

세라믹공구 재료의 피복특성에 관한 연구

임홍섭*, 이명재**, 유봉환***
(1999년 5월 26일 접수)

A Study on the Coated Characteristics of Ceramic Tools

Hong Seb Lim, Myung Jae Lee and Bong Hwan Ryu

Key Words: Ceramic Tool(세라믹공구), TiN/TiCN Multi-Layer Coated Ceramic Tool(TiN/TiCN 다층 피복 세라믹공구), PVD(물리증착법), CVD(화학증착법), Difficult-to-Cut-Material(난삭재), Critical Cutting Speed(임계절삭속도), Catastrophic Fracture(돌발적인 파손), Breaking(절삭날 결손), Early Fracture(초기파손)

Abstract

Ceramic, PCD and CBN tools are available for the difficult-to-cut-materials such as hardened carbon tool steel, stainless steel, Inconel 718 and etc. Ceramic tools are likely to be chipped and abruptly broken before the appearance of normal wear in turning. Ceramic tools are suitable for continuous in turning, not for intermittent in milling.

In this study, TiN/TiCN multi-layer coated ceramic tools were found to restrain the chipping, breaking and early fracture and to increase the critical cutting speed owing to TiN/TiCN multi-layer coating in Arc Ion Plating of PVD method.

1. 서 론

산업기술의 진보에 따른 절삭공구의 발전은 소재 분야에서 탄소공구강(carbon tool steel)을 시작으로 고속도강(high speed steel), 초경합금(cemented carbide)의 개발로 전성시대를 거쳐, 세라믹(ceramic)과 서멧(cermet), 다이아몬드(diamond) 등으로 공구소재가 개발되었다. 따라서 절삭속도의 급격한 상승은 절삭가공분야에 기여하였으며, 공작기계(tool machine)의 급속한 발전에 이바지했다.

금속산업의 발달로 난삭재(difficult-to-cut-material)가 출현함에 따라 기계가공업체 또는 금형가공업체에서는 가공시간의 단축, 가공 정밀도의 향

상, 제조원가의 절감 등을 위한 난삭재 가공기술에 어려움을 갖고 있다. 또한 금속02가공의 효율성을 결정짓는 주요한 인자들로는 공작물의 재질, 절삭조건, 공구의 재질, 공작기계의 강성, 작업자의 기능숙련도 등을 들 수 있다. 따라서 신소재 절삭공구 개발은 일반 절삭가공의 효율성과 난삭재 가공의 효율성을 높이기 위한 필수 과제이다.

각종 첨단산업과 함께 응력을 많이 받는 기계부품은 강성과 마멸저항을 증가시키기 위하여 재료를 담금질하여 사용하는 경우가 증가하는 추세이다. 이러한 담금질 강은 물리적, 기계적 특성이 우수한 반면에 일반적인 절삭공구로 능률적인 가공을 하기에 매우 어려운 난삭재이나 세라믹공구, CBN공구, PCD공구, 다이아몬드공구 등이 양호한 절삭 성능을 발휘한다.

담금질된 탄소공구강(STC3)을 절삭할 때 세라믹공구는 돌발적인 파손(catastrophic fracture), 치평

* 숭실대학교 대학원 기계공학과

** 성남기능대학 생산자동화과

*** 숭실대학교 기계공학과

E-mail : bhryu@engineer.soongsil.ac.kr

TEL : (02)820-0170 FAX : (02)820-0668

(chipping), 절삭날의 결손(breaking) 등이 생기기 쉽다.⁽¹⁾ 그리고 세라믹공구를 사용한 절삭시 초기에 발생하는 초기파손(early fracture) 및 치핑, 절삭날 결손의 억제(control)를 도모하는 방법에 대한 연구가 미진한 상태이다.

따라서 현재의 재료 특성을 향상시켜 새로운 재료를 만들어 내는 신소재 개발에 박차를 가하고 있다. 이와 함께 재료의 표면에 각종 신기술을 이용하여 피복을 형성시켜 기존의 재료보다 성능이 우수한 표면기능을 갖는 피복기술은 재료 표면의 개선, 신기능을 부여하여 표면의 개선을 통해 각종 제품의 고부가가치화, 장수명화를 얻을 수 있어 자원의 절약, 에너지의 절약 면에서 효과적인 수단방법이다.

