

이 논문은 1995년도 조선대학교 학술 연구비의 지원을 받아 연구 되었음

ADI재료의 드릴가공시 가공조건에 따른 절삭특성에 관한 연구

조규재,* 전언찬**

A Study on the Machinability Characteristics of ADI Materials for the Drilling Conditions

Gyu-Jae Cho,* Eon-Chan Jeon**

ABSTRACT

Drilling tests were carried out austempered ductile cast iron(ADI) to clarify the factors influencing the drilling characteristics of ADI material. The machinability of material was evaluated using high speed steel drill and cobalt contained drill of 6mm diameter. The spheroidal graphite cast iron materials were austenized at 900℃ for 1 hour and then wear was kept at 375℃ for 2 hours. Austempered ductile cast iron contains a great deal of retained austenite which contributes to an improvement of impact strength. In this paper, machinability of ADI was investigated by drilling experimentation. The results obtained are as follows: a) Flank wear increases logarithmically with the increases of cutting time and proportionally with the increases of cutting force. b) Drilling hole number of about 2 times can be reduced more step feed than ordinary feed due to the high hardness of ADI material and hardness increasing ascribed to the martensite of retained austenite.

Key Words : ADI (오스텨퍼 구상흑연주철), Retained austenite (잔류 오스테나이트), Flank wear (프랭크 마멸), Step feed (단계이송)

1. 서론

소경드릴 가공은 최근 가공 제품의 소형화, 경량화 등의 추세로 인하여 수요가 급증됨에 따라 레이저 가공, 전자빔 가공, 전해가공과 같은 전기 물리적 가공법 등이 많이 사용되고 있으나, 생산성 및 정밀도의 면에서 아직까

지는 만족스러운 결과를 얻을 수 없는 실정이다.⁽¹⁾

이에 반해 기계 가공법인 소경드릴 가공은 공구의 강성 저하로 인하여 공구가 쉽게 파손이 되고 칩 배출이 어려운 점은 있지만, 가공 정밀도가 양호하고 종횡비(Aspect ratio)가 높은 가공이 가능하여 실용화가 좋은 분야이므로 이에 대한 연구가 많이 진행되고 있다.^(2,3) 이제까지 드

* 조선대학교 기계공학과

** 동아대학교 기계공학과

릴 가공시 소형드릴 재질이 절삭 특성에 미치는 영향에 관한 연구가 많이 행하여져 강재의 드릴 절삭저항의 이론적 고찰, 드릴 수명 및 가공정도에 관한 D. F. Galloway의 연구⁽⁴⁾, 미소드릴 가공시 단계 이송에 의한 절삭력과 가공정도에 관한 岩田·坂口の 연구⁽⁵⁾ 등이 행하여졌다.

최근, 유용한 신소재로 많은 관심을 보이고 있는 오스텨퍼처리 구상흑연 주철(Austempered Ductile Cast Iron 이하 ADI라 한다)은 기지조직이 배이나이트와 잔류 오스테나이트로 구성되어 있기 때문에 같은 화학 조성을 갖는 일반 구상흑연 주철에 비하여 연성 및 인성의 감소가 없이 2배 정도의 강도를 증가시킬 수 있기 때문에 자동차, 선박 부품 및 각종 기계부품에 적용시키기 위한 많은 연구가 진행되고 있다.^(6,7,8,9) 그러나, ADI재료는 높은 경도와 잔류 오스테나이트의 마르텐사이트화에 기인하는 가공 변질층에 의하여 절삭성이 나쁘기 때문에 단조강 등과 같은 타 재료로 대체 가능성이 높음에도 불구하고 그 적용 정도가 아직까지는 미흡한 실정이다.⁽¹⁰⁾ 또한 北川·小川^(11,12,13) 등에 의하여서 ADI재의 흑연 입자수의 영향에 따른 절삭성에 대한 연구가 진행되고 있으나, ADI 재료의 절삭특성에 미치는 소경 드릴의 재질에 의한 정량적인 연구결과는 아직 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 서로 재질의 성분이 다른 고속도강 드릴인 소경드릴을 이용하여 ADI재료를 절삭가공 할 때, 보통(비관통)이송과 단계이송 절삭시 발생하는 공구마멸과 절삭력 및 공구수명과의 관계 그리고 절삭조건에 따른 표면조도관계를 실험적으로 고찰 하고자 한다.

2. 드릴 가공의 절삭 모델

드릴에서의 절삭은 주절삭날과 치즐날에서 일어나며 회전과 이송운동에 의해 각 절삭날 상에서 운동 방향이 달라지기 때문에 절삭력의 해석이 복잡하게 된다.

