

니켈기 내열합금 절삭시 공구에 따른 마모와 칩생성

김우순*, 김경우*, 김동현**

Wear and Chip Formation by the Tool on Cutting Nickel-based Heat Resisting Alloy

Woo-Soon Kim*, Kyong-Woo Kim*, Dong-Hyun Kim**

Abstract

Nickel-based heat resisting alloys are commonly used for high temperature applications such as in aircraft engines and gas turbines. In this paper, the machinability of Nickel-based heat resisting alloy was investigated with respect to the wear and the chip formation by tool type and cutting condition. Relationship between three types of tool and chip formation was experimentally investigated. Among the three types of tool tested, coated tools(CVD, PVD) are available for the difficult-to-cut-materials such as Nickel-based heat resisting alloy and etc.

Key Words : PVD(물리적 증착법), CVD(화학적 증착법), Chip Formation(칩생성), Nickel-based Heat Resisting Alloy(니켈기 내열합금)

1. 서 론

현재는 신소재 개발의 전쟁 시대라고 할 수 있을 정도로 각국의 신소재 개발경쟁은 매우 치열하다. 일반적으로 신소재라고 하는 것은 난삭재에 속하는 경우가 대부분이며, 이러한 난삭재 중에는 스테인리스강, 고망간강, 마르에이징강, 초내열합금, 고내식 Ni기합금, 슈퍼 스테인리스강, 고속도공구강, 초경합금등이 있다. 더욱 니켈기 내열합금과 같이 복수의 달라진 난삭성을 생기게 하는 재료도 있다. 이와 같은 난삭재료에 대한 절삭데이터가 부족하여 무

인자동화 제조공정에 난삭재 가공에 많은 어려움이 있다.

한편, 최근 고부가가치 산업인 항공·우주산업과 같은 첨단분야에서는 고강도, 고장력, 내열, 내식, 내마모 등의 특성을 가지는 고성능 부품을 사용하는 추세가 증가되고 있는 실정이다. 특히, 항공기 엔진부품으로 많이 쓰이는 초내열합금인 인코넬 718과 같은 소재는 니켈기 내열합금으로 합성성분중에 니켈이 50%이상 포함되어 재료비가 워낙 고가이고 난삭재라는 특성을 가지고 있어 절삭가공에서 발생하는 절삭온도⁽¹⁾에 의해 가공경화현상이 발생되며 공구마모 또는 공구수명 단축을 초래하는 원인이 될

* 원광대학교 대학원 기계공학과(knamba@hanmail.net)

** 원광대학교 기계공학부

뿐만 아니라, 표면거칠기 등과 같은 형상정밀도에도 악영향을 미친다. 그리고 공구재료와의 친화성이 높고 열전도성이 나쁘기 때문에 가공성 평가가 거의 행해지지 않아 절삭데이터가 거의 없는 실정이고 절삭조건 선정이 어려운 단점이 있다. 특히, NC로 가공하는 것이 일반화되어 있는 현재에 절삭조건 표준화가 가공 조건의 전제가 되기도 하므로 절삭실험을 하여 절삭데이터에 대한 검토와 수정을 해나가야 한다. 이러한 니켈기 내열합금의 절삭성에 관하여 많은 연구들이 진행되고 있다.

Vlucgels²⁾는 고속 절삭가공시 고온에서의 공구와 피삭재 사이의 화학적 상호작용이 공구마모메카니즘으로 작용함을 고찰하기 위하여 Si-Al-O-N공구와 Pure Nickel, 인코넬 600, Nimonic을 실험하였다. He³⁾는 혼합 세라믹공구와 Si-Al-O-N공구로 니켈기 내열합금인 인코넬 718과 GH4169를 절삭실험하여 음의 공구인선 경사각과 작은 공구 안내각이 세라믹공구의 결손방지에 유리하다고 하였다. Thangaraj⁴⁾는 인코넬 718재료를 피삭재로 하여 공구마모 유형에 대해 연구하였다.

Tasaki⁵⁾는 CBN공구로 인코넬 718을 절삭실험하여 공구마모와 공구수명, 표면거칠기등을 초경공구와 비교 연구하였다. 狩野勝吉⁶⁾는 초경K종과 코팅 재종을 저속으로 사용하면 인코넬의 가공에 적합하다고 발표하였다. 하지만, 현재의 절삭가공의 고속화 경향에 따라 다른 재종에 대한 고속 절삭가공이 진행되고 있는 경향이기에 때문에 비록 초내열합금이라도 고속절삭에 대한 요구가 증가하고 있다.

