

# 고크롬탄화물 하드페이싱 육성용접물의 가공특성과 절삭력 분석

김민호\*, 김태영<sup>+</sup>

(논문접수일 2009. 6. 5, 심사완료일 2009. 9. 10)

## Machining Characteristics and Cutting Force Analysis of Hardfacing Overlay Welding in High Chromium Carbide

Min-Ho Kim\*, Tae-Young Kim<sup>+</sup>

### Abstract

Hard facing overlay welding in high chromium carbide is a representative way of extending the fatigue life or recompensing damage, because workpiece surface is uniformly overlay-welded by alloy material. In general, grinding process is currently used for finish due to hardness of weld material. The development of tool material, such as PCBN, has made it possible to use turning instead of grinding. There are many advantages of hard turning, as lower equipment costs, shorter setup time, fewer process steps, higher material removal rate, better surface integrity and the elimination of cutting fluid. In this paper, machining characteristics and cutting performance are examined to investigate turning possibility of overly welding in high chromium carbide.

**Key Words** : High Chromium Carbide(고크롬탄화물), Hardfacing(하드페이싱), Cutting Resistance(절삭저항), PCBN tool(CBN 입방격자 소결공구), Overlay Welding(육성용접)

## 1. 서론

내마모성, 내식성, 내열성 등을 갖는 합금의 용접재료를 아크열로 모재 표면에 균일하게 용착시키는 육성용접법(overlay welding, weld surfacing or hardfacing)은 재료 표면의 특

정 물성을 향상시킴으로써 재료의 수명을 연장시키거나 손상된 부위를 보수하는 목적으로 널리 이용되고 있다. 크롬탄화물은 가격이 저렴하면서 우수한 내마모 특성을 가지기 때문에 극심한 마모가 발생하는 철광석, 석탄, 시멘트 원료 등의 파쇄물, 소결광 파쇄를 위한 그리즐리바(grizzly bars), 버

\* 전북대학교 기계·자동차산업기술교육혁신사업단

<sup>+</sup> 교신저자, 전북대학교 기계시스템공학부 (kimty@chonbuk.ac.kr)

주소: 561-756 전라북도 전주시 덕진구 덕진동 664-14

킷(buckets) 등에 널리 이용되고 있으며, 특히 저용력 급힘 마모 조건인 각종 파쇄광석들의 이송 공정에서 내마모 부품으로 주로 많이 사용된다<sup>(1-4)</sup>.

육성용접법으로 가공된 제품은 치수 정밀도와 표면거칠기가 좋지 않기 때문에 다듬질 가공을 실시하게 된다. 하지만 내마모성의 향상으로 인한 경도의 증가로 일반적인 선삭이나 밀링 가공이 어려워 연삭가공을 하고 있으나, 연삭가공은 작업 효율이 떨어지고 다양한 형상 가공에 제한이 많다.

경도가 높은 공작물을 연삭가공 대신 CBN이나 PCD 공구를 사용하여 효율이 좋은 선삭으로 가공하는 방법을 하드터닝(Hard turing)이라 하며 이에 관한 많은 연구가 진행되어 왔다<sup>(5-7)</sup>. 하드터닝에 주로 사용되는 소결 CBN공구는 1972년 미국의 GE사에서 개발되어 초기에는 초내열 합금 절삭용 공구로 주로 사용되어 왔으며, 점차 열처리된 고경도강의 절삭용으로 다양하게 쓰이면서 새로운 공구로서 중요한 위치를 차지하게 되었다. CBN은 붕소와 질소의 화합물을 초고압, 고온(2000℃, 7만 기압)으로 소결한 공구로서 다이아몬드 다음의 경도를 지닌다. 다이아몬드 공구는 철계재료의 가공시 탄소의 확산과 흑연화 현상 때문에 적합하지 않다. 그러나 CBN공구는 고경도, 고열전도율, 저열팽창율의 장점을 갖고 있으며 철계재료와 화학반응이 없을 뿐만 아니라 열적 안정성도 매우 뛰어나서 고경도로 열처리된 고탄소강, 금형강, 합금강의 가공에 우수한 성능을 발휘한다<sup>(5,6)</sup>.

이와 같이 고경도강을 가공할 수 있는 CBN 공구를 이용하여 고크롬탄화물의 연삭공정을 선삭공정으로 대체한다면 다음과 같은 장점을 가질 수 있다. 첫째는 비용적인 측면에서 공정의 단축으로 셋업시간을 줄이고 연삭에 비해 소재 제거율을 60%정도 향상시켜 생산성 향상과 생산비용을 절감할 수 있다. 둘째는 복잡한 형상의 부품이라도 CNC프로그램으로 보다 쉽고 유연성 있게 제품을 생산하므로 총형 연삭이 필요 없이 원하는 형상 정밀도를 맞출 수 있다. 셋째는 표면품질(Surface integrity)측면에서도 칩으로 대부분 열을 발산하여 연삭시와 같이 표면이 타는 현상이 없고, 공구 인선이 가하는 소성력에 의해 가공변질층에 잔류응력의 분포가 연삭에 비해 큰 압축응력을 받는 상태로 존재하기 때문에 부품의 피로수명을 향상시킨다<sup>(5-10)</sup>.