치즐날은 이송속도가 회전속도의 20%가 되는 점을 경

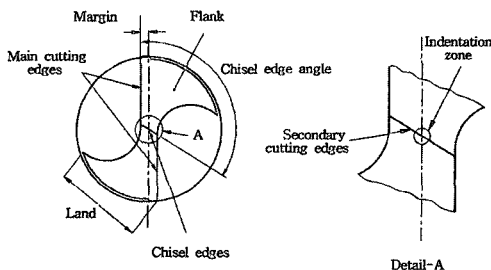


Fig. 1 Shape of Twist drill point

계로 보조절삭날 영역과 압입영역으로 나누어 Fig.1과 같이 주절삭날 영역, 보조 절삭날 영역, 압입영역의 3부분으로 나누어 모델링 할 수 있다.⁽¹⁴⁾ Fig.2는 트위스트 드릴상에서의 절삭력 분포를 나타낸 그림으로서 드릴에 가해지는 전체 토크 및 스러스트는 각각의 모델로부터 구할수 있으며 다음의 식(1),(2)와 같이 전체 토크 및 스러스트를 구할수 있다.^(15,16)

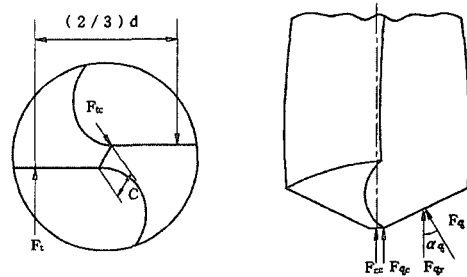


Fig. 2 Cutting force distribution on a twist drill

$$M_z = M_{z1} + M_{z2} = F_t \frac{2}{3} d + F_{ic} C \quad (1)$$

여기서,

M_z : 전체 토크(kgf·mm)

M_{z1} : 주절삭날에 의해 생기는 토크(kgf·mm)

M_{z2} : 보조 절삭날에 의해 생기는 토크(kgf·mm)

d : 공구직경(mm)

C : 치즐에지 폭(mm)

F_t : 주절삭날에 가해지는 절삭속도의 수직 방향의 힘(kgf)

F_{ic} : 보조 절삭날 영역에서의 드릴축에 수직인 방향분력(kgf)

$$F_z = 2F_{qr} + 2F_{qc} + F_{ac} \quad (2)$$

여기서,

F_z : 전체 스러스트(kgf)

$2F_{qr}$: 주절삭날에 의해 생기는 추력(kgf)

$2F_{qc}$: 보조 절삭날에 의해 생기는 추력(kgf)

F_{ac} : 압입력(kgf)을 나타낸다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험방법

본 연구에서 절삭 실험은 수직형 머시닝 센터(화천기계, VERTMAC-650)를 이용하여 실험을 수행하였고,

절삭 작업시 보통이송 절삭과 단계이송 절삭시 발생하는 추력과 토오크는 압전형 공구동력계(kistler, 927A)를 사용하여 측정하였다. 이때 공구 동력계로부터의 미세한 전압을 안정적으로 증폭하기 위하여 차지 앰프리 파이어(kistler, 5011)를 사용하였다. 그리고 데이터를 개인용 컴퓨터에서 해석하기 위하여 증폭된 아날로그 신호를 아날로그-디지털 변환기(DAS-16)를 이용하여 디지털화 하였다. 컴퓨터에 전송된 신호는 절삭력 소프트웨어를 이용하여 분석하였고, Fig.3은 실험장치의 개략도를 나타 낸 것이다.

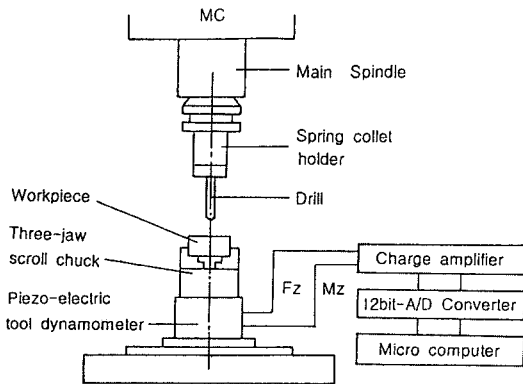


Fig. 3 Schematic diagram of experiment

시험편의 기지조직 및 공구 표면 형상의 측정은 주사 전자 현미경(JEOL, JSM-840A)으로 관찰하였다. 또한 기지조직 내 베이나이트의 체적분율과 잔류 오스테나이트의 체적 분율의 측정은 X-선 회절기(Rigaku geigerflex D/max-B)를 이용하였고, 마르텐사이트의 체적 분율은 전체적 분율에서 베이나이트와 잔류 오스테나이트의 체적분율의 차로써 구하였다.

공구동력계의 척에 피삭재를 고정시켰을 때 편심을 제거하기 위하여 피삭재가 $\phi 60 \times 30\text{mm}$ 이 되도록 외피 및 양단면을 가공한 후 12개의 구멍을 뚫었다. 이때 구멍과 구멍사이의 최소 거리는 먼저 뚫은 구멍의 영향을 받지 않도록 5mm이상 되도록 하였다. 또한 보통절삭은 구멍 깊이가 15mm가 되도록 하였고 단계이송절삭은 한 단계를 5mm씩으로 하여 3단계로 이송가공 하였다. 특히 본 연구에서는 공구 수명을 예측하기 위한 수단으로 소음계(GA 204)를 이용하였으며 75dB~100dB(무부하 상태 70dB)정도 범위를 정상 가공상태로 하고 105dB 이상이 될때 공구가 마멸 된 것으로 판정하여 공구를 교환하였다.

