

TiCN PACVD코팅 초경호브의 Skiving절삭특성 평가

천종필^{1*}

¹(주)삼양감속기 생산기술팀

An Evaluation of Skiving Cutting Characteristics of TiCN PACVD Coating Carbide Hob

Jong-Pil Cheon^{1*}

¹Manufacturing Technique Team, Samyang Reduction Gear Corporation.

요 약 SCM420재질의 기어를 담금질을 실시한 후 초경호브(Hob)에 PACVD 코팅처리 후 표면경도가 높은 표면(HRC 60)을 절삭하였다. 코팅처리 없이 난삭재(難削材)로 분류되는 경도가 큰 것, 경한 물질을 포함한 것, 강도가 높은 것에 공구수명과 생산성을 향상에는 한계성을 가지고 있다. 이를 개선하기 위해 초경호브에 TiCN코팅처리 전후에 대하여 Skiving 절삭으로 코팅처리 한 호브가 가공성이 좋고, 공구마멸이 적어, 공구수명이 2.5배 증가하는 결과를 얻었다. 실험은 CNC 스카이빙 호빙머신을 이용하여 습식절삭으로 절삭속도와 이송량으로 다양한 조건을 적용하여 공구마멸과 표면거칠기 데이터를 얻었다. 실험결과 조건 2에서($V=200\text{m/min}$ $F=0.7\text{mm/rev}$) Cutting speed가 절삭표면에 Feed Mark가 미세하고, 표면거칠기는 $R_{\text{max}} 4.7\mu\text{m}$ ($R_a 1.19\mu\text{m}$)의 데이터를 얻었다.

Abstract SCM420 steel tempered after performing gear hove PACVD carbide coating on the surface after the cutting surface hardness was high. Difficult-to-cut, without coating is classified as mild as large, including materials like mild, high strength that improves tool life and productivity have limited availability. Drive to improve it in the TiCN-coated carbide call for war to the finish coating on cutting a hob skiving good workability, tool wear less, 2.5-fold increase in tool life results were obtained. Experiments using CNC Skiving hobbing machine with wet cutting conditions, cutting speed and feed rate to apply a variety of the tool wear and surface roughness data were obtained. Results from condition 2 ($V = 200\text{m/min}$ $F = 0.7\text{mm/rev}$) cutting speed feed mark the cutting surface microstructure and surface roughness $R_{\text{max}} 4.7 \mu\text{m}$ ($R_a 1.19 \mu\text{m}$) of the data was obtained.

Key Words : Skiving, Plasma Assisted Chemical Vapour Deposition, Cubic Boron Nitride, Hardmetal Cemented Carbide

1. 서론

항공우주, 자동차, 첨단산업에서 강도를 유지하면서 경량화를 도모하기 위해 난삭재(難削材)의 이용이 증가하고 있다. SCM계, SNCM계는 고온 환경에서도 견딜 수 있는 내열성과 내마모성, 내부식성등이 높은 특성을 가지고 있는 합금으로 가공성이 나쁜 난삭재이다.[1],

난삭재로 분류되는 경화된 SCM계, SNCM계의 기어

의 이빨(tooth) 내부는 인성을 유지하고, 외부는 높은 표면경도의 기어를 절삭할 때 초경호브는 돌발적인 플랭크마모(Flank wear),크레이터마모(Crater wear), 크랙파손(Crack failure), 빌드업 엣지(Built-up edge), 절삭날의 결손이 생기기 쉽다.

따라서 공구재료의 표면에 첨단기술인 PACVD코팅은 진공기술과 플라즈마 현상을 응용 금속 합금을 이온화하여 제품 표면에 초경질 박막을 증착시키는 신기술 표면

이 논문은 2011년도 NEV전기자동차 Transaxle개발과제로 연구되었음.

