

스테인레스 강의 미세구멍 드릴링 기술 연구

김 형 국[†] · 연 규 현* · 송 성 종**

A Study on the Micro Hole Drilling of Stainless Steel

Hyung-Kook Kim, Kyu-Hyun Yon, Seung-Jong Song

Key Words: Micro Hole(미세구멍), Micro Drill(미세드릴), Stainless Steel(스테인레스 강), Step Feed(스텝이송), Guide Drill(가이드 드릴)

Abstract

On this study, technical aspects were reviewed to drill a series of micro holes ($\phi 0.10$) over 200 within a few micron tolerance in diameter and position on the stainless steel material. Dedicated tools & jigs were designed and manufactured and optimum cutting conditions were found. On this micro hole drilling process, guide drill and step feeding were applied to help chip discharge, prevent drill breakage and finally improve the accuracy of positioning and roundness. The processing results indicated that most holes are distributed within a few micron tolerance in diameter and position intervals.

1. 서 론

미세구멍이란 직경 1mm 이하의 홀로서, 오늘날 미세구멍 가공기술에 대한 수요가 증가하고 있다. 각종 전자제품, 시계부품, 항공우주용 부품, 의료용 광학기기, 정밀공구 등에 적용되는 미세구멍 가공기술은 그 부품의 성능이 향상될수록 더욱 더 정밀화, 고속화, 심공화 되어가고 있다.

미세구멍을 가공하기 위한 가공법에는 미세드릴 가공, 방전가공, 초음파 가공, 레이저빔 가공, 마이크로 펀칭 가공, 워터젯 가공 등의 다양한 방법이 존재하지만 각 방식은 제각기 다른 가공 특성을 갖는다. 따라서 어느 쪽이 가장 효율적인

가공방식이나 하는 것은 가공할 수 있는 재료의 종류와 형상/위치 정밀도, 조도, 생산성 등을 모두 고려하여야 한다.

미세드릴 가공법은 직진성이 우수하여 진원도, 진직도, 평행도 면에서 타 가공법 보다 훨씬 높은 정밀도를 얻을 수 있지만 가공 부하 작용 시 파손의 위험성이 높고, 절삭유 공급이 어려워 드릴 마모가 빠르며, 형상비가 클 경우 칩 배출이 어려워 드릴과 소재의 파손 가능성이 있으며, 드릴의 흔들림 시 가공이 불안정해질 가능성이 크다. 반면에 방전가공법은 공구와 소재 사이의 마찰력이 없고, 고경도의 특수합금 등에 가공이 용이하지만, 가공 중 공구의 마모로 가공치수에 영향을 줄 수 있고 일반적으로 통전재료 만을 대상으로 가공이 가능하며, 비교적 긴 시간의 작업시간이 필요하다. 초음파 가공법은 금속 재료 뿐만 아니라 부도체인 초경질 재료 등에도 가공이 가능하며, 홀 가공 면이 깨끗하고, 소성의 깊은 홀을 뚫을 수 있는 장점이 있다. 레이저 가공법은 초경합금, 세라믹 등의 경질재료 가공이 가능하며, 비접촉식 가공으로 소재의 변형이 적고, 레이

† 영진전문대학 컴퓨터응용기계계열
E-mail : ihhome@daum.net
TEL : (053)940-5578 FAX : (053)940-5198

* 영진전문대학 컴퓨터응용기계계열
** 우영하이텍

저의 특성상 자동화 가공이 용이하며, 경사홀 가공이 가능한 특성을 갖고 있다. 그러나 이중재료의 소재는 하나의 발진조건으로 홀가공이 곤란하고, 초점에서 이탈 시 가공조도가 저하되는 문제점이 있다.[1] 미세구멍 가공기술에 대한 연구는 지난 1990년대 이후 꾸준히 이루어졌는데, 주로 미세드릴 가공법과 방전가공법에 집중되었다. [2-5]

가공 대상물의 용도와 크기, 그리고 공구의 제작 용이성 등을 고려하여 해당 가공법에 대한 다양한 연구결과가 있는데, 그 중에서 미세드릴을 이용한 가공법은 예나 지금이나 꾸준한 연구 주제로 채택되고 있다. 이는 드릴가공이 플라스틱에서부터 금속합금까지 폭넓은 소재에 적용가능하며, 특히 최근에 와서는 공구 재료기술, 코팅기술의 급속한 진보에 더하여 미세드릴의 제조 및 계측기술의 발달에서 그 원인을 찾을 수 있다.