따라서 본 연구에서는 경도가 높아 그동안 산업현장에서 연삭가공에만 의존했던 고크롬탄화물 육성용접부의 연삭가공을 선삭가공으로 대체가능 여부를 알아 보았다. 실험은 고크롬탄화물 육성용접부의 선삭가공 가능성을 파악하기 위해 타 재료와의 절삭력 비교, 가공조건에 따른 절삭력의 변화, 공구수명, 표면조도와 같은 가공특성과 절삭성능을 시험하

였으며, 또한 절삭력신호를 이용한 가공이상상태를 알아보기 위한 FFT분석과 Wavelet분석을 실시하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

본 연구에서는 직경 30mm, 길이 300mm의 연강(SS41)의 환봉 모재 위에 Fig. 1과 같은 육성용접장치로 크롬탄화물을 아크 육성용접하여 직경 50mm, 길이 300mm의 선삭 실험을 위한 환봉의 피삭재를 제작하였다.

육성용접된 고크롬탄화물의 경도는 HRc 50~55 이며, 재료의 화학적 성분은 Table 1과 같다.

본 실험에 사용된 PCBN(Polycrystalline Cubic Boron Nitride) 공구는 다이아몬드와 매우 비슷한 구조를 가지고 있으며, 1400~1500℃의 고온과 5~7 GPa의 고압으로 소결하여 합성된다. 일반적으로 CBN 공구는 CBN 함유량에 따라 나누어지는데 CBN 함유량이 90%이상이면 high CBN, 70% 이하이면 low CBN이라 한다. low CBN은 TiC 또는 TiN이 첨가되며, high CBN은 Co가 첨가되는 것이 일반적이다. 본 실험에서는 대구택사에서 생산된 KB90(High CBN)을 사용하였다. 공구형상은 절삭각 -8°, 여유각 8°, 노오즈 반경 0.8mm 인 SNMA 120408 LS이며, 툴홀더는 PSBNR을 사용하였다.

선반에서 선삭가공 중 공구와 시험편 사이에 절삭력을 측

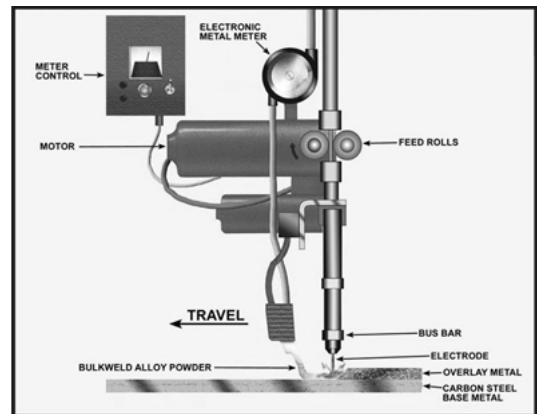


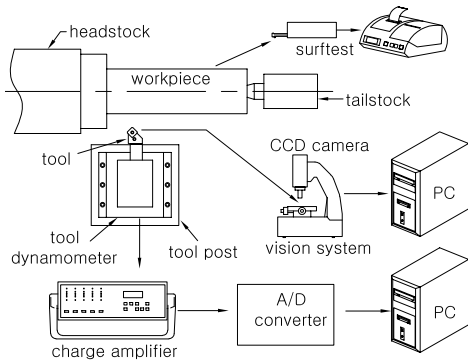
Fig. 1 Overlay welding process for hardfacing

Table 1 Chemical compositions of workpiece

Chemical composition(wt. %)					% Carbide
C	Cr	Si	Mn	Fe	
3.31	18.33	0.69	1.95	Bal.	35.7

**Table 2 Cutting conditions**

Speed(m/min)	40, 72, 100
Feed rate(mm/rev)	0.105, 0.157, 0.209
Cutting Depth(mm)	0.05, 0.1, 0.15
Tool Material	High CBN(KB90)



**Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus**

정하기 위해 공구동력계를 선반의 공구대에 설치하고, 공구동력계 위에 공구를 고정할 수 있는 지그를 제작하여 부착하였다. Table 2와 같은 가공조건들을 설정한 후 각 조건별로 가공 중 공구동력계를 통하여 3방향의 절삭력(Feed force, Thrust force, Cutting force)을 측정하였으며 데이터는 초당 1000개씩 2초간 획득하였다.

