

볼 엔드밀 가공에서 고경도 강재의 절삭특성에 관한 연구

원시태* · 허장희** · 이영주***

A Study on the Machinability of High Hardness Steel in Ball End Milling

S. T. Won, J. H. Hur, Y. J. Lee

Abstract

The STD11 and KP4 are important steels and applied to the manufacturing of the die and mold. The purpose of this study is to investigate the machinability of tool steels of STD11(HRC60) and KP4(HRC32) when machining them by using ball end milling tools coated with TiAlN. Cutting forces by using a Kistler piezo-cell type tool dynamometer, surface roughness and tool wear by using tool microscope are used in the tests. The results from the cutting tests of KP4 specimens show that 85m/min. of cutting speed and 0.32mm/rev. of feed per revolution are optimum conditions for the higher productivity and 0.26mm/rev. with the same cutting speed are optimum conditions for better surface finishing. The results from machining STD11 workpiece at 30m/min. of cutting speed and 0.17m/rev. of feed per revolution show recommended for the higher productivity. The KP4 shows relatively smaller cutting forces than STD11 and STD11 shows the better surface finish than KP4.

Key Words : High Hardness Steel (STD11, KP4), Ball End Milling, Machinability, Cutting Speed, Feed per Revolution

1. 서 론

냉간프레스 금형의 주요 부품으로 사용되고 있는 STD11재는 열처리 강재로서 열처리전의 경도는 HRC17~20의 범위를 갖지만, 열처리후의 경도는 HRC58~62범위를 갖는 고강도, 고경도 재료이다.¹⁾ 따라서 현재 이 재료를 금형 용도의 부품으로 사용하는 경우에는 절삭가공의 용이성 때문에 먼저 절삭가공에

의해 부품의 형상을 가공한 후, 적절한 열처리를 실시하여 사용하고 있다. 그러나 절삭 가공한 후 열처리를 행하는 현재의 가공공정에는 열처리에 의한 균열 및 변형이 발생하기 때문에²⁾ 반도체 금형과 같은 정밀한 금형의 제작시에 많은 문제점이 발생하고 있다.

이와 같은 문제점 해결을 위한 방안으로는, STD11재를 먼저 열처리를 행하고, 후에 절삭가공 하는 방법을 고려

* 서울산업대학교 금형실제학과

** (주) 계령코리아

*** 인천 인력개발원 메카트로닉스과

할 수 있는데, 이 경우에는 열처리에 의해 상당히 큰 경도를 갖기 때문에 절삭가공성이 매우 나쁜 단점이 있다.^{3,4)} 그러나 최근에는 고정밀도를 갖는 공작기계의 개발과⁵⁾ 함께 공구재료 및 코팅처리기술의 개발이^{6,7,8)} 활발히 진행되고 있기 때문에 전에는 고려할 수 없었던 난삭 재료에 대한 절삭가공이 가능할 것으로 생각된다.^{9,10)}

따라서 본 연구에서는 대표적인 금형용강재로 사용되고 있는 비열처리재 강재인 KP4재와 STD11열처리재를 TiAlN코팅 공구를 이용하여 볼 엔드밀 가공시 절삭속도와 이송량 등의 절삭조건에 따른 절삭력의 변화, 가공면 거칠기 및 공구의 마모발생 등과 관련한 절삭특성을 검토하고 이들 재료에 대한 최적 절삭조건을 제시하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 피절삭 재료

본 실험에 사용한 피절삭 재료는 대표적 금형용 강재 중 비열처리 강재인 KP4와 열처리 강재인 냉간 합금 공구강 STD11을 선정하였다. Table 2-1은 KP4재와 STD11재의 화학적 성분과 기계적 성질을 나타낸 것이다.

Table 2-1 Chemical composition and mechanical properties of workpieces

Material	Chemical composition					Mechanical properties			
	C	Si	Mn	Cr	Mo	T.S. (kgf/mm ²)	Y.S. (kgf/mm ²)	Elongation (%)	Hardness (HRC)
KP4	0.39	0.25	0.90	0.90	0.25	104	86	23.13	32
	~ 0.44	~ 0.35	~ 1.10	~ 1.10	~ 0.30				
STD11	1.40	0.40	0.60	11.00	0.80	165	138	3.0	60
	~ 1.60			~ 13.00	~ 1.20				

한편, 절삭가공의 특성을 검토하기 위한 이들 재료의 시험편 형상과 크기는 Fig. 2-1과 같다.