*교신저자 : 천종필(cjp0574@sygear.co.kr)

접수일 11년 11월 25일 수정일 (1차 12년 01월 09일, 2차 12년 01월 25일, 3차 12년 02월 03일) 게재확정일 12년 02월 10일

처리 분야이다. 이 초경질의 PACVD 코팅막은 사용공구에 제품 표면의 강도를 높여줄 뿐만 아니라 높은 마모 저항과 표면 윤활 작용, 열 및 화학물질로부터의 크랙 및 산화, 소착력 등을 방지해 주어 공구의 수명증가는 물론 생산물의 고품질화로 피복을 형성시켜 기존의 재료보다 성능이 우수한 표면기능을 갖도록 재료 표면을 개선할 필요가 있다.[2],

최근에 들어서 초경합금, 고속도강 등의 절삭공구에 고경도 화학물질을 코팅한 공구의 사용이 확대되고 있으며, 공작물과 공구와의 마찰감소, 절삭시 최대 적용온도등의 장점이 우수한 코팅재료의 절삭특성을 파악하여 활용하는 것이 중요하다.[3],

또한 절삭공구분야의 코팅기술은 경합금소재나 일반 재료의 고속가공을 실현시키고, 담금질로 얻은 고경도 부품을 종전 2배 이상 절삭능력을 증대시켜 생산성 향상, 제조원가 절감, 공정 신뢰성 향상, 제품 품질 향상, 납기 단축, 환경 친화적, 자원 절약을 실현하고 있다.[2],

본 논문에서는 TiCN PACVD코팅 전후 초경호브를 Skiving 가공에서 절삭속도, 이송량을 변화시킨 절삭 조건에서 절삭력에 의한 표면거칠기, 호브의 절삭날 성형 두께에 따른 공구수명 그리고 공구마멸 등의 특성을 실험적으로 얻어 그 특성을 상호비교 평가하고자 한다.

2. 본론

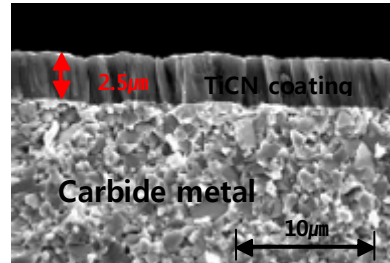
2.1 PACVD코팅기술

코팅은 수천분의 몇 밀리미터에 불과하지만 강철보다도 단단하다. 또한 윤활코팅으로서 내마모성이 우수하며 화학적으로도 안정적이다.

Fig. 1은 PACVD코팅 표면층 사진으로 일반적으로 생산 가능한 코팅 후에도 날카로운 날, 텍스처링 또는 미러 폴리싱 처리된 표면 그리고 미세한 공차가 그대로 유지된다. 따라서 별도의 후가공이 필요 없으므로 코팅은 제조과정에서 최종공정이다. 코팅재질은 TiC, TiCN, WC/C, CrN, TiAlN, AlTiN, AlCrN등이 대표적인 PACVD 코팅 재질이며, 그 외 복합다층코팅이 있다. 코팅처리 후 두께는 3~10 μ m 구간이다.

초경절삭공구(드릴, 엔드밀, 선삭팁), 초경호브에 주로 코팅재질은 TiCN, AlTiN, AlCrN을 많이 사용하고 있다. 이 코팅은 우수한 내마모성, 열충격에 대한 안정성 그리고 고온 고경도는 기존 코팅을 개선하고 향상시킴으로써 실현되었고 최적화된 프로세스와 코팅의 결정 구조조정을 통해 코팅 성능을 안정적으로 개선했다. Table 1은

PACVD코팅 특성내용으로 미세강도, 강에 대한 마찰계수(건식), 최대적용온도 등이 절삭공구와 펀칭 포밍 공구 그리고 알루미늄 다이 캐스팅 영역에 있어서 최고 수준의 성능을 내고 있다.[4],



[그림 1] SEM 플라즈마 화학적 기상증착 코팅표면 사진
[Fig. 1] SEM photo showing PACVD Coating Surface

[표 1] 코팅특성

[Table 1] Coating Properties

코팅 소재	TiCN, AlTiN, AlCrN
미세강도	(HV 0.05) 3000~3,300
강에 대한 마찰계수(건식)	0.30~0.4
최대 적용 온도(°C)	400~1,100
코팅 색상	bright grey