절삭에 의해 발생하는 공구동력계의 미소 전하를 증폭하기 위하여 charge amplifier(Kistler, 5017A)를 사용하였고 amplifier에서 증폭된 아날로그 신호는 A/D converter를 통해 얻어진 정량화 된 데이터의 결과로 변환하여 컴퓨터에 저장하여 분석하였다.

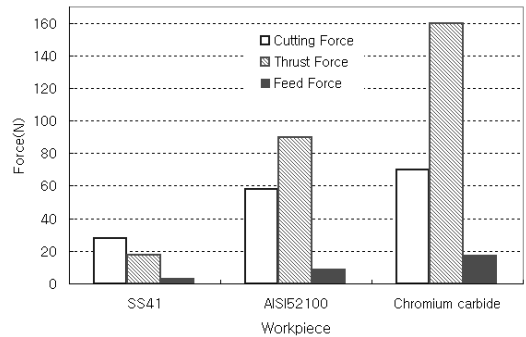
공구마모는 CCD 카메라, 화상입력보드(Data Translation, DT3155), 컴퓨터로 이루어진 시스템을 구성한 후 공구현미경에 비전시스템을 설치하여 마모를 관찰하고 측정하였다. 가공 후 피삭재의 표면조도는 표면조도계(Mitutoyo Surf-test-301)로 측정하였다.

Fig. 2는 실험장치의 개략도이다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1 절삭력

육성용접된 고크롬탄화물을 선삭가공할 때의 절삭력을 다



**Fig. 3 Average cutting resistance for SS41, AISI52100, chromium carbide(feed rate = 0.157mm/rev, cutting depth = 0.1mm, cutting speed = 72m/min)**

른 재질들과 비교하기 위해 연강(SS41)과 베어링 재질로 널리 쓰이는 AISI52100을 육성용접된 고크롬탄화물과 같은 정도(HRC 50~55)로 열처리하여 선삭가공을 하였다. 이송 0.157mm/rev, 절삭깊이 0.1mm, 절삭속도 72mm/min의 동일 절삭조건으로 실험한 결과 각각의 재료에 대한 주분력(Cutting force,  $F_c$ ), 배분력(Thrust force,  $F_t$ ), 이송분력(Feed force,  $F_f$ )은 Fig. 3과 같다.

본 실험에 사용된 공구와 같이 음의 경사각인 공구로 경도가 높은 재질을 가공시에는 배분력이 가장 크게 나타남을 확인 할 수 있고, 같은 경도인 AISI52100 보다 고크롬탄화물의 배분력이 2배정도 크게 나타났다. 이는 고크롬탄화물의 특성인 강한 내마모성으로 인해 동일한 절입깊이에서 다른 재질에 비해 절삭되는 칩의 두께가 작아 그만큼 절삭되지 못하는 부분의 높이가 높아 배분력이 크게 나타나는 것으로 보인다.

Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6은 고크롬탄화물에 대해 각각 절삭속도 40mm/min, 72m/min, 100m/min에서 절삭깊이와 이송율에 따른 절삭력의 변화를 보이고 있다. 배분력과 주분력은 절삭깊이가 커질수록 커지고, 이송율이 커질수록 커지는 것을 볼 수 있다. 하지만 이송율의 변화보다 절삭깊이의 변화에 더 민감하게 절삭력이 변화하고 있다. 또한 이송분력은 절삭깊이가 커질수록 커지나 이송율의 변화와는 무관하게 거의 동일함을 알 수 있다. 절삭속도는 40m/min에서 보다 100m/min에서 절삭깊이의 변화에 더 완만한 절삭력의 변화를 보이고 있고 절삭깊이 0.15mm의 경우는 절삭속도가 커질수록 절삭력이 감소함을 볼 수 있다.

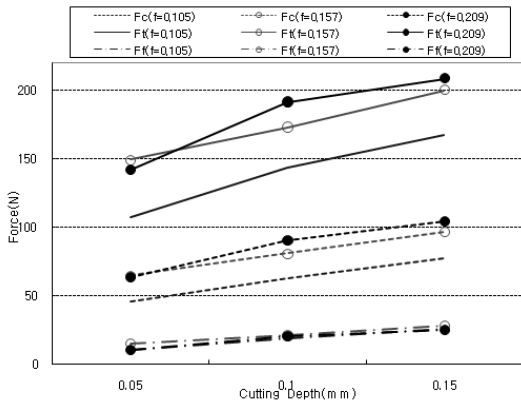


Fig. 4 Average cutting resistance according to cutting depth(cutting speed = 40m/min)