초경합금, 고속도강 등의 절삭공구에 고경도 화학물을 피복한 공구의 사용이 확대되고 있으며⁽²⁾, 공작물과 공구와의 마찰감소, 절삭시 온도상승의 억제, 급힘파모저항 등의 장점이 우수한 코팅공구의 절삭특성을 파악하는 것이 중요하다.

피복방법에 물리적증착(PVD:physical vapor deposition)과 화학적증착(CVD:chemical vapor deposition)에 의한 경질의 세라믹 피복 코팅기술이 각광을 받고 있다. 화학적 증착방법은 증기를 분해, 환원, 중합시키는 화학반응을 수반하는 방법이고 또한 약 1000℃이상의 높은 온도로 코팅층을 형성하기 때문에 초경합금을 제외한 고속도강, 일반 강재형 공구강에는 적용을 하지 못하는 단점을 가지고 있다. 물리적 증착법은 가열된 타깃(target)에서 증기를 발생시켜 제품에 증착시키는 방법이다. 또한 500℃ 이하의 비교적 낮은 온도에서 높은 에너지를 가지는 이온과 전자 및 중성자들의 집합체인 플라즈마 상태로 피복이 가능하므로 고속도강, 탄소공구강, 철 및 비철금속 등의 피복공정온도에 영향을 받은 재료에 관계없이 적용시킬 수 있는 장점이 있다. 이 중에서도 물리적 증착법에는 이온 플레이팅법(ion plating)과 스퍼터링(sputtering)법이 주를 이루고 있으며 특히 이온 플레이팅법은 증착 입자의 운동에너지와 이온화율이 스퍼터링법에 비하여 매우 높기 때문에 우수한 기계적성질로 인하여 공구의 피복 코팅기술에 이용되고 있으며, 스퍼터링법은 전기, 전자소자 등에 주로 적용되어 사용되고 있다. 현재 가장 많이 쓰이고 있는 TiC, TiN의 보호피복은 고온경도, 열적 및 기계적 피로에 대한 저항성, 강한 밀착력, 화학적 안전성 및

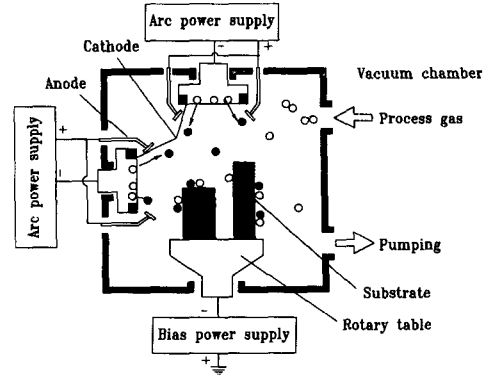


Fig. 1 Arc coating in PVD method

낮은 마찰계수 등의 성질을 만족시킨다.

국내에서는 1980년대에 TiN피복이 주류를 이루었고, 1990년대에 TiCN이 개발되기 시작하였다.

그러므로 본 논문에서는 기존의 세라믹공구에 초기파손과 절삭날의 결손, 치핑을 억제시키기 위한 목적으로 TiN/TiCN 다층 피복 세라믹공구를 제작하여 개발하였다. 그러므로 세라믹공구에 물리적 증착방법의 아크 이온 플레이팅(arc ion plating) 방법을 사용하여 피복함으로써 임계절삭속도(critical cutting speed)가 증가하여 초기파손이 억제될 수 있다는 것을 제안한다.

2. TiN/TiCN 다층피복세라믹공구의 제작 공정

TiN/TiCN 다층 피복을 하기 위해 아크이온플레이팅 장비를 사용하였으며, Fig. 1은 증착로의 개략도이다. 피복작업은 노내에 세척된 공구를 장입한 후, 주어진 온도와 진공도까지 예비 가열원을 이용하여 가열함과 동시에 분자펌프를 사용하여 배기한 다음 Ti이온세척 및 본 피복의 순으로 실시하였다.

이온세척 공정에서는 Ti타깃을 점화하여 Ti이온을 발생시킨다. 그리고 약 5×10^{-5} Torr의 고진공하에서 공구에 약 500V이상의 음전압을 가한다. 그러면 Ti이온들이 가속되어, 공구표면에 충돌하게 되면서 공구에 존재할 수 있는 불순물인 이물질과 산화층이 제거된다.