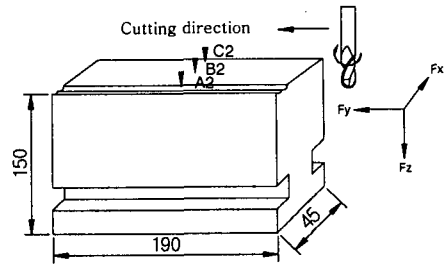


Fig. 2-1 Dimension of cutting test specimen

2.2 볼 엔드밀공구 형상

본 실험에서 사용한 볼 엔드밀은 WC-Co(10%)성분의 초경합금에 PVD에 의한 TiAlN 코팅처리(HV3500)를 하였으며, 볼엔드밀 형상 및 규격은 Fig. 2-2 및 Table 2-2와 같다.

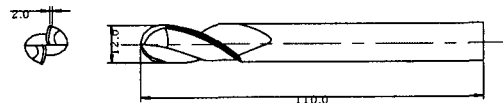


Fig. 2-2 Shape of the ball end mill

Table 2-2 Specification of the ball end mill

Specification	Type	A Type
Diameter (mm)		Ø12
Radial rake angle (°)		10
Radial relief angle (°)		12
Radial land width (mm)		2
Web thick (mm)		8
End gashing type		Middle Center

2.3 실험장치의 구성

본 실험에 사용한 공작기계는 머시닝센터(현대중공업, FZ25, 6000 rpm)를 이용하였고, 절삭력의 측정을 위하여 압전형 공구동력계(Kistler 9257 B)를 머시닝센터 베드에 설치하고, 바이스를 이용하여 공작물을 고정하였다.

공구동력계에서 얻어진 신호는 다채널 증폭기(Kistler 5019 A)로 증폭되었고, 이 증폭된 신호는 A/D 컨버터(DT3001)를 거쳐 디지털화 되어 컴퓨터로 전송되었다.

컴퓨터에서는 Cutting Force Software(HP VEE)를 사용하여 데이터를 분석하였다.

Fig. 2-3은 이러한 절삭력 측정시스템의 개략도를 나타낸 것이다.

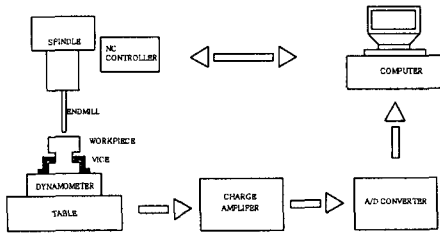


Fig. 2-3 Schematic diagram of experiment set-up to measure cutting force

2.4 절삭작업조건

본 실험에서 사용한 KP4재와 STD11 열처리재의 절삭 특성을 검토하기 위한 절삭속도와 이송량 및 절삭깊이의 조건은 Table 2-3 및 Table 2-4와 같다.

Table 2-3 Cutting conditions to investigate cutting speed in ball end milling test

Work pieces	Cutting condition	*Cutting Speed (m/min.)	Feed per Revolution (mm/rev.)	Feed Rate (mm/min.)	Cutting Depth (mm)
KP4		40	0.26	276	0.5
		55	0.26	379	
		70	0.26	483	
		85	0.26	586	
		100	0.26	690	
Hardened STD11		25	0.17	112.7	
		30	0.17	135	
		35	0.17	162	
		40	0.17	180.4	
		45	0.17	202.9	

Table 2-4 Cutting conditions to investigate feed per revolution in ball end milling test

Work pieces	Cutting condition	Cutting Speed (m/min.)	*Feed per Revolution (mm/rev.)	Feed Rate (mm/min.)	Cutting Depth (mm)
KP4		85	0.2	451	0.5
		85	0.26	586	
		85	0.32	722	
Hardened STD11		30	0.134	106.5	
		30	0.17	135	
		30	0.204	162.18	

2.5 절삭분력 측정방법

공구 수명과 절삭력의 관계를 도출하기 위해서는 공구 수명이 다할 때까지 공구의 멈춤이 없이 계속적인 가공이 되어야 하지만 Tool Dynamometer의 측정 범위(170×100mm)가 정해져 있어 피삭재의 한면 한면을 반복적으로 가공하였다. 절삭 분력의 측정위치는 Fig. 2-1과 같이 가공 면당 3지점 [A(5줄) B(17줄) C(30줄)]에서 처음에서부터 끝까지의 전체 절삭력을 측정하였으며, 이때 절삭 3분력(Fx, Fy, Fz)는 정상 상태의 가공이 이루어지고 있는 중간부분의 위치 A2, B2, C2에서 측정하였다. 한편 가공이 진행되는 동안 절삭력이 증가하는데 본 실험에서는 측정된 절삭의 3분력중 가장 크게 나타나는 분력의 크기가 KP4재의 경우에는 약 400~500N, STD11 열처리재의 경우에는 약 450~500N의 범위에 도달하면 가공을 중지하였다.