2.2 Skiving 호빙 절삭기술

호빙(hobbing)은 호빙머신과 호브를 이용하여 기어 이빨을 생성한다. 호브의 외경과 절삭속도에 의해 호브의 회전수가 계산되고, 호브 날의 나선산수, 피치, 나선각과 공작물의 외경과 잇수에 따라 주축 오리엔테이션이 결정되며, 또한 호브장착 주축과 연결된 메인 주축의 회전수가 동기제어 되고, 회전하는 호브는 절삭이송으로 기어의 이빨(tooth)을 창성하는 절삭가공법이다.[5], 그에 반하여 스카이빙(skiving) 절삭방식은 절삭된 기어의 이빨을 표면을 벗겨내듯 절삭하는 기술이다. 주로 담금질된 기어를 마무리공정으로 사용되며, 사용되는 호브는 경도가 높은 난삭재 절삭가공공구로 TiCN PACVD코팅한 초경호브를 사용한다. 절삭한 기어의 등급은 JIS 1~2급 정밀도를 얻는다. 가공세팅에서 스핀들 회전수(nhob)와 접근거리(LA) 계산은 절삭속도(vc : m/min), 호브공구 외경(dhob), PI(π), 깊이(hz)으로 스핀들회전수(Nhob)는 식(1), 접근거리(LA)는 식(2)과 같다.

$$n_{hob} = \frac{v_c \times 1000}{d_{hob} \times \pi} \quad (1)$$

$$L_A = \sqrt{h_z \times (d_{hob} - h_z)} \quad (2)$$

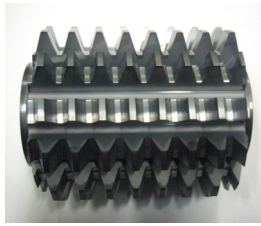
3. 시험편 및 실험방법

3.1 시험편

본 연구에서 사용된 시험편은 SCM420 침탄강재의 공작물을 PGSP호브로 절삭한 헬리컬기어를 침탄담금질 했으며 정삭가공 치수는 $250\mu\text{m}$, 표면은 록웰경도 HRC 60이다.

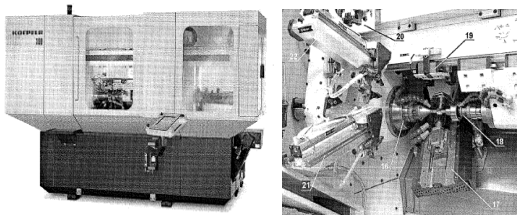
3.2 Skiving Hobbing머신 및 실험방법

본 연구에서 사용된 Skiving Hobbing머신은 독일의 Koepfer사의 Universal Hobbing Machine 300 모델인 Fig. 3의 기계를 사용했다. 초경호브는 스위스 Schnyder사에서 제작한 Fig. 2의 모듈 M2, 사이즈는 $\phi 60 \times L60 \times N12$ 이며, 호브는 독일 DIN3968 규격의 품질 등급 AA급이다. 그리고 코팅은 Korea oerlikon balzers사에서 Table 1 사양으로 코팅했고, 코팅두께는 $2.5\mu\text{m}$ 마무리했다. Skiving 절삭조건은 Table 2의 실험 조건으로 실시했다.



[그림 2] 플라즈마 화학적 기상증착 코팅호브 및 사이즈 ($\phi 60 \times L60 \times N12$)

[Fig. 2] PACVD Coating Cutting hob and size ($\phi 60 \times L60 \times N12$)



(a) 300CNC M/C (b) Workpiece spindle

[그림 3] 스카이빙 호빙머신

[Fig. 3] Skiving Hobbing Machine

[표 2] 스카이빙 절삭속도

[Table 2] Skiving cutting speeds

	구 분	V(mm/min)	F(mm/rev)
실험조건(a)	TiCN	200	1.2
실험조건(b)	TiCN	200	0.7
실험조건(c)	초경호브	150	1.0

[표 3] 스카이빙 호빙머신 기계사양

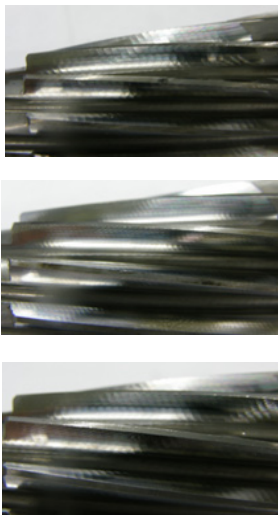
[Table 3] Skiving hobbing technical specification of machine

Maximum module	mm	4
Maximum workpiece diameter	mm	140
- automatic loading	mm	195
- manual loading and hob $\phi 50\text{mm}$	mm	
Maximum hobbing length	mm	300
Maximum workpiece length	mm	300
- automatic loading	mm	600
- manual loading	mm	
Maximum work spindle speed	RPM	800
Cutter spindle speed standard	RPM	200/2,000
Distance between work tool spindle	mm	20-130
Work spindle diameter	mm	60
Tailstock force	kN	15
Maximum hob diameter	mm	100
Maximum hob width	mm	200
Maximum hob shift	mm	160
Hob head swivel angle		+/- 45 °