하지만 과거 대부분의 연구 결과물들은 일회성 또는 실험적인 목적 하에 비교적 많지 않은 개수의 미세구멍 가공기술을 연구하였지만, 좀 더 실질적으로 생산 산업에 적용할 수 있고, 반복 재현성이 높으며, 정밀도를 유지할 수 있는 다공 미세구멍 가공법에 대한 기술개발이 필요하다.

이에 본 연구에서는 미세드릴을 이용하여 스테인레스 강 소재에 직경 0.10mm의 극세 미세구멍을 일렬로 200개 이상 가공하는 방법에 대한 기술적 어려움을 분석하고 이를 해결하기 위한 과정을 고찰하였다.

2. 연구내용 및 방법

2.1 미세구멍 가공 개요

스테인레스 강인 SUS304 소재의 원통형 미세구조물에 직경 0.10mm의 미세구멍을 일렬로 200개 이상 가공하였다. 여기서 중요한 것은 직경의 크기 공차가 수 마이크로 이내로 하고, 각 홀당 거리가 역시 수 마이크로 이내에 있어야 하며, 첫번째 홀과 마지막 홀 간의 위치 공차도 역시 수 마이크로 이내에 존재하는 것을 목표로 하였다.

표 1과 그림 1에서 미세드릴로 가공하려는 대상물과 그 수치를 나타내었다.

Table 1 Micro Hole Drilling Target

Hole Diameter	mm	0.10
Hole Pitch	mm	0.90
Hole Depth	mm	0.30
Material		SUS 304

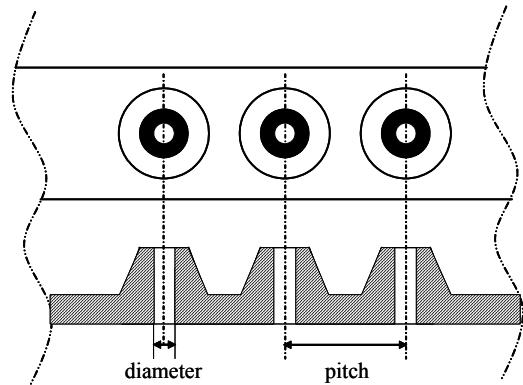


Fig. 1 Micro Structure with Micro Hole

2.2 요소별 고려 사항

2.2.1 소재 및 준비작업

난삭재인 스테인레스 강은 고경도, 고강도와 열전도율이 낮은 점, 가공경화성이 큰 점, 연성이 큰 점 등의 재료 특성을 갖고 있다. 소재의 속성상, 끈끈한 성질이 있어서 날 끝에 용착하기 쉽고, 용착물의 생성, 탈락으로 인해 칩핑이 발생한다. 그리고 열전도율이 낮아 절삭열이 잘 발산되지 않고, 날끝 온도가 높아져 날끝이 처지기 쉽다. 이로 인해 피삭재의 열변형을 유발하며, 형상정밀도가 악화되고 결국 공구 수명을 단축시킨다. 또한 스테인레스 강은 가공경화성이 높아 칩 생성 시, 날끝 발열과 칩핑으로 인해 드릴의 수명이 현저히 짧아진다. 따라서 사용하는 드릴의 재질, 형상은 물론 절삭조건에 대해서도 안정적으로 가공할 수 있는 조건범위가 매우 좁지만 가공에 최적의 범위를 찾아야 한다.

가공하는 미세구멍이 양질의 진원도 및 진직도를 갖기 위해서는 가공할 소재의 편평도를 일정하게 유지하는 지에 대해 전체 공정에서 철저히 계획하고 관리하였다. 즉 미세구멍 가공공정 자체 뿐만 아니라 가공 전/후로도 소재의 변형이나 세팅불량 그리고 불균일한 단면을 야기할 수 있는 모든 가능성을 회피해야만 고정도의 미세구

명 가공이 가능하다.

