁸⁾ 이와 같이 일반금속이나 단삭재에 대한 효과적인 절, 연삭가공에 대하여 가공특성 및 기구 등에 관한 연구와 다이아몬드 연삭휠을 이용한 탄소섬유 에폭시 복합재료의 경면 및 초정밀 연삭에 관한 연구가 진행되었으나, 본 연구에서는 일반정밀도를 요구하는 구조물인 경우 다이아몬드 슛들에 비하여 가격이 싸고 연삭성능을 부가할 수 있는 GC계의 비트리파이드(vitrified) 연삭스�들을 사용하여 연삭특성에 관한 실험적 연구를 수행하였다. 따라서 연삭가공면의 눈매움을 조사하고 섬유각도에 따른 평면연삭시 절삭력 및 표면정밀도와 연삭 가공조건 변경에 따른 절삭력 및 표면조도를 측정하여 연삭특성을 규명코자 하였다.

2. 실험

2.1 시편 제작

탄소섬유 에폭시 복합재료의 평면연삭을 위한 시편의 재질은 비강성 및 비강도가 높으며 동적 특성이 우수하여 기계구조물에 많이 적용되는 일방향 탄소섬유 에폭시 복합재료인 (주)SK Chemicals의 USN125BX 제품을 사용하였다. Table 1은 실험에 사용한 일방향 탄소섬유 에폭시 복합재료의 물성을 나타낸다.

Fig. 1은 시편의 치수 및 형상을 나타낸 것으로 공구동력계에 설치할 수 있도록 길이 100 mm, 폭 20 mm, 두께 8 mm로 결정하였다. 가공시편의 적층각은 연삭방향을 기준 하여 $[0]_{nT}$, $[45]_{nT}$, $[90]_{nT}$ 로 하였다. 적층각 $[0]_{nT}$ 의 시편은 연삭방향과 섬유각도가 평행하며 적층각이 $[45]_{nT}$ 인 시편은 연삭방향과 섬유각도가 45° 이고 적층각이 $[90]_{nT}$ 인 시편은 연삭방향과 섬유각도가 수직이다.

Table 1 Properties of the unidirectional carbon fiber epoxy composite material(USN125BX, SK Chemicals, Korea)

Tensile Modulus (GPa)	131.6
Transverse Modulus (GPa)	8.2
Shear Modulus (GPa)	6.1
Poisson's Ratio	0.3
Tensile Strength (GPa)	1.8
Transverse Strength (MPa)	50
Shear Strength (MPa)	88
Fiber Volume Fraction (%)	60
Density (kg/m ³)	1600

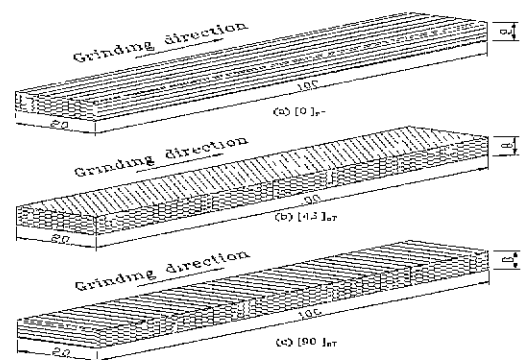


Fig. 1 Dimension of the composite specimen with stacking sequence of $[\theta]_{nT}$

시편의 섬유각도와 치수에 알맞게 프리프레그 (prepreg) 를 적층한 후, 시편을 진공백에 넣어 오토크레이브 진공성형법 (autoclave vacuum bag molding)을 적용하여 제작하였다. 복합재료의 경화시 적용되는 하중은 진공에 의한 압력과 6기압의 외부 압력이며 경화온도는 상온에서부터 120℃까지 상승한 후 일정시간 유지하여 냉각시킨다.

본 연구에서는 미소한 절삭력을 정밀하게 측정하기 위하여 가능한 얇은 탄소강 시편 마운트 (mount)를 사용하였으며, 재질은 SM45C, 크기는 110 mm × 90 mm × 3 mm로 제작하였다. 시편을 연삭하기 전에 시편을 마운트에 점착제로 부착하고 마운트를 공구동력계 위에 M8 볼트 4개로 고정하였다.

