

금형용 초경합금제의 내면연삭 가공능률향상에 관한 기초적 연구

A Fundamental Study on the Internal Grinding of Tungsten Carbide Materials for Metal Mould to Improve the Machining Performance

허 성 중(두원공업전문대학 기계과)
이 규 천(두원공업전문대학 자동차과)
김 영 일(두원공업전문대학 기계과)
김 원 일(경남대학교 기계공학부)

ABSTRACT

This paper described on the effect of residual stocks in internal grinding of tungsten carbide materials in order to improve the grinding efficiency as well as grinding accuracy.

Through the fundamental investigation is carried out for tungsten carbide materials using electroplated diamond wheel, the residual stock after grinding process is effective to the grinding efficiency. The obtained results are as follows:

- (1) Under the depth of cut(t) is constant and decreasing the workpiece velocity(V_w), the residual stock after grinding is increased, but the difference is little less than the difference by table speed.
- (2) Increasing the wheel velocity, the residual stock after grinding is decreased. Therefore in order to minimize the residual stock, the wheel velocity should be increased as far as possible.
- (3) The surface roughness and out-of roundness increased with depth of cut and table speed, and decreased with wheel velocity, but it may as well adopt as much as possible under the dimensional tolerance which is required for high efficiency grinding.
- (4) In order to remove residual stock, the spark-out grinding should be done, and it also can be improved about 20~25% throughout spark-out grinding, and the number of optimal spark-out times were within 10 times.

1. 서 론

최근에 단조 금형의 탑, IC 리이드 프레임용 재료 및 기계부품에 그 사용이 증가하고 있는 초경합금은 경도가 높고, 취약하며, 열적 성질이 특이한 점 등, 일반 강제의 재료 한계를 초월한 난삭재료이다.¹⁾

특히 단조 금형 제작에 있어서 가장 중요한 공정인 초경재 탑의 내면 연삭은 능률적인 면이나, 정밀도 향상의 측면에서 개선의 여지가 높다.

내면연삭은 다른 내면 다듬질가공(honing, lapping 등)과 비교하면 형상·위치의 수정능력이 있고, 금속제거능률이 큰 잇점이 있으며 고경도로 고능률적인 생산을 행할 수 있으나 공작물지름 보다 스톨지름이 작기 때문에 스톨입자 날 마멸의 시간적 진행이 빨라 연삭결과가 단시간에 변동되며 작은 스톨을 사용하여 고속회전하는 스톨축은 낮은 스톨 주속도로 가공하는 경우, 능률이 저하되므로 원통연삭 등 다른 연삭 가공과 비교하면 어려운 작업이라 여겨진다.^{2, 3)}

일반 강제를 피삭재로 하는 내면연삭의 경우, 코어부가 금속제인 초지립 전착 스톨의 개발과 주축시스템의 개선에 의해 9,000m/min~12,000m/min 정도의 고속연삭의 실현이 가능해졌고, 실험적으로는 30,000m/min의 초고속연삭도 이루

어지고 있다.⁴⁾

그러나 피삭재가 난삭재의 일종인 초경합금제일 때는 기계계의 강성 및 스톨의 탄성력 등의 제 요인으로 원하는 진원도, 표면거칠기 등을 얻는 동시에 가공능률을 만족 시키기는 아직 힘든 실정이다.

이와 같은 문제를 근본적으로 해결하기 위해서 무엇보다 중요한 것은 주어진 연삭깊이 만큼 충분히 제거하여 가공잔재량(residual stock)이 많이 남지 않아야 한다는 것이다.

가공잔재량은 연삭기와 공작물, 연삭스톨 요소의 탄성 변형에 기인하는 것으로 한번의 연삭 행정(테이블 이송)으로 이와 같은 가공잔재량을 없앤다는 것은 불가능하므로 스파크 아웃이 필요하며, 이 기간 동안 공작물은 탄성변형을 받은 만큼 반복 가공되고 그 결과로써 연삭저항 및 표면 거칠기는 지수함수적으로 감소한다.