본 실험에 사용된 드릴은 GÜHRING사의 고속도강과 코발트 고속도강 2종류이며 형상은 $\phi 6 \times 70 \times 102\text{mm}$ 로서 선단각 130° 여유각 11° 비틀림각 38° 이다. 절삭 실험조건은 Table 1과 같다.

드릴을 플레트 홀더에 체결시킬때 드릴이 정확하게 이송이 되도록 충분히 체결하였다. 드릴의 마멸량 측정은 구멍을 2~5개 가공 한후 공구현미경(Mitutoyo, TM101)을 이용하였다. 또한 경도 측정은 드릴 가공 후 가공재료를 절단하여 마이크로 비커스 경도기(SHIMADZU, NO.3341)를 사용하여 측정 하였다. 토오크의 보정은 인디케이트 플랫폼형 토오크렌치(Kanon, 450K)를 사용하였고, 슬리스트 보정은 로드셀과 동적스트레인 메타를 사용하였다.

Table 1 Shape and dimensions of drill in used

Workpiece	GCD600 , ADI
Drill	HSS, HSS-Co
Drill shape	$\phi 6\text{mm} \times 70 \times 102$ Twisst drill
Cutting speed	6.1, 7.8, 10.3 (m/min)
Feed rate	0.05, 0.08, 0.1, 0.15 (mm/rev)
Depth of cut	15mm
Coolant	dry

3.2 시험편 제작 및 열처리

시험편은 일반 구상흑연 주철 용탕에 Fe-99.9% Ni, Fe-60% Mo, 및 99% Cu를 첨가하여 용해 한 후 충분한 압탕력이 있는 생사형주형에 주입하여 환봉 시료를 제작하였다. 구상흑연 주철의 오스템퍼링 처리는 일반적으로 오스테나이트화 하기 위한 가열온도 범위로 850~950 $^\circ\text{C}$ 가 적당하다고 알려져 있다.^(17,18) 따라서, 본 연구에서는 오스테나이트중의 탄소량이 균일하게 될때까지 장시간을 요하는 낮은 오스테나이트화 온도와 오스테나이트 결정립이 조대화 하게 되어 기계적 성질을 저하시키는 높은 오스테나이트화 온도를 피하여 오스템퍼 처리는 900 $^\circ\text{C}$ 로 유지된 염욕에서 1시간동안 오스테나이트화 한 후 오스템퍼드 온도 290~450 $^\circ\text{C}$ 의 변화에 따라 미세한 침상의 하부 베이나이트가 조대한 침상 및 판상의 상부베이나이트로 성장하는 천이온도 부근인 375 $^\circ\text{C}$ 에서 2시간동안 항온 열처리 하였다.

피삭재의 화학적 성분은 Table 2과 같고, Table 3은 기계적 성질과 체적분율을 나타냈다.

Fig.4은 GCD600재와 ADI재의 조직 사진이다.

Table 2 Chemical composition of workpiece (Wt.%)

C	Si	Mn	P	S	Cu	Mo	Ni	Mg
3.52	2.77	0.25	0.03	0.02	0.38	0.23	1.39	0.05

Table 3 Mechanical properties and volume fraction of workpiece(ADI)

Structure (%)	Holding time(120 min)	Tensile strength(Kg/mm ²)	Elongation (%)	Hardness (Hv)
Martensite (%)	2.4	125	4.9	408
Dainite (%)	78.6			
Retained austenite content (%)	19			

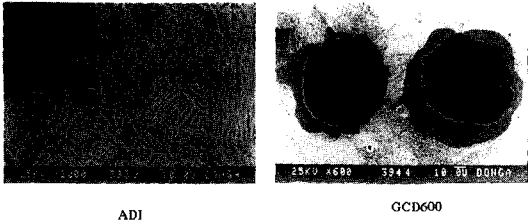


Fig. 4 Microstructure of ADI and GCD600

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 공구마멸과 절삭력과의 관계

공구의 마멸은 가공면의 표면조도 및 가공정밀도에 영향을 미치며, 심할 경우 공구파손을 초래할 수 있다. 그리고 드릴마멸은 발생하는 위치에 따라 플랭크 마멸, 크레이터 마멸, 코너 마멸, 치늘에서 마멸, 랜드 마멸로 나누며, 일반적으로 플랭크 마멸이 드릴의 수명을 나타내는 기준으로 널리 사용되고 있다.⁽¹⁹⁾ 본 실험에서는 보통이송절삭과 단계이송절삭시 평균플랭크 마멸에 의한 드릴 수명을 예측하였다.

