

DRILL 재종에 따른 ADI 재료의 절삭성에 관한 연구

조 규재* 김 용기 전 언찬

(조선대 기계공학과) (조선대학교 대학원) (동아대 기계공학과)

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 만족스러운 결과를 얻을 수 없는 실정이다.¹⁾

이에 반해 기계 가공법인 소경드릴 가공은 공구의 강성 저하로 인하여 쉽게 파손이 되고 칩 배출의 어려운 점은 있지만, 가공 정밀도가 양호하고 종횡비(Aspect ratio)가 높은 가공이 가능하여 실용화가 좋은 분야라고 할 수 있다. 이로 인해 이에 대한 연구가 많이 진행되고 있다.^{2,3)} D.F.Galloway⁴⁾는 강재의 드릴 절삭시각의 이론적 고찰 및 드릴 수명, 가공정도에 대하여 논하였고, 岩田·坂口⁵⁾ 등은 미소드릴 가공의 연구에서 단계 이송에 의한 절삭력과 가공정도에 관한 기초적 연구를 행하고 있으나, 소경드릴 가공시 많은 문제점이 있다고 보고되고 있으며,³⁾ 앞으로 연구가 필요하다고 생각된다.

최근 유용한 신소재로 많은 관심을 보이고 있는 오스테퍼 처리 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 없어 2배 정도의 강도를 증가시킬 수 있기 때문에 자동차, 선박 부품 및 여러 종류의 기계 구조용품에 적용시키기 위하여 많은 연구가 진행되고 있다.⁶⁾ 그러나, ADI재료는 좋은 경도와 잔류 오스테나이트의 마르텐사이트화에 기인하는 가공 변질층에 의하여 절삭성이 나쁘기 때문에⁷⁾ 단조강 등의 타 재료로 대체 가능성이 높음에도 불구하고 그 적용 정도가 아직까지는 미흡한 실정이며 北川·小川^{8,9,10)} 등에 의하여 ADI재의 흑연 입자수의 영향에 따른 절삭성에 대한 연구가 진행되고 있으나 현재까지 국내외의 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 서로 종류가 다른 고속도강 드릴인 소경드릴을 이용하여 ADI재료를 절삭가공 할때 비관통 및 단계절삭 가공시에 발생하는 절삭력의 변화에 따른 공구의 마모, 가공

정도 및 가공조건등을 실험적으로 고찰하여 소경드릴 가공시 발생하는 재반문제점을 해결하고 공구의 마모 및 가공정도가 양호한 최적의 절삭조건을 얻고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1. 실험방법

본 실험을 위한 절삭은 수직형 머시닝 센터 (화천기계, VERIMAC-650)를 이용하여 실험을 수행하였다. 절삭 작업시 비관통 절삭과 단계절삭의 주력과 토오르 절삭력은 압전형 공구동력계(kistler, 927A)를 사용하여 측정하였다. 이때 공구 동력계로 부터의 미세한 전압을 안정적으로 증폭하기 위하여 차지 앰프리파이어(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 분석하였다. Fig.1은 실험장치의 개략도를 나타낸다.

시험편의 기지조직 및 표면 형상 측정을 하기위하여 공구현미경(Mitutoyo TMI01) 전자 주사 현미경(JEOL, JSM-840A)으로 관찰하였다. 그리고 기지조직 내 배이나이트의 체적분율은 포인트 카운팅법으로 하였으며, 잔류 오스테나이트의 체적 분율을 구하기 위하여 X-선 회절기(Rigaku geigerflex D/max-B)로 측정하였고, 마르텐사이트의 체적 분율은 전체적 분율에서 배이나이트와 잔류 오스테나이트의 체적분율의 차로써 구하였다.

피삭재는 공구동력계의 척에 고정 시켰을 때 편심을 제거하기 위하여 60×30mm로 외피가공 및 양단면 가공을 하여, 12개의 구멍을 뚫었으며 구멍과 구멍사이 최소 거리로 먼저 뚫은 구멍의 영향을 받지 않도록 5mm이상 되도록 하였다. Fig.2는 피삭재의 형상이다. 구멍깊이를 15mm로 일정하게 비관통 절삭가공과 5mm씩을 한 구간으로 하여 3단계 이상가공을 하였다.