2.2.2 공구

미세드릴 가공에서는 일반적인 드릴가공에 비해 지름에 대한 홀 깊이의 비율이 커서 칩 배출의 저하나 드릴 자체의 강성 저하 등에 기인하는 파손이 문제가 된다. 만약 절삭조건을 적절히 선택하지 않는다면, 칩은 길게 신장되어 공구에 달라붙고, 최악의 경우에는 공구가 파손되는 일도 있다. 이러한 문제에 대해 칩 배출을 향상시키면서 동시에 공구의 강성을 확보하는, 즉 상반된 요인을 균형있게 조화시킨 미세드릴의 선정이 필수적이다. 본 연구의 가공을 위해서 다음과 같은 공구의 요구조건을 반영하여 전용 미세드릴을 제작하였다. (그림 2)

- 절삭날의 선단각이 좌우 대칭임.
- 치즐에지 편차는 홀의 위치 정밀도와 지름 정밀도에 영향을 주기 때문에 치즐 포인트의 치우침이 거의 없음.
- 심두께 편차는 드릴의 수명에 절대적인 영향을 주기 때문에 심두께 편차는 매우 적음.
- 내마모성 향상과 함께 마찰저항을 줄이고 절삭성 증진 및 칩 배출성 향상을 위해서 적절한 코팅을 함.

따라서 미세드릴의 사용 시, 드릴의 정밀도나 편차의 치수영향이 있으므로, 실질적으로는 미세드릴의 절삭날 치핑이나 드릴직경의 차이를 현미경으로 확인하여 선별해서 사용하였다. 즉, 미세드릴의 직경은 5 μ m의 편차 범위 내의 툴을 사용하였다.

일반적으로 구멍의 정밀도라는 것은 구멍의 위치정밀도, 구멍의 지름 정밀도, 그리고 구멍의 진직정밀도 등을 말하는 것으로서 미세드릴의 경우에 실현 가능성이 매우 어렵다. 그 이유는 먼저, 직경이 작아 드릴의 강성이 저하되고, 다음으로 드릴 선단부의 미끄러짐 현상과 드릴 날끝의 휘링(whirling) 현상이 커지기 때문이다. 이러한 드릴 선단부의 미끄러짐은 구멍의 위치이탈과 구멍의 힘을 일으키고, 휘링은 구멍지름의 확대와 편차를 더욱 조장한다.

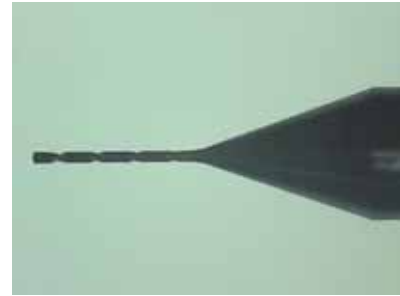


Fig. 2 Micro Hole Drill (\varnothing 0.10, Carbide)

이러한 문제점을 해결하기 위해서 가이드 구멍을 주고 난 후에 2차 구멍 가공을 하게 되면 가이드 구멍이 드릴의 날끝을 잡아주어 미끄러짐이나 휘링현상 등이 억제됨으로써 원하는 정밀도를 상당한 수준으로 얻을 수 있다. 본 연구에서 200개 이상의 다공 가공 시, 가이드 드릴을 사용한 결과, 가이드 구멍이 드릴의 파손기회를 현저히 줄여주고 공구 하나당 가공 구멍수를 증가시켜 생산성을 높이는 효과를 보여주었다. 또한 가이드 구멍이 없을 경우에 구멍 위치 편차가 최대 0.012mm 이었지만, 가이드 드릴을 사용함으로써 0.003mm까지 개선되었다. 더불어서 버의 생성이 억제되고 고정밀도의 피어싱 가공이 가능해졌다.

2.2.3 지그

미세구멍 가공작업을 위해서 소재를 고정시킬 때, 소재 상면의 편평도를 몇 마이크론 이내로 유지하도록 하는 지그의 설계가 필수적이다. 이를 위해 소재를 측면에서 조절볼트를 사용하여 1차적으로 기준면에 밀착시켜 평행도를 맞추고, 2차적으로 상측에서 볼트를 체결하여 소재 상면의 편평도를 맞추도록 설계/제작하였다. (그림 3)



Fig. 3 Jig for Micro Hole Drilling

2.2.4 절삭조건 및 윤활

미세구멍 가공은 공구의 직경이 아주 작기 때문에 공구의 강성이 작아져서 드릴가공의 조건에 변동이 있거나 칩의 배출이 원활하지 않을 때, 흔들릴 때 등의 변동이 생기면 쉽게 부러지고 마모가 심해지므로 가공 시에는 특별한 관리와 주의가 필요하며 최적의 가공조건 선택이 매우 중요하다. 이를 위해 스텝이송을 적용하여, 미세구멍을 드릴로 가공할 때에 발생하는 트러스트와 속도변화, 칩 배출 등의 여러 가지 문제점을 해결하여 가공 정밀도를 향상시킬 수 있었다.

