

스테인리스강의 고온드릴 작업시 절삭성 평가

이민국*(부산대 대학원), 심재형(부산대 대학원), 백인환 (부산대)

Evaluation of Cutting Characteristics for Hot-Drilling of Stainless Steel

M. K. Lee(Graduate School, Pusan National University), J. H. Sim(Graduate School, Pusan National University), I. H. Paik (Pusan National University)

ABSTRACT

Stainless steel used widely in various fields of industry have the characteristics of difficulty-to-cut. This difficulty comes from its peculiarity, for example work hardening, vibration, etc. And these peculiarity on the cutting process have an effect on tool wear or life shortness of tools. To solve these problems several method have been developed. Hot-machining is one way of these method. when a material is heated, organization of material is soften. So cutting process becomes easy. When such a hot-machining method applies on drilling process and then heated material is processed, cutting force is less than usual drilling process cutting force. In this paper, cutting force is compared heated SUS 304 with usual SUS 304. And shape of chips is also compared.

Key Words : Hot-machining (고온 절삭), Drilling process (드릴 가공), Cutting force (절삭력), shape of chips (칩의 형태)

1. 서론

스테인리스강은 약 12% 이상의 Cr을 넣어서 만든 합금강으로서 표면에 생기는 Cr₂O₃의 얇은 부동태 피막이 부식을 억제함으로써 내식성이 좋으며, 면이 아름답고 기계적 성질이 양호하며 강도가 크고 가공성이 우수한 특성을 가지고 있으므로 내마모, 내식성 부품이나 고온로, 의료기기, 건축의 내·외장재 등에 널리 사용된다.

하지만 가공정화가 생기기 쉽고 열전도율이 작을 뿐 아니라 공구재료와의 친화성이 높다는 성질이 있어서 난삭재로 분류되고 있다. 특히, 드릴 가공 시에는 이상의 성질에 더해서 열팽창률이 큰 특성 때문에 구멍지름이 줄어들어 드릴을 죄는 현상이 발생한다. 또한 발생하는 칩의 형상이 나선형으로 배출되어 작업자와 공구, 가공물에 위협을 준다. 드릴가공에서의 위와 같은 문제점은 동력소모, 공구수명단축, 가공시간 연장등을 초래하여 능률을 저하시킨다^(1,2).

이러한 난삭제의 문제점을 극복하기 위해서 사용되는 방안 중의 하나가 고온절삭(Hot-machining)^(3,4)

이다. 고온절삭이란 공작물을 가열하여 가공하기 쉬운 상태로 만들어서 절삭하는 것으로, 공작물을 가열시키면 공작물의 조직이 연화되어 가공이 용이하게 된다. 고온가공 기술을 드릴가공에 적용하여 가열된 공작물을 가공하면 기존의 드릴 작업보다 절삭 저항이 줄어들게 되어 동력 절감 및 공구 수명 향상의 효과를 가져온다. 또한 가공시간을 단축시켜 고능률 가공을 실현할 수 있고 절삭성이 낮은 취성 재료 및 종래에 가공이 어려웠던 심공 가공에 대해서도 고능률, 고품위 가공을 실현할 수 있다

따라서 본 논문에서는 스테인리스강 중에서 제일 광범위하게 사용되는 SUS 304에 고온드릴가공을 적용하고자 한다. 이를 위하여 온도에 따른 절삭력의 변화와 배출되는 칩의 형태를 기준으로 가장 적합한 온도의 구간을 알아내고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1 SUS 304의 특성^(5,6)

SUS 304는 오스테나이트계의 스테인리스강으로

서 18%Cr-8%Ni의 조성을 가지며 자성이 없고, 내식성, 내열성이 우수하며 열처리로 경화되지 않고 기계적 성질도 우수한 스테인리스의 대표강종이다. 아래의 Table 1은 SUS 304의 대표적인 기계적 특성을 나타낸 것이다.

Table 1 Mechanical Properties of SUS 304

Yield Strength	205 Mpa
Tensile Strength	515 Mpa
Elongation	40%

아래의 Fig. 1은 SUS 304의 열적 특성을 나타낸 것이다⁷⁾. SUS 304는 내열성이 우수하고 저온 강도가 좋으며, 열팽창율은 연강 대비 1.6배, 열 전도성은 30%인 특성을 가지고 있다.

그림에서 알 수 있듯이 온도가 증가함에 따라 인장강도와 연신율이 감소한다. 일반적인 재료는 온도가 올라감에 따라 연신율이 증가하는데 비하여 SUS 304는 약 200℃까지 급격히 감소하다가 이후로는 거의 일정한 수준을 유지한다.