따라서 본 연구에서는 초경합금제의 내면연삭에 있어서 소정의 정밀도를 얻으면서 가공능률을 얻을 수 있는 방안을 제시하기 위해, 실제 현장에서 일반적으로 보유하고 있는 측정 장비를 사용하여 여러 가지 조건변화와 스파크 아웃 횟수에 따른 가공잔재량 및 표면거칠기, 진원도와외의 상관 관계를 살펴봄으로써 쉬운 방법으로 최적 가공 조건을 설정하는데 도움이 되고자 하였다.

2. 가공잔재량과 연삭능률

내면연삭가공에서 주어진 조건하에서 능률 좋은 연삭을 실현하기 위해서는 다음 요건을 갖추어야 한다.

- (1) 가공잔재량을 작게 할 것
- (2) 과도상태 시간을 단축할 것

여기서 가공잔재량을 작게하기 위해서는 기계계에 기인하는 잔재량을 강성을 높임으로써 작게하거나, 탄성변형 영역을 작게하는 것으로 스톱입자날의 예리함을 높이는 것과 스톱들과 가공물의 회전수를 변경시켜 좋은 가공조건을 선택하는 것을 의미한다.

과도상태 시간을 단축시키기 위해서는 과도상태를 빠르게 경과시키는 것으로 절입속도를 빨리하는 것이 좋지만 한계조건으로서 입자의 탈락과 연삭누름, 진동 등이 있다.

이에 대해 원통 플랜지연삭에서 t 를 크게하여 주속비 K_V 를 높임으로써 과도시간을 단축할 수 있다고 보고한 岡村 등⁵⁻⁹⁾의 연구가 있다.

이 경우 스톱에 걸리는 부하가 크게 되므로 스톱축 동력도 증가하거나 지립이 탈락하지 않도록 결합도의 변경, 또 연삭누름 등을 방지하고 표면거칠기 허용값까지 여유가 있으면 거친 입도로 스톱을 바꾸어, 드레스 조건의 변경이 필요할 것이다.

본 연구는 이상과 같은 정상적인 사항들을 참고하여 실험에 사용된 NC내면 연삭기의 사양하에서 최대한 가공능률을 높일 수 있는 범위로 실험조건을 설정하여 행하였다.

3. 실험장지 및 방법

본 실험에는 MPK 타입의 2축 제어방식 NC 제어 시스템과 8085 A형 8바이트 마이크로프로세서를 내장한 작동동력 9Kw의 NC 내면 연삭기(MZT "FAM" Co. Model B-380 N C)를 사용하였다. 각종 연삭가공 실험의 피삭재는 국내 S 생산회사에 주문, 제작한 것으로 G6계열 WC-Co재를 대상으로 하였고 W 77.0~82.6%, Co 12~18%, C 5.0 ~ 5.4%의 성분조성을 지니며, 그 기계적 특성값은 Table 1 과 같다. 피삭재는 볼트 제작용 단조 금형의 텃으로 사용되는 것 가운데 하나로, 그 규격은 내경 17mm, 외경 33mm, 길이 38mm이며, 공구는 #80-φ15-L25의 전착 다이아몬드 휠을 사용하였다. 또한 습식연삭시의 연삭유로는 수용성 W 3종 1호를 볼 50배로 희석하여 사용하였다.

Table 1. Mechanical properties of workpiece

Density (g/Cm ³)	Hardness (HRA)	Transverse Rapture Strength(Kg/mm ²)	Compression Strength (Kg/mm ²)	Impactness Strength (Kg/Cm ²)
14.0	320	320	430	0.67

실험의 많은 부분을 제거 능력의 측면에서 고찰하기 위해, 약간 양(잔재량)의 측정에 대한 신뢰성을 높이기 위해 매 연삭 조건으로 가공을 종료한 후 공회 수회의 spark-out을 실시하였다.

절입량의 제어를 정확하게 하기 위해 정도 0.001mm의 다이알게이지를 이송대에 부착하여 실험하였으며, Mithoyo Co.제 내경마이크로미터를 사용하여 가공으로 제거된 양을 micron 단위로 측정하였다.

각종 가공 조건에 대한 표면거칠기와 진원도는 Tokyo SEI MITSU Co.제 Surfcom 120A와 동사의 Rondcom Roundness Measuring Instrument를 사용하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 가공잔재량

먼저 Fig. 1은 스톱의 주속도 $V_s=12,000$ rpm으로 일정하게 하고 가공물의 속도 V_w 8m/min.와 15m/min.에서 연삭 깊이를 각각 20, 30 μ m 가하면서 건식 연삭하였을때 테이블 이송속도(t)에 대하여 미처 제거되지 않은 가공잔재량의 관계를 나타낸 것이다.