그 다음으로 TiN/TiCN 본 다층 피복에서는 전압을 -200V의 음전압을 걸어주고 Ti타깃을 점화 시키면 아크방전을 일으켜 증발된 표면상에 아크스

꽃을 형성하여 증발원 표면을 랜덤(random)하게 이동하게 된다. 아크스꽃에 집중되는 아크전류(70 A~200A)의 에너지 증발원 재료인 Ti타겟에서 순간적으로 증발함과 동시에 금속이온이 되어 진공중에 비산하게 된다. 그러므로 바이어스(bias)진압을 모재에 인가하면, 증착로에 투입되어 가속할 수 있는 반응가스입자인 N₂와 반응하여 TiN 피복층이 세라믹 표면에 0.5~1.0μm정도 생성되도록 한 후 메탄가스(CH₄)를 투입하여 TiCN 피복막이 1μm정도 생성되도록 하였다.

피복시 작업온도는 모재의 변형 및 연화가 일어나지 않는 한도 내에서 가장 높은 온도로 작업하는 것이 유리하다. 이는 온도가 높을수록 증착시 모재표면에서 반응에 참여하는 화학원소들의 이동이 쉬우며 이에 따라 조직이 보다 치밀해 지기 때문이다.⁽³⁾

본 연구에서는 고속도강 피복조건으로 노내온도를 450℃로 유지하였다. 그리고 증착로 내에서 공구의 위치에 따라 피복두께의 차이가 생기므로 지그(jig)를 사용하였다. 이 지그는 공전과 자전을 함으로써 피복의 두께를 일정하게 하였다.

3. 노즈반경을 갖는 공구의 기하학적 해석

Fig. 2는 절삭공구가 노즈반경을 갖는 선삭가공에서 절삭깊이(d)가 노즈반경(r) 보다 작은 경우의 공구의 물림조건을 표시한 것이다.⁽⁴⁾ 그림에서 f는 이송이고, 노즈반경을 갖는 공구의 절삭단면의 형상은 $b = r(\cos^{-1} \frac{r-d}{r} + \sin^{-1} \frac{0.5f}{r})$ 두 개의

원호와 공작물 표면의 외각을 나타내는 직선으로 둘러 쌓여 있고 절삭에 관여하는 절삭날 길이인

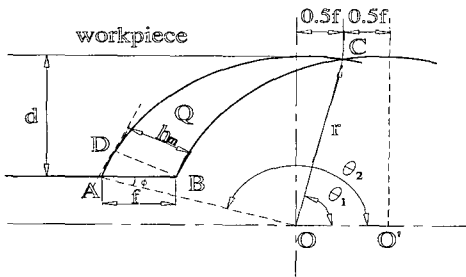


Fig. 2 Geometry of cutting cross-section and chip flow model for nose radius tool (d<r)

곡선 (\widehat{AC})을 b로 나타내면 다음과 같다.

(1)

또한, 최대절삭두께를 절삭날 노즈반경의 법선 방향의 두께로 하면, 최대절삭두께(h_m)는

$$h_m = r - \sqrt{r^2 + f^2 - 2f(r \cos \phi)}$$

$$= r - \sqrt{r^2 + f^2 - 2f\sqrt{2rd - d^2}} \quad (2)$$

이다.

공작물의 표면과 만나는 절삭날의 점 A에 있어서의 접선방향과 절삭깊이 방향이 이루는 각을 주 절삭날각에 상당하는 유효어프로치각(effective approach angle)을 ϕ 로 가정하면 다음과 같다.