2.2 실험장치 및 방법

연삭기는 스펀들 모터동력이 1.5 kw의 에어스핀들 (air spindle)이 장착된 CNC 평면연삭기를 이용하였고, 공구동력계는 Kistler Co. 9257B 및 앰프 (amplifier) 5019 타입을 사용하였다. CNC 연삭기는 X,Y축은 1 μm, Z축은 0.1 μm의 분해능을 가진 3축을 동시에 제어할 수 있는 제어가 장치되어있다. 한편 전식으로 연삭하기 위하여 에어 흡입펌프를 설치하고 흡입호수는 연삭수들을 설치한 스펀들의 헤드 하단부위에 부착하여 칩이 발생할 때 즉시 흡입하여 칩타를 거쳐 외부로 배출되도록 하였다.

탄소섬유 에폭시 복합재료 평면 연삭특성 및 최적의 가공조건을 파악하기 위하여는 변수로 작용하는 여러 가지 연삭조건들에 의한 변수로 연삭수들의 입도, 시편의 재질 및 섬유각도, 절입깊이, 절삭속도, 이송속도 등이 있다. 본 연구에서는 연삭수들의 눈매움을 SEM 사진으로 확인하고, 섬유각도에 대한 연삭의 영향이 다르기 때문에 시편의 섬유각도가 $[0]_{nr}$, $[45]_{nr}$, $[90]_{nr}$ 의 3가지 시편을 동일 연삭 조건으로 GC60수들로 실험하여 고찰하고 적층각이 $[0]_{nr}$ 와 $[90]_{nr}$ 의 시편으로 절입깊이, 절삭속도, 이송속도를 변경하며 실험한 결과의 특성을 고찰하였다.

시편의 설치 방법으로는 Fig. 2와 같이 절삭력 측정 시스템을 구성하였다. 절삭력 및 표면정밀도 측정은 연삭조건에 따른 연삭시 측정되는 절삭력 값과 표면정밀도를 비교하기 위하여 1가지 연삭조건이 끝난 후에 표면조도기 SJ-201 Mitutoyo Co.로 연삭된 표면을 10번씩 측정하여 결과의 평균을 그래프로 나타내었다. 시편은 가공할 부위를 예비 연삭하여 가공면의 평면을 정밀하게 연삭한 후 실험에 들어갔으며 연삭조건에 의한 각 연삭에 앞서 20 μm씩 10번 드레싱을 실시하였다.

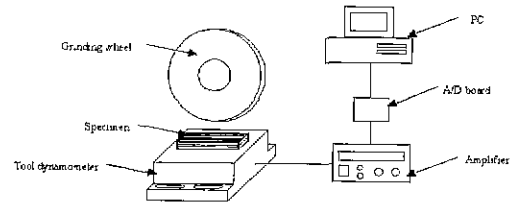


Fig. 2 Grinding force measurement system

2.5 실험 및 고찰

2.5.1 섬유각도에 따른 연삭특성

탄소섬유 에폭시 복합재료의 섬유각도에 따른 연삭특성을 파악하기 위하여 시편의 섬유각도 $[0]_{nr}$, $[45]_{nr}$, $[90]_{nr}$ 에 대하여 다음과 같은 연삭조건을 적용하고 연삭수들은 GC60을 사용하였다. 절입깊이 10 μm, 절삭속도 1800 m/min, 이송속도 4 m/min, 인 시편을 연삭하기 전에 드레싱을 실시하고 60회 연삭한 후에 측정된 연삭력 및 표면조도를 측정하였다.

Fig. 3은 연삭방향과 섬유각도에 따라 절삭력이 변하는 것을 보이고 있다. 연삭방향과 같은 섬유각도가 $[0]_{nr}$ 인 시편이 가장 작은 절삭력을 보이고 $[90]_{nr}$ 로 갈수록 절삭력이 커지는 것을 볼 수 있다. 이는 연삭에서 칩이 기공을 매우면서 연삭되는 것보다 수들입자로 부터 섬유가 연삭될때 파손되는 데에 소요되는 연삭동력이 많이 요구되는 것에 기인하는 것으로 사료된다. 복합재료의 섬유 직경은 약 7 μm으로 연삭시 섬유가 연삭 되다가 일부 파손되면서 작은 토막을 이루는 칩으로 되기 때문에 일반 탄소강의 연삭과는 다른 양상을 보인다.