스테인레스 강의 경우 회전이 빠르면 가공정화를 일으키므로 반드시 저속에서 가공해야 한다. 그리고 윤활을 위해 점도가 낮은 스텐인레스 강 전용의 수용성 절삭유를 사용하였다. 표 2에서 절삭조건을 보여준다.

2.2.5 가공장비

주축에는 고속 회전 시, 열 발생으로 인한 열 변위와 진동을 최소한도로 억제할 수 있는 에어터빈 스핀들을 장착하였다. 그리고 주축에 스트리트 방향의 힘과 회전방향의 토크를 실시간으로 검출하는 센서가 있어서 만약 작업 중, 드릴에 과부하가 걸리면 (미리 설정한 수치 이상을 검진하면) 즉시 가공 중인 드릴을 자동적으로 빼내는 Step Back 기능을 갖추었다. 이러한 기능을 통해 저 진동, 고정밀도 회전이 보장되어 공구파손을 억제하고, 매우 깨끗하며 정확한 미세구멍 가공이 가능하였다.

2.3 연구결과 및 고찰

그림 4에서 실제로 가공된 미세구멍 구조물 하나의 확대사진을 보여주고, 그림 5에서는 일련의 구조물들에 미세구멍이 가공된 사진을 보여준다.

미세구멍 하나를 위에서 본 모양과 아래에서 본 모양을 그림 6에서 보여준다. 디버링 작업 후에 매우 깨끗한 면 조도를 얻었음을 확인하였다.

Table 2 Cutting Condition

Cutting Speed	m/min	6
Feed Rate	mm/rev	0.002
Step Feed	mm	0.02

그림 7에서는 매 홀당 측정된 직경의 분포를 보여준다. 대체적으로 $\pm 1\mu\text{m}$ 범위 내에서 직경 편차를 보이다가, 끝부분의 홀들에서 직경이 다소 커졌는데, 이는 공구의 마모에 기인한 것으로 보인다.

그림 8에서는 각 홀 당의 간극 분포를 보여준다. 대체적으로 홀 당 $\pm 2.5\mu\text{m}$ 범위 내에서 분포하고, 또한 제일 첫 번째와 마지막 구멍 사이의 위치공차는 $3.9\mu\text{m}$ 으로서 가공결과가 만족스러움을 보여준다.