$$\phi = \sin^{-1} \frac{r-d}{r} \quad (3)$$

4. 실험

4.1 실험장치

절삭실험에 사용된 공작기계는 범용선반(NL 400 × 750)을 사용했으며 압전형공구동력계(Kistler, 9257B)는 선반의 왕복대에 설치하였고, 압전형 공구동력계에서 얻어지는 신호(signal)는 다채널 증폭기(Kistler, 5019 A)로 증폭하였고 이 증폭된 신호는 A/D 변환기를 거쳐 디지털화 되어 컴퓨터로 전송되어 절삭저항을 분석하였다. 정밀한 절삭깊이로 절입시키기 위하여 0.01mm의 분해능을 갖는 다이얼게이지를 사용하였고 선삭시 요구되는 정확한 회전수를 조절하기 위하여 인버터(Starvert-Is3, 0~400Hz, 7.5HP)를 사용하였다. 그리고 공작물은 매회 절삭공정마다 경도를 확인하기 위하여 휴대용 경도기(TIME HLN-11 A LEE'S hardness tester)를 사용하였다. 그리고 초기파손을 조사하기 위하여 공구현미경 및 금속현미경을 사용하여 측정하였다.

4.2 공구 및 공작물

본 실험에서 사용한 절삭공구의 재료는 기계적 충격과 열 충격에 강하여 고경도 강재의 절삭에 적합한 Al₂O₃/TiC인 세라믹공구를 선정하였다. 또한 초기파손의 억제에 위하여 자체 제작하여 개발한 TiN/TiCN 다층 피복 세라믹공구를 사용했으며

Table 1 Physical properties of ceramic tool

Composition	Modulus rupture	Hardness	Density	Fracture toughness	Thermal expansion efficiency(<i>a</i>)
Al ₂ O ₃ +TiC	N/mm ²	HrA	g/cm ³	MN/m ^{1.5}	10 ⁻⁶ °C
	785	94.5	4.4	4.9	7.8

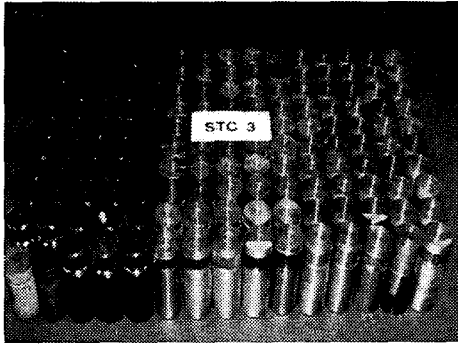


Fig. 3 Workpiece

Table 2 Chemical compositions of work material

Work-piece	Chemical compositions, %							
	C	Mn	P	S	Si	Cr	Cu	Ni
STC3	1.02	0.39	0.03	0.002	0.24	0.13	0.10	0.05

세라믹공구의 물리적 성질은 Table 1과 같다.

인성에 약한 세라믹공구와 TiN/TiCN 다층 피복 세라믹공구의 모서리에 적용된 챔퍼(chamfer)크기의 사양은 25° × 0.2mm이다. 그리고 인서트형인 SNGN1207의 사양을 사용하였고 공구홀더(tool holder)의 사양은 클램프 체결용으로서 어프로치각(approach angle)이 15° 인 CSHNR2520 홀더를 사용하였다.

본 실험에 사용한 공작물의 재료는 탄소공구강으로서 그 화학적 성분비는 Table 2와 같고 열처리하여 담금질된 탄소공구강의 경도는 HRC60± 2 이고 가공시 선반의 진동을 방지하기 위하여 기초작업(foundation)후 실험을 수행하였고 절삭실험시 편심을 없애기 위하여 축방향으로 전 길이에 대하여 가공을 먼저 실시하였다

그리고 Fig. 3는 공작물의 모양이고 공작물의 크기는 직경 68mm, 길이 200mm로 제작하여 실험하였다.

4.3 TiN/TiCN 다층 피복 세라믹공구의 물성

피복공구의 내마모성을 결정하는 요인으로는 피복층의 두께, 피복층과 모재상의 밀착력, 피복층의 조직이 중요하다고 알려져 있고 모재의 연화를 일으키지 않으면서 최대의 온도를 상승시켜야 하는 피복온도, 공구의 모재에 피복을 형성하는 밀착력과 관계되는 바이어스 전압, 피복의 두께를 결정짓는 타깃전류, 반응가스의 압력 등은 피복공정의 변수에 영향을 받는 것으로 되어 있다. 피복층의 두께는 TiN 0.5μm, TiCN는 1.0μm이다. 따라서 TiN/TiCN 다층 피복 세라믹공구의 피복두께는 1.5 μm이고, 밀착력은 40N, 경도(Hv)는 2800, 피복시간은 70분이다.