2.2 SUS 304의 드릴가공시 칩 배출 특성

드릴 가공에서의 칩 배출은 공구단면적보다 작은 범위에서만 유동할 수 있으므로 칩 배출이 어렵다. 칩의 배출은 드릴날의 비틀림 각이 작을수록 원활하지만 가공 구멍의 직경이 작아질수록, 구멍의 깊이가 깊어질수록 배출이 곤란하게 된다. 따라서 작은 구멍 가공에서 칩의 배출을 용이하게 하기 위해서는 홈을 작게 하여 웨브부를 강화시켜야 한다.

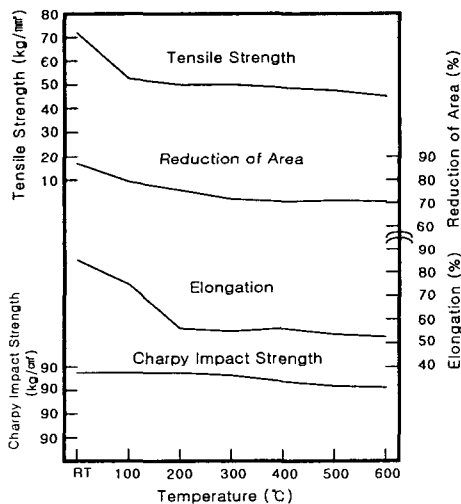


Fig. 1 Characteristic of SUS 304 by Temperature

하지만 이와 같은 형태의 가공형태에서는 칩의 배출은 용이하지만 연속형의 칩이 발생하면 드릴 홈 사이에 칩이 차서 마찰 저항이 커지며 절삭유제의 공급에도 문제점이 발생하기 때문에 칩 브레이커를 이용하여 칩을 절단하여야 한다.

또한 스테인리스강의 선삭가공 시에는 약간 불규칙적인 톱날형상의 칩이 발생한다. 이것은 절삭시 발생하는 진동에 의한 것인데, 이 진동은 절인에 마이크로 치핑을 생기게하여 공구수명을 단축시키는 요인이 된다.

3. 실험장치

드릴 가공시에 발생하는 절삭력을 측정하기 위하여 다음의 Fig. 2와 같은 드릴링 머신을 사용하였다.

그림에서 나타난 바와 같이 주축계에는 브러시리스 DC 모터가 사용되었고 이송계는 스테핑 모터로 구성되었다.

브러시리스 DC 모터의 회전속도는 공급전원의 전압에 비례하는 특징을 가진다. 따라서, 본 장치의 주축 회전속도를 변화시키기 위하여 전원공급기의 좌측 단자에서 공급전압을 조정한다. 주축 회전속도는 모터 드라이브에서 PC로 입력된 데이터를 이용하여 확인할 수 있다.

이송계는 주축계와 독립적으로 구동시키기 위하여 별도의 스테핑 모터를 채용하였다. 스테핑 모터의 속도는 입력펄스의 주파수를 변화시켜 조정한다. 이를 위하여 PC 내장형 카운터보드에서 펄스를 발생시켜 스테핑 모터로 입력한다.

그리고 절삭시 소요된 토크는 모터에 공급되는 전류에 비례하기 때문에 드라이브에서 모터에 공급되는 전류값을 측정하여 간접적으로 구할 수 있다. 따라서 홀 센서를 사용하여 모터에 공급되는 U, W, V 3상중 V상의 전류 값을 측정하였다.

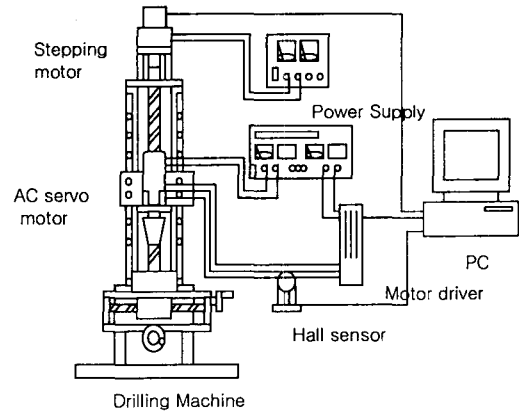


Fig. 2 Experimental Setup

4. 실험 및 결과

4.1 속도변화에 따른 절삭력의 변화

본 실험에 앞서 SUS 304의 드릴가공 시 일반적인 절삭상태를 알아보기 위하여 상온에서의 절삭속도를 변화시키면서 절삭력의 변화를 측정하였다. 실험은 직경 5mm인 코발트 코팅 공구로 이송속도 0.8mm/sec, 절삭속도를 1500rpm부터 2500rpm 까지 100rpm의 간격으로 증가시키면서 수행하였다.