2.6 가공면 거칠기의 측정방법

본 실험에서 가공면의 거칠기의 측정은 촉침식 표면조도계 [Model : M4pi, Range of indication : 0.002~50.0 μm, Cut off value : 480 (mm)]를 이용하여, 한 면의 절삭가공이 완료된 후 Fig. 2-1의 절삭력 측정위치(A2, B2, C2)에서 10점 평균거칠기 (Rz)값을 측정하였다.

2.7 공구마모의 측정방법

볼 엔드밀 공구의 마모현상과 마모량의 측정은 빛과 레이저를 투사하여 나타나는 그림자와 반사된 시간차를 이용하여 공구형상과 각 부의 치수를 측정할 수 있는 공구만능측정기[Model : Helichek RAL 7035, X, Y, Z stroke : 200×350×250(mm)]를 이용하였고, 본 실험에서는 가공중 볼 엔드밀 공구에서 발생한 마모량이 KP4재는 0.2~0.3mm, STD11열처리재의 경우 0.08~0.18mm 정도 발생하면 가공을 중단하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 절삭속도와 가공특성과의 관계

3.1.1 절삭속도와 가공분력과의 관계

Fig. 3-1은 KP4재(HRC32)를 절삭 깊이 0.5mm, 이송량 0.26mm/rev.을 기준으로 하여 각각 40m/min.~100m/min.의 절삭속도와, Fig. 3-2는 열처리 STD11(HRC60)재를 절삭깊이 0.5mm, 이송량 0.17mm/rev.를 기준으로 하여 각각 25m/min.~45m/min.의 절삭속도로 볼 엔드밀 가공 시 각각의 절삭속도에 대한 가공초기 단계와 가공 마지막 단계에서 발생한 Fz분력과 가공길이의 관계를 나타

낸 것이다, 이것은 볼 엔드밀 가공이 진행되고 있는 동안의 절삭력의 변화로서 기공기가 작은 것이 좋은 절삭조건을 의미할 수 있으며, KP4재의 경우에는 Fig. 3-1에서 보는바와 같이 절삭속도 85m/min.에서 우수하며, STD11열처리재의 경우에는 Fig. 3-2에서 보는바와 같이 절삭속도 30m/min.이 볼 엔드밀 가공중 발생하는 절삭력의 변화를 고려 할 때 가장 바람직한 절삭속도로 생각된다.

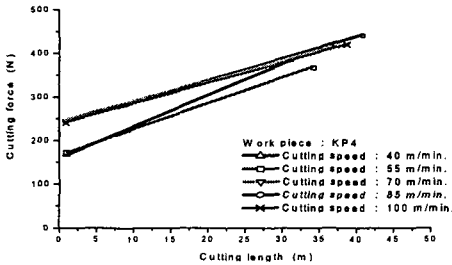


Fig. 3-1 Variations of the cutting forces(F_z) according to the cutting length for the various cutting speeds to machining the KP4

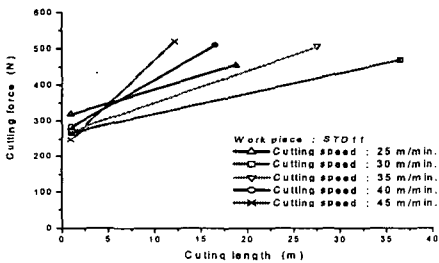


Fig. 3-2 Variations of the cutting forces(F_z) according to the cutting length for the various cutting speeds to machining the hardened STD11

3.1.2 절삭속도와 가공면 거칠기의 관계

Fig. 3-3은 KP4재를 40m/min.~100m/min.의 절삭속도로 각각 가공했을 때 가공길이의 증가에 따른 가공면의 거칠기(R_z)를 나타낸 것이다. 이 결과 각각의 절삭속도에서는 가공길이가 증가할수록 가공면 거칠기(R_z)는 점점 증가하는 경향이 나타나고 있음을 알 수 있고, 이것은 가공이 진행될수록 가공면이 점점 거칠어지고 있음을 의미한다. 한편 가공면 거칠기에 미치는 절삭속도 크기에 영향을 살펴보면 절삭속도 85m/min.을 제외하면 절삭속도가 클수록 가공면 거칠기는 점점 증가하고 있다. 따라서 KP4재의 가공시 가공길이를 고려한 가공면 거칠기는 절삭속도 85m/min.에서 가장 좋은 것으로 나타나고 있다.