4.4 절삭조건

절삭시험에 사용된 절삭조건은 세라믹공구 추천치⁽⁵⁾를 사용하여 시험하였고 본 실험논문에서는 세라믹공구와 TiN/TiCN 다층 피복 세라믹공구를 사용하여 경화된 탄소공구강의 절삭초기에 발생하는 공구손상의 억제를 비교하기 위하여 절삭속도(V)는 10m/min~200m/min, 이송(f)은 0.10mm/rev~0.20 mm/rev, 절삭깊이(d)는 0.23mm~0.579mm, 최대절삭두께(h_m)는 0.079mm~0.142mm, 절삭폭(b)은 0.717mm~0.800mm, 노즈반지름(r)은 0.8mm를 사용하여 시험하였고 데이터는 같은 조건을 4회 실시하여 평균값을 취하였다.

5. 결과 및 고찰

5.1 절삭속도의 영향

Fig. 4은 0.8mm의 노즈반지름을 갖는 세라믹공구의 초기파손에 대한 절삭속도의 영향을 알아본 것이고 Fig. 5는 0.8mm의 노즈반지름을 갖는 TiN/TiCN 다층 피복 세라믹공구의 초기파손에 대한 절삭속도의 영향을 관찰한 것이다.

Fig. 4의 절삭조건은 이송 0.17mm/rev, 절삭깊이를 0.3mm로 일정하게 하였을 때 세라믹공구의 임계절삭속도는 70m/min이며 Fig. 5는 같은 절삭조건으로 하였을 때 TiN/TiCN 다층 피복 세라믹공구의 임계절삭속도는 100m/min이다. 각기 70m/min, 100m/min의 이하에서는 정상적인 마모가 진행되는 영역이며 70m/min, 100 m/min이상의 영역에서는 대부분 절삭시간 2분 이내에 돌발적인 파손이 발생하는 영역이다.

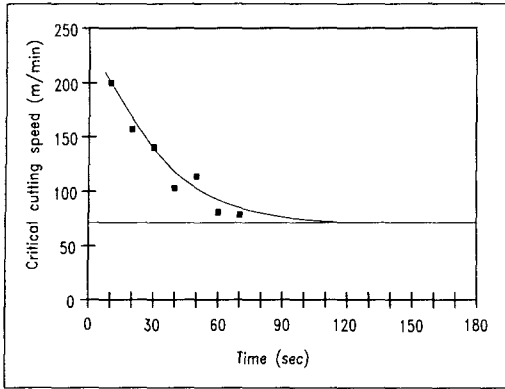


Fig. 4 Relation of cutting time and critical cutting speed for catastrophic fracture in ceramic tools

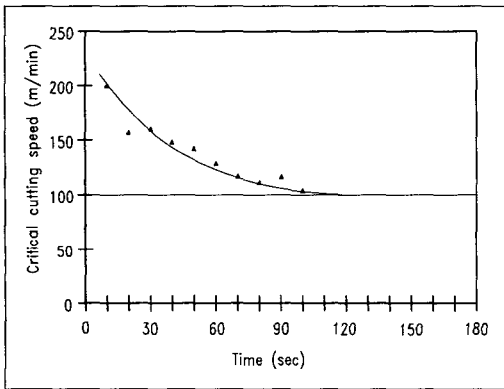


Fig. 5 Relation of cutting time and critical cutting speed for catastrophic fracture in TiN/TiCN multi-coated ceramic tools

이와 같이 세라믹공구에 TiN/TiCN 다층 피복을 함으로써 세라믹공구를 기준으로 볼 때 임계절삭속도가 30m/min 증가한 것을 알 수 있다. 여기서 정상마멸과 파손이 발생하는 절삭속도의 경계를 임계절삭속도(critical cutting speed)라 한다. 피복으로 인하여 절삭속도 변화에 따른 임계절삭속도가 42.9% 증가되어 초기파손이 억제되었음을 알 수 있다.