아래의 Fig. 3은 실험결과를 그래프로 나타낸 것이다. 결과에서 알 수 있듯이 1500rpm부터 2000rpm까지는 절삭력이 1.41V에서 1.18V로 줄어든다가 2000rpm부터 2500rpm까지는 증가하는 것을 볼 수 있다.

이 현상은 절삭속도가 증가할수록 절삭력이 감소하는 일반 강의 절삭과는 상반된 결과이다. 이것은 서론에서 언급한 바와 같이 SUS 304의 절삭특성에 기인한 것으로 판단된다. 즉 절삭속도가 증가되면서 온도가 상승되고 이때 발생된 열이 재료를 열팽창시켜 구멍의 직경을 감소시킨다. 따라서 재료와 공구가 압착되면서 절삭저항이 커지는 현상으로 나타나는 것이다. 또 고속절삭 시 발생하는 칩의 형태가 연속형이 되어 드릴과 엉키면서 절삭저항을 증가시킨 것으로 판단된다.

4.2 절삭온도에 따른 절삭성 변화

SUS 304에 고온드릴가공법을 적용하기 위하여 재료의 온도변화에 따른 절삭성을 평가한다. 절삭성은 절삭력의 크기와 공구의 마모, 그리고 배출되는 칩의 상태를 관찰하여 판단을 내린다.

먼저 온도변화에 따른 절삭력의 변화를 측정하기 위하여 공작물을 상온에서부터 300℃까지 50℃간격

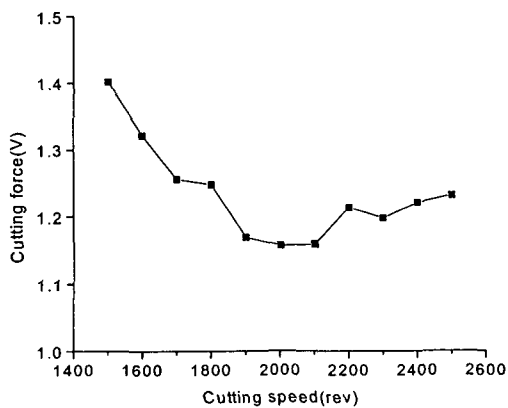
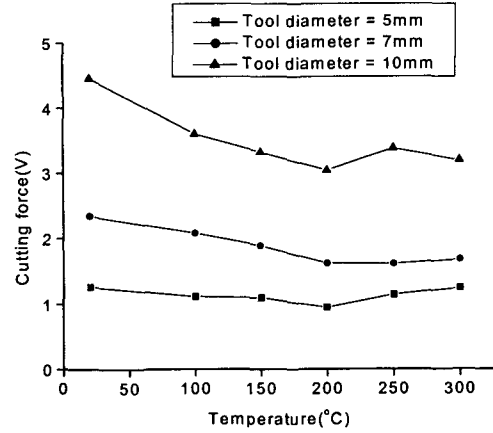
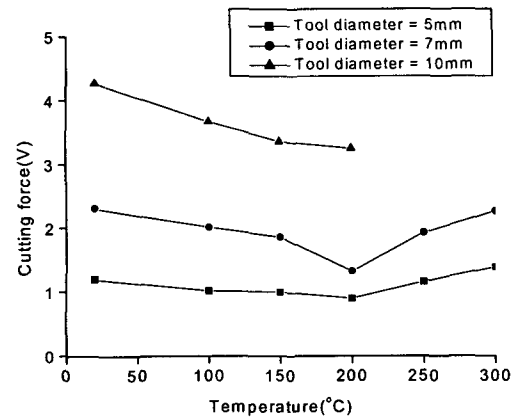


Fig. 3 Cutting Force Change by Cutting Speed



(a) Cutting speed 1500rpm



(b) Cutting speed 2000rpm

Fig. 4. Cutting force change by Temperature variation

이 되도록 가열하면서 절삭실험을 행한다. 이때 이송속도는 0.8mm/sec로 일정하게 유지한다. 실험에 사용된 공구는 코발트가 코팅된 고속도강으로 직경 5mm, 7mm, 10mm인 공구를 사용한다. 또 주축 회전속도는 1500rpm과 2000rpm으로 설정하였다.

위의 Fig. 4는 상기의 실험조건으로 각 온도에 대해 5회씩 측정된 절삭력을 평균하여 나타낸 것이다. 실험결과를 분석하면 아래와 같은 몇가지 경향을 알아 낼 수 있다.