4. 실험결과 및 고찰

4.1 Skiving Cutting Speed와 절삭표면에 대한 결과 및 고찰

SCM420 소재로 기어를 절삭과 침탄담금질 한 기어를 Table 3의 Skiving hobbing machine 기계사양과 Table 2의 Skiving절삭속도로 테스트를 한 결과 Fig. 4의 기어절삭면의 Feed Mark가 나타났다. 실험조건 (a)에서 고속절삭에 대한 Feed Mark 과다발생 했으며, 실험조건 (b)가 절삭표면에 Feed Mark가 미세하게 나타났다. 실험조건 (a), (b), (c)을 절삭표면이 육안으로는 크게 차이가 있어 보였으나, 표면거칠기를 측정한 결과 최대표면거칠기 (R_{max}) $4.7 \sim 6.1\mu\text{m}$ 정도로 표면거칠기 오차는 크게 나타나지 않았다.



(a) Cutting speed
V=200m/min
F=1.2mm/rev

(b) Cutting speed
V=200m/min
F=0.7mm/rev

(c) Cutting speed
V=150m/min
F=1.0mm/rev

[그림 4] 스케이빙 절삭속도의 절삭표면 피드마크
[Fig. 4] Cutting surface feed mark along Skiving cutting condition

4.2 호빙 절삭 치차의 정도 측정에 대한 결과 및 고찰
기어측정은 Fig. 5와 Table 4의 독일 Klingelnberg사의 P65모델 기어측정기로 측정했다. Fig. 6은 호빙 절삭한 피니언기어의 치형 및 치선방향 피치, 흔들림 등을 측정 한 데이터이다. (a)는 4개의 기어 이빨에 대하여 치형 및 치선방향을 측정값으로 Profile(left flank) 29.4~34.3 μ m, Profile(right flank) 32.0~38.6 μ m, Lead(left flank) 14.7~34.4 μ m, Lead(right flank) 26.4~48.6 μ m이다. (b)는 피치, 흔들림 오차는 기어의 전체 잇수(14T)를 측정한 값으로 Tooth to tooth spacing(left flank) 7.2 μ m, Tooth to tooth spacing (right flank) 10.8 μ m, Total Index variation 27.1 μ m, Run-out 23.7 μ m이다. 치차의 등급은 DIN 10급이며, JIS로 환산하면 JIS 6급이다.



[그림 5] 기어측정기(Klingelnberg사 P65)
[Fig. 5] Gear tester(Klingelnberg사 P65)

