

자동차 실린더헤드 가이드 핀의 정밀도 향상을 위한 6날 리머에 관한 연구

김해지*, 김남경⁺

(논문접수일 2004. 3. 5, 심사완료일 2004. 10. 13.)

A Study on 6 Edges Reamer for the Improvement of Accuracy of Automotive Cylinder Head Guide Pin

Hae-Ji Kim*, Nam-Kyung Kim⁺

Abstract

Generally, automotive cylinder head is manufactured by FCD45 material that is hard to cutting materials, and it needs the accurate machining tool for higher output of engine. This paper is concerned with a study on TiN coated 6 edges reamer for improving machining accuracy of cylinder head guide pin. The reamer shape is changed from 4 edges to 6 edges for the improvement of machining accuracy. Also, TiN coating is applied to the improvement of surface roughness of cylinder head guide pin and tool life of 6 edges reamer.

It is noted that 6 edges reamer are effective in controlling the dimensional accuracy and surface roughness as well as increasing tool life.

Key Words : Automotive cylinder head(자동차 실린더헤드), TiN coated(TiN 코팅), Reamer tool(리머공구), Surface roughness(표면조도), Straightness(진직도)

1. 서론

최근 자동차, 항공기, 정밀금형, 유압부품 등의 경량화 및 고경도 소재개발의 영향에 따라 금속절삭 분야에서도 공구 수명향상을 위한 표면처리기술⁽¹⁾, 가공정밀도 및 생산성 향상을 위한 최적공구 형상 설계 및 소재 개발이 지속적으로

필요한 실정이다. 일반적으로 자동차 실린더헤드는 난삭성 재료로 알려진 주철 및 알루미늄합금 등으로 주조 및 다이캐스팅 공정에 의해 제작되고 있다. 또한, 난삭성 재료로 제작된 실린더 헤드의 내경 절삭가공에서는 제품의 특성상 고정밀도를 요구하게 되며 특히 실린더헤드의 경우 제품 가공 시 다 공정에 의한 사이클 타임 및 절삭공구비 등으로

* 경상대학교 기계공학과 대학원

⁺ 교신저자, 진주산업대학교 자동차공학과 (nkkim@jinju.ac.kr)
주소: 660-758 경남 진주시 칠암동 150

원가절감 및 생산성향상에 크게 영향을 미치고 있는 실정이다. 이러한 금속절삭 공정에 있어 원가절감 및 생산성향상을 위한 방법으로써 절삭공구의 공구수명 및 가공정밀도 향상을 위하여 공구의 날부에 표면처리 기술을 접목하고 있다. 대표적인 절삭공구에 사용되는 표면처리법은 CVD(Chemical Vapor Deposition)와 PVD(Physical Vapor Deposition)이다. 현재 CVD 코팅에 비해 PVD 코팅법은^(2,3) 고경도이고, 표면입자가 미세입자형태를 유지하고, 표면조도 및 코팅의 크랙이 없어 절삭공구⁽⁴⁾, 단조금형 및 펀치, 내마모성 부품, 정밀부품 등의 수명향상을 위해 많은 분야에서 활용되고 있다.

본 논문에서는 Fig. 1의 FCD45 주물로 제작된 실린더헤드 흡기부 가이드 핀의 내경 가공 공정에 사용되고 있는 리머공구의 정밀도 및 공구수명 향상에 관한 것이다. 이를 위해 절삭가공 시 주축과 피삭재간의 마찰에 의해 발생하는 진동음⁽⁷⁾ 최소화시키기 위하여 리머형상을 6날로 변경하였다. 그리고 리머공구의 수명 향상을 위하여 공구 표면에 TiN 코팅 처리하였다. 형상 변경된 6날 리머 및 사용중인 4날 일반 리머의 비교실험을 통하여 정밀도와 공구 수명을 평가하였다.