여기서 통상적인 초경합금의 적정 절삭 깊이가 보다 크게 설정한 이유는 실제 금형의 가공 공정 중 내면연삭은 마무리 가공이 아니라 최종 래핑 공정을 남겨두고 있으므로 능률적인 측면에 우선하여 연삭 깊이를 설정이 20, 30 μ m 범위에서 대부분 이루어지고 있는 점을 감안하였기 때문이다.

또 초경 합금의 여러 재종 중 금형용 G6 계열은 강성의 측면에서 상대적으로 높은 편이 아니므로 이와 같은 중연삭에 가까운 조건을 설정하였다. Fig. 1에서 나타난 바와 같이 전반적으로 테이블 이송속도가 빠를 수록 가공 잔재량은 더 많이 남는다는 것을 알 수 있다. 즉 연삭깊이를 30 μ m으로 동일하게 가할 때, 테이블 이송속도가 4m/min에서는 80%의 제거율을 나타낸 반면 8m/min일 때는 60%의 제거율로 1.3배 이상이며, 특히 테이블 이송속도가 2m/min에서는 93% 이상의 제거율을 나타냄으로써 초경합금제의 내면연삭가공에서 중연삭깊이를 가할때 가공잔재량을 최소화하기 위해서는 테이블 이송속도를 저속으로 함이 능률적임을 확인할 수 있었다. 또한 Fig. 1에서 알 수 있듯이 동일 연삭 깊이에 있어서 공작물의 속도(V_w)는 느린 쪽이 빠른 쪽 보다 가공잔재량이 많은 것으로 나타났지만 그 차이는 테이블 이송속도에 의한 차이에 비해 2 μ m 이내로서 그다지 큰 정도는 아님을 알 수 있다.

테이블 이송속도 및 공작물 속도의 변화에도 불구하고 연삭 깊이 30 μ m에서는 잔재량이 많았으며, 그림에서 Notation 2($V_w:8$ m/min, $t:8$ m/min.)에서는 가공후 잔재량이 설정 연삭 깊이의 40%에 해당하는 12 μ m이상이 남아 있으므로 이는 설정 절입량을 일정 가공횟수 하에서 제거하지 못함에 그 원인이 있을 것이며 연삭기 자체의 강성에 따라 차이가 날 수 있을 것이라고 생각된다.

따라서 이와 같은 중연삭의 경우, 필히 적정 횟수의 spark-out을 실시하여 가공잔재량을 최소화 시켜야 할 것이다.

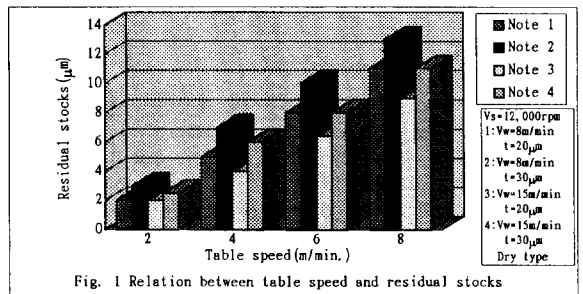


Fig. 1 Relation between table speed and residual stocks

Fig. 2, 3은 공작물 속도를 8m/min, 15m/min로 일정하게 하고 동일 연삭깊이 20 μ m 및 30 μ m을 가할 경우, 동일한 왕복연삭횟수(Oscillation), 습식 연삭 등의 가공조건에서 주축 회전수를 20,000rpm, 30,000rpm으로 변화시켰을때의 공작물 내경의 제거 깊이를 나타낸 것이다.

그림에서 2회의 왕복연삭횟수에서의 피삭재 제거율을 살펴보면 각 테이블 이송속도(2, 4, 6, 8 m/min.)별로 20,000rpm의 경우(Fig. 2), 공작물속도가 Fig. 3 보다 2배 정도 ($V_w = 8$ m/min \rightarrow 15m/min) 빠르며 스톱의 절입깊이는 오히려 작음(20 μ m < 30 μ m)에도 불구하고 25~40% 인에 대해 30,000rpm (Fig. 3)에서는 30~70%로써 1.2~1.75배 정도 높은 제거율

을 나타내었다. 이는 Fig. 1과 비교하여 보아도 슷돌주속도를 빠르게 할 수록 현저한 제거 깊이를 나타냄을 알 수 있었다.