최근까지의 니켈기 내열합금에 대한 연구는 선삭에 의한 공구마모를 관찰하는데 역점을 두고 진행되어져 왔으며, 이전 연구들을 통하여 공구상에 플랭크마모가 가장 심하게 나타남을 알았다. 이 현상을 극복하기 위하여 초경합금, 고속도강 등의 절삭공구에 고경도 화합물을 코팅한 공구의 사용이 확대되고 있으며⁷⁾, 근래에는 코팅공구를 이용한 절삭가공을 통하여 공작물과 공구와의 마찰감소, 절삭시 온도상승의 억제, 굽힘 마모저항 등의 장점을 가지는 코팅공구의 절삭특성을 파악하는 것이 중요시되고 있다.

본 연구에서는 CNC선반을 이용하여 니켈기 내열합금을 나사선삭가공을 하여 절삭가공에 따른 P20, CVD공구(화학적 증착법), PVD공구(물리적 증착법)의 마모상태의 변화를 고찰하고 칩생성 특성을 파악하고자 한다.

2. 실험 방법

본 연구에서 수행한 니켈기 내열합금의 절삭실험은

Mitsubishi사의 CNC선반(MALC10)을 이용하여 나사선삭가공을 실시하였다. Fig. 1은 나사선삭가공을 하기 위한 4가지 방법을 나타낸 것이다. 나사선삭을 하기 위해서는 여러 경로로 절삭 깊이를 분할하여 절삭하는데 본 연구에서는 Fig. 1의 ¹⁾과 같이 나사산을 따라 한 쪽 방향으로 절삭하는 방법을 채택하여 실험하였다. 한쪽 방향으로 절삭하는 방법은 일반적으로 길이방향 절삭과 같은 원리를 가진 절삭방식으로 칩의 배출성도 좋고 절삭날에 걸리는 부하가 비교적 적어진다. 또한, 이 방식은 가공경화가 심한 재료 등에 유효한 수단으로 사용되고 있다.⁸⁾⁹⁾

나사선삭가공실험에 사용된 공구 P20과 코팅초경(CVD, PVD)의 인서트는 외경 나사절삭용 30° 16ER20TR(東芝 텅갈로이)을 툴 홀더(CER2525M16T)에 장착하여 사용하였다. Fig. 2는 인서트를 장착한 툴 홀더가 나사절삭하는 모양을 나타내었다.

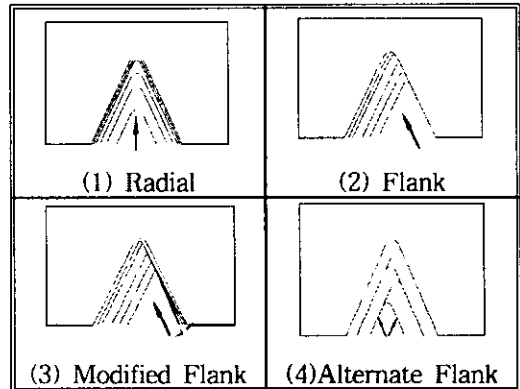


Fig. 1 Different Infeed Methods

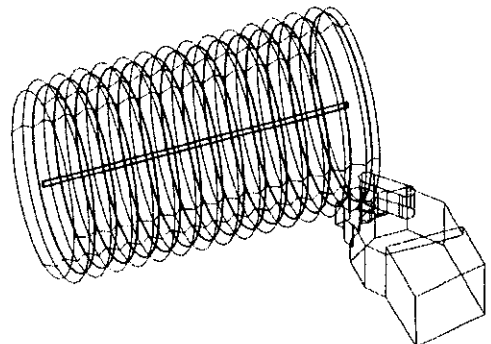


Fig. 2 Threading profile

Table 1은 실험 조건을 나타내었고 Table 2와 Table 3은 실험에 사용된 니켈기 내열합금의 화학성분과 기계적 특성을 나타내고 있다.