5.2 이송의 영향

Fig. 6는 절삭깊이 0.4mm로 일정하게 한 다음, 이송을 0.10mm/rev, 0.13mm/rev, 0.17 mm/rev, 0.20mm/rev로 변화시킨 후 노즈반지름이 0.8mm인

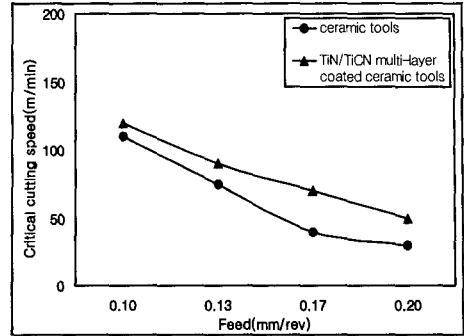


Fig. 6 Relation of feed and critical cutting speed

세라믹공구와 TiN/TiCN 다층 피복 세라믹공구를 사용하여 초기파손에 따른 임계절삭속도 변화의 관계를 실험한 것이다.

각 절삭조건에 따른 임계절삭속도를 구분하는 그래프로서 고속영역에서는 초기에 치핑이 생긴 후 순간적으로 돌발적인 파손이 나타나는 영역이고, 또한 세라믹공구와 TiN/TiCN 다층 피복 세라믹공구의 초기파손이 생기는 영역이다. 아래에서는 정상적인 가공이 가능하며 초기파손이 생기지 않은 영역으로서 정상적인 마모가 진행되는 곳이다.

이송의 모든 영역에서 TiN/TiCN 다층 피복 세라믹공구가 세라믹공구보다 전반적으로 10m/min ~ 30m/min 이상의 증가를 가져왔다. 특히 이송이 큰 부위에서 TiN/TiCN 다층 피복 세라믹공구가 우수하다는 것을 알 수 있는데, 이는 피복의 효과에 의해서 임계절삭속도가 올라갔음을 실험적으로 알 수 있다. 이송이 적은 부위에서는 세라믹공구와 TiN/TiCN 다층 피복 세라믹공구의 임계절삭속도 차이가 작은 것은 속도가 높아지면 절삭온도의 상승으로 인하여 피복의 효과가 감소한다는 것을 알 수 있으며, 이는 모재의 피복이 높은 가공온도로 인하여 산화되기 때문이라고 판단된다.

5.3 절삭깊이의 영향

Fig. 7은 노즈반지름이 0.8mm인 세라믹공구와 TiN/TiCN 다층 피복 세라믹공구를 사용하여 이송을 0.2mm로 일정하게 한 다음, 절삭깊이를 0.23mm, 0.25mm, 0.29mm, 0.40mm로 변화시킨 후 초기파손에 따른 임계절삭속도 변화의 관계를 실험한 것이다.

각 절삭조건에 따른 임계절삭속도를 나타낸 그래프의

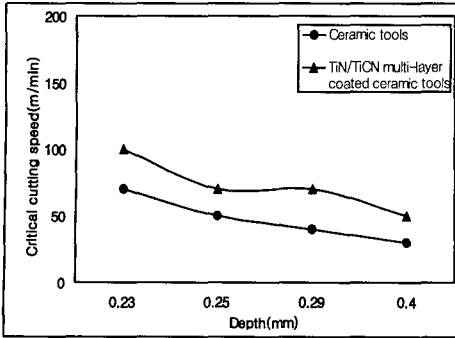


Fig. 7 Relation of depth and critical cutting speed

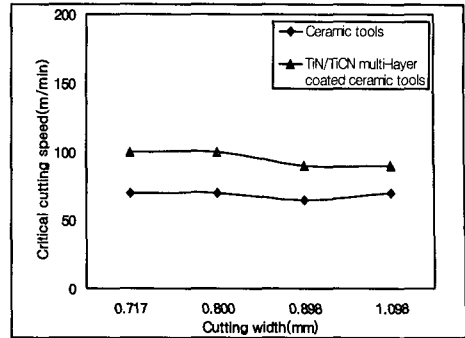


Fig. 9 Relation of cutting width and critical cutting speed

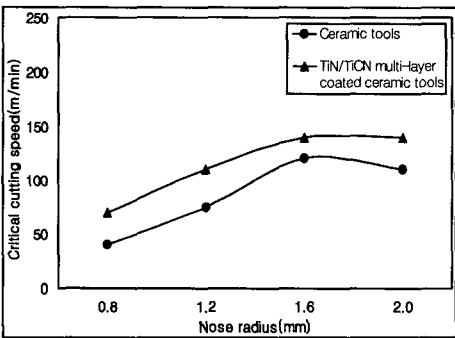


Fig. 8 Relation of nose radius and critical cutting speed

아래에서는 정상적인 가공이 가능하며, 그래프의 상측의 고속영역에서는 대부분 순간적으로 초기파손이 생기는 영역이다.