실험에 사용된 드릴은 GÜHRING사의 고속도강과 코발트 고속도강 및 티타늄을 코팅한 고속도강의 3종류이며 형상은 $\phi 6 \times 70 \times 102$ mm로 선단각 130° 여유각 11° 비틀림각 38° 이다.

절삭 실험조건은 Table 3과 같다.

드릴을 콜레트 홀더에 체결시킬때 체결력은 드릴이 정확하게 이송이 되도록 충분히 체결하였다. 구멍 가공을 2~5개 한후 절삭력 변화에 따른 드릴 마모량을 측정키 위해 공구현미경(Mitutoyo, TM101)을 이용하여 드릴의 마모량을 측정하였다. 토오코의 보정은 인디케이트 플랫트형 토오코렌지(Kanon, 450K)를 사용하였고, 트러스트 보정은 로드셀과 동스트레인 게이지를 사용하였다.

2.2 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 완공 시료를 제작한다. 구상흑연 주철의 오스테퍼링 처리에 있어 오스테나이트화 하기 위한 가열온도 범위로 일반적으로 850~950°C가 적당하다고^{11,12)} 알려져 있다. 본 연구에서는 오스테나이트중의 탄소량이 균일하게 될때까지 장시간을 요하는 낮은 오스테나이트화 온도와 오스테나이트 결정립이 조대화 하게 되어 기계적 성질을 저하시키는 높은 오스테나이트화 온도를 피하여 오스테퍼 처리는 900°C로 유지된 염욕에서 2시간동안 오스테나이트화 한후 오스테퍼드 온도 290~450°C의 변화에 따라 기지조직은 미세한 침상의 하부 베이나이트가 조대한 침상 및 판상의 상부베이나이트로 성장하는 천이온도 부근인 375°C에서 2시간동안 항온 열처리 하였다.^{11,12)}

피삭제의 화학적 성분은 Table1과 같고, Table2는 기계적 성질과 체적분율을 나타냈다.

Fig.3은 GCD600재와 ADI재의 조직 사진이다.

3. 실험 결과 및 고찰.

1. 공구마모에서 본 드릴 재종의 비교.

Fig.4는 3종류 드릴을 이용하여 $V=10.3\text{m/min}$, $f=0.05\text{mm/rev}$ 의 가공조건에서 구멍 뚫기 가공을 하였을 경우 공구마모의 진행선도이다. 절화 티타늄코팅 드릴의 마모가 가장 작고, 다음으로는 코발트 함유 고속도강이다. 이 양자의 공구마모량은 구멍 뚫기 가공수가 증가함에 따라 완만하게 증가하지만 보통 고속도강에서는 25개째 이후에서 공구마모가 급격하게 진행되고 구멍가공이 불가능한 상태였다.

Fig.5는 ADI재를 보통 고속도강을 이용하여 $V=10.3\text{m/min}$, $f=0.05\text{mm/rev}$ (고속, 저이송) 및 $V=6.1\text{m/min}$, $f=0.15\text{mm/rev}$ (저속, 고이송)의 가공조건으로, 30개 구멍을 뚫을 경우의 공구마모량과 칩 이면의 형태이다.

고속, 저이송의 가공 경우, 칩 이면의 흑연이 거의 탈락되고, 공구표면상에 응착물이 많이 보이고, 인선의 마모가 격심하다. 이에 반해 저속, 고이송의 가공의 경우는 칩 이면에 더 많은 흑연의 존재를 확인 할수 있고, 또 공구표면도 깨끗하게 보존되어

있다. 또 고속, 저이송 조건으로 가공한 경우는 분상의 흑연이 칩과 함께 많이 배출되고, 저속, 고이송의 경우는 분상의 흑연 배출이 적다. 여기에서, 고속가공에서는 흑연이 기지에서 탈락하고, 분상으로 되기 쉬운것에 대하여서 저속, 고속이송의 경우에는 흑연이 기지에 잔류하고 응착현상이 의제되고, 피삭재와 공구의 계면에서 윤활의 작용을 발휘하고, 공구마모가 줄어든다고 생각된다.