나사절삭 가공에서는 한 번의 이송으로 절삭하는 것이 어렵기 때문에 절삭깊이를 여러번 나누어 절삭한다. 따라서, 노즈인선은 각 경로마다 절삭에 관여하게 되고 손상이 노즈부에 집중적으로 나타난다. 노즈부에 집중하는 손상을 억제하기 위하여 과대한 절삭깊이는 피하는 것이 좋다. 따라서, 최대 절삭깊이는 0.5mm를 넘지 않게 하는 것이 중요하다.⁽⁸⁾

나사선삭가공시 P20, CVD공구, PVD공구의 마모진행 과정을 측정하기 위해 일정거리를 절삭할 때마다 절삭실험을 정지하고 코너마모폭(V_c)과 최대여유면마모폭(VB_{max})을 마이크로측정 광학현미경을 이용하여 측정하였고, 최대여유면마모폭(VB_{max})이 0.4mm에 도달하는 곳에서 공구 수명이 다한 것으로 판단기준을 정하여 절삭실험을 종료하고 새로운 공구로 대체하였다. 절삭실험을 진행하면서 특정한 절삭거리에 이르렀을 때 가공된 칩을 채취하여 칩생성을 조사하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 3은 절삭깊이 0.25mm에서 절삭거리에 따라 발생하는 최대여유면마모폭(VB_{max})과 코너마모폭(V_c)를 나타낸 것이다. P20은 절삭거리가 500m에 도달하기 전에 공구수명에 이르렀다. 이는 니켈기 내열합금소재가 열전도

Table 1 Experimental conditions

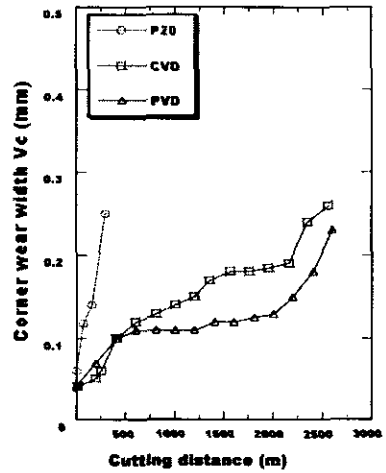
Tool material	P20 CVD PVD	UX 25 T725X GH330
Work piece	Nickel-based Heat Resisting Alloy	$\phi 90 \times 1200\text{mm}$
Cutting condition	Cutting Speed	120 m/min
	Depth of cut	0.25 mm, 0.5 mm
	Feed rate	0.2 mm/rev
coolant	wet	emulsion

Table 2 Chemical composition of Nickel-based Heat Resisting Alloy

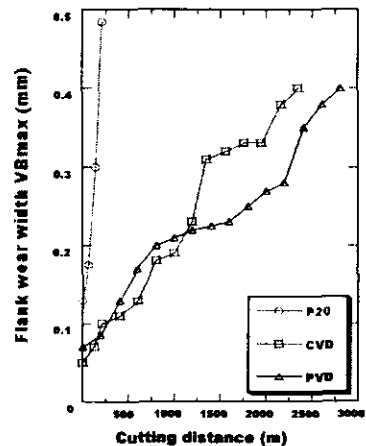
Chemical composition	Ni	Cr	Mo	Fe
wt%	50	25	6	17.7

Table 3 Mechanical Properties

	Hardness (HB)	Elongation (%)	Tensile Stress (MPa)	Thermo Conductivity (W/(m · K))
Nickel-based Heat resisting Alloy	408	21.4	1380	11.16



(a)



(b)

Fig. 3 Relation between wear width and cutting length ((a) V_c , (b) VB_{max})

성이 낮기 때문에 공구인선 온도가 쉽게 고온으로 상승하여 경계마모가 급격하게 발생하기 때문이다. 코팅초경(CVD, PVD)공구는 절삭거리가 증가하여도 최대여유면 마모폭(VB_{max})과 코너마모(V_c)가 비슷한 양상을 나타내며 완만히 증가하였다. CVD공구, PVD공구 모두 절삭거리가 500m~2000m 구간에서 정상마모 양상을 나타내다가, 절삭거리가 약 2000m를 지나는 지점에서부터 급격한 마모 상승이 발생하여 여유면마모한계에 이르렀다. 코팅 공구(CVD, PVD) 2종류만을 비교해보면, CVD공구, PVD공구 모두 비슷한 마모진행 경향을 나타내지만, CVD공구에 비해 PVD공구가 더 양호한 마모 상태를 나타냈다.