한편 Fig. 3-4는 STD11열처리재를 25m/min.~45m/min.의 절삭속도로 각각 가공했을 때 가공길이의 증가에 따른 가공면 거칠기(R_z)의 관계를 나타낸 것이다.

이 결과 경도가 매우 높은 STD11열처리재의 경우에서도 KP4재의 경우와 같이 각각의 절삭속도에서는 가공길이가 증가할수록 가공면 거칠기(R_z)가 점점 증가하는 경향은 비슷하나 절삭속도가 상대적으로 높은 40m/min. 및 45m/min.에서는 가공 한계길이인 약 15m와 10m에서 R_z 값이 급격히 상승하는 특징이 나타난다. 이것은 피삭재의 경도가 너무 큰 경우에는 절삭속도가 빠르면 볼 엔드밀 공구의 절삭날 부분의 마모현상과 함께 미세한 균열이 발생하기 때문에 나타나는 현상으로 생각된다. 그리고 Fig. 3-4의 실험결과에서 STD11열처리재의 볼 엔드밀 가공시 가공길이를 고려한 가공면 거칠기(R_z)는 절삭속도 30m/min.에서 가장 좋은 것으로 나타나고 있다. 한편 KP4재 및 STD11열처리재를 각각의 절삭속도에서 절삭이 가능한 가공한계길이에서 나타나는 가공면 거칠기(R_z)의 크기를 살펴본 결과 STD11열처리재는 약 $6\mu\text{m}$ 인 반면, KP4재의 경우에는 약 $10\mu\text{m}$ ~ $20\mu\text{m}$ 의 가공면 거칠기가 나타나고 있다. 이것은 재료의 경도가 매우 높은 STD11열처리재가 상대적으로 경도가 낮은 KP4재보다 볼 엔드밀 가공시 가공 한계길이는 짧으나 가공면 거칠기는 더욱 우수한 결과를 나타내고 있음을 알 수 있으며 상기 결과는 최상우¹¹⁾등이 STD11재를 다양한 열처리를 행하여 경도값을 HRC16~HRC50까지 변화시킨 후, CBN 볼 엔드밀로 절삭한 경우, 피삭재의 경도가 낮을수록 가공면 거칠기가 더욱 크게 나타나는 결과와도 일치하고 있다.

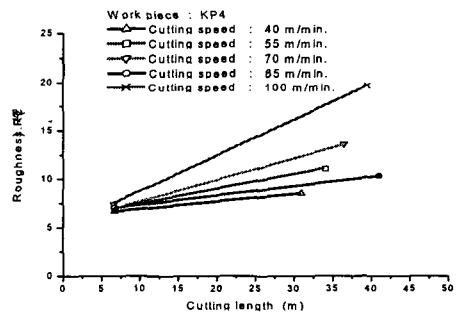


Fig. 3-3 Variations of the roughness (R_z) according to the cutting length for the various cutting speeds of the KP4

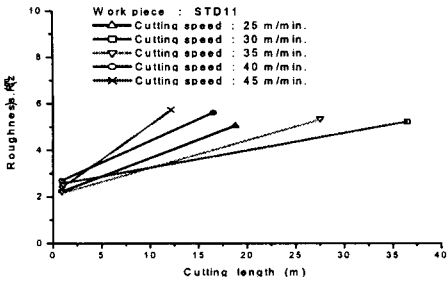


Fig. 3-4 Variations of the roughness (Rz) according to the cutting length for the various cutting speeds of the hardened STD11

3.1.3 절삭속도와 공구마모량과의 관계

불 엔드밀 가공시 발생하는 공구마모의 형태는 플랭크 마모, 크레이터 마모, 칩핑 등의 형태가 나타나고 있으며, 이들 중 플랭크 마모가 가장 일반적으로 발생하는 것으로 알려져 있다.¹²⁾

본 실험결과 공구에 발생한 마모형태중 Photo. 3-1 (a)은 플랭크 마모가 발생한 경우의 예를, (b)는 크레이터 마모가 발생한 예를 나타낸 것이다. 본 실험의 경우 공구에 발생하는 마모형태는 플랭크 마모가 지배적으로 나타나고 있기 때문에 플랭크 마모를 중심으로 검토하였다.



(a)Frank wear (b)Crater wear

Photo. 3-1 Wear type at the tool edge

Fig. 3-5의 (a)는 KP4재의 불 엔드밀 가공시 각각의 절삭속도에서 가공길이의 증가에 대한 공구의 마모량을, Fig. 3-5의 (b)는 절삭속도와 마모가 발생한 각도와와의 관계를 나타낸 것이다.