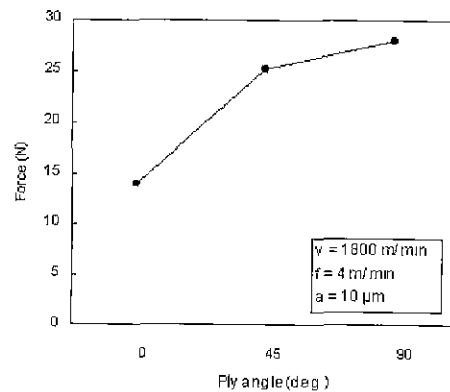


Fig. 3 Grinding force of specimen with ply angle $[0]_{nr}$, $[45]_{nr}$, $[90]_{nr}$

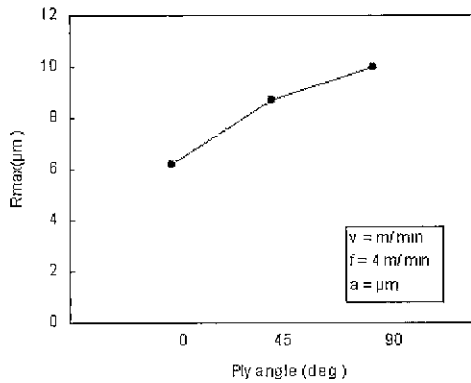


Fig. 4 Surface roughness after grinding of specimen with ply angle $[0]_{HT}$, $[45]_{HT}$, $[90]_{HT}$

Fig. 4는 서로 다른 섬유각도의 시편연삭에서 연삭방향으로 표면조도를 측정한 그림이다. 절삭력에서와 같이 연삭방향과 일치하는 $[0]_{HT}$ 시편의 연삭방향으로 측정된 경우가 양호한 표면조도를 보인다. 섬유각도가 $[90]_{HT}$ 시편으로 갈수록 양호하지 않은 것을 보이고 있는데 이는 연삭력의 증가와 함께 표면조도가 거칠어지는 것으로 사료된다.

2.5.2 절삭속도에 따른 연삭특성

연삭에서의 연삭력은 슷들의 회전속도와 많은 관련이 있다. 공구 동력계로 연삭력을 측정할 때 슷들의 원주에 대한 접선방향의 분력(P1), 수직방향의 분력(P2), 이송방향의 분력(P3)의 3개 분력으로 표시한다. 이 3분력 중에서 주로 수직방향의 분력(P2)의 크기로 연삭력을 나타낸다. 조사한 자료들에 의하면 연삭력은 슷들 주 속도가 증가하면 감소하다가 일정하게 되는 것으로 되어있다. Fig. 5는 담금질한 강 of 평면연삭시, 주속도의 증가에 따른 연삭력의 감소를 나타낸다.¹⁵⁻¹⁶⁾

Fig. 6은 탄소섬유 에폭시 복합재료의 슷들 주 속도에 따른 연삭특성을 파악하기 위하여 GC60의 연삭스틀을 사용하여 슷들 주 속도 900, 1200, 1800 m/min에 대하여 절입깊이 10 μm으로 하고, 이송속도 4 m/min로 하여, 시편의 섬유방향과 연삭방향이 일치하는 $[0]_{HT}$ 시편과 시편의 섬유각도가 연삭방향과 수직인 $[90]_{HT}$ 시편으로 60회 연삭하였다. $[0]_{HT}$ 시편과 $[90]_{HT}$ 시편에 대하여 슷들 주 속도를 변경하여 연삭할 때 연삭력의 변화는 섬유각도가 연삭방향과 같은 $[0]_{HT}$ 시편이 섬유각도가 연삭방향에 대하여 $[90]_{HT}$ 인 시편을 연삭하는 경우보다 작은 연삭력을 보이고 있다. 또한 슷들 주 속도가 빠를수록 연삭력이 감소하는 것을 보인다