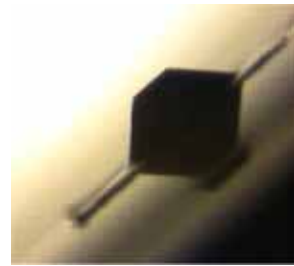


Fig. 4 Micro Structure with Micro Hole

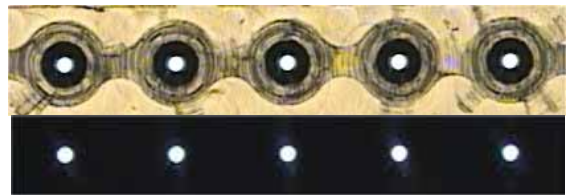


Fig. 5 Series of Micro Holes

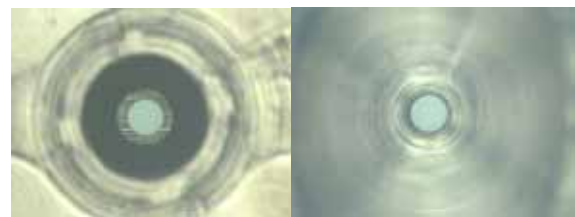


Fig. 6 Enlarged View of One Hole
(1) Top View (2) Bottom View

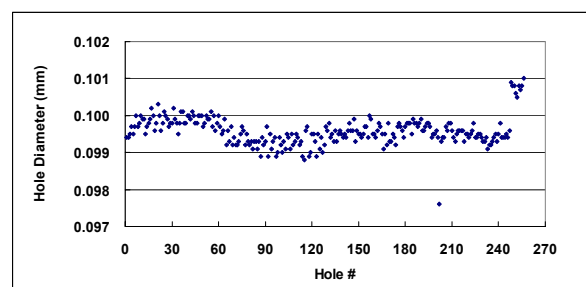


Fig. 7 Hole # vs. Hole Size Plot

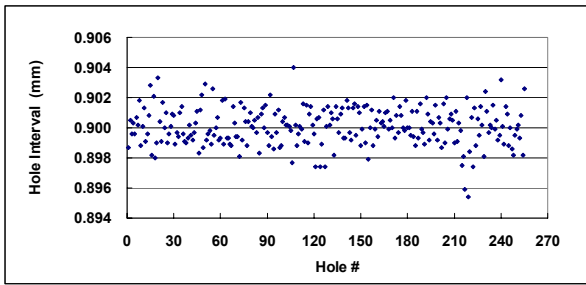


Fig. 8 Hole # vs. Hole Pitch

3. 결론

본 연구에서는 직경 0.10mm의 미세드릴로 스테인레스 강 소재에 미세구멍 200 여개를 몇 마이크로미터의 지름 및 위치오차 범위 내에서 일렬로 가공하는데 필요한 기술요소를 논하고, 실제 가공을 시도하였다. 그리고 광학측정기를 사용하여 가공된 미세구멍의 품질과 지름 및 위치정밀도를 측정 하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 스테인레스 강과 같은 난삭재의 소재에 고품질의 미세구멍과 고도의 지름 및 위치정밀도를 갖는 미세구멍을 가공하기 위해서 전용공구와 지그를 설계/제작하였고, 최적의 절삭조건을 찾았다.
- 2) 가공장비는 에어스핀들을 장착하고, 스핀들의 과부하 시 Step Back 기능을 갖춘 것이 필요하다.
- 3) 미세구멍을 가공할 때, 사전에 가이드 드릴을 사용하여 미끄러짐이나 휘링현상 등을 억제함으로써 정밀도를 향상시켰다. 또한 스텝이송을 적용하여, 칩 배출 및 드릴파손 방지 등의 여러 가지 문제점을 해결하였다.
- 4) 이와 같은 모든 조건을 반영하여 미세구멍을 가공한 결과, 200여개의 홀들이 대체적으로 $\pm 1\mu\text{m}$ 범위 내에서 직경 편차를 보였고, $\pm 2.5\mu\text{m}$ 범위 내에서 간극 편차를 보여 가공결과가 만족스러움을 보여주었다.

난삭재에 대한 지름 0.10mm 이하의 극소경 가공 기술을 확보함으로써 그동안 수입에 의존하던 초정밀 전자부품의 국산화가 가능하고, 나아가 각종 전자/자동차 부품, 항공우주용 부품, 의료용 기기, 정밀공구 등에 확대 적용하여 소재부품 산

업에서의 입지를 구축할 수 있다.

향후에는, 현재의 $\varnothing 0.10$ 미세구멍 형상가공에서 점진적으로 $\varnothing 0.05 \sim \varnothing 0.03$ 까지의 극소경 가공을 시도하고, 소재 면에서도 유리, 세라믹, 티타늄 등과 같은 난삭재로의 확대를 통해 다양한 기술개발을 시도할 것이다.

후 기

본 연구는 영진전문대학 지역혁신센터 연구개발비로 수행된 논문입니다. 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Chung M. S., 1998, "Identification and Control of Micro Hole Processing for Productivity Improvement", *Journal of Korea Society for Precision Engineering*, Vol. 15, No. 1
- (2) Huh C, Lee C.G., Chae S. S., Park S. J., Lee J. C., 2005, "A Study on the Micro Hole Drilling of Silicon", *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineering*, Vol. 4, No. 1, pp 18~23
- (3) Ahn J. H., Kim H. Y., Sin J. S., Lee E. S., Kim S. J., Oh J. U., 1995, "Monitoring and Control of the Air Spindle Based Micro Drilling Using Spindle Speed Variations", *Journal of KSME*, Vol 19, No. 5, pp 1176 ~ 1181
- (4) Won J. S., Jung Y. G., Park S. R., Han S. S., 2004, "An Experimental Study on Micro Drilling for Inconel", *Autumn Seminar of Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineering*, pp 166 ~171
- (5) Youn J. W., Min Y. Y., 1990, "A Study on Micro-Hole Drilling by EDM", *Journal of KSME*, Vol 14, No. 5, pp 1147 ~ 1154