또, Fig.6, 7은 상이한 이송속도와 절삭속도에서 ADI재의 구멍 뚫기 가공을 할 경우의 공구마모 진행선도이다.

Fig.6에서 이송 속도의 증가에 따라서 마모량이 거의 비례적으로 증대하는것을 알 수 있다. 그러나 $f=0.15\text{mm/rev}$ 에서는 20개째의 구멍 가공에서부터 가공이 불가능한 상태로 진행되었다. 한편, 절삭속도의 경우 Fig.7에 나타난 바와 같이 어느 일정 절삭속도 이상으로 되면 마모가 급격히 증대하는 것을 알 수 있다. 고속도강 공구는 내열성이 나쁘기 때문에, 고강도의 ADI재의 절삭에도 부적당하다는 것을 알 수 있다. 그러나, 공구가 비교적 오래 사용하기 때문에 절삭속도와 이송속도를 적절하게 조합시키면 공구마모가 줄어드는 것이 가능하고, 대량으로 사용되는 현장에서는 생산원가의 절감으로 이어진다고 고려된다. 이 경우 단위시간당의 절삭량은 저속, 고이송의 조합이 고속, 저이송의 조합보다 1.6배 정도가 크다.

이로부터, 통상 고속도강 드릴로서 ADI재를 구멍 가공할 경우, 절삭량의 관점에서 보면, 절삭속도의 증가 보다도, 이송을 높이는 편이 유리하다는 것을 알 수 있다.

2. ADI재와 GCD600재에서의 공구마모 비교

Fig.8은 코발트 함유 고속도강을 이용한 절삭속도 6.1 m/min, 이송속도 0.05~0.15 mm/rev 로서 구멍 가공을 할 경우의 공구마모 진행선도의 비교이다. 그림에서 $f=0.15\text{mm/rev}$ 을 제외하고, 어느 경우도 ADI재를 구멍가공한 공구마모량은 GCD600재에 비하여 약 2배 정도로 되고 있다. 또, Fig.9에 나타난 바와 같이 ADI재의 토오코, 트러스트량은 GCD600재의 것보다 크다. GCD600재를 가공한 공구마모가 적은 이유로, 피삭재의 재료 강도가 보다 낮을 뿐만 아니라 가공에 수반하여 절삭열도 ADI재보다도 작기 때문에 흑연이 보다 윤활작용을 하고 있다고 유추된다.

또, 뚫은 구멍의 내면 상태에 대하여 조사한 절삭속도 6.1 m/rev, 이송속도 0.1mm/rev의 구멍가공 예를 Fig.10에 나타냈다. 그림에서 ADI재의 가공면이 비교적 평활인 것에 대해서, GCD600재의 편이 요철상태로 되었음을 알 수 있다.

Fig.13에 나타난 전형적인 칩의 형상에서도 알 수 있는 바와 같이 ADI재의 칩의 직경이 적고, 피치도 적은 것에 비해, GCD재의 칩은 직경과 피치가 동시에 크고, 균일하지 않다. 그 원인은 기지강도의 차이에 의한 것이라고 생각되고, GCD600에서는 칩이 드릴의 홈에 연직으로 배출될때, 유출의 안정성이 결여되고, 가공면에 마찰되면서 배출되어서 구멍의 내면을 악화 시킨 것으로 생각된다.

3. 비관통 이송과 단계이송의 대한 비교

구멍 깊이가 깊어짐에 따라서 절삭저항이 증가 할 뿐만 아니라 열의 발생도 증가하며, 공구의 수명 도 감소하게 된다. 또한 기계도 무리한 힘을 받기 때문에 손상의 우려가 됨에 따라 단계이송(step feed)의 가공방법 필요성이 높아진다.