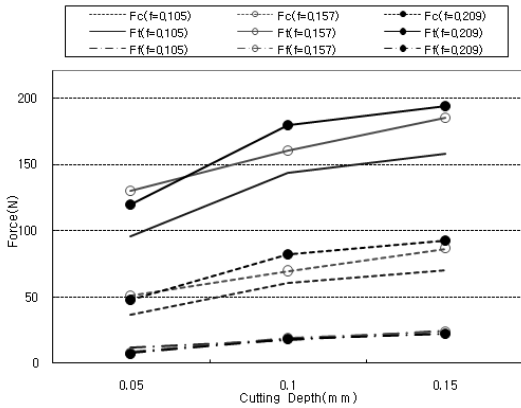


Fig. 5 Average cutting resistance according to cutting depth(cutting speed = 72m/min)

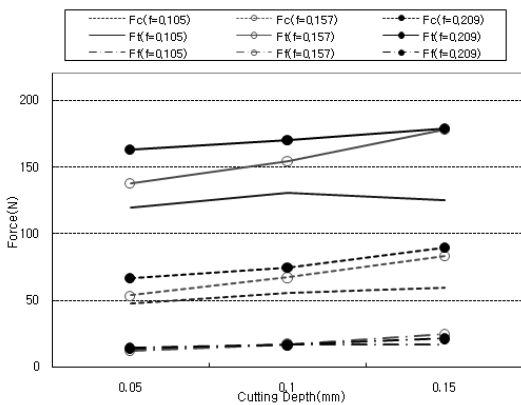


Fig. 6 Average cutting resistance according to cutting depth(cutting speed = 100m/min)

### 3.2 공구마모

육성용접된 고크롬탄화물을 선삭가공했을 때 CBN공구의 공구마모의 진행을 알아 보기 위해 이송 0.209mm/rev, 절삭깊이 0.1mm, 절삭속도 100m/min 조건에서 절삭체적 (절입깊이×이송속도×절삭길이)에 따른 절삭력의 변화를 측정 한 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 절삭체적의 증가에 따라 주분력과 배분력은 증가하나 이송분력의 변화는 미미하며 배분력의 변화가 가장 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 또한 배분력의 경우 그림처럼 절삭체적 2.7cm<sup>3</sup>에서 갑자기 감소하는 형태를 보이는데, 이는 절삭면의 탈락으로 인해 공구 절삭각이 더 커지기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 8은 이와같이 공구의 경사면이 탈락되는 형태를 보여주는 그림이다. 절삭면의 탈락은 경도가 높은 강을 절삭할 때 흔히 나타나는 현상이며, 본 실험에서 공구는 일반적인

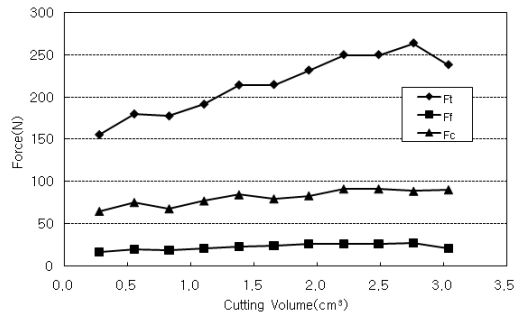


Fig. 7 Average cutting resistance according to cutting volume(feed rate = 0.209mm/rev, cutting depth = 0.1mm, cutting speed = 100m/min)

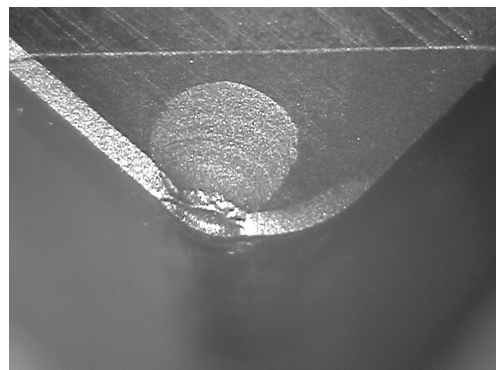


Fig. 8 Tool failure on CBN cutting tool(feed rate = 0.157mm/rev, cutting depth = 0.1mm, cutting speed = 72m/min, Cutting volume = 2.7cm<sup>3</sup>)

플랭크 마모의 진행에 의한 수명한계 보다는 공구파손에 의한 수명한계가 자주 발생하였다.

절삭면만 아니라 공구의 여유면도 파손되는 경우가 있는데, Fig. 9는 공구가 파손되었을 때 여유면의 마모형상을 보여주는 그림으로 마모의 길이는 약 0.2mm이다.