또한 6회 이상의 왕복연삭횟수에서 제거량이 두드러지게 늘어 남을 알 수 있으며 8회와 10회의 가공횟수 차이는 그다지 없는 것으로 보아 연삭 깊이 20 μ m 이상에서는 약 8회의 왕복연삭횟수가 적정하다는 것을 나타내는 것이라고 할 수 있다.

이와 같은 현상이 연삭깊이 30 μ m에서는 다소 차이를 보이고 있는데 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 중절입에 해당하는 연삭깊이 설정에 있어서는 가공회수에 비례하여 가공잔재량이 많아짐을 알 수 있다.

그리고 Fig. 1에서 공작물의 속도변화에 따른 가공잔재량을 알아 본 결과 그 차이가 그다지 없다는 사실에 비추어 볼 때 내면연삭에서의 슷돌의 주속도 변화에 따른 영향이 공작물 속도가 제거 능률에 미치는 영향 보다 큼을 알 수 있다.

결국 내면 연삭에 있어서 연삭깊이(t)를 일정하게 할 때, 슷돌의 주속도(Vs)의 대소에서는 슷돌의 정도수명에 차이가 나지 않으므로 Vs가 큰 쪽이 피삭체의 가공잔재량이 적어 능률면에서 유리하다고 할 수 있다.

따라서 고능률적 가공을 위한 제거 능률 향상을 위해서는 슷돌의 원심력에 의한 파괴, 연삭기의 구동모터의 용량이나, 강성 등을 고려한 사양을 참고하여 각 연삭기가 가진 최고의 주속회전수로 설정하여 사용하여야 함이 바람직하다고 사료되며 이와 같은 결과들로 부터 본 실험의 조건하에서 G 6재 조정합금의 고능률적 내면연삭가공을 위한 적정 조건은 20 μ m 이상의 중연삭깊이를 가할때, f=2m/min, Vs=30,000rpm이며 왕복연삭횟수는 약 8회 전후 라고 할 수 있다.

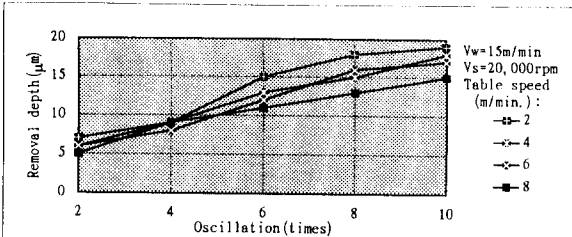


Fig. 2 Comparison of the removal depth to several oscillation

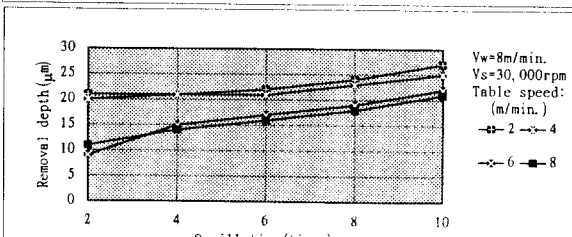


Fig. 3 Comparison of the removal depth to several oscillation

Fig. 4, 5는 연삭 깊이를 각각 5 μ m, 10 μ m으로 작게 설정하여 초경합금재의 습·건식 연삭실험을 행한 후 공작물 내경의 제거 효과를 알아보기 위해 설정깊이에 대하여 채 제거되지 않고 잔재된 공작물의 치수를 나타낸 것이다.

그런의 막대그래프 군 중 각 테이블 이송속도 별로 앞의 4개는 건식, 뒤의 4개는 습식인 경우에 대해 나타낸 것으로 건식연삭의 경우가 습식의 경우 보다 동일 왕복 가공 회수에 대해 잔재량이 많다는 것을 알 수 있었으며 테이블 이송속도가 느릴때 제거량의 차이는 잘 나타나지 않지만 속도

가 빨라질수록 그 차이는 현저하였으므로 습식연삭이 유호하다고 할 수 있다.