본 실험에서는 드릴링한 공작물의 구멍깊이가 15mm이기 때문에 5mm를 한 구간으로 하여 3단계 이송가공을 하였으며 Fig.11은 3단계 이송의 가공공정을 도시한 것이다. 공구는 기계 좌표계 원점에서 위치 결정을 하고 난 후 직선보간을 하여 공구의 인선이 공작물과 5mm의 거리가 되면 절삭이송을 하도록 하였다. 일정 깊이까지 드릴가공한 후 드릴이 후퇴시에는 작업시간을 단축하기 위하여 급속 이송을 행하였다.

Fig.9의 (a)(b)는 ADI재와 GCD600재를 15mm의 구멍 깊이를 5mm마다 스텝핑(steppping)하면서 드릴링 했을 때의 토크와 트러스트는 모두 단계이송시에 비관통절삭력 보다 증가하고 있음을 알 수 있으며 증가율은 3~7% 정도이다.

大久保修¹³⁾에 의하면 단계이송에 의해서도 트러스트의 증감량은 명확한 차이를 보이지 않는다고 지적하였으나 본 실험의 범위에서는 트러스트도 토크와 거의 비슷한 비율로 증가하였다. 이를 규명키 위해 비관통절삭한 ADI재의 가공후 구멍 선단부의 가공경화 상태를 조사하여 보았다. Fig.12는 ADI재 드릴가공후 구멍선단으로부터 깊이 방향의 경도분포를 측정했다. ADI재의 공구선단부의 경도는 480Hv 정도를 나타내고, GCD600재는 Hv 320정도 경화되어 있었다.

ADI재의 경화의 정도는 GCD600재에 비하여 현저히 크다. 이것은 ADI재 중의 잔류오스테나이트량이 가공경화에 의하여 마르텐사이트로 변태하여 경화되고 있기 때문이라 생각된다.

이런 이유로 단계이송시 절삭력의 증가와 더불어 공구마모 역시 증가되어 가공회수가 감소되는 경향을 나타냈으며 ADI재는 단계이송절삭을 행하는 것은 적절치 못하다고 고려된다.

4. 결 론

파삭성이 매우 열악하고, 난삭재에 속하는 ADI재를 구멍가공 실험을 행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 보통 고속도강에서는 저속, 고이송의 조합가공조건이 고속, 저이송의 조합가공보다 절삭량, 공구마모면에서 유리하다.
2. GCD600재에 비하여, ADI재의 구멍가공을 한 드릴마모량이 큰 원인은 GCD600재의 가공에서는 흑연이 보다 좋은 윤활 작용을 하고, 응착현상을 억제하는 것으로 생각된다.
3. ADI재의 단계이송 절삭은 잔류 오스테나이트의 마르텐사이트화에 의한 경도 상승으로 부적합 하다고 사료된다.

참고문헌

1. 이상조 : “드릴링 작업의 가공정밀도 개선에 대하여” 大韓機械學會誌, 第30卷 第1號,(1990), PP,29~35
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,(1944), PP,140~144.
3. 小野元久,菅原章 : “微小徑 ドリル加工に關する研究”,精密工學會誌 58,(1992), PP,79~84.
4. D. F. Galloway : Some Experiments on the Influence of Various Factors on Drill Performance, Trans. of the ASME, Series B, Vol. 79 (1975) pp. 191~231.
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. John Dodd, “High Strength High Ductility Ductile Irons”, Modern Casting 68, No.5, pp.60~66,1978
7. Richard B. Gundlach and Jay F. Janowak, “Austempered Ductile Iron Combines Strength with Toughness and Ductility”, Metal Progress, pp.19~26, 1985
8. 藤田武男, 關谷克彦, 北川亮三, 小池範法, 大城桂作, “ADI의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, (1993), pp.361~362
9. 藤田武男, 關谷克彦, 北川亮三, 小池範法, 大城桂作, “ADI의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,(1993), pp.363~364
10. 小川 誠, 新井 實, 白神哲夫, “ADI의ドリル加工”, 日本精密工學會秋季學術大會論文集,(1993), pp. 371~372
11. 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
12. 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
13. 大久保修,清水哲: 微小徑 ドリルの折損原因の空明と折損豫知に關する研究, 日本機械學會論文集 (C編), 51卷, 471號 (1985)PP.43~59