Fig.5은 절삭 속도를 6.1m/min으로 일정하게 하고 이송속도를 변화시킬 경우 고속도 공구강(GÜHRINC사)의 가공 홀수에 대한 마멸량과의 관계를 나타냈다. Fig.5에서 이송속도가 증가함에 따라 마멸량도 증가하고 있음을 알 수 있으며 이송속도 0.15mm/rev에서는 가공 홀수가 25개체 이르면 공구 마멸이 급증하여 가공이 불가능한 상태가 되었다. Fig.6은 피드를 0.05mm/rev로 일정하게 하고 절삭 속도를 변화 시켜 고속도 공구강에서 마멸량을 측정 한 결과를 나타낸다. Fig.6에서도 절삭속도가 증가 함에 따라 마멸량은 같은 비율로 증가 하나 절삭

속도가 10.3m/min.부근에서는 33개체의 가공홀에서 공구 마멸이 급증하였다. 이상과 같이 Fig.5~6에서 공구 마멸이 급증하는 이유는 고속도강 공구는 내열성이 나쁘기 때문에 고강도인 ADI재료를 가공 할때 단속 칩의 배출이 용이치 못하여 공구의 발열과 재료의 경화 현상으로 인하여 마멸의 진전이 증대되기 때문이라 생각된다. Fig.7은 코발트 함유 고속도강(GÜHRINC사)을 이용한 절삭속도 6.1m/min, 이송속도 0.05~0.15mm/rev범위에서 ADI재와 GCD600재를 구멍 가공을 할 경우 가공홀수에 대한 공구마멸과의 관계를 나타낸다.

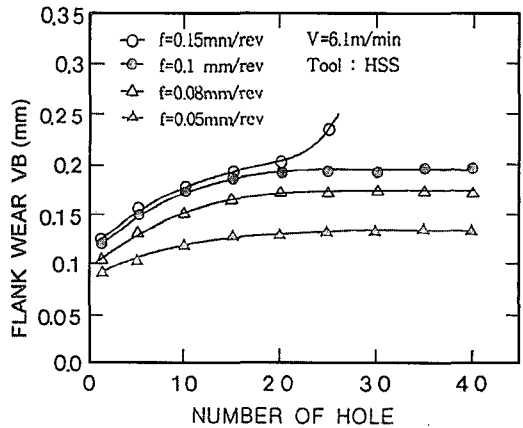


Fig. 5 Effect of feed rate on tool wear when drilling ADI with HSS drill

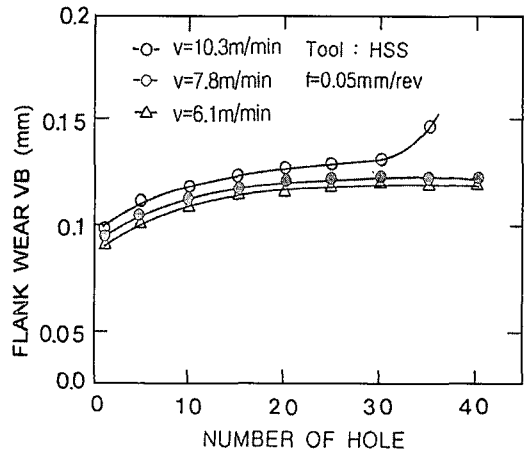


Fig. 6 Effect of cutting speed on tool wear when drilling ADI with HSS drill

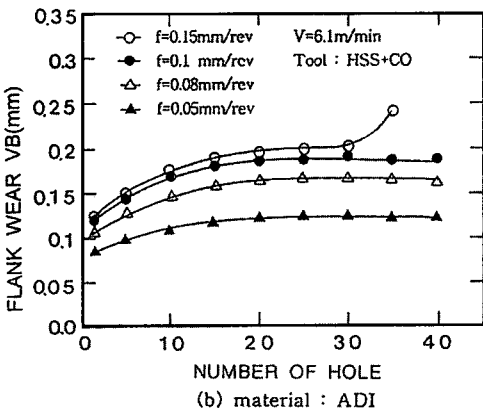
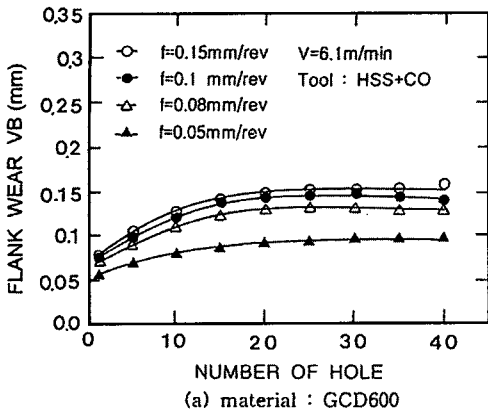


Fig. 7 Comparison of tool wear in drilling ADI and GCD600 with cobalt contained HSS drill

Fig.7에서 이송속도 0.15mm/rev을 제외한 어떤 이송 속도에서도 공구마멸량은 ADI재를 구멍 가공한 경우가 GCD600재를 가공한 경우보다 약 1.8배 정도 큼을 알 수 있었다. 이와 같이 GCD600재에 비하여 ADI재를 가공할 경우 드릴마멸량이 큰 원인은 GCD600재의 구멍 가공에서 보다 윤활작용이 원활하지 못해 공구와 피삭재 사이의 마찰력에 의한 응착현상이 증가되기 때문이라 생각된다. 또한, GCD600재에서는 공구 마멸이 완만하게 증가하나 ADI재료에서 이송속도 0.15mm/rev에서는 34개체의 구멍 가공때 부터 공구 마멸이 급상승함을 알 수 있다. 이와같은 현상은 Fig.5~6에서와 같은 이유 때문이라 생각된다. 또, Fig.8은 ADI재료와 GCD600재에 대한 절삭속도 6.1m/min에서 이송속도에 따른 토크와 스러스트와의 관계를 나타냈다. Fig.8에서 드릴 코너 부가 공작물에 드릴링 하기 시작한 후 일정한 폭의 칩이

