

TiAlN 코팅드릴의 구멍가공특성에 관한 연구

김태영[#], 신형곤*, 김종택**, 김민호**, 이한교**

A Study on the Drilling Characteristics of a TiAlN Coated Twist Drill

Tae-Young Kim[#], Hyung-Gon Shin*, Jong-Taek Kim**, Min-Ho Kim**, Han-Gyo Lee**

ABSTRACT

An experimental study on drilling of stainless steel is conducted using TiAlN coated drills and HSS twist drills with several cutting conditions; feed rate, spindle rotational speed, and dry/wet cutting. The effects of number of hole on the thrust force are examined by cutting force measurement. The flank wear of the drills and the change of hole diameter are quantitatively observed using a vision system. It is found that the thrust force in drilling with TiAlN coated drills decrease under dry and wet machining, whereas the flank wear resistance is improved.

Key Words : TiAlN Coated Drill(TiAlN 코팅드릴), Dry/wet Cutting(건식과 습식절삭), Flank Wear(플랭크 마모), Vision System(영상 시스템)

1. 서 론

드릴의 가공성능은 가공할 때 발생하는 트러스트, 토오크 등 드릴 저항력의 크기, 표면 조도 등으로 표현되는 드릴가공면의 상태, 드릴 여유면 마모 등의 개념으로 평가된다. 그러므로 드릴의 가공성능을 향상시키기 위해서는 절삭공구의 마모측정, 공구재료의 평가, 저항력의 측정방법의 개선 등의 연구가 진행되어야 한다¹⁻⁶.

절삭공구의 재료는 공구수명, 가공물의 표면조도의 변화에 영향을 미치는 등 절삭 과정에 전체적으로 많은 영향을 준다. 드릴의 주된 재료는 M7 폴리브텐

계열로 일반적 등급의 고속도강으로 만들어지며, 상대적으로 낮은 가격, 인성, 그리고 드릴 작업에 적합한 고온강도를 제공한다. 또한, 생산성을 증가시키기 위해 높은 절삭속도로 가공할 때에도 고속도강 드릴은 많이 사용되고 있다. 초경, 서멧공구들처럼 고경도를 가지는 공구재료들은 난삭재등 다양한 재료의 드릴가공에 이용할 수 있다.

절삭공구 산업은 발전하여 복합 공구와 코팅된 공구들의 개발을 가져왔고, 이러한 공구들은 대부분 고속도강이나 초경합금과 같은 물성으로 구성되었으며, TiC, TiN, TiAlN과 같은 세라믹 재료들의 얇은 층으로 코팅되었다. 그 결과 TiAlN 등으로 코팅된 고속도강 드릴들은 높은 금속 제거율과 정밀한 구멍 표면조도, 향상된 공구수명을 제공함으로써 고속도강 공구와 초경 공구들을 코팅공구로 대체하여 이용하고 있다⁷⁻⁹.

TiN, TiAlN 등과 같은 코팅공구의 사용을 통해서 드릴날의 능력을 향상시키기 위한 가장 기초적인 사

교신저자 : 전북대학교 정밀기계공학과
E-mail : kimty@chonbuk.ac.kr

* 전북대학교 정밀기계공학과

** 전북대학교 대학원 정밀기계공학과

항은 코팅용착이다. Yilbas et al^[7] 에 의해서 발표된 새로운 물리적 기상 증착(physical vapor deposition : PVD) 코팅기술은 더 나은 코팅 응착력을 가지며 공구수명을 증가시키고 전체적으로 공구성능을 향상시킴을 알게 되었다. 이러한 코팅공구들로 일반적인 절삭과정으로 가공할 때 절삭저항력, 드릴의 마모 및 가공구멍의 품질 등 코팅 절삭공구들의 성능 평가를 하기 위한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 HSS 드릴과 PVD 코팅기술을 적용한 TiAlN 코팅드릴을 공구로 STS 304 스테인레스강을 절삭유 공급의 유무에 따라 구멍 가공할 때 발생하는 절삭력을 정량적으로 측정하였으며, 컴퓨터 영상처리 시스템을 이용하여 공구마모 및 가공구멍의 품질을 평가하였다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 시험편 및 공구

본 실험에 사용한 재료는 오스트나이트계 스테인레스강 STS 304이었다. 드릴링 실험에 사용한 시험편은 200×120×10mm 치수의 판재였으며, 12mm 간격으로 구멍을 관통 가공하였다.