먼저, 각 그래프에서 온도에 따른 절삭력의 변화를 보면 상온에서 200℃까지 감소하다가 이후부터는 증가하는 추세를 볼 수 있었고, 공구의 직경이 클수록 온도에 대한 절삭력의 변화가 커진다는 것을 알 수 있다.

이와 같이 현상은 온도가 올라감에 따라 재료의

연성이 증가되어 절삭력이 감소하는 경향과 고온에 의한 공작물과 공구의 응착, 열팽창에 의한 공구의 압착 등의 요인에 의한 절삭력이 증가하는 경향이 동시에 나타나기 때문에 판단된다. 즉 200℃ 이하의 영역에서는 전자의 절삭력을 감소시키는 요인이 후자의 절삭력을 증가시키는 요인보다 크게 작용하여 절삭력이 감소되고, 이상의 영역에서는 상반된 경향으로 인해 절삭력이 증가되는 것으로 판단된다.

다음으로 그래프에서 (a)와 (b)를 비교해 보면, 상온에서는 절삭속도가 2000rpm일 때의 절삭력이 1500rpm일 때의 절삭력보다 작은 값을 가진다. 그리고 상온에서 200℃까지의 영역에서는 온도에 따른 절삭력의 변화 정도가 회전수와는 무관하게 유사한 경향을 보인다. 하지만 200℃ 이후에서는 절삭속도에 따라서 절삭력의 증가폭에 차이가 나는 것을 알 수 있다. 즉 절삭속도 2000rpm의 절삭력 증가율이 1500rpm에 비하여 급격히 증가되는 경향을 보인다.

이 현상은 앞에서 설명한 이유와 같은 원인으로 발생된 것으로 판단된다. 즉 절삭속도가 빠를수록 온도의 증가율이 커지고 이는 절삭력의 급격한 증가로 나타난다. 특히 직경이 10mm인 드릴의 경우는 절삭온도 250℃의 실험에서부터 피삭재에 고착되는 현상을 보였다.

마지막으로 각 그래프는 모든 온도범위에서 공구의 직경이 클수록 절삭력이 커지는 것을 보인다. 이는 당연한 결과이다. 즉 공구의 직경이 클수록 단위 절삭당 절삭량이 많아지므로 소요되는 절삭력이 커진다.

아래의 Fig.5는 실험 중 배출되는 칩들을 형태에 따라서 분류한 것이다. 상온에서는 (a)와 (b)와 같이 불규칙한 톱날 형태의 칩이 발생하였는데, 이것은 스테인리스 절삭시 발생하는 칩의 전형적인 형태이다.

5mm의 드릴가공 시에는 온도가 올라감에 따라 (c)형의 연속형 칩으로 형태가 변화되었다. 이러한 형태의 칩은 배출상태가 원활하지 못하므로 드릴에 응착되었다.

10mm의 드릴가공시에도 이와 유사한 현상이 발생하였는데, 온도가 상승함에 따라 (b)형태에서 (d)형태로 변화되었다. (d)형태의 칩도 앞서와 마찬가지로 드릴에 응착되는 현상이 발생하였다.



Fig. 5 Chips of the Heat Drilling

5. 결론

본 논문에서는 스테인리스강의 드릴가공에 고온가공기법을 도입하기 위하여 온도변화에 따른 절삭 실험을 하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 이송속도와 주축의 회전속도를 제어할 수 있는 드릴링 시스템을 개발하였다.
- 2) 상온에서의 절삭력은 2000rpm 까지 감소하다가 이후로는 증가하였다.
- 3) 고온절삭실험결과 200℃에서 절삭력이 최소가 되었다.
- 4) 절삭속도가 빠르고 온도가 높을수록 절삭력이 급격히 증가였다.
- 5) 온도가 올라감에 따라서 칩의 형태가 연속형으로 변화하여 드릴에 응착되었다.

향후 과제는 다른 난삭재에도 고온가공법을 적용하는 것이다.

참고문헌

1. 狩野勝吉, 難削材의 切削加工技術 pp. 156~170
2. 孫明煥, 切削加工論 文運堂 pp. 255~264, 1995
3. K. Uhera, H. Takeshita. "Cutting Ceramics with a Technique of Hot machining", Annals of the CIRP, Vol 35, 1, pp.55-58 1986.
4. 이상천, "온도 변화에 따른 드릴가공의 절삭력 변화와 가공정밀도 평가" 부산대학교 공학석사 학위논문,
5. R.A. LuLa, New Developments in Stainless Steel Technology
6. 日本鐵鋼協會, 鋼의 熱處理 改訂5版 pp. 159~165, 1985
7. 殷政哲, 스테인리스강의 실무 大新技術