유출 되기 시작했을 때를 초기값(start), 절삭 종료 직전의 극대치를 나타내는 부분의 값을 후기값(end)이라 하였다. ADI재의 토크, 스러스트량은 GCD600재보다 크게 나타났으며, 이송속도가 증가 할수록 토크와 스러스트의 성분이 증가 하는데, 이와 같은 현상은 이송속도가 증가함에 따라서 생성되는 칩의 두께가 증가하므로 칩의 단면적이 증가 하기 때문이라 생각된다. 또 절삭 초기값과 후기값을 비교하여 보면 ADI재에서는 이송속도가 작을 때 보다는 클때가 그 폭이 크게 나타났으며, 두 재료 모두 이송속도가 0.1mm/rev이상이 되면 토크와 스러스트의 증가율이 급증함을 알 수 있다.

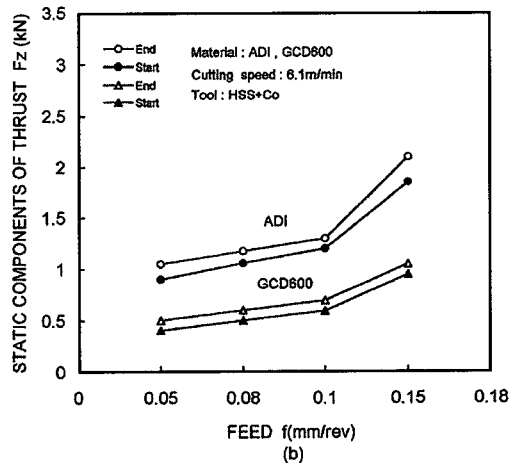
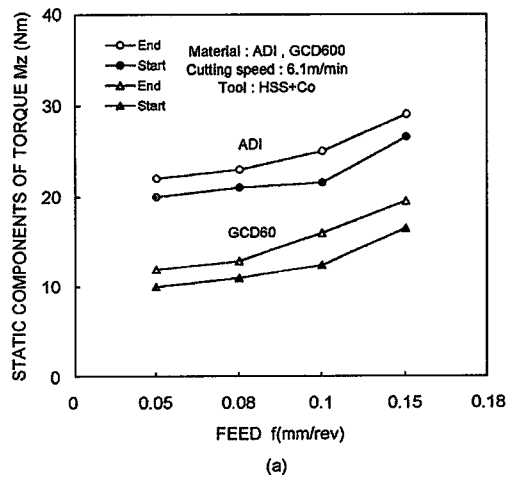


Fig. 8 Comparison of torque and thrust for material ADI, GCD600

Fig.5~ Fig.7에서와 같이 절삭 시간에 따라 이송속도를 변화시켰을 때 플랭크 마멸이 증가하면 절삭저항 역시 증가하는 경향을 보였다. 이것은 공구의 마멸과 절삭저항이 어떤 관계를 가지고 있음을 말하여준다. 이 관계를 살펴보기 위하여 절삭속도 7.8m/min, 이송속도 0.05mm/rev의 조건에서 얻어진 공구의 마멸량과 절삭력(스러스트)과의 관계를 Fig.9에 나타냈다. Fig.9로부터 공구 마멸량의 증가에 따라 절삭력 역시 선형적으로 증가함을 알 수 있었는데 이를 최소자승법으로 수식화하여 나타내면 $F_z = 925VB + 820$ (F_z : 절삭력 (N), VB : 프랭크 마멸 (mm))과 같은 관계식을 얻을 수 있었다. 또, Fig.10은 절삭속도 7.8m/min 이송속도 0.05mm/rev인 조건에서 프랭크 마멸량과 절삭시간을 나타낸 것으로 이를 수식으로 나타내면 $VB = 0.05 t^{0.118}$ (VB : 프랭크 마멸(mm) t : 가공시간(sec))의 관계식이 얻어졌다.

Fig.11은 이송속도에 따라 가공구멍의 거칠기가 어떻게 달라지는가를 알아보기 위해 ADI재와 GCD600재를 가공한 후 구멍 내부면의 표면 거칠기를 측정하여 보았다. Fig.11에서 두재료 모두 본 실험내에서는 이송변화에 따라 표면 거칠기 값은 거의 변화가 없었으나 두 재료를 비교해보면 ADI재가 GCD600재보다 표면거칠기 값이 전반적으로 약 20%정도 작음을 알았다. 즉 ADI재가 GCD600재보다 가공후 표면상태가 양호함을 알수있었다. 이와 같은 이유는 ADI재에 있어서는 초기가공시 칩은 직경 및 피치가 작으나 가공이 진행됨에 따라 단속적인 부채꼴 형상의 칩이 생성되는 것에 비해 FCD600재에서는 초기가공시 부터 절삭종료시 까지 연속적인 칩이

생성되며 칩의 직경과 피치가 크고 형상 또한 불균일하다. 특히, FCD600재에서는 가공시 생성된 연속 칩이 드릴의 비틀림힘을 따라 유출될때 가공구멍의 내면을 마찰하면서 배출되므로 가공구멍 내면의 조도를 악화시키기 때문에 가공면의 표면조도는 FCD600재의 경우가 ADI재의 경우보다 좋지 않은 것으로 사료된다.