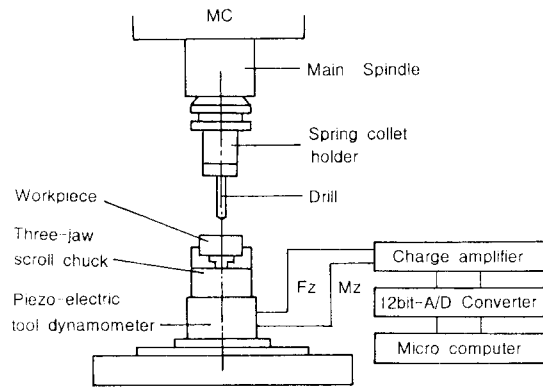


Fig.1 Schematic diagram of experiment

Table 1 Chemical composition of workpiece (WL %)

C	Si	Mn	P	S	Cu	Mo	Ni	Mg
3.52	2.77	0.25	0.03	0.02	0.38	0.23	1.30	0.05

Table 2 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	49	408
Bainite (%)	78.6			
Retained austenite content (%)	19			

Table3 Shape and dimensions of drill in used

Workpiece	GCD600 , ADI
Drill	HSS, HSS-Co, HSS-TiN
Drill shape	∅6mm×70×102 Twist 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

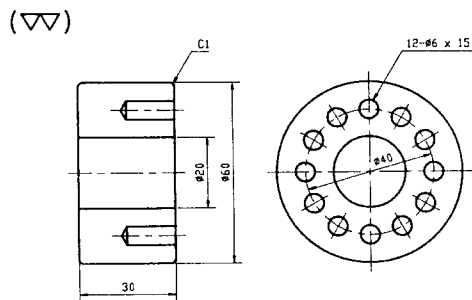


Fig.2 Shape and dimension of test specimen

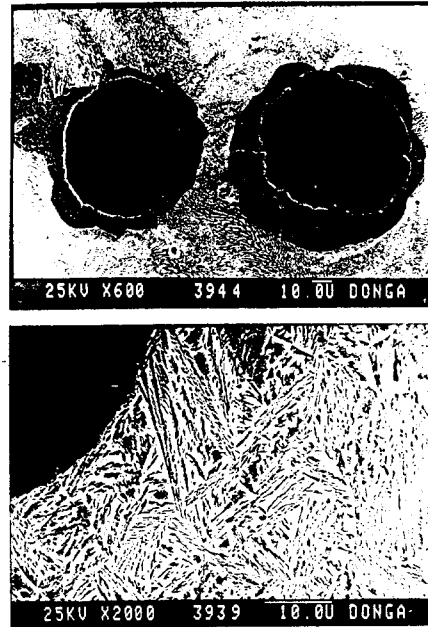


Fig.3 Microstructure of GCD600 ADI

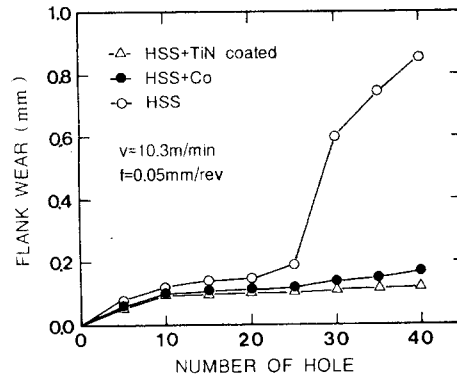