2. 리머의 형상 및 TiN 코팅 특성

2.1 리머의 형상 특성

제품 내경의 정밀도를 향상시키기 위해 일반적으로 적용되는 작업 공정이 리밍(Reaming)공정이다. 현재 FCD 주물로 1차 제작된 실린더헤드의 흡기부 가이드 핀 내경 가공 공정은 드릴, 엔드밀, 리머공정 등에 의해 가공이 완료된다. 그리고 사용되고 있는 정삭용 리머 절삭날의 형태는 60°의 4날 형태로 구성되어 가공작업을 수행하게 된다. Fig. 2에서는 형상 설계를 변경한 6날 리머 날부의 형상특성을 나타

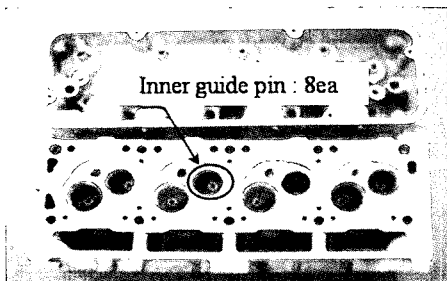


Fig. 1 Inner guide pin of automotive cylinder head

내었다. 제작될 리머의 형상 특성은 생산성 향상 및 고속가공을^(6,7) 위해 황삭 역할을 하는 1차날은 엔드밀, 진직도 향상을 위한 2차날은 역각 형태에 따른 안내부, 표면조도 향상을 위해 3차날은 리머날 형태로 좌, 우 90°로 리머 형상을 설계하였다. Fig. 3에서는 형상 변경된 6날 리머의 설계 도면을 나타내었다. 가이드부 및 절삭날부 길이는 85mm, 가공 될 최종 절삭부 치수는 외경 Ø8.7mm 공차 ±0.03, 홀더 장착부 길이는 65mm, 척킹부는 Ø8.7mm로 제작하였다.

2.2 초경합금 소재 및 리머의 제작공정

초경합금은 탄화텅스텐(WC), 탄화티탄(TiC) 등이 매우 단단한 미세분말에 코발트를 결합제로서 넣어 소결한 것으로 내마모성이 대단히 우수하다. ISO 규격에서는 피삭재에 따른 용도별로 크게 P종, M종, K종, Z종의 4종류로 나누어지고 있으며, 리머공구의 재료로서는 주철과 경합금, 비금속 등에 기계적 마모를 고려하여 K계열을 적용하고 고경도 합금강에서는 열적마모를 고려하여 P계열 및 M계열의 재종이 사용되고 있다.

그러나, 초경합금은 고속도강에 비해 인성이 떨어지기 때문에 날끝의 돌발적인 날 빠짐과 파손이 발생하기 쉬운 결점이 있다. 최근 이러한 결점을 개선하기 위해 PVD 코팅을 하여 제품성능향상 및 피삭재용, 강성이 적은 기계용으로서 사용이 증대되고 있다.

본 논문에서 제작된 리머의 재종은 K계열을 사용하였으며, Table 1은 K10 종 소재의 재종별 특성 및 성분비에 대해 나타내었다. Table 2에서는 리머의 제조공정을 나타내었으

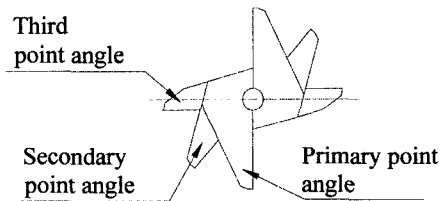


Fig. 2 The shape characteristics of 6 edges reamer

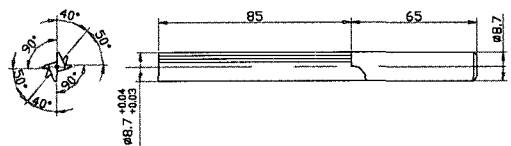
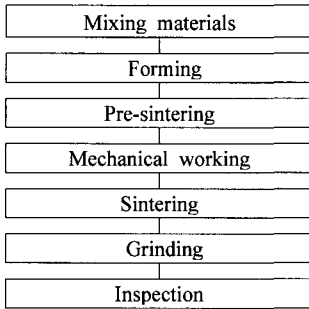