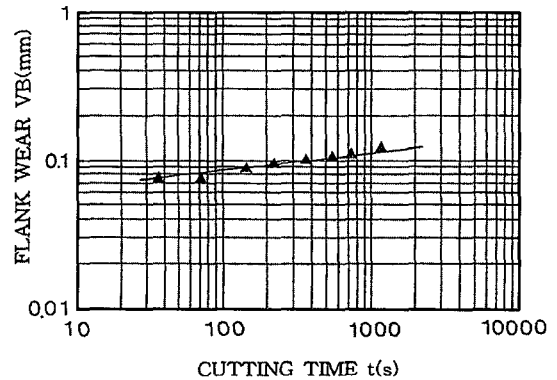


Fig. 10 Flank wear versus cutting time for HSS+Co ($v=7.8$ m/min, $f=0.05$ mm/rev)

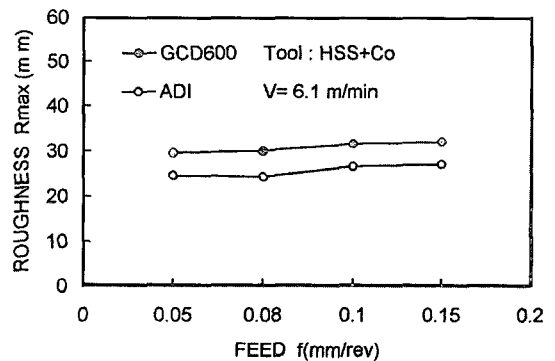


Fig. 11 Comparison of the drilling hole surface roughness in drilling ADI and GCD600

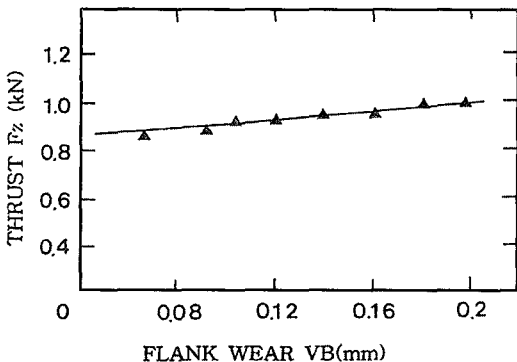


Fig. 9 Flank wear versus thrust for HSS+Co ($v=7.8$ m/min, $f=0.05$ mm/rev)

4.2 보통 이송절삭과 단계이송 절삭과의 관계

일정깊이의 구멍을 뚫고자 할 때 한 번의 절삭이송행정으로 구멍가공을 완료하는 것이 아니고, 일정깊이를 몇 등분으로 균등분할하여 순차적으로 구멍가공하는 단계이송(step feed)을 하기 위하여 본 실험에서는 드릴링한 공작물의 구멍깊이가 15mm이기 때문에 5mm씩을 한 구간으로 하여 3단계 이송가공을 하였으며, Fig.12는 3단계 이송의 가공공정을 도시한 것이다. 공구는 기계 좌표계 원점에서 위치 결정을 하고 난 후 직선보간을 하여

공구의 인선이 공작물과 5mm의 거리가 되도록 절삭이송을 하도록 하였다. 일정 깊이까지 드릴가공한 후 드릴이 후퇴시에는 작업시간을 단축하기 위하여 급속 이송을 행하였다.

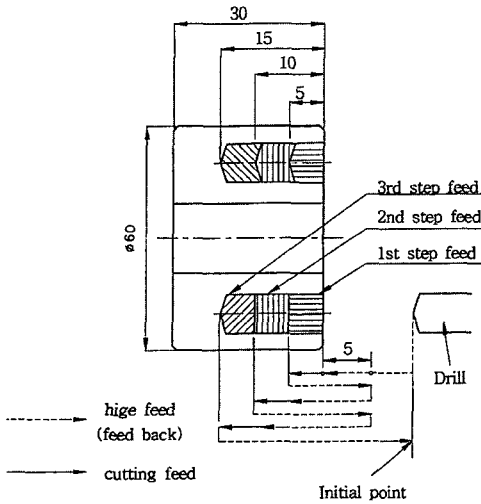


Fig. 12 Process of 3 step feed drilling

Fig.13의 (a), (b)는 ADI재와 GCD600재를 이송속도의 변화에 따라 15mm의 구멍 깊이를 5mm마다 스텝핑 (stepping)하면서 드릴링 했을 때의 토오크와 스러스트 값을 보통이송절삭시 초기값과 후기값을 비교한 그림이다. ADI재에 있어서는 단계이송절삭 시가 보통이송절삭 시보다 초기값은 거의 같으나 후기값은 약 3~7% 정도 증가하고 있음을 알 수 있다. 그리고, GCD600재에서는 보통이송절삭과 단계이송절삭 모두 초기값과 후기값이 거의 동일함을 알 수 있었다.