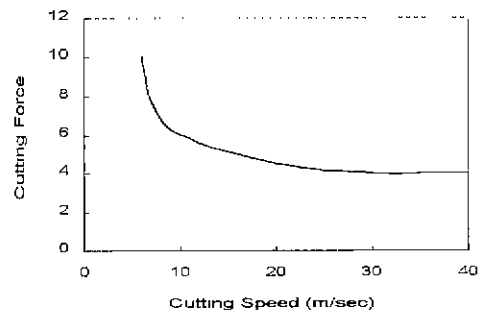


Fig. 5 Grinding force of the hardened steel with respect to the cutting speed

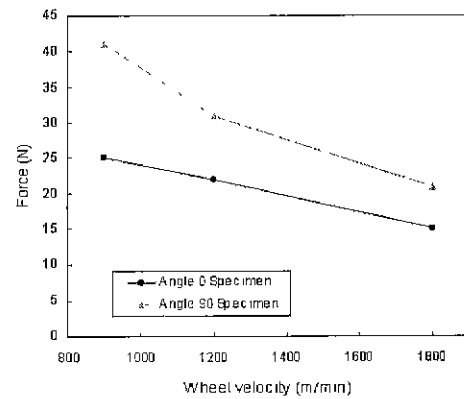


Fig. 6 Grinding force of specimen with the ply angle according to the cutting speed

다. 이는 연삭방향에 대하여 섬유 각이 $[0]_{HT}$ 인 시편 연삭의 경우 섬유가 부서짐이 적어 비교적 안정적이며 섬유 각이 $[90]_{HT}$ 인 경우는 섬유가 연삭되면서 부분적으로 부서져 칩이 기공에 더 눈매음 작용을 하여 연삭력을 증가시키고 이에 따라 표면조도를 거칠게 하였다. 일반 철의 경우는 슷들 주 속도가 증가하면 칩의 최대 물림깊이가 감소하여 연삭력이 감소하는 것으로 되어 있으나 복합재료의 경우는 섬유의 방향에 대한 영향이 큰 것으로 생각된다.

Fig. 7은 $[0]_{HT}$ 시편의 절삭속도 변경에 따른 연삭의 표면조도를 연삭방향의 수직인 방향으로 표면조도를 측정하여 나타낸 그림이다. 슷들 주 속도가 증가하면 표면조도가 양호해진다. 연삭방향으로 측정하였을 경우가 수직으로 측정하였을 때보다 양호함을 보인다. 섬유각도가 연삭방향의 $[90]_{HT}$ 인 시편을 슷들 주 속도 변경에 따른 연삭결과로 연삭방향의 표면조도와 연삭방향의 수직인 방향으로 표면

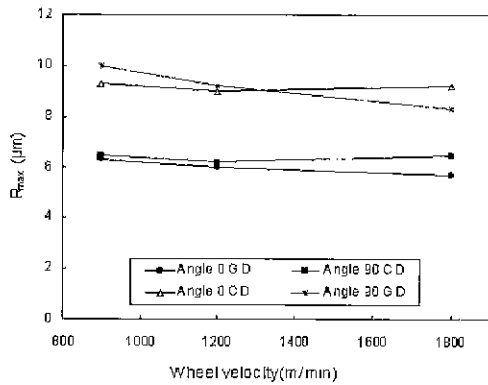


Fig. 7 Surface roughnes of specimen with ply angle according to the cutting speed

조도를 측정하였으며 슷들 주 속도 증가에 따라 연삭방향으로 측정된 표면조도가 연삭방향에 대하여 수직으로 측정된 표면조도보다 전체적으로 양호하지 않으며 이는 위에서 고찰한바와 같이 복합재료의 섬유방향에 대한 연삭성과 연삭 조건의 영향으로 나타나는 것으로 보인다.

2.5.3 이송속도에 따른 연삭특성

Fig. 8, Fig. 9는 탄소섬유 에폭시 복합재료의 이송속도를 2, 4, 7 m/min로 변경하고 슷들 주 속도 1800 m/min, 절입깊이 10 μm로하여 시편의 섬유각도를 [0]_{HT}와 [90]_{HT}로 하여 시편을 60회 연삭하였다.

Fig. 8은 이송속도의 증가에 따른 연삭력을 나타낸다. 섬유각도가 연삭방향과 일치하는[0]_{HT} 시편이 수직방향의 [90]_{HT} 시편의 경우보다 작은 연삭력을 나타내고 있다. 이송속도가 빠를수록 연삭력이 증가하는 상태를 보이는데, 이는 식 (1)에서 테이블 이송속도가 증가하는 것은 슷들 주 속도에 비하여 작은 것이지만 칩 두께를 두껍게 할 수 있어 연삭력의 증가를 가져오는 것으로 보인다. 그러나 테이블의 이송속도는 슷들의 주 속도에 비하여 너무 작아 그 영향은 미소하였다.