이 결과 각각의 절삭속도에서 가공길이가 증가하면 공구의 마모량은 증가하는 경향을 볼 수 있고, 발생한 공구의 마모량은 가공길이를 고려할 때 절삭속도가 상대적으로 큰 85m/min. 및 100m/min.에서 약 0.2~0.25mm이고, 상대적으로 작은 40m/min.~70m/min.에서 약 0.3~0.4mm의 마모량이 발생하고 있어 절삭속도가 작을수록

마모 발생량은 크게 나타난다. 따라서 KP4재의 불 엔드밀 가공시 가공길이를 고려한 공구의 마모량의 관점에서 생각하면 절삭속도가 85m/min.인 경우가 가장 바람직한 것으로 생각된다.

또한 절삭속도의 크기에 따라 공구의 마모가 발생하는 각도를 살펴보면, 절삭속도가 낮은 40m/min. 및 55m/min.에서는 불 엔드밀의 정점부(0°)에서 불 엔드밀의 측면 절삭날의 약 22°범위에서, 절삭속도가 큰 85~100m/min.에서는 불 엔드밀 측면 절삭날의 약 22°~25°부근에서 주로 마모가 발생하고 있음을 알 수 있다.

한편 Fig. 3-6의 (a)는 STD11열처리재의 불 엔드밀 가공시 각각의 절삭속도에서 가공길이의 증가에 대한 공구의 마모량을, Fig. 3-6의 (b)는 절삭속도와 마모가 발생한 각도와와의 관계를 나타낸 것이다.

이 결과 STD11열처리재를 가공하는 경우에도 KP4재의 경우와 같이 가공길이가 증가할수록 공구의 마모량이 증가하는 경향은 비슷하나, 발생하는 공구의 마모량은 KP4재에 비해 적으며 상대적으로 절삭속도가 작은 25m/min. 및 30m/min.에서 약 0.1mm의 마모량이 발생하고, 40m/min. 및 45m/min.에서 약 0.15mm의 공구 마모량이 발생하여 절삭속도가 빠를수록 크게 나타나고 있다. 한편 STD11열처리재의 불 엔드밀 가공시 가공길이를 고려한 공구의 마모량을 생각하면, 30m/min.의 절삭속도가 가장 바람직한 가공 속도로 생각된다.

한편 절삭속도의 크기에 따라 공구의 마모가 발생하는 각도를 살펴보면, 절삭속도가 가장 낮은 25m/min.에서는 불 엔드밀 공구의 정점부인 약 0.5°에서 불 엔드밀 측면 절삭날의 12°범위에 걸쳐 마모가 발생하고 있고, 절삭속도가 30m/min.에서는 불 엔드밀의 측면 절삭날의 약 5°~24°의 범위에서, 40m/min. 및 45m/min.의 절삭속도에서는 약 20°~27°부근에서 마모가 주로 발생하는 특징이 나타난다.

이상의 결과에서 마모가 발생하는 위치는 KP4재와 STD11열처리재 모두 절삭속도가 상대적으로 낮은 경우에는 공구의 정점부에서, 절삭속도가 상대적으로 큰 경우에는 20°~27°범위에서 나타나고 있음을 알 수 있고, 절삭속도의 크기에 의해 마모가 발생하는 위치가 결정되고 있음을 볼 수 있다.

이 현상은 본 실험의 경우 절삭깊이가 0.5mm이기 때문에 절삭속도가 일정속도 이상일 경우에는 Fig. 3-7에서 보는바와 같이 불 엔드밀과 피삭재의 이론적인 가공 접촉각도가 약 23.6°이기 때문에 이 부근에서 마모가 가장 심하게 나타나는 것으로 생각되며, 절삭속도가 일정

속도 이하인 경우에는 공구의 정점부와 피삭재의 접촉마찰에 의해 공구의 정점부에서 마모와 파손이 쉽게 발생하는 것으로 생각된다.

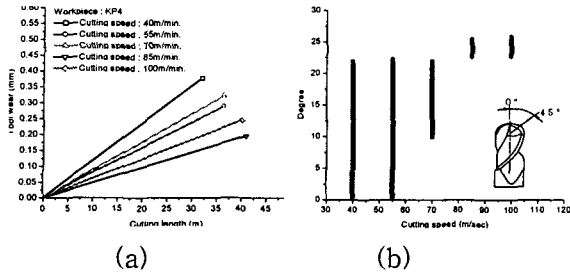


Fig. 3-5 (a) Variations of the tool wear for the various cutting speeds in machining the KP4
(b) The relation between tool wear occurrence degrees and cutting speeds for the tool geometry of the KP4