Fig. 3 Design of manufactured 6 edges reamer

Table 1 The characteristics of hard metal on K10 materials

Material	Chemical composition(%)					Hardness (H _R A)	T.R.S (N/mm ²)
	W	Co	Ti	Ta	C		
K 10	84-90	4-7	0-1	0-2	5-6	90.5	1,177

Table 2 The manufacturing process of reamer



며, 일반적으로 제작공정은 초경합금의 원료 배합, 성형, 예비 소결, 가공, 본 소결, 연삭가공, 검사 등의 공정순서로 이루어진다.

2.3 리머공구의 수명향상을 위한 TiN 표면처리

일반적으로 소재의 기계적 성질 및 수명향상을 위해 많이 사용되는 방법으로써, 물리증착법(PVD)에 의한 TiN 표면처리법이다. 본 실험에서는 AIP(Arc Ion Plating)-780 코팅기를 사용하여 초경 리머의 절삭날부 및 표면에 TiN 코팅하였다. 그리고 초경합금 K10 소재의 밀착력 및 TiN 코팅 층의 평가를 위해 리머공구와 동일한 조건에서 실험하였다. 제작된 리머의 TiN 코팅을 위해 미세 Burr제거, TE (Trichloro Ethane) 탈지, 초음파 세척 등의 전처리 공정을 수행하였다. 후처리 공정에서는 코팅기를 진공(7.5×10⁻⁶ Torr)분위기 상태를 유지하였고, 1차 로내의 온도를 400℃ 유지하기 위해 3시간 가열하였다. 이온세정을 위해 티타늄 이온전자를 420℃에서 10분간 투과하였다. 초경합금 K10 재질의 리머의 본 코팅은 450℃에서 110분간 수행하였다.

Fig. 4에서는 초경합금 K10 시험 시편에 대하여 주사전자현미경을 사용하여 밀착력⁽⁸⁾형상을 그림으로 나타내었다. D사의 경우 밀착력의 일반적인 등급 판정 기준은 1등급에서 6등급까지 규정하고 있으며, 1등급의 경우 원의 중심에서 사선형태의 크랙이 발생할 경우 밀착력은 1등급으로 판정한다. 초경합금 K10 시험 시편의 TiN 코팅처리에 대한 밀착력은 원의 중심을 기준으로 사선형태의 크랙이 생성되어 1등급의

우수한 밀착력을 나타내었다. 일반적으로 TiN 코팅층은 2~3μm 수준에서 우수한 내마모성을 유지하게 된다⁽⁹⁾.

Fig. 5에서는 TiN 코팅층 두께 측정을 위해 Talo Tester 기를 사용하여 TiN 코팅된 표면에 볼을 회전시킴으로써 표면에 원형의 미세 흔적이 생성된다. 생성된 미세 흔적을 주사현미경을 통해 표면형상 및 각각의 거리 a와 b를 측정하여 식 (1)에 의해 계산된다. 거리 a=5μm, b=85μm를 식 (1)에 대입한 결과 2.83μm의 코팅 층을 확인하였다. 동일한 TiN 코팅조건에서의 초경합금 K10 시험 시편에 대한 TiN 코팅 층의 결과에 의해 Fig. 6의 제작 완료된 리머도 2.83μm의 양호한 TiN 코팅 층이 형성되었다.

$$t = [(a \times b \times 100) / 15,000] \mu\text{m} \tag{1}$$

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험 시편 특성

Fig. 7은 6날 리머와 4날 일반 리머의 성능평가를 위해

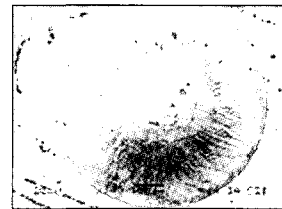


Fig. 4 Image of absorption capacity of K10 materials (×140)