Photo 1은 나사선삭가공실험을 진행하면서 선정된 절삭 거리에 이르렀을 때 채취한 칩을 4가지 형태로 분류하여 보여주고 있으며, 칩형상과 절삭거리와의 관계를 Fig. 4에 나타내었다. 칩형상에 따라서 TYPE A와 TYPE B는

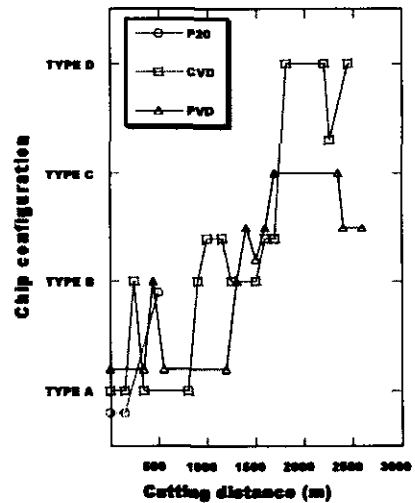


Fig. 4 Relation between cutting distance and chip configuration

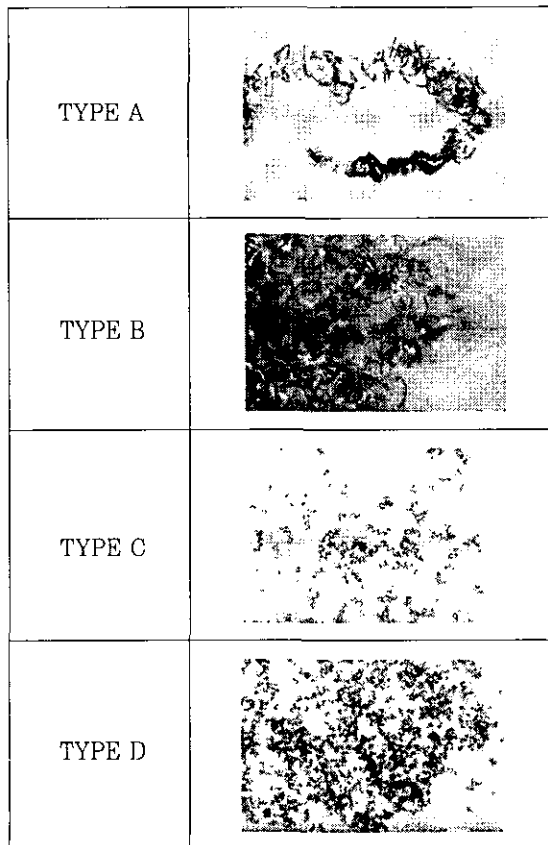


Photo. 1 Photograph of Chip Formation

snarled or ribbon chips, TYPE C는 conical broken chips, TYPE D는 conical helical chips으로 분류하여 정하였다. TYPE A와 TYPE B 칩은 불규칙적인 연속형상으로 공구나 피삭재 등에 의해 얽히는 현상을 보이며, 절삭거리가 약 500m 영역에서 사용된 모든 공구가 이러한 경향을 나타내었다. 이와 같은 칩의 발생은 동력이 손실되고 가공면의 정도가 떨어지는 현상 등을 초래할 수 있다. TYPE C 칩은 PVD공구로 절삭했을 때 주로 발생하고 TYPE D 칩은 CVD공구에서 현저하게 나타났다.

초기절삭에서의 칩은 불규칙한 연속형 칩인 TYPE A 형상이 대부분 발생하였으나, 절삭거리 증가에 따라 불연속형 칩인 TYPE D 형상으로 변화하였다. 이런 변화는 절삭이 진행됨에 따라 공구의 경사면에서 발생하는 크레이터마모와 코너부에서 발생하는 코너마모가 성장함에 따라 발생하는 현상으로 판단된다.