한편, 설정 깊이가 본 실험의 조건에서는 비교적 낮은 범위인 5, 10 μ m인 점을 감안 할 때 10회의 왕복가공 횟수 에도 불구하고 잔여량이 1 μ m 이상 남아있는 것으로 보아 습·건식 공히 가공 잔재량을 없애기 위해서는 연삭계의 강성, 슷돌입자날의 상태, 슷돌입자와 가공물의 접촉강성 및 간섭 상태가 정해진 요구치에 도달해야 된다고 할 수 있다.

다만 연삭유의 종류, 회석 비율, 주입 세기 등은 분명하게 연삭 능률에 영향을 끼친다는 보고 사례^{10, 11)}가 많으므로 재고의 가치가 있다고 보이며 일껏 사소하게 보이는 이러한 가공의 분위기가 제품의 품질 양부에 적지 않은 영향을 끼친다는 사실을 주지하여야 할 것이다.

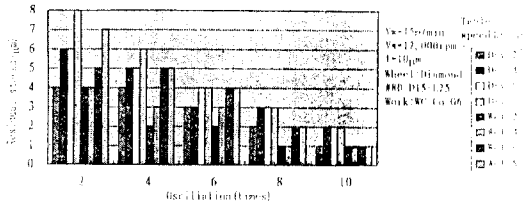


Fig. 4 Comparison of the residual stocks to several grinding type

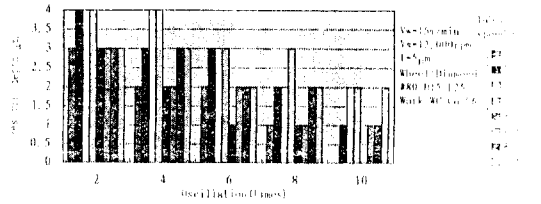


Fig. 5 Comparison of the residual stocks to several grinding type

4.2 표면품질

각종 내면 연삭조건이 표면거칠기, 진원도 등 연삭 가공면의 표면품위에 미치는 영향을 알아보았다.

Fig. 6은 절입량을 변화해가며 건식연삭을 할 경우 spark-out의 횟수가 가공면의 표면거칠기 Rmax에 미치는 영향을 알아 본 것이다.

일반강재(HRc 20~40)를 평면연삭할 경우 2~3회의 spark-out이 적당하다¹²⁾고 하나 여기서는 피삭체의 물리적 특성 등을 감안하여 그 횟수를 20회 까지 하였다.

spark-out을 실행하지 않는 경우에 비해 실행할 경우 최대 약 25% 정도 향상되나 횟수가 10회 이상인 경우에는 별 차이가 없는 것을 알 수 있다.

이러한 현상은 spark-out 과정을 필요 이상으로 실행할 때 오히려 연삭 슷돌과 피삭체간의 간섭현상이 가공면에 영향을 끼치기 때문인 것으로 생각된다.

Fig. 7, 8은 테이블 이송속도에 따른 표면거칠기 상태를 각 연삭 깊이 별로 나타낸 것으로 Fig. 7은 매 가공 후 spark-out을 10회 실시하였으며 Fig. 8은 spark-out을 하지 않고 측정 한 것이다.

각 경우 공히 테이블 이송속도가 느릴 수록, 연삭깊이가 적을 수록 양호한 표면거칠기를 얻었으나 능률면에서의 저하를 초래할 것이므로 앞절에서의 조건별 가공잔재량과 상관시켜 요구되는 치수공차 하에서 가급적 슷돌주속도를 빠르게 설정하는 것이 능률적일 것이다.

따라서 본실험에서 spark-out을 하였을 경우, 테이블 이송속도 2(m/min.)으로 5 μ m의 연삭깊이를 가하였을때 표면 거

칠기는 0.3 μ mRa로 가장 양호하였으며 테이블 이송속도를 8 (m/min.)로 빠르게 하고 연삭깊이를 30 μ m로 설정할 때 에 도 0.52 μ mRa의 비교적 양호한 표면거칠기를 나타내었다.

이와 같이 spark-out을 하였을 경우가 하지 않았을 때 보 다 훨씬 좋은 표면을 가지고 있음을 알 수 있으며 이러한 현상은 테이블 이송속도가 빠를 수록 더 잘 나타나고 있으 므로 앞에서 언급한 spark-out의 필요성을 여기서 확인 할 수 있다.