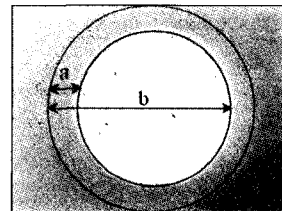


Fig. 5 Measurement of TiN coating layer thickness

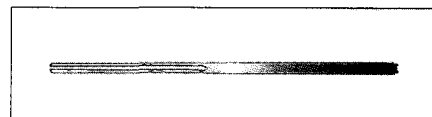


Fig. 6 Manufactured 6 edges reamer

자동차 실린더헤드의 소재로 사용되고 있는 FCD45 시편을 나타내었다. Table 3은 FCD45 재질의 기계적 성질을 나타내었다.

3.2 절삭조건 및 장치

Table 4는 TiN 코팅된 Ø8.7mm 리머의 성능평가를 위한 실험 조건을 나타냈으며, 공작기계는 현대공작기계(주) SPT-V30T 기종을 적용하였다. 절삭조건에서는 Spindle speed (N) = 0.17rev/min, Cutting speed(V) = 10, 20, 30, 40, 50m/min, Feed rate(mm/rev) = 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3을 적용하였으며, 가공실험 자동차 실린더헤드 소재인 FCD45

Table 3 Mechanical property of FCD45 material(KS D4302-89 application)

Materials	C	Yield strength (kgf/mm ²)	Tensile strength (kgf/mm ²)	Elongation (%)	Hardness (H _B)
FCD45	2.5	29	45	10	143 - 210

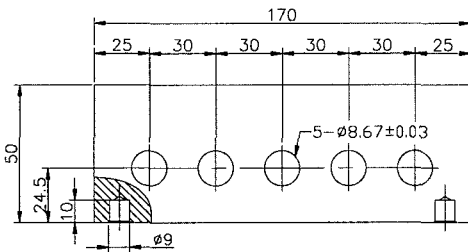


Fig. 7 The experimental workpiece design for performance estimation(unit : mm)

Table 4 Cutting conditions

Cutting method	Reaming
Machining center	HYUNDAI SPT-V30T
Tools	6 edges reamer, general reamer (Ø8.7×80L×280L×25D)mm
Spindle speed(N)	0.17rev/min
Cutting speed(V)	10, 20, 30, 40, 50m/min
Feed rate(f)	0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3mm/rev
Workpiece	FCD45
Cutting fluids	5% Emulsion type in water

시험시편을 사용하였다. 절삭유제는 수용성 5%로 유제를 사용하였다.

4. 실험결과 및 고찰

리머형상을 변경한 6날 리머 및 4날 일반 리머를 적용한 가공후의 표면조도 측정을 위해 Rank Taylor Hobson Surtronic 4+를 적용하여 절삭속도 및 이송속도에 따라 가공 완료된 시편의 내경에 대하여 절삭방향의 수직방향으로 8mm 구간에서의 두 점을 각각 측정하여 중심선 평균조도 (Ra)값으로 나타내었다.

진직도 측정을 위해 (주)덕인의 3차원 측정기(Coordinate Measurement Machine)를 사용하여 50mm 구간의 결과를 구하였다.

Fig. 8은 절삭속도에 따른 표면조도와와의 관계를 나타내었다. 절삭속도 20~30m/min에서 안정된 표면조도 값을 나타내었고, 6날 리머가 일반 4날 리머보다 우수하였다.

Fig. 9는 절삭속도에 따른 진직도와와의 관계를 나타내었다. 드릴공정에서의 진직도는 0.04mm 이상으로 좋지 않았고, 일반 4날 리머 및 6날 리머의 진직도는 비슷한 경향을 보였다.

Fig. 10은 이송속도에 따른 표면조도와와의 관계를 나타내었다. 이송속도 측면에서는 둘 다 0.1~0.2mm/rev에서 안정된 값을 나타내었고, 6날 리머의 표면조도가 일반 4날 리머보다 우수하였다.