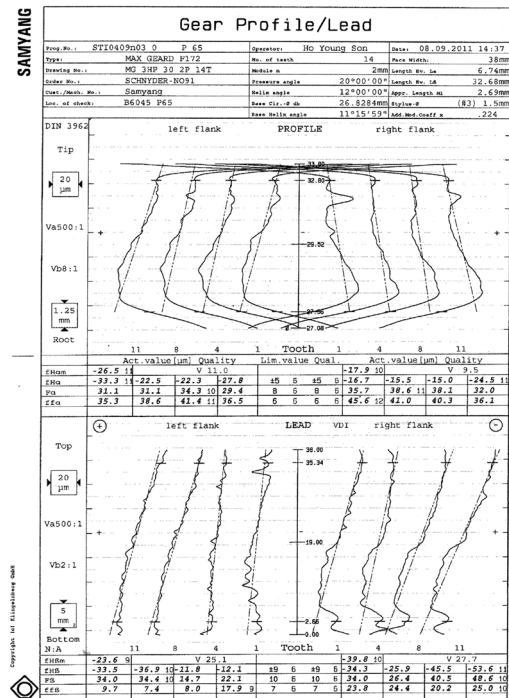
[표 4] 기어측정기 기계 사양

[Table 4] Gear tester technical specification of machine

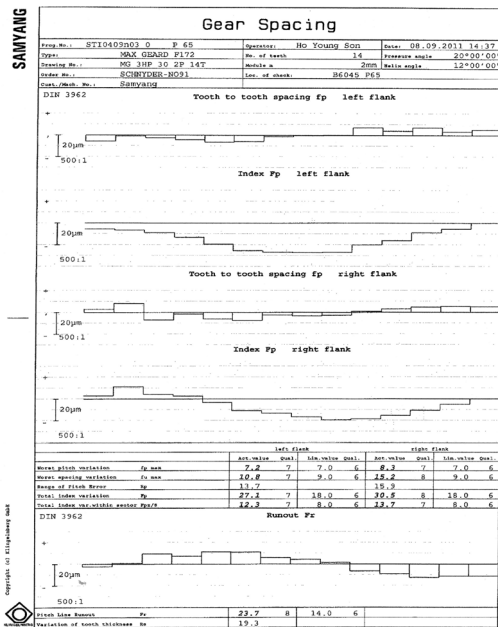
Module range		0.5-20
Max. outside diameter of gear	mm	650
Continuously measueable gear width	mm	800
Minimum/maximum helix or lead angle	-	0 - 90 °
Clamping distance between centers	mm	35-1,000
Recording chart magnification	-	50-2000x
Recording chart length magnification	-	0.5-20x
Permissible test gear weight	kg	500
Dimensions of measuring center with tailstock(L×W×H)	mm	1700×1650×2385

4.3 Skiving Cutting후 치차의 정도에 대한 결과 및 고찰

Fig. 7은 Skiving 절삭한 기어의 치형 및 치선방향, 피치, 흔들림 등을 측정한 데이터이다. (a)는 4개의 기어 이빨에 대하여 치형 및 치선방향을 측정한 결과는 Profile (left flank) 7.4~7.6 μ m, Profile(right flank) 5.6~10.6 μ m, Lead(left flank) 1.0~2.2 μ m, Lead(right flank) 0.9~2.7 μ m이다.

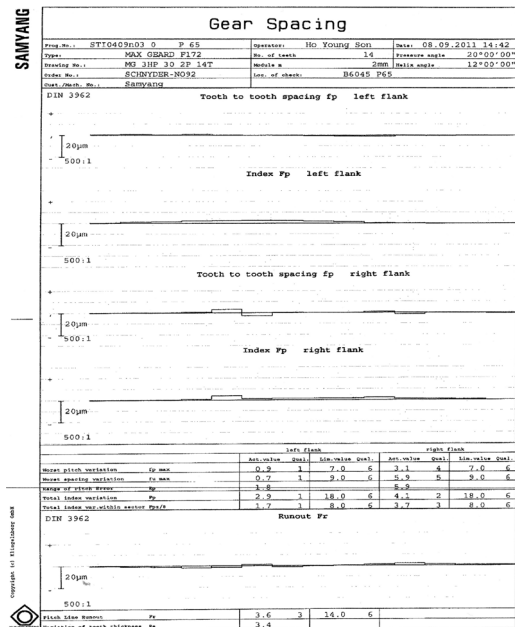


(a) Profile and Lead data



(b) Pitch and Runout data

[그림 6] 기어 호빙절삭 과 표면경화 후 치형 및 치선오차
[Fig. 6] Gear hobbing cutting and surface hardening after profile and lead error



(b) Pitch and Runout data

[그림 7] 스카이빙 절삭후 치형 및 치선오차
[Fig. 7] Skiving cutting after Profile and lead error

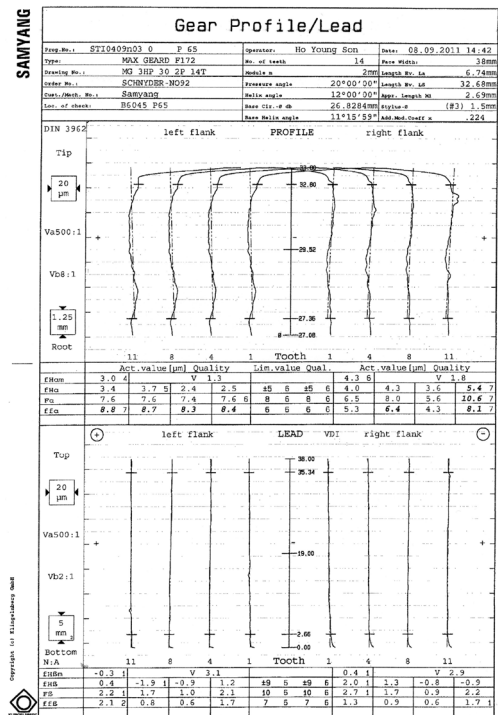
(b)는 피치, 흔들림 오차는 기어의 전체 잇수(14T)를 측정한 결과는 Tooth to tooth spacing (left flank) 0.9 μ m, Tooth to tooth spacing(right flank) 0.7 μ m, Total Index variation 2.9 μ m, Run-out 3.6 μ m로 전체로 치차의 등급은 DIN 7급이며, JIS로 환산하면 JIS 3급이다.