그러나 지나친 spark-out은 슛돌의 마멸을 촉진하고 가공 시간을 증가시키는 등 비효율적인 면도 없지 않으므로 적정 횟수의 spark-out을 택해야 할 것이다. 실험 결과 적정 횟수의 spark-out은 G6계 초경합금인 경우 10회 전후인 것으로 나타났으며 재종이 강할 수록 그 횟수를 늘려 잡는 것이 타 당할 것이다.

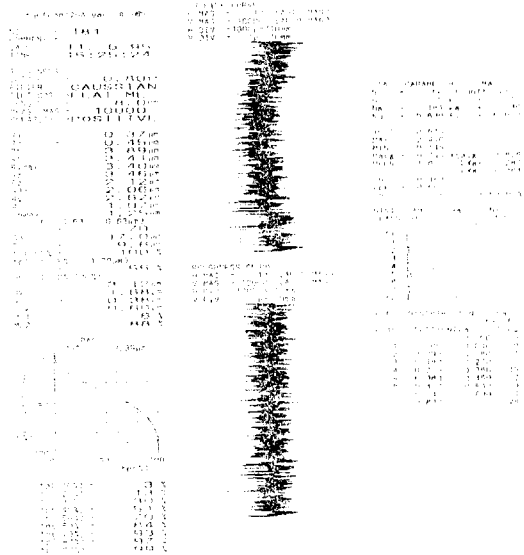


Fig. 9 Profile of ground surface roughness

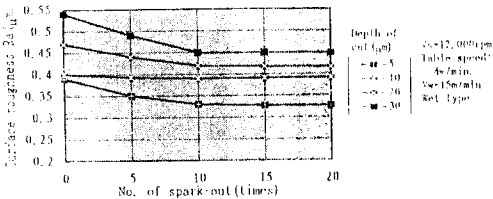


Fig. 6 Effect of No. of spark-out on the surface roughness

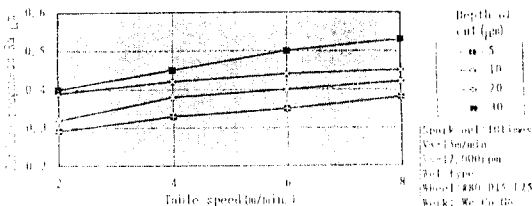


Fig. 7 Relation between table speed and surface roughness

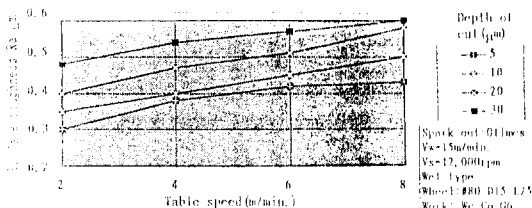


Fig. 8 Relation between table speed and surface roughness

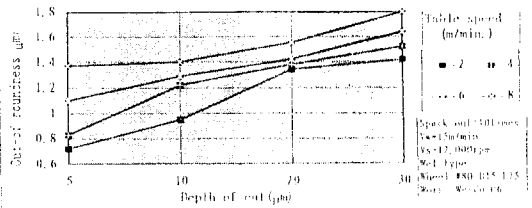


Fig. 10 Relation between depth of cut and out-of roughness

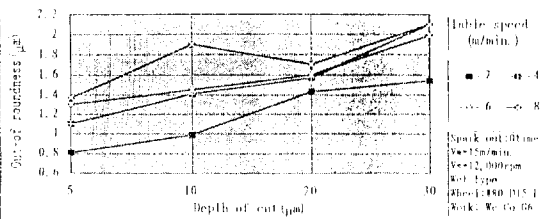


Fig. 11 Relation between depth of cut and out-of roughness

Fig. 9는 각 시편에 대한 표면거칠기 측정 결과의 일례를 나타낸 것으로 테이블 이송속도 4(m/min.)으로 10 μ m의 연삭 깊이를 가한 후 spark-out을 하였을 때 표면거칠기 0.37 μ m을 나타냄을 알 수 있다.