Fig. 10은 Fig. 7의 실험에서 공구마모가 진행됨에 따라 배출되는 절삭 칩의 형태를 보이고 있다. 칩은 전체적으로 전단형 칩 형태로 배출되었으며 마모가 진행됨에 따라 칩의 길이가 길어졌다. 이는 마모에 의해 절삭열이 증가하고 그 절삭열에 의해 칩이 연화되어 길어지는 것으로 보인다. 하지

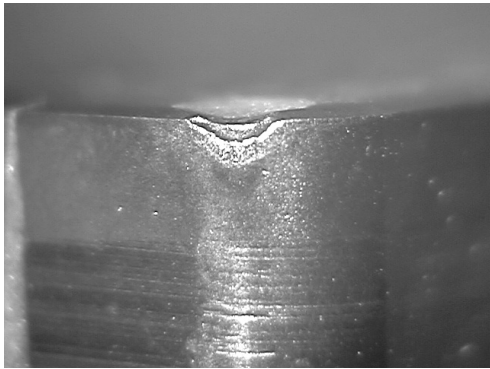


Fig. 9 Flank wear on CBN cutting tool(feed rate = 0.157mm/rev, cutting depth = 0.1mm, cutting speed = 72m/min)

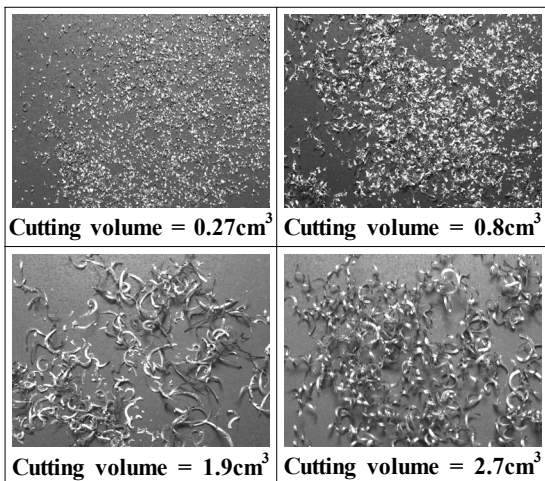


Fig. 10 Chip (feed rate = 0.209mm/rev, cutting depth = 0.1mm, cutting speed= 100m/min)

만 AISI52100과 같이 연속형 칩이 공작물에 영김으로 인한 작업 곤란 형태로는 발전하지 않았다.

### 3.3 표면조도

고크롬탄화물의 연삭가공을 절삭능률이 우수한 선삭가공으로 대체할 경우에도 목표로 하는 표면조도를 가져야 하며, 선삭가공만으로 최종제품의 표면조도를 얻을 수 있는지를 알아보기 위해 표면조도를 측정하였다.

절삭깊이 0.1mm, 절삭속도 100m/min의 조건으로 이송율 0.105, 0.157, 0.209mm/rev일 때 가공된 표면의 표면거칠기값은 Fig. 11과 같다. 그림에서 알 수 있듯이 이송율 0.157mm/rev 이하에서는 연삭가공(1μm Ra)과 비슷한 가공 표면을 얻을 수 있음을 알 수 있으며, 이는 선삭 가공만으로도 연삭가공에서와 같은 표면조도를 얻을 수 있음을 나타내고 있다.

### 3.4 절삭력 분석

CBN공구를 이용한 고크롬탄화물의 선삭시 공구의 이상상태를 알아보기 위해 절삭력신호의 FFT분석과 Wavelet분석을 실시하였다. 절삭력 분석에 사용된 절삭력 데이터는 공구수명을 알기 위해서 실시한 Fig. 7의 실험데이터를 이용하였다. 가공조건은 이송율 0.209mm/rev, 절삭깊이 0.1mm, 회전수 710rpm로 하였다. 선삭가공시 절삭력신호는 1,000Hz로 샘플링하여 측정하였으며 이 데이터로 상용프로그램인 Matlab7.1을 이용하여 FFT와 Wavelet 분석을 실시하였다.

Fig. 12, 13, 14는 공구마모 초기(절삭체적 : 0.28cm<sup>3</sup>)에서 이송분력, 주분력, 배분력 신호를 각각 FFT 분석 한 결과이다. FFT 분석 결과를 보면 회전수 710rpm으로 가공하였기 때문에 이에 해당하는 약 12~13Hz의 배수 주파수 성분

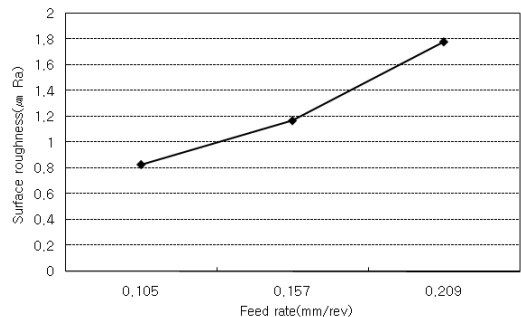


Fig. 11 Surface roughness according to feed rate (cutting depth = 0.1mm, cutting speed = 100m/min)