Fig. 9는 섬유각도가 연삭방향과 일치하는 [0]_{HT} 시편을 연삭하여 연삭방향으로 표면조도를 측정하고, 연삭방향의 수직방향으로 표면조도를 측정된 결과를 나타낸 그림이다. 연삭방향으로 측정된 표면조도는 수직방향으로 측정된 표면조도 보다 이송속도가 증가함에 따라 양호한 표면조도를 보인다. 수직방향으로 측정된 표면조도는 이송속도의 영향을 거의 받지 않는 양상을 보인다. 평면연삭에서 슷들

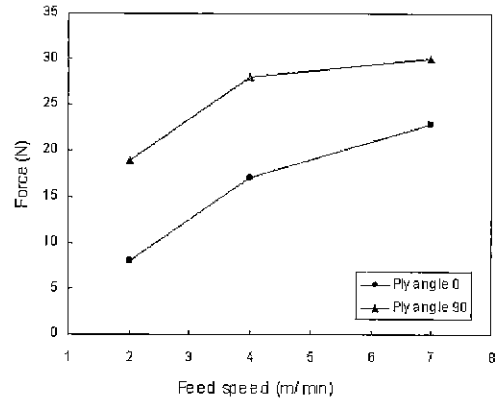


Fig. 8 Grinding force of specimen with ply angle according to the table feed speed

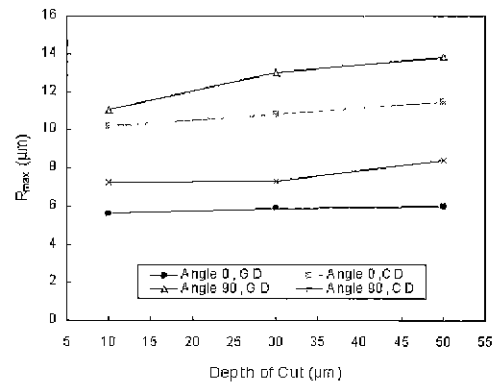


Fig. 9 Surface roughness of specimen with ply angle according to the table feed speed

주 속도에 비하여 이송속도가 너무 작기 때문에 표면조도에 큰 영향을 주지는 못하는 것으로 보인다. 연삭방향과 섬유각도가 수직인 [90]_{HT}시편을 연삭하여 연삭방향으로 측정된 표면조도와 연삭방향의 수직으로 측정된 표면조도 값의 경우는 연삭방향으로 측정된 표면조도는 수직방향으로 측정된 표면조도보다 다소 거칠게 나타나며 이송속도 증가에 따라 다소 양호해진다. 수직방향으로 측정된 표면조도는 이송속도 증가에 대하여 거의 변화가 없다.

2.5.4 절입깊이에 따른 연삭특성

연삭에서 절입깊이는 기하학적으로 연삭스�들의 물림깊이가 커지면서 칩을 생성할 때 크기에 영향을 미치게된

다. 이 칩은 슷들의 공극에 눈매움에 영향을 미치게되는데 일반 금속재료인 경우 높은 제거율을 가진 연한재료에서 특히 문제가 된다. 칩의 제거율이 기공의 칩 저장능력을 초과 할 때 기공이 메워져 피삭제의 표면에 연삭 압력이 증가하고 열이 발생한다. 이것은 전체적인 입자의 제거 또는 칩이 만들어지지 않는 요인으로 작용하게 된다. 이때 연삭칩의 크기에 따라 기공에 저장되는 비율이 다르게 되며 입자기공의 눈매움이 진행됨에 따라 연삭력의 변화와 표면정밀도에 영향을 미치게된다.