Table 1 과 Table 2 는 각각 실험에 사용한 재료의 화학성분과 기계적 특성을 나타낸다.

Table 1 Chemical compositions of workpiece (wt.%)

Composition(%) Material	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
STS304	0.082	1.0	2.0	0.04	0.03	1.8-2.0	8.0-10.50

Table 2 Mechanical properties of workpiece

Properties	Yield strength (kg/mm ²)	Tensile strength (kg/mm ²)	Elongation (%)	Hardness (HRB)
Percentage	28	60	56	88

공구는 일반 고속도강(HSS) 드릴과 HSS 드릴에 PVD 방법을 적용하여 TiAlN을 코팅한 드릴을 사용하였다. 두 종류 드릴의 기본 물질은 AISI M7 계 고속도강급이었으며, 드릴의 직경은 $\phi 6\text{mm}$, point angle 118° , flute length 71mm 이었다.

2.2 실험장치 구성 및 실험방법

직경이 $\phi 6\text{mm}$ 인 표준 트위스트 드릴을 사용하여 드릴가공을 하였다. 각 드릴들은 같은 절삭 길이 즉 드릴의 돌출길이를 80mm로 일정하게 드릴링 척에 고정하였다.

절삭조건으로는 주축회전수를 $n = 300, 500\text{rpm}$ 으로, 이송량을 $f = 0.04, 0.08\text{mm/rev}$ 로 변화시키면서 드릴가공을 하였다. 가공형태는 직경이 4mm인 센터드릴을 이용하여 시편에 90개의 안내 홀을 절삭한 이후, 드릴로 5회씩 관통 가공하였다. 먼저 건 절삭을 수행하였으며, 100회까지 계속 가공하였다. 마모량 측정은 구멍을 10개 가공 한 후 공구현미경(Mitutoyo, TM101)을 사용하여 플랭크 마모량을 측정하였다. 같은 방법과 조건으로 절삭유를 충분히 공급하면서 일련의 실험을 반복하여 수행하였다.

드릴가공 실험은 주축의 이송량 및 절삭깊이를 정확하고 정밀하게 변화시킬 수 있는 CNC 밀링머신을 사용하였다. 드릴을 이용한 절삭 시 얻어진 데이터의 전송을 위하여 IBM PC와 RS 232C 통신 포트를 사용하였다. 테이블에 공구동력계를 체결하고, 그 위의 지그에 시험편을 고정하여 드릴 가공하였다. 드릴 가공시 발생하는 트리스토와 토오크의 측정은 압전형 공구동력계(Kistler, 9271A)를 사용하였으며, 공구동력계로부터 미소 전류를 증폭하기 위하여 차지 앰플리파이어(Kistler, 5017A)를 사용하였다. 증폭된 아날로그 신호는 A/D 컨버터를 통해 얻어진 정량화된 데이터의 결과로 변환하여 컴퓨터에 저장 분석하였다. Fig. 1은 사용한 실험장치와 그 배치상태를 나타내고 있다.

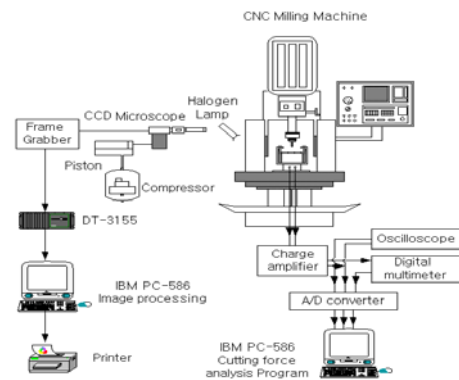


Fig. 1 Experimental setup for collection of the data acquisition system

드릴의 마모량 측정과 구멍의 측정^{2,3,5,6}을 위해 CCD(Charge Coupled Device) 카메라(640×480, Panasonic-GP-KS162)를 사용하였다. 일단의 드릴작업 후 주축의 회전이 멈추고 미리 설정된 CCD 카메라의 초점위치로 밀링머신 헤드를 이동시키면 카메라는 가공된 구멍의 입구영상을 획득하도록 하였다. 마모의 영상은 CCD카메라를 통해 프레임 그래버(DT-3155)에 의해 256 level로 컴퓨터에 저장하였다.