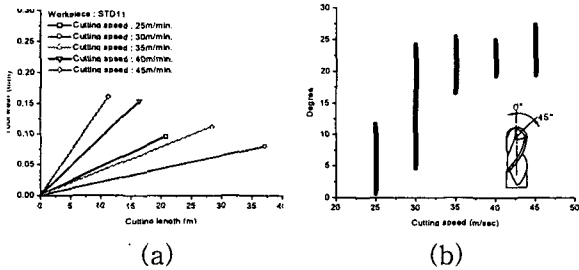


Fig. 3-6 (a) Variations of the tool wear for the various cutting speeds in machining the hardened STD11
(b) The relation between tool wear occurrence degrees and cutting speeds for the tool geometry of the hardened STD11

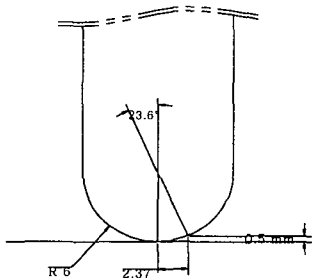


Fig. 3-7 Schematic view of the contact degree of workpieces and ball end mill according to the cutting depth

3.1.4 절삭속도와 공구수명과의 관계

KP4재 및 STD11열처리재를 각각의 절삭속도로 볼 엔드밀 가공시에 발생하는 절삭력과 가공면 거칠기 및 공구의 마모량과의 관계를 종합적으로 검토하여 가공한계

길이를 선정하고, 피삭재의 종류에 따른 절삭속도와 가공시간의 관계를 검토하였다.

공구수명에 미치는 절삭조건 영향은 일반적으로 절삭속도, 이송량, 절삭깊이의 순서로 나타나며¹³⁾, 본 실험의 경우 절삭깊이는 0.5mm, 이송량은 KP4재는 0.26mm/rev., STD11열처리재는 0.17mm/rev.으로 일정하게 하였기 때문에 Taylor의 공구수명식¹⁴⁾인 $VT^n = C$ 에서 지수 n값과 상수 C값을 구하였다. Fig. 3-8은 KP4재 및 STD11열처리재를 볼 엔드밀 가공시 절삭속도와 공구수명 시간의 관계를 나타낸 것이고 이들 재료에 대한 지수 n값 및 상수 C값을 살펴보면 KP4재의 경우 $n=1.352$, $C=24528$ 값을 나타내고, STD11열처리재의 경우 $n=0.242$, $C=118$ 의 값을 갖는다. 따라서 고경도재료인 STD11열처리재는 KP4재보다 지수 n값이 상당히 작고, 공구수명 시간이 매우 짧다.

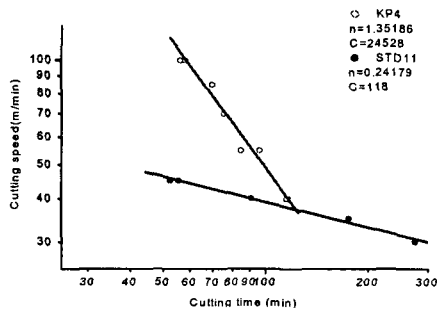


Fig.3-8 The relation between cutting speeds and cutting times for the KP4 and hardened STD11

3.2 이송량과 가공특성과의 관계

3.2.1 이송량과 절삭분력과의 관계

3.1절에서 KP4재는 이송량 0.26mm/rev.에서 최적 절삭속도는 85m/min.이고, STD11열처리재는 이송량 0.17 mm/rev.에서 최적 절삭속도는 30m/min.임을 알 수 있었다. 따라서 본 절에서는 이송량의 변화가 가공특성에 미치는 영향을 검토하였다.

Fig. 3-9는 KP4재의 이송량 변화에 따른 절삭분력(Fz)의 변화관계를, Fig. 3-10은 각각 STD11열처리재의 이송량 변화에 따른 Fz값의 변화관계를 나타낸 것이다.

이 결과를 살펴보면 KP4재의 경우 절삭속도 85m/min.에서 이송량의 변화에 의한 절삭분력은 큰 영향이 나타나지 않는 것으로 생각된다. 그러나 STD11열처리재는 절삭속도 30m/min.에서 이송량이 변화하는 경우 KP4재에 비하여 절삭분력에 어느 정도 영향을 미치고 있으며

0.204mm/rev.조건에서 이송량이 작은 두 조건보다 가공 길이를 고려했을 때 가장 기공기가 크게 나타나며, 절삭 속도 30m/min.인 경우에는 절삭분력의 특징이 비슷한 이송량의 두 조건에서는 가공효율을 고려하면 0.134 mm/rev.보다 이송량이 큰 0.17mm/rev.로 가공하는 것이 더욱 바람직할 것으로 생각된다.