절입깊이와 관련하여 연삭이 진행되면서 이송될 때 칩의 최대 물림깊이가 변하게되는데 이 칩의 최대물림깊이는 식 (1)로 나타낼 수 있다. 여기서 g 는 칩의 최대물림깊이 (두께), α 는 연삭스틀의 절입깊이, D 는 슷들의 직경, L 은 연속 절삭점 사이의 입자간격, v_s 는 슷돌 주 속도, v_w 는 테이블 이송속도이다.

$$g = 2L \left(\frac{v_w}{v_s} \right) \left(\frac{\alpha}{D} \right)^{1/2} \quad (1)$$

연삭조건에 의한 눈매움 현상문제를 해결하기 위해서 절입깊이를 작게 하고, 슷돌 주 속도를 증가시키는 것이 효과적이며, 냉각수를 사용하여 칩과 입자의 접착력을 감소시키고, 슷돌 선정시 기공이 큰 것이나 거친 것을 사용하면 좋다. 고압의 공기를 노즐을 통하여 슷돌에 불어주어 슷돌의 표면을 항상 깨끗이 하는 것도 효과적이며 일정 연삭회수 마다 드레싱을 하여 주는 것이 좋다.⁽⁶⁾

Fig. 10은 비트립라이드 (vitrified) 연삭스틀 GC60k 7V를 가지고, 절입깊이 10 μm , 절삭속도 1800 m/min, 이송속도 4 m/min로 60회 연삭후 연삭스틀을 배율이 200 배로 하여 SEM으로 찍은 사진이다 입자와 본드사이 공극

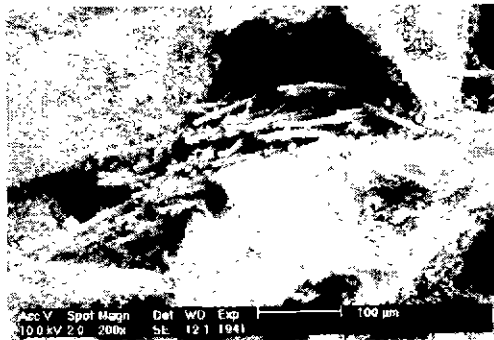


Fig. 10 Loading of the grinding wheel

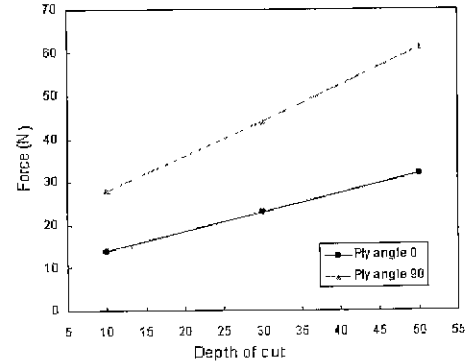


Fig. 11 Grinding force of specimen with ply angle according to the depth of cut

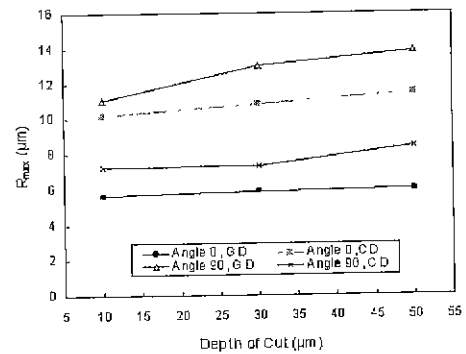


Fig. 12 Surface roughness of specimen with ply angle according to the depth of cut

에 솔처럼 채워져 있는 것이 탄소섬유 에폭시 복합재료의 섬유가 연삭되면서 부서진 칩들이 기공을 메우고있다. 일반 강에서처럼 칩이 연삭날을 대신하여 피삭재를 연삭하는 능력이 없어 보이나, 복합재료의 칩이 연삭스틀에 채워져 연삭스틀의 접촉면에 마멸현상을 일으켜 연삭동력의 증가를 가져올 수 있고 표면정밀도에 영향을 미치며 연삭일의 상승요인이 될 수 있음을 예측할 수 있다.

Fig. 11, Fig. 12는 절입깊이 α (10, 30, 50) μm 를 변수로 하여 절삭속도 v_s 를 1800 m/min, 이송속도 v_w 를 4 m/min의 조건으로 60회 연삭한 후 연삭력 및 표면조도를 측정된 결과이다. Fig. 11은 연삭방향과 섬유각도가 일치하는 $[0]_{NT}$ 시편과 연삭방향에 대하여 수직인 $[90]_{NT}$ 시편의 연삭시 절입깊이의 변경에 따른 연삭력을 나타낸 그림이다. 절입깊이의 증가에 따라 입자의 기공을 더 빨리 메

우게 되고 마멸 및 칩이 부서져 연삭력이 증가되는 것으로 생각되며 섬유각도가 연삭방향에 일치할 때 보다 수직인 경우에 연삭력이 큰 것으로 보인다.