5.4 노즈반지름의 영향

Fig. 8과 같이 노즈반지름을 0.8mm, 1.2 mm, 1.6mm, 2.0mm로 구분하여 0.17mm /rev의 이송과 0.4mm의 절삭깊이를 일정하게 하고 임계절삭속도의 관계를 시험한 것이다.

노즈반지름의 변화에 따른 세라믹공구와 TiN/TiCN 다층 피복 세라믹공구의 임계절삭속도의 변화는 노즈반지름 0.8mm인 경우에는 30m/min, 노즈 반지름 1.2mm인 경우에는 35m/min, 1.6mm인 경우에는 20m/min, 2.0mm인 경우에는 30m/min의 임계 절삭속도 증가를 가져왔다. 노즈반지름의 변화에서도 TiN/TiCN 다층 피복 세라믹공구가 모든 노즈 반지름에서 우수하다는 것을 알 수 있다. 그리고

0.8mm의 노즈반지름을 갖는 TiN/TiCN 다층 피복 세라믹공구가 1.2mm의 세라믹공구와 비슷한 성능을 내고 있다. 이는 TiN/TiCN 다층 피복 효과가 기하학적 모양을 대치시켜 사용할 수 있다고 판단된다. 절삭단면의 형상에서 노즈반지름이 증가하게 되면 일정한 절삭조건에서 절삭면적은 같으나 유효어프로치각은 증가하고 최대절삭 두께가 감소하게 되어 절삭날 부위가 상대적으로 증대되어 공작물과 접진적으로 접촉하여 충격하중이 감소하는데, 이는 TiN/TiCN 다층 피복 세라믹공구에서도 거의 같은 경향을 나타냈고 있다. TiN/TiCN 다층 피복 세라믹공구가 전반적으로 20m/min~35m/min의 임계절삭속도가 상승하였으며 세라믹공구를 기준으로 임계절삭속도가 높은 영역에서는 16.5%의 증가를 가져왔고 임계절삭속도가 낮은 영역에서는 75%의 증가를 가져왔다. 그러므로 피복으로 인하여 초기파손을 억제시킬 수 있는 것을 알 수 있다.

5.5 절삭폭의 영향

Fig. 9은 이송을 0.13mm/rev, 0.15mm/rev, 0.17mm /rev, 0.2mm/rev과 절삭깊이 0.579 mm, 0.387mm, 0.299mm, 0.226mm를 조합하여 최대절삭두께를 0.124mm로 일정하게 하고, 0.717mm, 0.800mm, 0.898mm, 1.098 mm로 절삭폭을 증가시켜 임계절삭속도를 조사한 결과 절삭면적이 0.045mm², 0.0508mm², 0.0581mm², 0.075 mm² 증가에도 불구하고 거의 일정한 임계절삭속도의 값을 가지면서 TiN/TiCN 다층 피복 세라믹공구의 임계절삭속도가 20m/min~30m/min 증가하여 초기파손이 억제됨을 알 수 있다. 이와 같이 절삭폭의 변화에도 임계절

삭속도가 일정한 것은 최대절삭두께의 영향을 받는다고 판단된다. 피복으로 인하여 세라믹 공구를 기준으로 28.6%~42.9%의 임계절삭속도 증가를 가져왔다.

5.6 최대절삭두께의 영향

Fig. 10는 이송을 0.1mm/rev, 0.13mm/rev, 0.17mm/rev, 0.20mm/rev과 절삭깊이 0.330mm, 0.310mm, 0.300mm, 0.287mm를 조합하여 절삭폭을 0.800mm로 일정하게 하고, 0.079mm, 0.098mm, 0.124mm, 0.142mm로 최대절삭두께의 변화에 따른 임계절삭속도의 관계를 실험하였다.