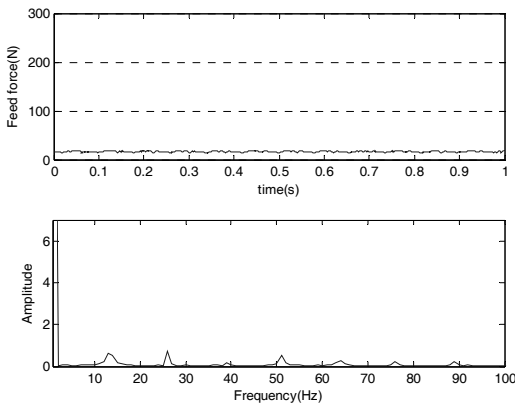


Fig. 12 FFT spectrum of feed force signal(cutting volume =  $0.28\text{cm}^3$ )

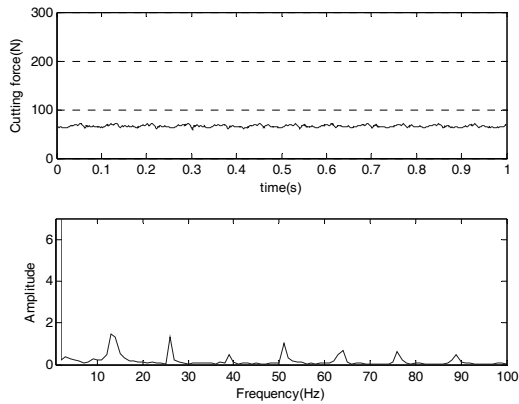


Fig. 13 FFT spectrum of cutting force signal(cutting volume =  $0.28\text{cm}^3$ )

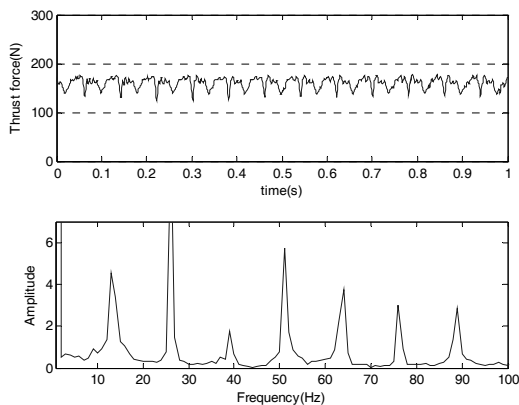


Fig. 14 FFT spectrum of thrust force signal(cutting volume =  $0.28\text{cm}^3$ )

들이 이송분력, 주분력, 배분력 신호에서 모두 나타나는 것을 볼 수 있다. 또한 공구가 음의 절삭각이므로 배분력 신호가 가장 크게 작용하고 이에 따른 FFT 분석에서도 주파수 크기 성분이 가장 크게 나타나는 것을 볼 수 있다.

공구마모 증가(절삭체적 :  $1.66\text{cm}^3$ ), 말기(절삭체적 :  $3.04\text{cm}^3$ )에서의 배분력 신호를 공구마모 초기(절삭체적 :  $0.28\text{cm}^3$ )와 비교하기 위해 FFT 분석한 결과를 Fig. 15, 16에 도시하였다.

모든 상태에서 회전수 710rpm에 해당하는 약 12~13Hz의 배수 주파수 성분들이 검출되고 있는 것을 볼 수 있다. 또한 마모 초기에는 회전수의 지배율 성분 중 1배(13Hz),

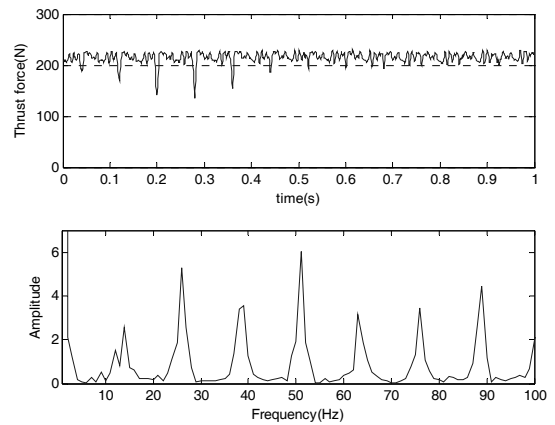


Fig. 15 FFT spectrum of thrust force signal(cutting volume =  $1.66\text{cm}^3$ )

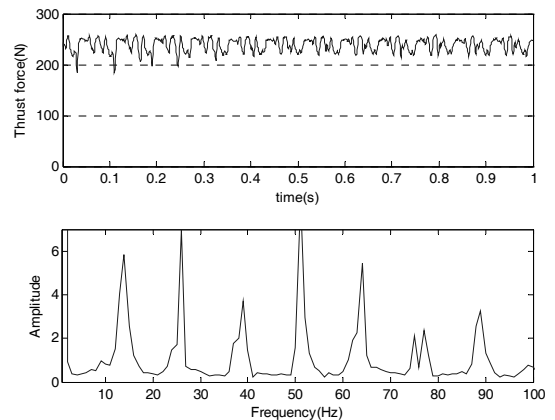


Fig. 16 FFT spectrum of thrust force signal(cutting volume =  $3.04\text{cm}^3$ )