Fig. 4 Comparison of Tool wear in drilling ADI

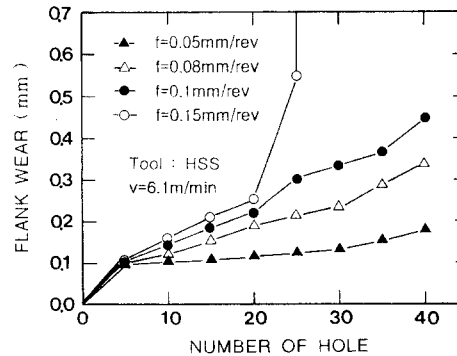
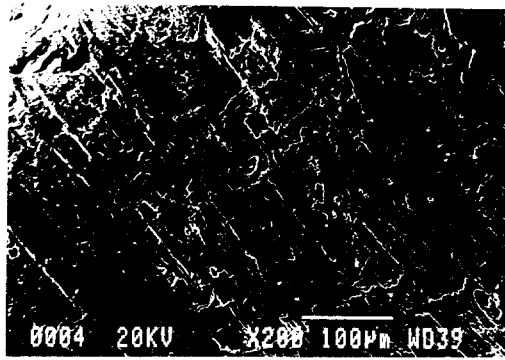


Fig.6 Effect of feed rate on tool wear when drilling ADI with HSS drill



v=10.3m/min f=0.05mm/rev



v=6.1m/min f=0.15mm/rev

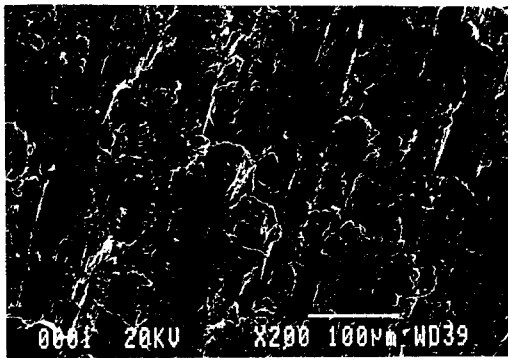


Fig.5 Micrographs of chip and tool wear when drilling ADI with HSS drill at different cutting conditions

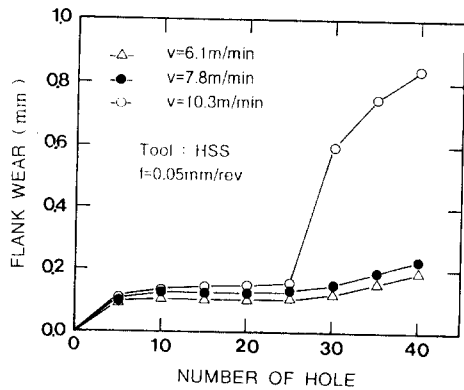


Fig.7 Effect of cutting speed on tool wear when drilling ADI with HSS drill

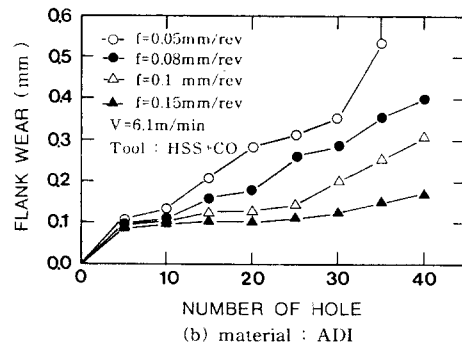
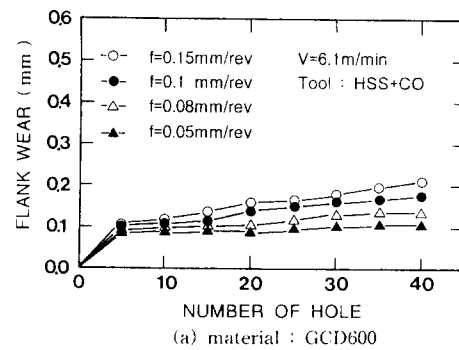


Fig.8 Comparison of tool wear in drilling ADI and GCD600 with cobalt contained HSS Drill