4.4 모듈(M2) 초경호브의 PACVD코팅 전후 공구수명에 대한 결과 및 고찰

모듈(M2) 초경호브를 코팅처리를 하지 않은 호브와 PACVD 코팅기술로 TiCN코팅처리 한 표면경화기어에 대한 Skiving절삭으로 공구의 수명을 관찰할 수 있었다.

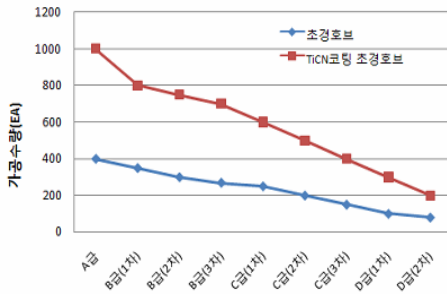
코팅한 초경호브는 Table 1에서 표시한 바와 같이 초경호브에 비해 표면경도가 Hv 3000, 건식마찰계수가 0.4, 최대절삭적용온도 400°C로 초경합금에 비해 높다. 결론으로 초경호브 상태의 생산수량 대비 PACVD코팅기술로 TiCN코팅처리 후 생산량은 2.5배정도 증가를 보였다.

또한 호브 절삭날의 절삭부하로 인한 마모와 마멸은 서서히 일어나고 있다. 그리고 호브의 절삭날은 재연마로 인해 두께가 줄어들면서 절삭부하와 충격부하로 인해 절삭하는 기어의 수량이 적어지고 있는데 이것은 호브 절삭날의 굽힘 및 충격강도가 약해지는 결론을 얻었다. Fig. 8는 초경호브와 TiCN코팅 초경호브로 절삭성능을 평가



(a) Profile and Lead data

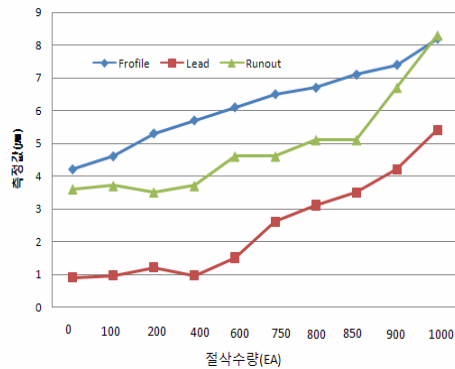
한 데이터이다.



[그림 8] TiCN코팅 전·후 초경호브 절삭평가
[Fig. 8] Carbide hob cut evaluation around TiCN coating

4.5 TiCN코팅 초경호브 절삭날의 마모로 절삭성이 나빠지면서 치차의 정도에 대한 결과와 고찰

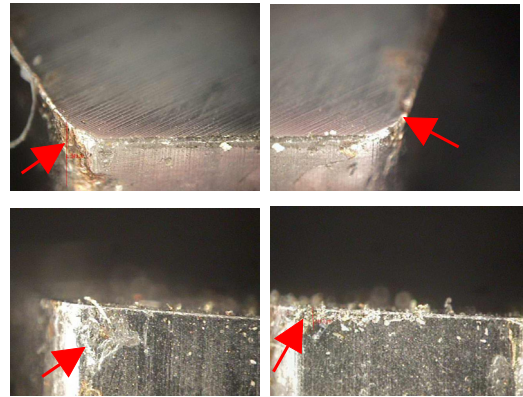
기어의 사양은 모듈(M2), 잇수(14T), 피치원직경(ϕ 28.625)으로 Skiving 절삭후 JIS 2급의 치차의 허용 호차는 Profile $5\mu\text{m}$, Lead $9\mu\text{m}$, Run-out $21\mu\text{m}$ 이다.



[그림 9] 표면경화 기어의 스카이빙 절삭수량에 따른 치형, 치선, 흔들림 오차
[Fig. 9] Skiving cut water contents of the case hardening gear and tooth profile, lead, run-out error

Fig. 9은 TiCN코팅 초경호브 Skiving 절삭부하로 호브 절삭날의 마모로 인해 절삭성이 나빠지면서 치형(Profile)은 $4\mu\text{m}$ 에서 $8.2\mu\text{m}$, 치선방향(Lead)은 $0.9\mu\text{m}$ 에서 $5.3\mu\text{m}$, Run-out은 $3.5\mu\text{m}$ 에서 $8.2\mu\text{m}$ 으로 오차가 커지고 있는 상태를 나타내고 있다.