또한 Fig.14에는 절삭속도 6.1m/min, 이송속도 0.1mm/rev로 ADI재와 GCD600재를 보통이송 절삭 및 단계이송 절삭할때의 절삭력(스러스트)을 가공수에 따라 비교하여 나타냈다. GCD600재의 경우는 보통이송 절삭 시나 단계이송절삭 모두 본 실험범위 내에서 절삭력은 거의 변화가 없었다. 그러나 ADI재의 경우는 보통이송절삭 시는 약 73회째 이상의 가공구멍수 부터 절삭력이 증가 되었으나 단계이송절삭시는 약 33회째 가공시부터 절삭력이 상승하여 가공이 불가능한 상태로 되었다.

이상과 같이 ADI재를 단계이송절삭 경우 약 33회째 구멍철 가공시 급격하게 절삭력이 증가하여 가공이 불가능한 원인을 조사하기 위하여 구멍가공한 시편을 고속다이

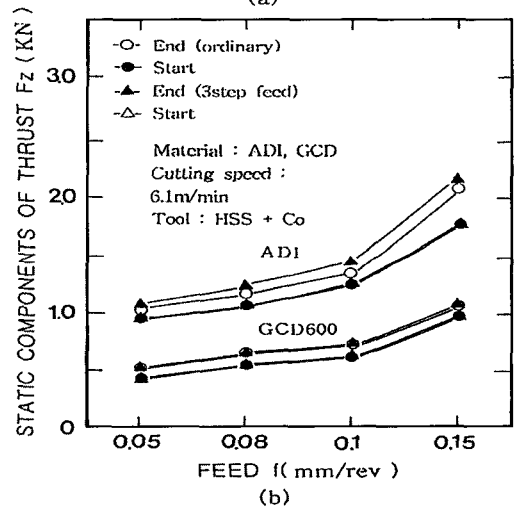
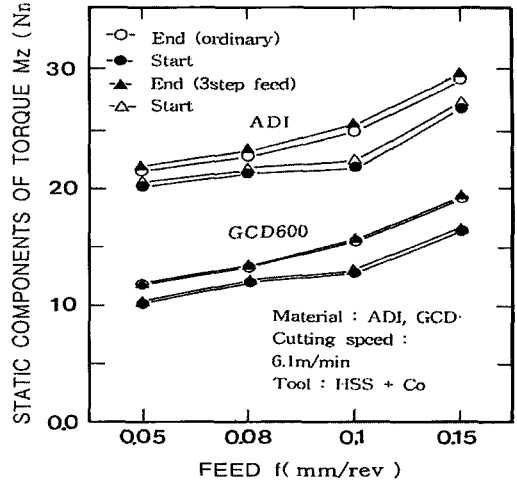


Fig. 13 Comparison of torque and thrust for ordinary and 3 step feed drilling

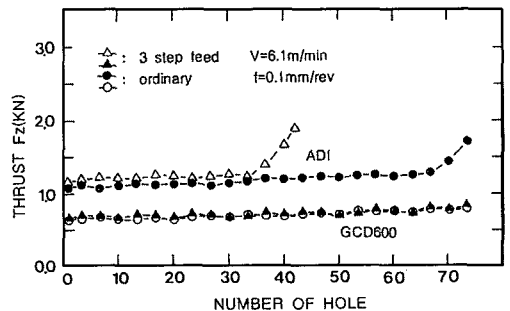


Fig. 14 Comparison of tool life for ordinary and 3 step feed drilling

아몬드 회전카터로 절단하여 시편의 가공구멍 팁 선단부의 경도를 조사하여 보았다. Fig.15는 절삭속도 6.1m/min, 이송속도 0.1mm/rev에서 ADI재와 GCD600재의 구멍가공후 시편을 절단한 팁 선단부로부터의 경도분포를 나타낸 것으로 ADI재는 공구 팁 선단부로부터 500 μ m 부근까지의 경도는 450~500Hv정도, GCD600재에서는 350~390Hv정도를 나타내었고 500 μ m부근 이상 깊이에서부터는 ADI재나 GCD600재 모두 경도의 변화가 거의 없었다. 그리고 은선은 구상흑연주철을 열처리하여 경도의 선도(QT)를 나타낸 것이다.

특히, Fig.15의 결과로부터 GCD600재보다 ADI재는 시편의 팁 선단부로부터 500 μ m부근 까지 경도가 현저하게 증가되어 있음은 ADI재의 경도가 높은 표면을 구멍가공시 공구에 의하여 발생한 열의 영향으로 ADI재의 잔류 오스테나이트량을 마르텐사이트로 변태시켜 경화되고 있기 때문이라 생각된다. 이런 이유로 단제이송 절삭시 절삭력의 증가와 더불어 공구 마멸량 역시 증가되어 가공회수가 감소되는 경향을 나타냈으며, ADI재는 단제이송절삭을 행하는 것보다 보통이송절삭때가 공구 마멸 상으로 유리함을 알수있다.