절입깊이 0.5mm에서의 P20, CVD공구, PVD공구의 마모상태를 Photo 2에 나타내었다. P20은 경사면 코너부에서 타원형의 움푹 패인 마모형태를 나타내고 있으며, 코너부와 여유면의 마모가 진행하여 마모간의 경계가 없어졌다. 이는 경사면 코너부에서 칩과 피삭재 간의 접촉에 의하여 절삭가공이 진행됨에 따라 마모양상이 점점 확산되어 나타난 것으로 판단된다. 한편, 코팅공구(CVD, PVD)에서는 고온의 절삭열의 영향을 받는 피삭재와 코팅층간의 접촉에 의해 코팅층이 산화되고, 피삭재의 일부가 공구

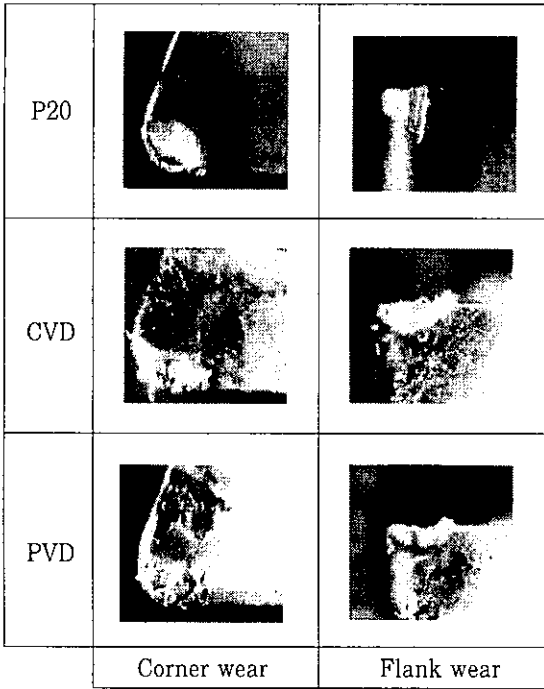


Photo. 2 Tool wear

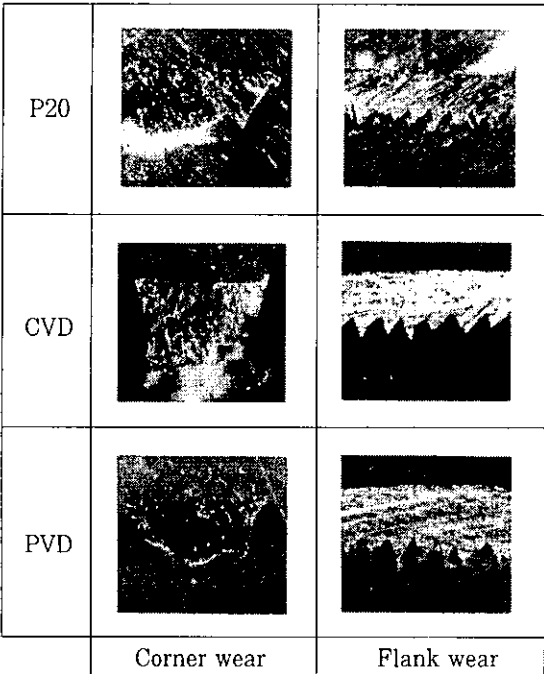
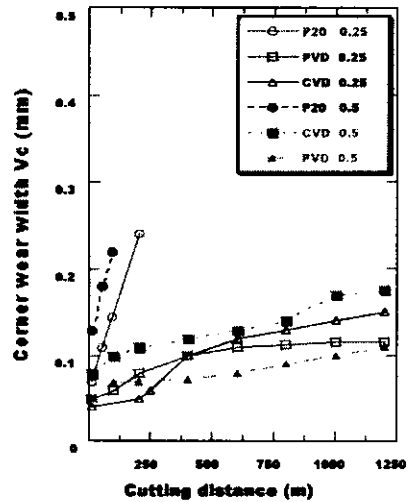


Photo. 3 Chip cross section

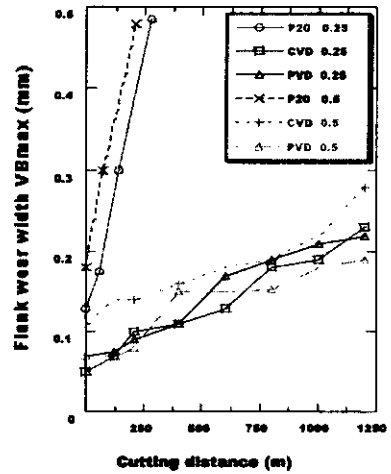
표면에 응착되어 나타나는 현상으로 판단되며, P20에서 나타난 것과 같은 현저한 마모현상은 볼 수 없었다.