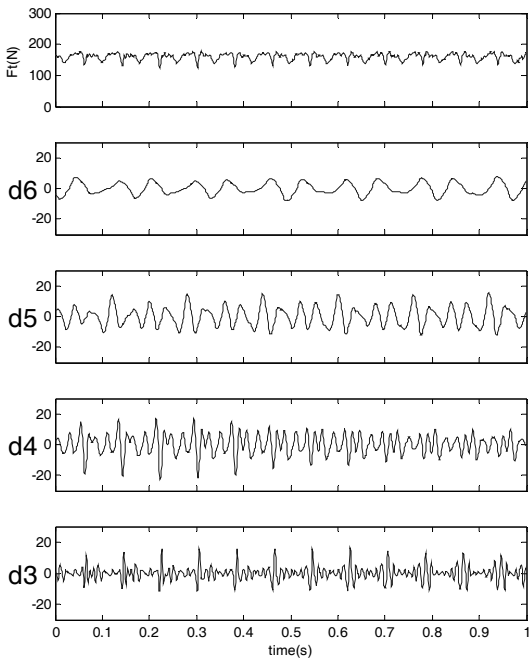


Fig. 17 Wavelet detail coefficient of thrust force signal (cutting volume = 0.28cm<sup>3</sup>)

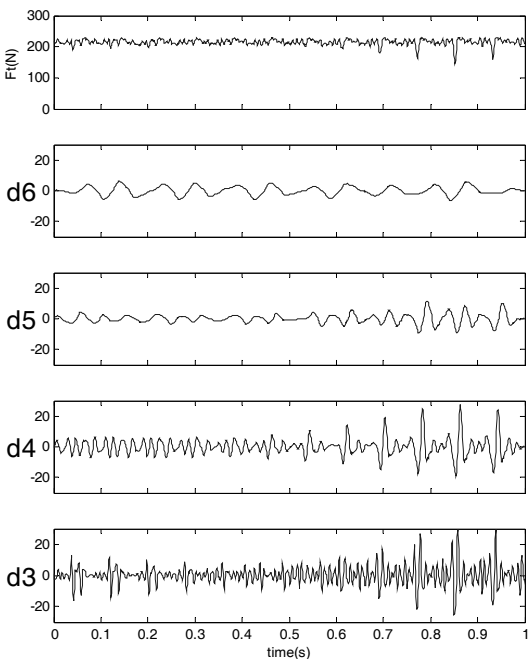


Fig. 18 Wavelet detail coefficient of thrust force signal (cutting volume = 1.66cm<sup>3</sup>)

2배(26Hz)성분이 고배율 성분 보다 크게 나타나지만 마모 중기와 말기로 갈수록 고배율 성분이 더 크게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이는 공구마모에 의해 공구와 공작물 간의 진동과 같은 가공 이상현상이 증폭되어 가기 때문으로 추측된다.

Wavelet 분석은 FFT분석이 시간상에서의 변화를 나타내지 못하는 단점을 보완할 수 있는 분석방법으로 본 연구에서는 Matlab7.1에서 Daubechies 모델 ‘db4’를 사용하여 3~6차 해상도를 구했다. 절삭력 측정시 1,000Hz로 샘플링하였으므로 선반의 회전수에 해당하는 13Hz는 대략 78개의 데이터 개수를 의미하며 이는 6차 해상도( $2^6 = 64$ )에서 볼 수 있다. 또한 13Hz의 8배수인 104Hz는 3차 해상도( $2^3 = 8$ )에서 볼 수 있다.

Fig. 17, 18, 19는 공구마모 초기(절삭체적 : 0.28cm<sup>3</sup>), 중기(절삭체적 : 1.66cm<sup>3</sup>), 말기(절삭체적 : 3.04cm<sup>3</sup>)에서의 배분력신호를 Wavelet 분석한 결과이다. Wavelet 분석은 시간 축상에 계수값들의 변화를 나타내고 있어 시간 변화에 따른 주파수의 변화를 볼 수 있는 장점이 있다. Wavelet 분석에서도 FFT분석에서와 같이 회전수의 고배수 주파수에 해당하는 3차 해상도의 계수값들이 공구마모가 진행될수록