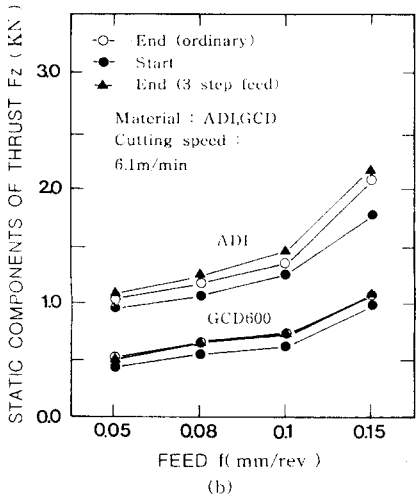
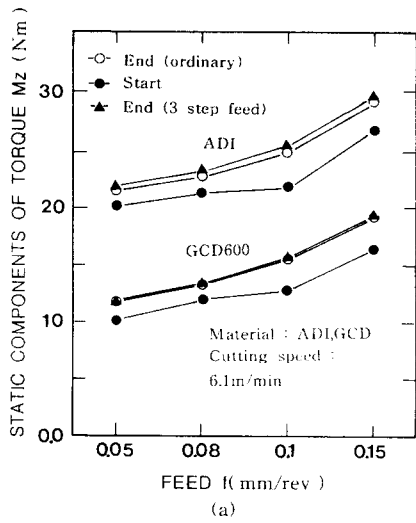


Fig. 9 Comparison of torque and thrust for ordinary and 3 step feed drilling

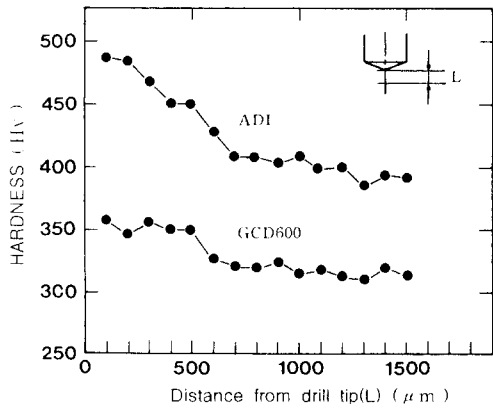


Fig.12 Hardness Variation from drill tip after drilling

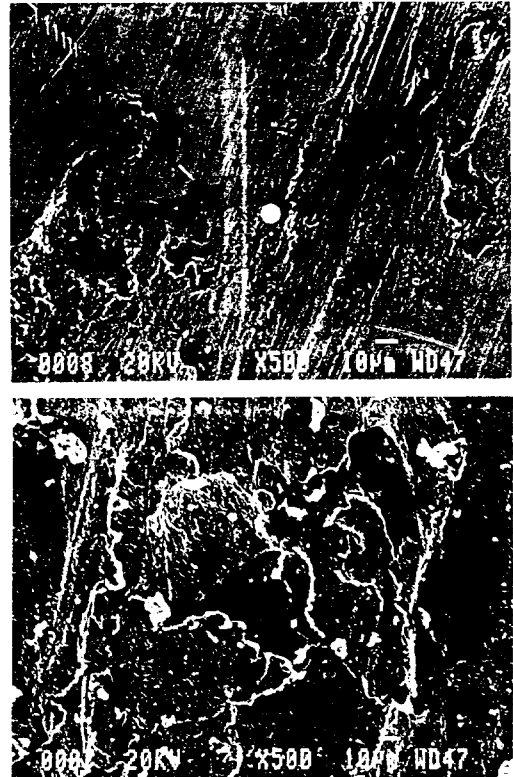


Fig.10 Micrographs of the drilling hole surface in drilling ADI and GCD600

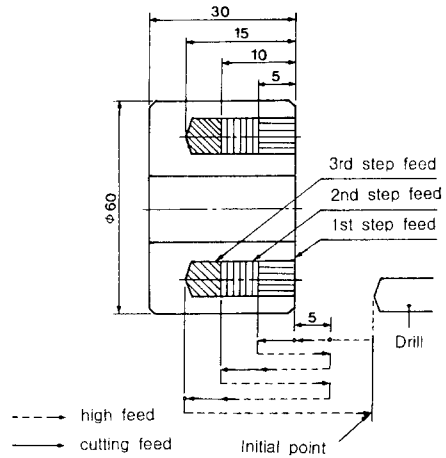


Fig.11 Process of 3 step feed drilling