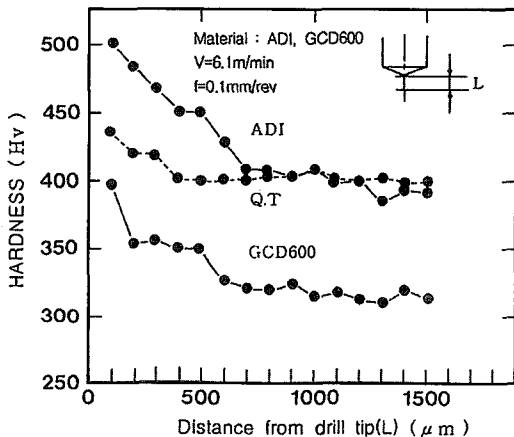


Fig. 15 Hardness variation from drill tip after drilling

4. 결론

본 연구에서는 난삭재에 속하는 ADI재를 구멍가공 실험을 행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 프랭크면의 마멸량은 절삭 시간의 증가에 따라 대수적으로 증가 됨을 알수 있었다.
2. 본실험 조건하에서 프랭크 마멸량과 절삭력과의 사

이에는 $Fz = 925VB + 820$ 의 관계식이 성립함을 알 수 있었다.

3. 본실험 조건하에서 프랭크 마멸량과 절삭시간의 증가율 사이에는 $VB = 0.05 t^{0.118}$ 의 관계식이 성립함을 알 수 있었다.

4. 가공 구멍 내면의 표면 거칠기는 ADI재가 GCD600재보다 약20%정도 작게 나타났다. 5. ADI재의 단제이송 절삭시 보통이송 절삭시 보다 약 2배정도 공구의 수명이 짧아짐을 알 수 있었다. 이는 ADI재의 열처리시 높은 표면경도와 구멍 가공시 발생하는 가공경화시의 발열에 의해 재료가 경화되기 때문이다.

참 고 문 헌

1. 이 상조 : “드릴링 작업의 가공정밀도 개선에 대하여” 大韓機械 學會誌, 第30卷 第1 號, PP,29~35, 1990.
2. 백인환, 정우섭 : “미소경 드릴머신의 성능 개선과 미세 드릴 가공조건 선정에 관한 연구” 精密工學會 春秋學術大會論文集. PP,140~144, 1944.
3. 小野元久,菅原章 : “微小經 ドリル加工に關する研究”, 精密工學會第 58, PP,79~84,1992.
4. D. F. Galloway : Some Experiments on the Influence of Various Factors on Drill Performance, Trans, of the ASME, Series B, Vol. 79 pp.191~231, 1975.
5. 岩田一明,坂口明彦 : “高速微小ドリル深空加工の基礎的研究” 精密機械 49卷(1983),PP,98~104
6. 전 언찬 : “드릴 가공에 있어서 ADI재료의 절삭성에 관한 연구” 동아대학교 대학원 논문집 제 20집 pp305~315. 1995.
7. 박 홍식 : “오스템퍼링한 低合金球狀黑鉛鑄鐵의 부식 마멸 특성 및 그 기구에 관한 연구” 대한 기계학회지 제 17권 제 6호 pp1404~1411. 1993.
8. 이 길홍 : “오스템퍼 球狀黑鉛鑄鐵의 磨耗와 微細組織制御에 미치는 Mo의 영향” 博士學位論文 pp. 2~23. 1994.
9. John Dodd, “High Strength High Ductility Ductile Irons”, Modern Casting68, No.5, pp.60 ~66, 1978.
10. Richard B. Gundlach and Jay F. Janowak, “Austempered Ductile Iron Combines

- Strength with Toughness and Ductility”, Metal Progress, pp.19~26, 1985.
11. 藤田武男 . 關谷克彦 . 北川亮三 . 小池範法 . 大城桂作, “ADI のドリル被削性(第1報), 熱處理および切削條件の影響”, 日本精密工學會秋季學術大會論文集, pp.361~362, 1993.
 12. 藤田武男 . 關谷克彦 . 北川亮三 . 小池範法 . 大城桂作, “ADI のドリル被削性(第2報), 黒鉛 粒數の影響”, 日本精密工學會秋季學術大會論文集, pp.363~364, 1993.
 13. 小川 誠 . 新井 實 . 白神哲夫, “ADI のドリル加工”, 日本精密工學會秋季學術大會論文集, pp. 371~372, 1993.
 14. K. subramanian, N.H.Cook, “Sensing of Drill wear and prediction of Drill Life”, ASME, J of Eng. for Industry, pp. 295~301, May 1977.
 15. 김 화영, 안 중환, “모터 전류를 기초로 한 드릴 마멸 모델링과 실시간 마멸 추정” 한국정밀공학회지 제12권 5호. pp 77~ 87, 1995.
 16. Craig A. Mauch, “Modeling the Drilling process an analytical MODEL to predict Thrust force and Torque” proceeding of the winter annual meeting of the AMSE Vol : 48. pp 59~65, 1990.
 17. R. C. Voigt and R. Loper, JR. ,Austempered Ductile Iron - Process Control and Quality Assurance” J. Heat Treating, Vol.3, No.4, pp.219~309, 1984.
 18. P. A. Blackmore and R. A. Harding, “The Effects of Metallurgical Process Variables on the Properties of Austempered Ductile Iron”. J. Heat Treating. Vol. 3, No.4, pp.310 ~ 325, 1984.
 19. P. Bandyopadhyay and S. M. Wu, “Signature Analysis of Drilling Dynamics for On-Line Drill Life Monitoring”, Sensors and Control for Manufacturing, PED-Vol.8, the winter Annual meeting of the ASME, NOV., 1985.