Fig. 11은 이송속도에 따른 진직도와와의 관계를 나타내었다. 드릴공정에서의 진직도는 0.04mm 이상으로 좋지 않았고, 일반리머 및 6날 리머는 0.1~0.2mm/rev에서 안정된 진직도를 나타내었고, 6날 리머의 진직도가 양호한 경향을 보였다.

Fig. 12는 시편의 가공실험을 통해 얻은 절삭속도 30m/min, 이송속도 0.2mm/rev를 실린더헤드 흡기부 가이드 핀의 내경 절삭깊이 50mm, 실린더 헤드를 각각 75개를 가공한 총길이 30m에 대하여 형상을 변경한 6날 리머 및 일반 리머에 대한 공구수명을 나타내었다. 총 가공길이 30m 구간에 대하여 표면조도(Ra) : 3µm, 진직도 : 0.35mm를 임계점으로 가공정밀도를 평가한 결과 6날 리머는 25m, 일반 리머는 15m 구간을 기점으로 각각 표면조도 및 진직도가 나빠지는 경향을 보였다. 그리고 공구수명측면에서는 형상을 변경한 6날 리머가 일반 4날 리머보다 우수하였다.

위의 실험결과에서 제작된 6날 리머로 엔드밀, 리머공정을 1공정으로 개선 할 수 있었고, 표면조도 및 진직도에서

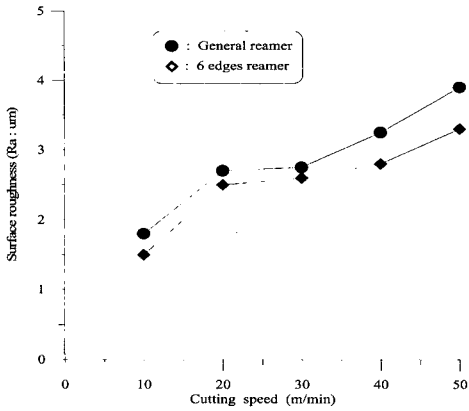


Fig. 8 Surface roughness versus cutting speed

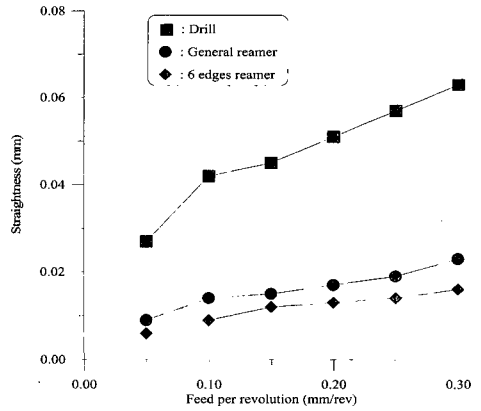


Fig. 11 Straightness versus feed per revolution

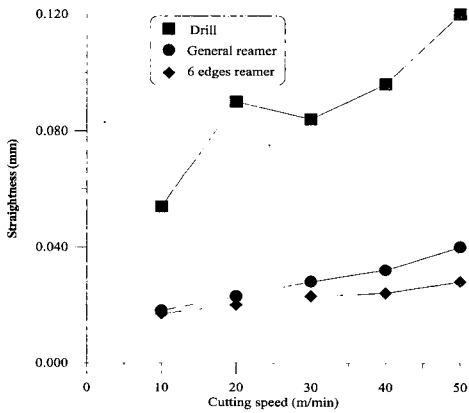


Fig. 9 Straightness versus cutting speed

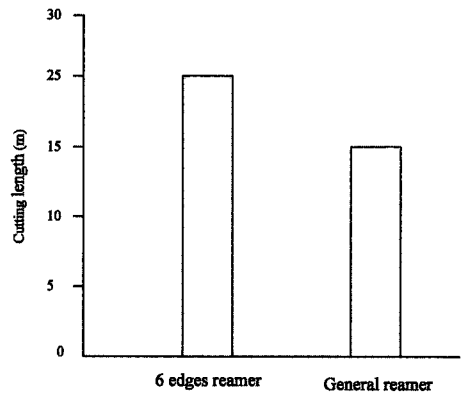


Fig. 12 Tool life of 6 edges reamer and general reamer

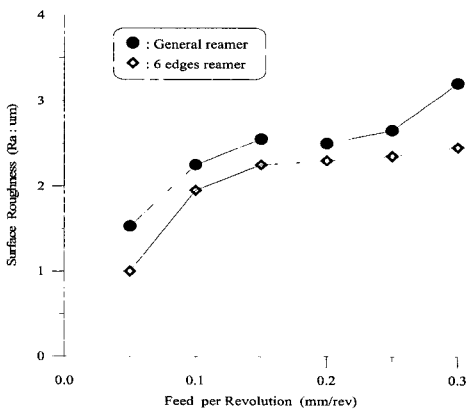


Fig. 10 Surface roughness versus feed per revolution

도 우수한 특성을 얻었다.

5. 결론

자동차 실린더헤드의 흡기부 가이드 핀 내경의 공정개선을 위해 엔드밀, 리머 역할을 동시에 하기 위해 4날 일반 리머의 공구형상을 6날 형태로 변경하였고, 공구수명향상을 위해 TiN 표면처리를 적용하여 4날 일반 리머와 6날 리머의 성능실험을 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 자동차 실린더헤드의 흡기부 가이드 핀의 기존의 작업 공정인 드릴, 엔드밀, 리머 등의 공정에 대하여 형상 변경된 6날 리머를 사용하여 공정을 개선하였다.

- (2) 일반 리머 및 6날 리머의 표면조도와 진직도 측면에서는 6날 리머가 우수하였다.
- (3) 자동차 실린더헤드의 흡기부 가이드 핀 내경 가공을 위한 최적절삭조건은 절삭속도 20~30m/min, 이송속도 0.1~0.2mm/rev에서 안정된 값을 나타내었다.