이 영상을 이용하여 플랭크 마모 영상을 획득하고 마모 면적을 계산할 수 있는 시스템에 입력하였다. 구멍의 입구 영상 또한 같은 방법으로 면적계산 시스템으로 입력하였다. 이후 원 영상의 잡음을 제거하고 필터링 기법을 적용하여 최적의 이미지로 만든 뒤 쓰레쉬홀딩한 후 얻어진 영상을 흑과 백의 이치화 작업을 수행한 다음 플랭크 마모면적과 구멍의 품질 데이터를 구하였다.

구멍의 품질을 나타내는 기준^{11,6,10}으로 진원도, 원통도, 수직도, 직진도 등이 있으나 가공 중에 가공물을 베드에서 분리하지 않고 측정할 수 있는 기준으로서 본 실험에서는 구멍의 지름이 확대되는 정도(ΔD)를 구하였다. 즉, 드릴구멍의 입구부 윤곽을 구멍 품질 시스템에 적용하여 최소자승원법¹³으로 구한 다음 드릴지름의 값을 뺀 가장 큰 거리의 값(ΔD)을 구하였다. 식 (1)과 Fig. 2는 측정인자의 계산식과 형상을 나타낸 것이다.

$$\Delta D = D_{hole} - D_{drill} \quad (1)$$

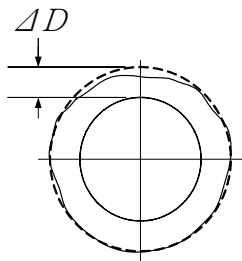


Fig. 2 Hole quality features

3. 결과 및 고찰

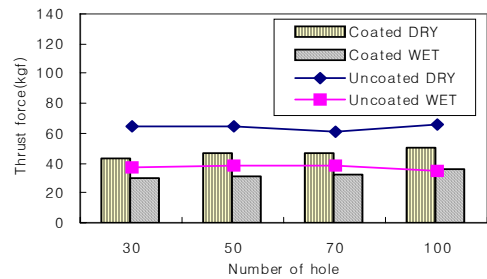
3.1 절삭력측정을 통한 구멍가공특성

Fig. 3과 Fig. 4는 주축회전수 $n=300, 500\text{rpm}$, 이송

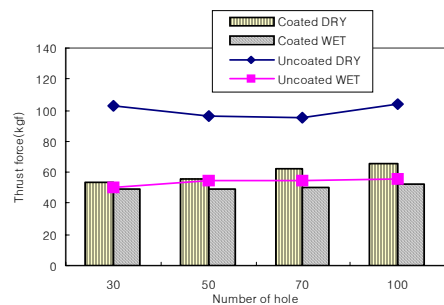
량 $f=0.04, 0.08\text{mm/rev}$ 로 각각 변화시키면서 TiAlN 코팅드릴과 코팅하지 않은 HSS 드릴을 사용하여 건식 절삭과 습식절삭을 행한 실험결과이다.

이들 그림으로부터 가공구멍수에 따른 트러스트의 변화를 알 수 있다. 드릴의 가공구멍수가 증가함에 따라 트러스트는 약간씩 증가되는 경향을 보이며, 절삭조건이 $n=500\text{rpm}$, $f=0.08\text{mm/rev}$, 코팅하지 않은 드릴의 경우는 가공구멍수 50회 이상에서 가공불능 상태가 됨을 알 수 있다. 또한, 코팅되지 않은 HSS 드릴에 비해 TiAlN 코팅드릴의 트러스트는 낮은 값을 가지고 있으며, 건식절삭에 비해 습식절삭이 낮은 값을 보이고 있음을 알 수 있다.

이는 다른 연구 결과들¹¹과 같음을 보여준다. 또한 이들 결과로부터 실제 현장에서 시행하는 습식 HSS 드릴절삭의 경우와 건식 코팅드릴의 경우를 비교해 보면 대체로 비슷한 트러스트 값을 가지고 있음을 알 수 있어 코팅드릴을 사용하면 건식절삭으로도 충분한 가공효과를 기대할 수 있음을 알 수 있다.