Fig. 10과 Fig. 11은 테이블 이송속도에 따른 진원도를 각 연삭 깊이 별로 나타낸 것으로 Fig. 10은 spark-out을 10회 실시하였으며 Fig. 11은 spark-out을 하지 않고 측정된 것으로 여기서도 위와 같이 spark-out의 필요성을 확인 할 수 있으며 이러한 spark-out이 가공내경 말부에서 간혹 일어나는 테이퍼 불량에 대한 대책이 될 수 있을 것이다.

Fig. 12는 각 시편에 대한 진원도 측정 결과의 일례를 나타 낸 것으로 동일 가공조건인 테이블 이송속도 2(m/min.)로 5 μ m의 연삭깊이를 가한 후 spark-out을 하였을 때 0.82 μ m의 진원도를 나타내고 있다.

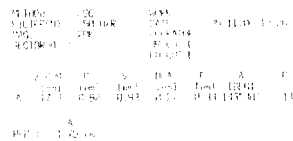


Fig. 12 Profile of roughness

5. 결 론

본 연구에서는 단조 금형의 턴을 제작하는데 기본 공정인 초경합금계의 내면연삭에 있어서 여러 가지 조건 변화와 스파크 아웃 횟수에 따른 가공잔재량 및 표면거칠기, 진원도와의 상관 관계를 살펴봄으로써 실제 현장에서 적정 가공 조건을 설정하는데 도움이 되고자 하였다.

본 연구에서 얻은 결론을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 본 실험에서 연삭깊이를 30 μ m로 동일하게 하였을 때 금속제거율은 테이블 이송속도가 2m/min 일 때, 금속제거율은 93% 이상을 나타내었으므로 난삭재인 초경합금의 고능률 연삭을 위해 테이블 이송속도의 변화가 차지하는 비중이 크다.
- (2) 주축회전수의 변화에 대한 금속제거율을 살펴본 결과 30,000rpm이 20,000rpm 보다 약 1.2~1.8배 정도 높은 제거율을 나타냄으로써 고능률가공을 위한 적정 실험 조건에서 주축회전수를 빠르게 할수록 유리하다는 것을 알 수 있었다.
- (3) 본 실험의 조건하에서 G6계 초경합금의 표면거칠기 및 진원도 등에서 높은 정도를 얻음과 동시에 고능률적 내면 연삭가공을 위한 적정 조건은 20 μ m 이상의 중연삭 깊이를 가할때, $f=2\text{m}/\text{min}$, $V_s=30,000\text{rpm}$ 이며 왕복 연삭 횟수는 약 8회 전후이다.
- (4) 초경합금의 내면연삭에서 spark-out은 필수적임을 확인할 수 있었으며 G6계 초경합금인 경우 적정 횟수의 spark-out은 10회 전후이다.

REFERENCES

1. (株)技術情報編輯部, “難削材の切削加工技術”, 1989, pp. 36~39, (株)技術情報
2. 加工技術データファイル編輯部, “加工技術データファイル Vol. 6”, 1982, 01-02-00-01, (日)機械振興協會技術研究所
3. 砥粒加工研究會 熊谷記念會編, “超精密加工技術”, 1984, p. 373
4. W.Konig, F.Ferlemann, “A New Dimension for High Speed Grinding”, Industrial Diamond Review, Vol.51, No.546, p.237, 1991.
5. 岡村健二郎外, “砥粒切れ刃による切削現象の研究 (第1報)”, JSPE, Vol.32, No.4, p.287, 1966
6. 岡村健二郎, 中島利勝, “研削の過渡特性(第1報)”, JSPE, Vol.38, No.7, p.580, 1972
7. 岡村健二郎, 中島利勝, “研削の過渡特性(第2報)”, JSPE, Vol.39, No.1, p.106, 1973
8. 岡村健二郎, 中島利勝, 木下輝一, “研削の過渡特性 (第3報)”, JSPE, Vol.40, No.3, p.256, 1974
9. 岡村健二郎, 中島利勝, “研削の過渡特性(第4報)”, JSPE, Vol.40, No.10, p.886, 1974
10. 重松日出見, “切削・研削油劑と加工法における技術動向”, 機械技術, 1989, 11
11. 向井大, “礎砥粒ホイールのための研削油の選擇と使い方”, 機械工具, pp. 9~14, 1994, 6
12. 海野昭夫, “研削作業”, 1982, 日刊工業新聞社, p.182