- (4) 리머에 TiN 코팅을 적용한 공구수명에서는 형상을 변경한 6날 리머가 일반 4날 리머보다 우수하였다.

후 기

본 논문은 2003년도 중소기업기술혁신과제 연구비의 지원을 받아 연구되었음.

참 고 문 헌

- (1) Kim, J. S., 2001, "Tendency of PVD coating technology on Metal cutting tools," *Journal of the KSPE*, Vol. 18, No. 8, pp. 11~17.
- (2) Bergman, E., 1989, "Mechanical and Tribological properties of wear protection coatings produced by PVD methods; H. K. Pulker et al., *Wear and Corrosion resistant coating by CVD and PVD,* expert verlag, Ehningen.
- (3) Tnshoff, K., MohMeld, A., Leyendecker, T., Fuss, H. G., Erkens, G., Wenke, R., Cselle, T., and Schwenk, M., 1997, "Wear mechanisms of(Ti_{1-x}Al_x)N coatings in drilling," *Surface and Coatings Technology* 94~95, pp. 603~609.
- (4) Lee, M. J., Kim, K. L., and Ryu, B. H., 2000, "A Study for Cutting Resistance of TiN Coated Tools," *Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 9, No. 2, pp. 87~95.
- (5) Shut, H., 1995, *High Speed Machining of Dies and Moulds-Cutting Condition and Technology*, CIRP, Vol. 44.
- (6) Nakamura, S., 1996, "High-Speed Spindles for machine Tool," *Int. J. Japan Soc. Prec Eng*, Vol. 30, No. 4, pp. 291~294.
- (7) Srao, S., 1986, "Mechanical Vibration," *Addison-Wesley Publishing Company*.
- (8) Gu, C. W., Kim, H. S., and Lee, S. R., 1992, "Effect of Ti Interlayer on the Adhesion of TiN Thin Films Grown by PECVD," *J. of the Korean Inst. of Met. & Mater.*, Vol. 30, No. 12, pp. 1438~1447.
- (9) <http://www.balzars.co.kr>