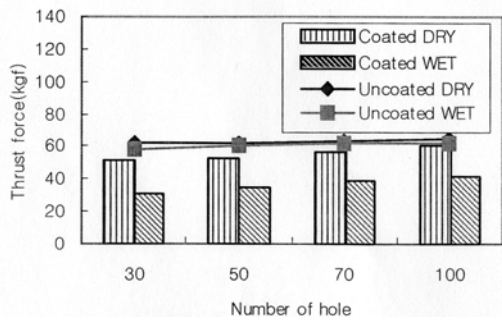


(a) $f = 0.04\text{mm/rev}$

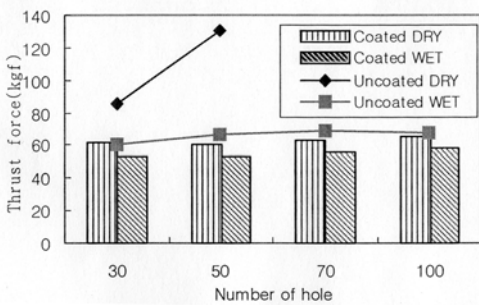


(b) $f = 0.08\text{mm/rev}$

Fig. 3 The effect of number of hole on the thrust force($n=300\text{rpm}$)



(a) $f = 0.04\text{mm/rev}$



(b) $f = 0.08\text{mm/rev}$

Fig. 4 The effect of number of hole on the thrust force($n=500\text{rpm}$)

3.2 영상처리를 이용한 플랭크 마모 분석

드릴의 마모는 드릴과 공작물 사이의 고온, 고압으로 인한 주 절삭 날에 생기는 점진적인 변화이다. 각 실험조건에 대한 드릴의 마모를 영상처리를 이용하여 분석하였다^[2-3].

Fig. 5에서는 HSS 드릴로 절삭회전수 $n=300\text{rpm}$, 이송속도 $f=0.08\text{mm/rev}$, 건식 절삭 조건에서 가공하였을 때 50회째 플랭크면 영상이 처리되는 과정을 나타낸 것이다. (a)는 원 영상을 보여주고, (b)는 노이즈를 제거하기 위해 인터레이싱 작업을 적용한 후의 영상을 보여주며, (c)는 고주파 잡음을 감소시키기 위해 미디안 필터링을 적용한 후의 영상을 보여주고 있다. 앞의 모든 과정을 거친 후 플랭크 마멸의 에지검출을 용이하게 하기 위해서는 이진 영상(binary image)으로 만들어 내는 작업이 절대적으로 필요하다. 이진 영상

을 구성하는 데는 쓰레쉬홀딩 값이 필요하게 되는데 각 절삭조건에 따라 가공한 가공 면의 영상에는 각기 다른 정보를 갖고 있으므로 이와 같은 조건에 따른 쓰레쉬홀딩 값 또한 다르게 나타날 것이다. 본 논문에서는 Sawai^[12]와 같이 히스토그램을 이용하여 쓰레쉬홀딩 값 180으로 얻은 0(검정)과 1(흰색)로만 이루어진 완전한 이진영상을 (d)에 나타냈다.



(a) Original image and its histogram



(b) Image after interlacing and its histogram



(c) Image after median filtering and its histogram



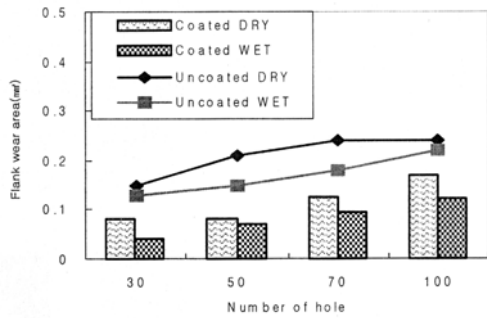
(d) Image after thresholding and its histogram

Fig. 5 Images and their histograms of flank wear ($n=300\text{rpm}$, $f=0.08\text{mm/rev}$, dry condition)

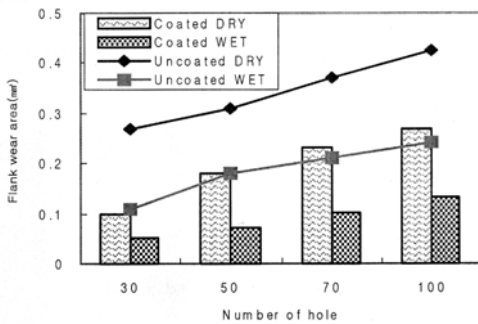
Fig. 6과 7은 이와 같은 방법으로 구한 플랭크 마모 면적과 가공구멍수와와의 관계를 도시한 것이다.