Fig. 10에서 최대절삭두께가 커지면 임계절삭속도가 낮아지는 것을 알 수 있다. 전반적으로 임계절삭속도의 변화는 최대절삭두께가 0.079mm에서 15m/min, 0.098mm에서 40m/min, 0.124mm에서 30m/min, 0.142mm에서 30m/min으로 TiN/TiCN 다층 피복 세라믹공구가 더 증가되었다. 즉 피복으로 인하여 초기파손이 억제되었음을 알 수 있다.

절삭날의 단위길이당 절삭면적이 최대로 되는 영역인 최대절삭두께의 위치에서 최대절삭면적이 나타나므로 이 곳에서 절삭날의 부담이 가장 크게 된다. 따라서 최대절삭두께가 증가하면 초기파손을 일으키는 임계절삭속도는 낮아지게 된다. Fig. 10에서 보는 바와 같이 TiN/TiCN 다층 피복 세라믹공구가 세라믹공구보다 15m/min~40m/min로 임계속도가 상승하여 TiN/TiCN 다층 피복 세라믹공구가 초기파손이 억제되었음을 알 수 있다. 세라믹공구를 기준으로 TiN/TiCN 다층 피복 세라믹공구가 최대절삭두께가 낮은 영역에서는 약 12%, 최대절삭두께가 큰 영역에서는 약 75%의 증가를 가

져왔다.

이와 같이 절삭속도의 변화, 이송의 변화, 절삭깊이의 변화, 노즈반지름의 변화, 절삭폭의 변화, 최대절삭두께의 변화에서 초기파손이 억제되어 임계속도가 증가된 것은 피복의 내마모성과 밀착력의 증대에 의한 것으로 판단된다.⁽⁶⁾

6. 결론

물리적 증착방법에 의하여 TiN/TiCN 다층 피복 세라믹공구를 제작하여 개발하였다. 피복효과로 인하여 절삭속도의 변화, 절삭깊이의 변화, 이송의 변화에 따른 임계절삭속도가 증가되었고, 세라믹공구와 비교할 때 TiN/TiCN 다층 피복 세라믹공구는 물림조건에 따른 최대절삭두께, 절삭폭, 노즈반지름 변화에 따른 임계절삭속도가 증가되어 초기파손이 억제되었다. 또한 TiN/TiCN 다층 피복 세라믹공구는 세라믹공구의 노즈반지름보다 작게 하여 사용할 수 있어 기하학적 모양을 대치하여 사용할 수 있다는 결론을 얻었다.

참고문헌

- (1) 大谷敏昭, 藤瀬健領 横川 洪, 三井武良男, 1983, "CBNおよびセラミックミ工具による焼入鋼の旋削," 精密機械, 第49卷, 第6號, pp. 804~808.
- (2) Suh, N. P., 1980, "Coated Carbides-Past Present and Future," *Proc. 4th. Int. Conf. Prod. Engg.*, pp.118~143.
- (3) Thornton, J.A., 1984, "Influence of Apparatus Geometry and Deposition Condition on Structure and Topography of Thick Sputtered TiN Films," *Thin Solid Films*, 122, pp. 115~129.
- (4) Young, H.Y., Mathew, P. and Oxely, P.L.B., 1987, "Allowing for Nose Radius Effects in Predicting the Chip Flow Direction and Cutting Forces in Bar Turning," *Proc. Int. Mech. Engg. Part C*, Vol. 201, No. 3, pp. 213~226.
- (5) Dow, W. E., 1994, *Ceramic Cutting Tool*, Noyes Publications, New Jersey.
- (6) 이영문의 4인, 1996, "코팅공정 개선에 의한 TiN 코팅 고속도강 공구의 내마모성 특성 향상," 한국정밀공학회, 제13권, 제11호, pp. 32~137.

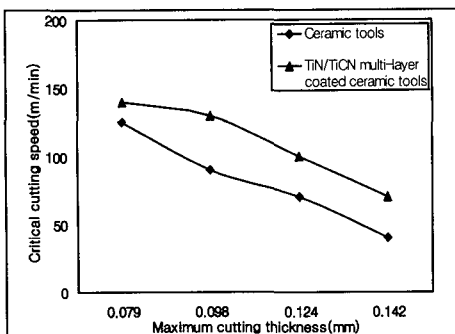


Fig. 10 Relation of maximum cutting thickness and critical cutting speed