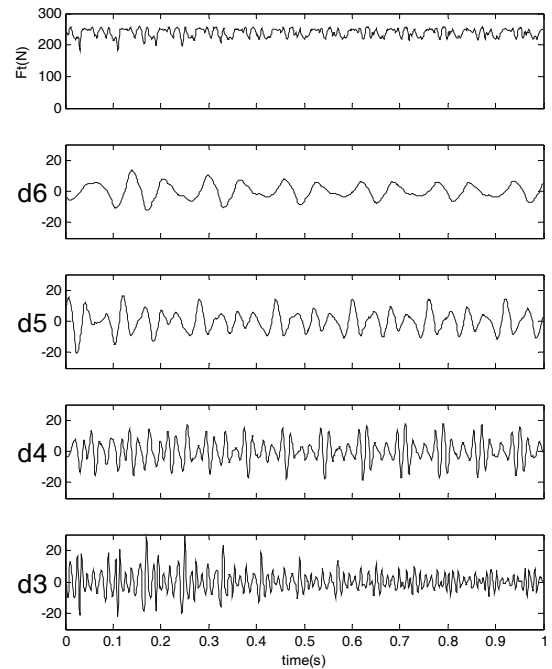


Fig. 19 Wavelet detail coefficient of thrust force signal (cutting volume = 3.04cm<sup>3</sup>)

더 크게 변화하는 것을 볼 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 하드페이징 육성용접된 고크롬탄화물의 선삭가공 가능성을 파악하기 위해 가공조건에 따른 가공특성을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) CBN선삭가공 시 고크롬탄화물의 절삭력은 같은 정도로 열처리된 AISI52100의 절삭력 보다 크게 나타났고, 배분력은 2배정도 크게 나타났다. 이는 내마모성의 특징에 의한 것으로 보인다.
- (2) 고크롬탄화물의 절삭력은 일반강의 절삭에서와 같이 절삭깊이와 이송율에 대한 영향이 크고 절삭속도의 영향은 크지 않으며 공구의 부절간각으로 인하여 배분력이 가장 크고 공구마모에 대해서도 가장 민감하다.
- (3) 공구수명은 여유면 마모에 의한 것보다 공구파손에 의한 경우가 많았으며 이는 절삭저항이 크기 때문으로 판단된다.
- (4) 절삭칩은 전단형 칩으로 배출되었으며 마모가 증가할수록 절삭열에 의해 칩의 길이가 길어졌으나 가공에 방해가 되는 형태로는 발전하지 않았다.
- (5) 표면조도는 이송율을 작게하면 연삭가공과 같은 가공표면을 얻을 수 있다.
- (6) 배분력신호에 대한 FFT분석에서 회전수에 해당하는 배수의 주파수 성분이 검출되었고 마모가 진행될수록 고배수의 주파수 성분 크기가 커졌다.
- (7) 공구 마모와 가공 이상상태 검출을 위해 절삭력의 크기 변화와 더불어 FFT 및 Wavelet 분석을 통한 주파수 성분의 변화를 활용하여 더욱 다양한 분석을 실시할 수 있다.

이상과 같이 고크롬탄화물의 육성용접부를 절삭조건을 고려하여 가공하면 연삭대신 선삭가공으로 대체하여 가공할 수 있음을 알 수 있다.

#### 참고 문헌

- (1) Budinski, K. G., 1988, *Surface Engineering for Wear Resistance*, Prentice Hall, U. S. A., pp. 242~287.
- (2) American Society for Metals, 1983, *Metals Handbook*, ASM, U. S. A., pp. 771~803.
- (3) Henderson, J. L., Bulloch, J. H., 1991, "Alloy Classification of Hardfacing Materials," *Int. J. Press Ves. And Piping*, Vol. 44, pp. 127~158.
- (4) Baek, E. R., 1998, "Effect of Volume Fraction of Cr Carbide Phase on the Abrasive Wear Behavior of the High Cr White Iron Hardfacing Weld Deposit," *Journal of KWS*, Vol. 16, No. 1, pp. 74~82.
- (5) Kim, D. R., 1994, *The cutting theory and example*, Gijeon, Republic of Korea.
- (6) Jeon, J. Y., Ko T. J., Kim, H. S., 1999, "Research on the Intermittent Hard Turning(1): Machinability and Characteristic of CBN Tools," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 16, No. 7, pp. 58~65.
- (7) Tonshoff, H. K., 1995, "Hard turning influences on the workpiece properties," *Transactions of NAMRI/SME*, Vol. 23, pp. 215~220.
- (8) Meadows, D. H., 1997, "Boring of lazer hardened bushings," *2nd International Machining & Grinding conference*, pp. 511~520.
- (9) Fukaya, T., 1997, "High efficiency machining with new CBN cutting tools," *2nd International Machining & Grinding conference*, pp. 361~371.
- (10) Mun, S. D. and Kim, T. Y., 2001, "Influence of CBN Tool Geometry on Cutting Characteristics of High Hardened Steel," *Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 10, No. 5, pp. 84~91.
- (11) Kim, M. H., 2009, "A Study on Vision Measurement System and Dynamic Signal Analysis for Improving Hole Accuracy in Drilling," A Thesis for a Doctorate, Chonbuk National University, Republic of Korea.