이들 그림으로부터 가공구멍수의 증가에 따른 플랭크 마모 면적의 변화를 알 수 있다. 각 실험 조건 별로 변화 양상이 뚜렷하며, 대체적으로 가공구멍수의 증가에 따라 마모 면적도 증가하고 건식절삭 보다는 습식 절삭이, 코팅하지 않는 HSS 드릴보다는 TiAlN 코팅한 드릴의 경우가 마모의 절대 값이 작음을 알 수 있다.

플랭크 마모 분석 결과 역시 절삭력 측정 결과와 마찬가지로 습식 HSS 드릴 절삭의 경우와 건식 코팅 드릴의 경우를 비교해 보면 대체로 비슷한 드릴 마모를 관찰할 수 있어 코팅 드릴을 사용하면 건식 절삭으로도 공구 마모의 면에서도 충분한 가공효과를 기대할 수 있음을 알 수 있다.

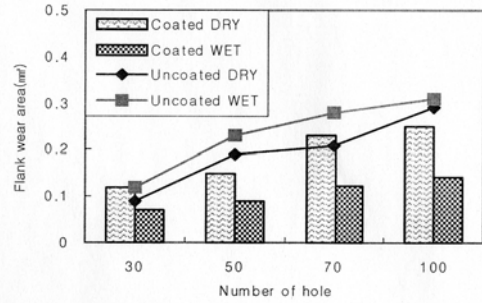


(a) $f = 0.04$ mm/rev

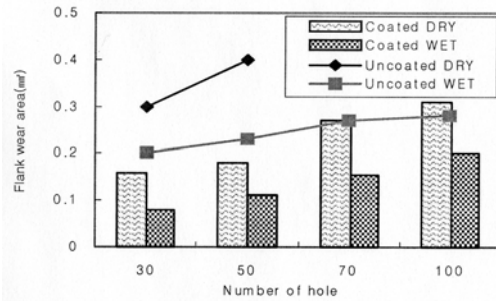


(b) $f = 0.08$ mm/rev

Fig. 6 The effect of number of hole on the flank wear area($n=300$ rpm)



(a) $f = 0.04$ mm/rev



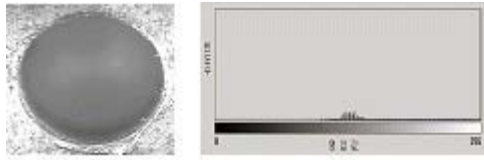
(b) $f = 0.08$ mm/rev

Fig. 7 The effect of number of hole on the flank wear area($n=500$ rpm)

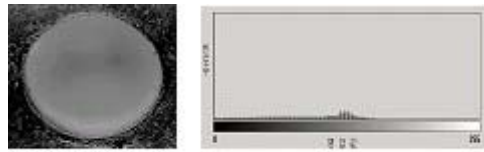
3.3 영상처리를 이용한 드릴구멍의 분석

Fig. 8은 CCD카메라를 이용하여 획득한 드릴 구멍의 입구 영상을 처리하는 과정을 나타내며 주축회전수 $n=500$ rpm, 이송 $f=0.08$ mm/rev, HSS 드릴로 건식 절삭했을 때의 영상과 히스토그램을 나타낸 것이다⁶⁾. (a)는 원 영상과 히스토그램이며, 구멍의 주변은 조명의 반사광으로 인해 밝고 구멍은 어둡게 나타나고 있다. 우측 히스토그램에서는 전반적으로 그 화소 값들이 불균일하게 분포되어있음을 알 수 있다. 구멍의 지름과 중심점을 알기 위해 그 역상이 필요하였으며 (b)는 인터레이싱 과정을 거친 후 영상을 역상으로 나타낸 것으로 히스토그램의 방향이 반대방향으로 이동하였으며, 화소의 명암도가 비교적 고르게 나타나고 있음을 볼 수 있다. (c)는 고주파 잡음을 없애기 위하여 미디안 필터링(median filtering)을 한 영상과 히스토그램이다. 이 방법은 특별히 잡음 형태가 강하고 길쭉한 선과 같은 요소들로 구성되어 있을 때 효

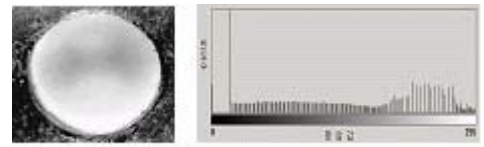
과적이고 모서리 선명화가 잘 보전되는 특징을 갖고 있어 적용하였다. 이러한 필터링 과정을 거친 후 2진 영상을 만들어 낸 모습이 (d)이다. 이때의 히스토그램에서는 명암의 중간 값은 보이지 않고 흑과 백의 명암 값 만을 보여준다.