Fig. 10은 절삭충격 부하로 호브 절삭날의 마멸 및 코팅층 파손된 절삭날을 비접촉식 200배를 사진이다.



[그림 10] 호브 잘삭날 코팅층 파괴 및 절삭날 마모현상 사진(200배)
[Fig. 10] Hob cutting edge coating layer destructive and cutting edge attrition actual (X200)

4. 결 론

본 논문에서는 초경합금 호브와 PACVD코팅 결합을 통한 표면경화기어류의 Skiving 절삭특성평가를 평가하였고, 그에 따른 결론은 다음과 같다.

- (1) SCM420 침탄강재를 침탄담금질 한 후 표면경도 HRC60의 강한 표면을 초경합금 호브 대비 PACVD코팅 공법으로 TiCN코팅한 초경호브에 대한 Skiving 절삭특성평가를 한 결과 공구수명은 2.5배 정도였다.
- (2) 표면경도가 강한 침탄강재의 최적화 절삭조건을 얻기 위해 3가지 실험조건으로 절삭평가를 한 결과 실험 2 조건인 $V=200\text{m/min}$ $F=0.7\text{mm/rev}$ Cutting speed가 절삭 표면에 Feed Mark가 미세하고 표면거칠기는 $R_{\text{max}} 4.7\mu\text{m}$ ($R_a 1.19\mu\text{m}$) 미려한 표면을 얻었다.
- (3) Fig. 9와 Fig. 10은 측정값 및 사진은 호브가 회전하면서 공작물과의 절삭충격으로 절삭날의 코팅층 파괴가 일어났고, 그에 따라 절삭성이 떨어지면서 기어의 치형오차 및 치선 방향 오차는 2배, 흔들림 오차는 5배로 증가하는 결과를 얻었다.

References

- [1] [3] Kwon, H. W., Kim, J. S., Kang, I. S., Kim, K. T., 2010 "Machining Characteristics Evaluation of Super Heat-resistant Alloy(Inconel 718) According to Cutting

- Conditions in High Speed Ball End-milling." *JKSMTE*, Vol. 19, No. 1, pp1~6. Ryu. B. H., 2000, "A Study on the Coated Characteristics of Ceramic Tools," *JKSMTE*, Vol. 9, No. 1, pp96~101.
- [2] Oerlikon Balzers Korea Company Homepage "Data technical a PACVD coating"
- [3] Ryu. B. H., 2000, "A Study on the Coated Characteristics of Ceramic Tools," *JKSMTE*, Vol. 9, No. 1, pp96~101.
- [4] Sim, J. S., 1996, "Machine Cutting Technology Series(4) Turning Everything" pp.14~18.
- [5] M. F. Spotts, 1998, T. E. Shoup "Design of Machine Element" pp. 507~514.
- [6] Oh, S. M., 2007, "Tribological Characteristics of TiC, TiN Coating for PVD Method with Automotive structural Materials" *JKAICS*, Vol. 8, No. 3, pp.432~436.
- [7] Lee, Y. M., Son, Y. H., Choi, B. J., Kim, H. S., Back, J. Y., 1996, "Enhancement of Wear Resistance of TiN Coated High Speed Steel Tools through Improving Some Coating Processes." *JKSPE*, Vol. 13, No 11, pp32~37.
- [8] Park, I. S., 2011, "A study on an experimental basis a special quality character of thin film use in order to TiN a conditioned immersion", *JKAICS*, Vol. 12, No. 11, pp.4711~4717.
- [9] Geunsu Ryu 2003, DTR Company "Theories of a gear and tool design" pp. 55~87

천 종 필(Jong-Pil Cheon)

[정회원]



- 1995년 8월 : 한양대학교 산업대학원 금속공학과 (공학석사)
- 2009년 2월 : 선문대학교 일반대학원 기계공학과 (공학박사 과정 수료)
- 1996년 2월 ~ 2002년 5월 : 삼성전기(주) 종합연구소 선임 연구원

- 2005년 3월 ~ 현재 : (주)삼양감속기 생산기술팀 팀장

<관심분야>

생산시스템 및 제어, 기계설계,