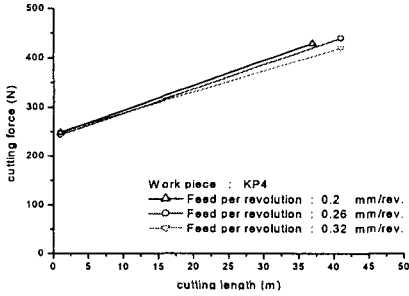


Fig. 3-9 Variations of the cutting forces according to the cutting length for the various feed per revolutions to machining the KP4

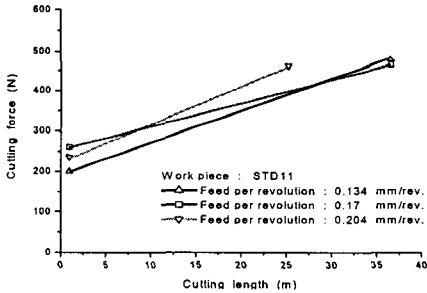


Fig. 3-10 Variations of the cutting forces according to the cutting length for the various feed per revolutions to machining the hardened STD11

3.2.2 이송량과 가공면 거칠기과의 관계

Fig. 3-11 및 Fig. 3-12는 KP4재 및 STD11열처리재의 이송량의 변화에 따른 가공길이와 가공면 거칠기(Rz)의 관계를 나타낸 것이다.

이 결과 KP재는 이송량을 0.26 mm/rev.로 하였을 때 나타나는 가공면 거칠기(Rz)가 이송량이 0.2mm/rev. 및 0.32mm/rev.에 비해 가장 작게 나타나고 있기 때문에 가공면 거칠기의 관점에서 고려하면 0.26mm/rev.인 경우가 가장 바람직한 것으로 생각된다.

한편 STD11열처리재의 경우 가공초기단계에서는 이송량이 가장 작은 0.134m/rev.인 경우 가공면 거칠기가 가장 좋으나 가공이 진행 될 수록 오히려 0.17mm/rev.에

비해 가공면 거칠기가 나쁜 것으로 나타나고 있다. 따라서 가공 한계길이를 고려할 때, 이송량이 0.17mm/rev.인 경우가 더욱 바람직한 것으로 생각된다.

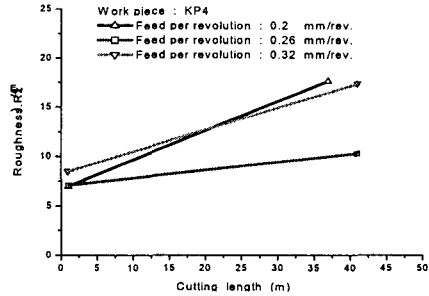


Fig. 3-11 Variations of the Rz according to the cutting length for the various feed per revolutions of the KP4

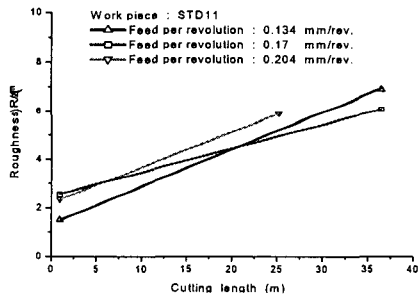


Fig. 3-12 Variations of the Rz according to the cutting length for the various feed per revolutions of the hardened STD11

3.2.3 이송량과 공구 마모량의 관계

Fig. 3-13은 KP4재의 볼 엔드밀 가공시 이송량의 변화에 따른 공구의 마모량을, Fig. 3-14는 STD11열처리재의 이송량의 변화에 따른 공구의 마모량을 나타낸 것이다. 이 결과 KP4재는 절삭속도 85m/min.에서 이송량이 변화하는 경우, 각각의 이송량에서 가공길이의 증가에 따라 발생한 마모량의 크기는 비슷하였으나, STD11열처리재는 절삭속도 30m/min.에서 이송량이 변화하는 경우 가공길이의 증가에 따라 발생하는 마모량은 이송량이 큰 0.204mm/rev.의 경우가 이송량이 상대적으로 작은 0.134mm/rev. 및 0.17mm/rev.의 경우보다 더욱 크게 발생하고 있음을 알 수 있다.

한편, 마모가 발생하는 위치는 이송량의 크기에 무관하게 KP4재는 볼 엔드밀의 측면 절삭날 20° ~ 23°의 범

위에서, STD11열처리재는 약 $10^{\circ} \sim 23^{\circ}$ 의 부근에서 발생하기 때문에 3-1절의 각각의 재료에 대한 절삭속도의 조건에서 마모가 발생하는 범위와 비슷하다. 따라서 공구의 마모발생위치는 이송량보다는 절삭깊이 및 절삭속도에 의한 영향이 더욱 크게 작용하는 것으로 생각된다.