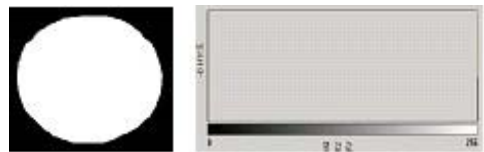
(a) Original image and its histogram



(b) Reverse image after interlacing and its histogram



(c) Image after median filtering and its histogram



(d) Image after thresholding and its histogram

Fig. 8 Images and their histograms of drilled hole entrance (n=500rpm, f=0.08mm/rev, HSS, dry)

한편 드릴구멍의 입구와 같이 출구도 동일한 방법으로 영상을 획득하였고, 흑색과 백색으로 이치화 된 영상에서 종 방향과 횡 방향에서의 백색 화소 값이 최대와 최소가 되는 점을 찾고 4점의 좌표를 구했다. 각 방향에서 최고좌표와 최저좌표의 차이에 실제 거

리 값의 비를 곱하여 4개의 실제 좌표 값을 인식하였으며, 이 좌표 값으로 중심을 잡고 최소자승원법(least square circle)^[13]을 이용하여 구멍 윤곽으로 취하였다.

Fig. 9 와 10 은 HSS 드릴과 TiAlN 코팅드릴로 가공한 구멍 영상으로부터 얻은 지름 값과 가공구멍수와의 관계를 나타낸 것으로 가공구멍수의 변화에 따른 구멍지름의 변화는 크게 감지할 수 없으나 입구와 출구의 구멍의 크기, 또한 건식 절삭과 습식 절삭의 구멍의 크기는 확연히 구별됨을 알 수 있다. HSS 드릴과 TiAlN 코팅드릴의 경우 공히 입구보다는 출구의 구멍이, 건식보다는 습식 절삭의 구멍이 작은 값을 가져 드릴 직경에 가까운 구멍가공을 할 수 있음을 알 수 있다.

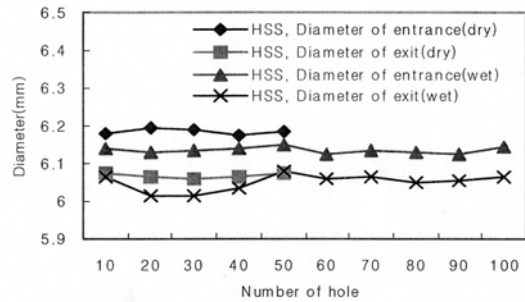


Fig. 9 Hole diameters of hole entrance and exit (HSS, dry and wet)

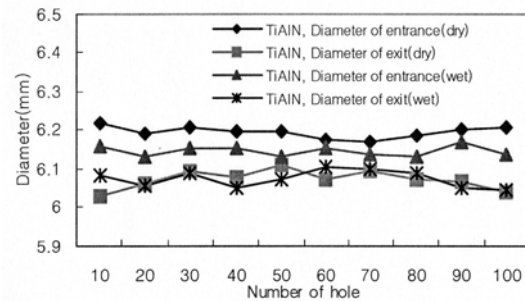


Fig. 10 Hole diameters of hole entrance and exit (TiAlN coated, dry and wet)

Fig. 11 은 가공구멍수의 변화에 따른 지름 확대량의 변화를 나타낸 그림이다. 변화 양상은 일정하지는 않으나 전체적으로 지름의 확대 정도는 건식절삭의

경우 약 0.2mm, 습식절삭의 경우 약 0.15 mm 내외에서 크게 변화하고 있지 않음을 알 수 있다.

