

# 마르텐사이트계 내열강의 선삭 가공 특성에 관한 연구

## Turning Characteristics of Martensitic Heat Resisting Steel

채 왕석(원광대 대학원) 김 동현(원광대 기계공학과)

W.S CHAE(Grad. School,Wonkwang Univ.) D.H KIM(Wonkwang Univ.)

### ABSTRACT

### 1. 서 론

In this paper, We have analyzed dynamic characteristics of cutting force .

Test materials are used martensitic heat resisting steel, STS420J2.

The obtained results are as follows:

1. Cutting force is smaller make small feed when feed speed make a change.
2. Principal cutting force is smaller make small cutting speed when feed speed make a change.

#### key words:

Martensite(마르텐사이트)  
Heat resisting steel(내열강)  
Cutting force(절삭 저항)

일반적으로 각종 분위기 중에서 고온에서의 사용에 견디는 재료의 총칭을 내열재료(耐熱材料)<sup>(1)</sup>라 하고 금속 재료 뿐만 아니라 내화(耐火) 벽돌이나 파인 세라믹 등도 모두 여기에 포함 된다.

내열재료는 보통 산업 현장에서 각종 가열로나 자동차와 선박 등의 내연 기관, 성(省)에너지, 폐열 회수를 위한 열교환기, 도시 또는 각 공장에서 발생하는 쓰레기 처리를 위한 소각로나 열 분해로 등 사용 용도에 따라 높은 온도에서 산화 또는 부식이 되지 않고 높은 하중을 가하더라도 변질이 되지 않는 조건을 요구하는 경우가 있다.

내열재료 가운데 높은 사용 온도에 산화와 부식이 되지 않고 높은 하중에서도 변질이 되지 않는 특수한 강을 내열강(耐熱鋼)이라고 한다.<sup>(2)</sup>

내열강은 각종 내열재료 중에서 가격이 비교적 저렴하고 구입이 용이하며 널리 사용하고 있는 금속재료로 STR계(Steel)와 STS계(Stainless) 등 2가지 계로 대별하며 이 2가지 계는 각각 오오스테나이트계, 페라이트계, 마르텐사이트계와 석출경화계(스테인레스계)로 세분되어지며 특히 STS계는 스테인레스강의 규격을 그대로 인용되어 있다.<sup>(1)</sup>

내열강은 재료의 제조 과정에서 사용자의 요구 즉, 주문자의 주문에 따라 풀림(annealing), 담금질(quenching), 뜨임(tempering) 중의 어느 것을 실시하거나 일부 열처리를 생략하여야 한다.<sup>(3)</sup>

또 내열강은 절삭 가공시 가공이 곤란한 재료 즉, 난삭재(難削材)의 범위에 속한다.

난삭재는 넓은 의미에서 피가공물의 재질 그 자체가 난삭성을 불러 일으키는 특성을 가지는 재료, 피삭성이 명확하지 않는 재료, 알미늄 합금과 주철 등의 공삭(共削)과 같은 이형 재료, 형상적으로나 구조적으로 절삭 가공이 난해한 재료, 보유 설비인 가공 기계의 가공 한계성을 가지는 재료를 의미하며 좁은 의미에서 난삭재는 피가공물의 재질, 그 자체가 난삭성을 불러 일으키는 재료로 정의하고 넓은 의미에서의 피삭성이 명확하지 않은 재료 가운데 피삭성이 불투명하기 때문에 공구의 선정이나 가공 조건의 설정 기준이 없어 문제를 초래하는 재료도 난삭재의 범위에 포함 한다.

또 제반 절삭 가공시 발생하는 문제의 내용은 매우 다양하여 문제 내용을 모두 열거하는 것은 불가능하지만 대표적인 예로 공구 마모의 정도, 절인의 소성 변형, 공구 수명의 불안정, 열에 의한 균열, 절인에 용착(熔着), 채터의 발생, 다듬질 정밀도 및 치수 정밀도 불량, 가장자리의 이빠짐이나 버(burr) 발생, 절삭 저항이 크거나 칩 처리성이 나쁜 것 등이 있다.

문제 발생의 원인은 피절삭재의 재료 특성, 공구 재료의 특성, 절인 형상 등이 대표적이며 이 밖의 일반적인 원인들이 복합적으로 관여하고 있다.

따라서 제반 절삭 가공시 절삭성 검토 및 절삭성 향상을 위해서는 먼저 절삭 가공 전에 절삭 재료에 대한 내부품질특성 및 기계적 특성을 명확히 검토하여 보다 향상된 절삭 가공을 시행하여야 한다.

본 연구에서는 스테인레스강 중에서 자동차 내연 기관의 부품으로 사용되는 마르텐사이트계 내

열강을 소재로 하여 선삭 가공 시험을 통하여 발생되는 동적 특성을 검증하여 실제 산업 현장에서 절삭 조건의 설정을 위한 자료로서 제안, 제시하고자 한다.

## 2. 관계 이론

스테인레스계 내열강은 합금 조성에 따라 크롬계와 크롬-니켈계로 구분하며 금속 조직에 따라 마르텐사이트계와 페라이트계 및 오스테나이트계로 구분할 수 있으며 이것은 다시 경화의 가능성 정도에 따라 여러 가지로 세분되어진다.

경화의 가능성이 자경성 또는 담금질 경화성인 마르텐사이트계는 내식성보다 경도 및 강도를 중요시하여 비담금질 경화성을 가지는 페라이트계와는 반대로 탄소(C)량을 증가시켜 크롬(Cr)탄화물이 많이 형성하도록 하는 것이 특징이다.