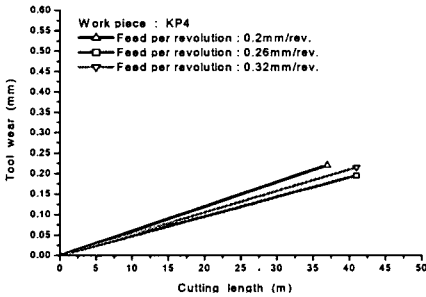


Fig. 3-13 Variations of the tool wear for the various feed per revolutions in machining the KP4

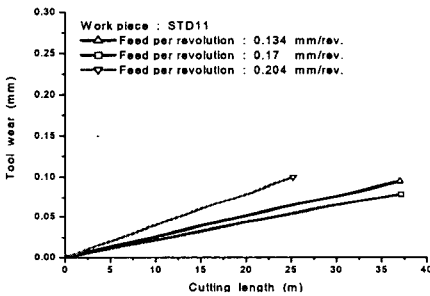


Fig. 3-14 Variations of the tool wear for the various feed per revolutions in machining the hardened STD11

3.2.4 이송량과 가공길이의 관계

Fig. 3-15 및 Fig.3-16은 KP4재 및 STD11열처리재를 볼 엔드밀 가공시 이송량의 변화에 따라 나타나는 절삭력과 가공면 거칠기 및 공구의 마모량과의 관계를 종합적으로 검토하여 가공 길이와 이송량의 관계를 나타낸 것이다.

이 결과 KP4재는 3.2.2절에서 살펴 본 바와 같이 절삭속도 85m/min.에서 가공효율과 가공면 거칠기의 중요 유무에 따라서 정상가공시에는 가공면 거칠기가 우수하게 나타나는 0.26mm/rev.조건을, 황삭가공시에는 가공효율이 좋은 0.32mm/rev.조건이 바람직하다. 한편 STD11열처리재는 3.2.1절과 3.2.2절에서 살펴 본 바와 같이 절삭속도 30m/min.에서 이송량 0.17mm/rev.조건이 0.134mm/rev.조

건에 비하여 절삭력의 변화가 작고, 가공면 거칠기도 양호하기 때문에 더 바람직하다고 생각된다.

한편 KP4재 및 STD11재 모두 이송량 변화에 따른 절삭력의 변화, 가공면 거칠기, 공구 마모 발생량 및 가공 길이는 절삭 속도 변화에 의한 것보다 그 차이가 적게 나타나고 있기 때문에 볼 엔드밀 가공시 절삭특성에 미치는 인자 중 절삭속도가 이송량 보다는 더욱 중요한 인자로 작용하는 것을 확인 할 수 있었다.

그러나 피삭재의 경도차이에 따라서 STD11열처리재는 상대적으로 경도가 작은 KP4재에 비하여 이송량의 변화에 의해서도 절삭력과 공구마모량등에 어느정도 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다.

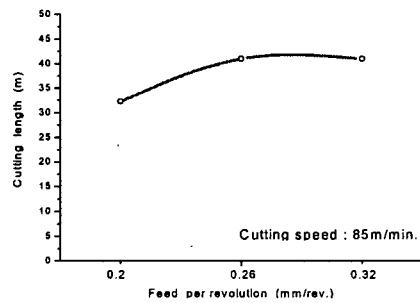


Fig. 3-15 The maximum cutting length for the feed per revolutions in machining the KP4

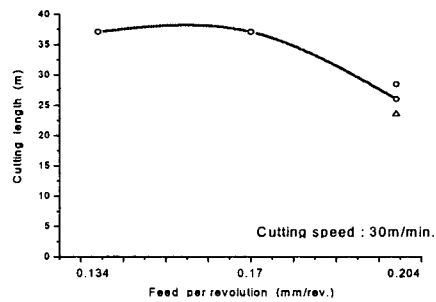


Fig. 3-16 The maximum cutting length for the feed per revolutions in machining the hardened STD11

4. 결론

본 연구에서는 금형용 강재인 KP4(HRC32)와 STD11 열처리재(HRC60)를 TiAlN코팅 공구를 사용하여, 볼 엔드밀 가공시 절삭깊이는 0.5mm로 일정하게 하고, 절삭속도와 이송량을 변화시킨 경우 절삭력, 가공면 거칠기, 공구의 마모등의 절삭특성에 어떠한 영향을 미치는 가에