Fig.12는 연삭방향이 섬유방향과 일치하는 $[0]_{nr}$ 시편에서 연삭방향의 표면조도와 수직방향의 표면조도 측정치를 나타낸다. 연삭방향으로 측정된 표면조도가 수직방향으로 측정된 결과 보다 양호하며, 절입깊이가 커질수록 표면조도가 양호하지 않다. 연삭방향과 섬유방향이 수직인 $[90]_{nr}$ 시편을 연삭하여 표면조도를 연삭방향으로 측정하고, 연삭방향에 대하여 수직방향으로 측정된 결과를 보면 연삭방향에 대하여 수직인 시편에서 연삭방향으로 측정된 표면조도 보다 연삭방향에 수직으로 측정된 표면조도가 양호한 것을 보인다. 이는 섬유가 연삭될 때 연삭깊이를 $10 \mu\text{m}$ 으로 연삭 하였으므로 섬유의 직경이 $7 \mu\text{m}$ 인 것을 감안하면 연삭시 섬유가 인성이 없어 부서진다. 이때 $[0]_{nr}$ 시편인 경우 보다 $[90]_{nr}$ 시편인 경우가 더 부서질 수 있어 연삭력이 증가되고 표면조도를 거칠게 하였다.

3. 결 론

탄소섬유 에폭시 복합재료 평면연삭에서 섬유각도와 연삭조건에 따른 연삭특성에 관한실험과 시편의 섬유각도에 따른 연삭실험을 하여 표면의 정밀도를 비교하였으며, 연삭조건에 따른 연삭력과 표면조도에 관한 실험을 하여 아래와 같은 결론을 얻었다.

- (1) 연삭방향에 대한 섬유각도 $[0]_{nr}$, $[45]_{nr}$, $[90]_{nr}$ 시편 대하여 연삭할 때 연삭력은 섬유의 각도가 $[0]_{nr} < [45]_{nr} < [90]_{nr}$ 의 순으로 증가하였고, 표면조도는 이에 따라 거칠어 졌다.
- (2) 절삭력은 절삭속도 증가에 따라 감소하고 연삭깊이와 이송속도 증가에 따라 증가 하며, 표면조도는 절삭력의 증가에 따라 거칠어진다.
- (3) 연삭시 눈매움 현상은 일반강의 재료와 달리 구성인선의 현상을 이루지는 못하고, 슷들의 기공에 쌓여 마찰 등으로 절삭력과 표면조도에 영향을 준다.

참 고 문 헌

- (1) Reinhart, T.J., Composites, ASTM International, Vol.1, pp. 816~822, 1987.
- (2) Lee, D.G., Kim, K.S. and Kwak, Y.K., Manufacturing of a SCARA Type Direct-Drive Robot with Graphite Epoxy Composite Materials, Robotica, Vol.9, pp. 219~229, 1991.
- (3) Bang, K.G., Choi, J.K., 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.
- (4) Choi, J.K. and Lee, D.G., Manufacturing of a Carbon Fiber-Epoxy Composite Spindle-Bearing System for a Machine Tool, Composite Structures, Vol.37, pp. 241~251, 1997.
- (5) M. Hong, "연삭가공시 연삭숫들의 드레싱 시기검출 방법에 관한 연구", 한국공작기계학회지, Vol.7, No.1, pp. 112~118, 1998.
- (6) Domfeld, D. and Cai, H.G., "An Investigation of Grinding and wheel Loading using Acoustic Emission", Trans. of ASME, vol.106, pp. 28~33, 1984.
- (7) Wang, D.H., A Study on the Machine Surface Morphology of Laminar Composite, KSPE, Vol.12, pp. 130~138, 1995.
- (8) Park, K.Y., Lee, D.G. and Nakagawa, T., Mirror Surface Grinding Characteristics and Mechanism of Carbon Fiber Reinforced Plastics, KSME, Vol.18, pp. 2514~2522, 1994.
- (9) S.MALKIN, B.S., Sc.D. Grinding Technology Theory and Applications of Machining with Abrasives. December, 1988.