Photo 3은 절삭실험한 후에 채취한 칩에서의 단면형상을 나타내었고 난삭재의 절삭가공에서 전형적으로 발생하는 톱니형 칩이 발생함을 알 수 있었다.

Fig. 5은 절삭깊이 0.5mm에서 절삭거리와 최대여유면 마모폭(VB_{max})의 관계를 나타내었다. 절삭깊이를 증가시켰을 때 P20, CVD공구, PVD공구에서 발생하는 마모현상과 이미 언급한 절삭깊이 0.25mm일 때의 코너부 마모



(a)



(b)

Fig. 5 Relation between wear width and cutting length ((a) V_c , (b) VB_{max})

(Vc)와 최대여유면 마모폭(VB_{max})의 결과는 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났다. 그러나, P20에서는 절삭깊이 0.5mm인 경우가 0.25mm인 경우보다 절삭거리가 증가함에 따라 코너마모(V_c)와 최대여유면마모(VB_{max})가 빠르게 진행하지만, 코팅공구(CVD, PVD)들에 있어서는 절삭깊이 0.25mm인 경우와 커다란 차이가 없음을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 난삭재로 분류되는 니켈기 내열합금을 대상으로 나사선삭가공을 실시하였다. 절삭거리에 따른 P20과 코팅초경(CVD, PVD)공구의 여유면마모(V_B)와 코너마모(V_c)의 변화특성을 고찰하였으며, 절삭가공 중에 발생한 칩의 형상을 관찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 절삭깊이 0.25mm인 조건에서 P20 공구는 약 500m의 절삭거리에서 공구수명을 다하였으나, CVD공구와 PVD공구는 절삭거리 2000m이상에서 급격한 마모 진행 경향을 보였으며, P20 < CVD공구 < PVD공구 순으로 공구수명이 우수하였다.
- (2) 코너마모와 크레이터마모가 성장함에 따라 P20, CVD공구, PVD공구 모두 연속형 칩에서 불연속형 칩으로 변화하여 발생하였다.
- (3) 절삭깊이를 0.25mm에서 0.5mm로 증가시켰을 경우, P20은 여유면 마모(V_B)와 코너 마모(V_c)가 빨리 진행되지만, CVD공구와 PVD공구의 경우에는 공구수명이 절삭깊이변화에 커다란 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

- (1) T. I. EL-WARDANY, E. MOHAMMED and M. A. ELBESTAWI, "Cutting Temperature of Ceramic Tools in High Speed of Difficult-to-cut Materials", Int J. Mach. Tools Manufac. Vol. 36, No. 5, pp. 611~634, 1996.
- (2) J. Vleugels and O. Van Der Biest, "Chemical Reactivity of Nickel and Nickel-based Alloys with a SIALON Ceramic", Journal of the American Ceramic Society, 78/11, pp. 3002 ~3008, 1995.
- (3) N. He, L. Pan and Y. Zhang, "Notch Wear of Machining Nickel-based Alloys with Ceramic Tools", Chinese Journal of Mechanical Engineering (English Edition), 8/4, pp. 262~266, 1995.
- (4) A. R. Thangaraj and K. J. Weinmann, "On the Wear Mechanism and Cutting Performance of Silicon Carbide Whisker-reinforced Alumina", Journal of Engineering for Industry, Trans. ASME, 114/3, pp. 301~308, 1992.
- (5) Y. Tasaki, T. Heta, S. Kume, H. Kajihara and M. Machida, "Cutting Test of Inconel 718 by CBN Tool", Reports of the Government Industrial Research Institute, 40/3, pp. 173~179, 1991.
- (6) 狩野勝吉, "データでみる 切削加工の最先端技術", 工業調査會, 1992.
- (7) Suh. N. P, "Coated Carbides-Past Present and Future", Proc. 4th. Conf. Prod. Eng., pp. 118~143, 1980.
- (8) シールエンジニア 編輯部, "선삭 공구의 모든 것", 성안당, pp. 159~160, 1996.
- (9) 대한중석초경(주), "Cutting Tools", pp. 42, 2000.
- (10) 김동현, "이종 금속의 선삭가공특성에 관한 연구", 한국공작기계학회지 제 7권 제 3호, pp. 43 ~ 50, 1998.