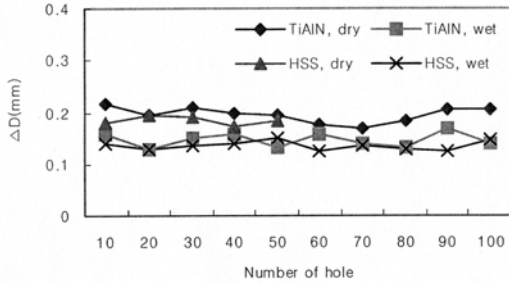


Fig. 11 The effect of number of holes on the increase of diameters of hole entrance

위의 결과로부터 CCD 카메라를 이용하여 구멍을 가시화하였으며, 획득한 영상으로 입구와 출구의 구멍의 크기, 입구와 출구에서의 중심이동의 정도를 알 수 있었다. 이는 구멍의 품질을 알 수 있는 정보로 유용하게 이용될 수 있으리라 기대한다.

4. 결 론

본 연구에서는 HSS 드릴과 TiAlN 코팅드릴을 공구로 STS 304 스테인레스강을 구멍 가공할 때 발생하는 절삭력을 정량적으로 측정하였으며, 컴퓨터 영상처리 시스템을 이용하여 공구마모 및 가공구멍의 품질을 평가하였다. 이들 결과로부터 가공 상태를 종합적으로 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 절삭력 측정을 통한 구멍가공 특성을 분석하여 가공구멍수에 따른 트러스트의 변화를 정량적으로 구하였다.
2. 영상처리를 이용하여 공구의 플랭크 마모를 정량적으로 분석하였다.
3. 절삭력과 플랭크 마모 분석으로부터 TiAlN 코팅드릴을 사용하면 건식 절삭으로 HSS 드릴의 습식 절삭과 같은 충분한 가공 효과를 기대할 수 있음을 알 수 있었다.
4. CCD 카메라를 이용하여 구멍을 가시화하고, 획득한 영상으로 입구와 출구의 구멍의 크기, 입구와 출구에서의 중심이동의 정도를 알 수 있었다.

5. 종합적으로, 절삭력과 공구의 마모 및 가공구멍의 품질을 영상 시스템에 의해 정량적으로 in-line 측정 한 결과는 자동화 생산라인에서 공구 교환 시점 등을 아는데 도움을 얻을 수 있으리라 본다.

참고문헌

1. Wang, K., "Drilling Evaluation by Predicting Drilled Hole Quality and Drill Bit Wear With On-line Acoustic Emission Signals," Oregon State University, PhD. Thesis, 1997.
2. 신형근, "열연강판의 드릴가공시 공구의 마모에 관한 연구," 전북대학교 정밀기계공학과 박사학위논문, 2000.
3. 신형근, 김태영, "열연강판드릴 가공시 공구의 마멸량 검출에 관한 연구," 한국정밀공학회 논문집, 제18권, 제 11호, pp. 148-154, 2001.
4. Kosmol, J., et al, "The Optimisation of Drills for the Machining of Austenitic Steel," J. of Materials Processing Technology, Vol. 89-90, pp. 117-122, 1999.
5. 박문수, "드릴링시 가공이상 상태의 온라인 검출에 관한 연구," 전북대학교 정밀기계공학과 석사학위논문, 2002.
6. 신형근, 김태영, "드릴 가공된 구멍의 상태 검출에 관한 연구," 한국공작기계 학회논문집, Vol. 12. No. 3 pp. 8-16, 2003.
7. Yilbas, B. S., et al, "A Study of the Corrosion Properties of TiN Coated and Nitrided Ti-6Al-4V," Corrosion Science, Vol. 37, pp. 1627-1636, 1995.
8. Nizam, S. M., "Performance Evaluation of a New Type of Titanium Nitride(TiN) Coated Drill," King Fahd University of Petroleum & Minerals, Master Thesis, 1996.
9. Ramula, M., "A study on the drilling of composite and titanium stacks," Composite Structures, Vol. 54, pp. 67-77, 2001.
10. Furness, R. J., et al, "Statistical Analysis of the Effects of Feed, Speed, and Wear on Hole Quality in Drilling," J. of Manufacturing Science and Enging, Vol. 118, pp. 367-375, 1996.

11. 서남섭, “금속절삭 이론,” 동명사, 1988.
12. Sawai, N., et al, “Automated Measurement of Tool Wear Using an Image Processing System,” JSPE, Vol. 61, No. 3, pp. 368-371, 1995.
13. Steven, C., et al, “Numerical Methods for Engineers,” McGraw Hill, pp. 465-502, 1999.