이러한 합금 원소의 함유량을 일정량 이상 함유하고 이것을 마르텐사이트라고 하는 이유는 오스테나이트 영역으로 부터 담금질(quenching) 후에 스테인레스강의 조직을 변화시켰기 때문이며 이 계의 합금은 페라이트계나 오스테나이트계에 비하여 내식성이 떨어진다.

마르텐사이트계에서 탄소의 함유량에 따라 0.25~0.4%C 정도의 것과 0.6~0.75%C 정도의 것으로 구분된다.

내열강에 첨가되는 주요 합금 원소의 영향<sup>(4)</sup>을 살펴보면 다음과 같다.

탄소(C)는 모든 종류의 내열강에서 고온 강도를 높이는 석출 경화 원소로서 여러 원소와 탄화물을 생성시키므로써 강도를 증가시키고 가공성, 피삭성, 내마모성 등에 영향을 미친다. 그러나 탄소의 함량이 강(鋼) 중에 증대하면 강도는 상승하지만 충격치는 저하한다.

크롬(Cr)은 스테인레스강의 기본 합금 성분으로  $Cr_2O_3$ 를 주체로 한 보호 피막을 형성하며 탄화물, 질화물을 형성하여 크립(Creep) 파단 강도를 향상시킨다. 12% 이상 함유시 내식성과 내산화성

을 향상시키고 열간 강도를 증가시킨다.

실리콘(Si)은 산화 피막을 생성하고 내산화성을 증대시키며 탈산제로서 뜨임(tempering) 연화 저항을 증대시킨다.

망간(Mn)은 탈산, 탈황제로 작용하며 오스테나이트의 안정화와 적열 취성을 방지하며 질소 흡수력을 증대시킨다.

니켈(Ni)은 오스테나이트의 안정화와 탄화물의 조대화를 방지시키며 내식성 및 열간 강도를 증대시킨다.

몰리브덴(Mo)은 석출기지를 강화하고 탄화물을 형성하여 고온 강도, 크립(Creep) 파단강도를 높이고 인성을 개선한다.

알루미늄(Al)은 강력한 탈산제로 강재(鋼材)의 열간 가공성이나 결정입도를 개선하지만 고융점 결정질( $Al_2O_3$ )을 생성하면 열간, 냉간 압연에서의 표면성을 열화시킨다.

동(Cu)은 철(Fe)보다 산화하기 어렵기 때문에 용해 과정에서 제거하기 매우 어려우며 비산화성 산에 대해 내식성을 증가시킨다.

마르텐사이트계 내열강의 조직은 강재(鋼材)를 오스테나이트 영역( $A_1$ 점 이상)에서 급냉하여 얻어지는 삼(麻)잎 모양의 침상 조직(針狀 組織)으로 경도가 높은 것이 특색이다.

마르텐사이트는 퍼얼라이트 변태와 달라서 탄소의 확산이 충분히 이루어지기 전에 격자의 변태로 이루어진 조직으로 하나 하나의 침상 마르텐사이트 결정(結晶)의 생성에 요하는 시간이 극히 짧은 것이 특징이다.

마르텐사이트에는 급냉에 의해 발생한 마르텐사이트(正方晶)와 100~200℃ 뜨임에 의해 정방정(正方晶)에서 입방정(立方晶)으로 가까워진 템퍼링 마르텐사이트가 있다.<sup>(5)</sup> 템퍼링 마르텐사이트는 급냉한 상태의 마르텐사이트보다 산(酸)에 부식되기 쉽다.

마르텐사이트의 제반 기계적 성질은 열처리에 의해 조절이 가능하다. 뜨임 열처리 온도가 450℃ 정도에서 인장 강도가 급강하 하기 전에 약간

의 증가 현상이 발생하는데 이것은  $(Fe,Cr)_{23}O_6$ 의 석출에 의한 2차 경화에 의한 것이고, 충격치는 뜨임 열처리 온도가 260℃ 부근에서 최고치를 나타내며 450~550℃에서 최소값을 나타낸다. 경도는 완전 경화(硬化)하였을 경우 탄소량에만 의존하며 탄소의 함유량이 0.6% 까지 경도가 급격히 높아지며 그 이상에서는 경도의 변화가 거의 없다.<sup>(6)</sup>

절삭성은 가공 재료를 절삭 할 때 절삭 하기 쉬운 정도를 의미하며 절삭성은 절삭 기능 뿐 아니라 생산 능률이나 원가 관리까지도 포함된다.

절삭 저항에 영향을 미치는 인자는 절삭속도, 절삭깊이와 이송, 공구각, 절삭면적 등이 있다.

절삭속도는 최근에 절삭 공구재의 발달과 함께 고속절삭이 행하여짐에 따라 절삭저항에 큰 영향을 갖고 있다는 것을 알게 되었다.

선삭에서 절삭 단면적은 공작물 1회전에 대한 이송과 절삭깊이의 곱으로 표시되며 이송에 따라 칩의 두께가 변화하고 절삭깊이에 따라 칩의 폭이 변화한다. 또 이송에 대한 주절삭력의 변화는 이송이 커짐에 따라 점점 증가율이 떨어지고 절삭깊이와 주절삭력의 관계는 거의 선형적으로 상승한다.<sup>(7)</sup>

### 3. 실험

#### 3-1. 실험재 및 실험 장치

##### 1). 실험재 종류

실험재는 스테인레스강 중에서 자동차 내연기관의 부품으로 사용되는 마르텐사이트계 내열강(STS420U2)을 소재로 하였다.

실험재의 제조공정은 제강공정에서는 원자재(고철)를 전기로에서 용해하고 노외(爐外) 정련에서 탄소의 우선 산화촉진을 위하여 용강과 접하는 대기중의 CO분압을 충분히 저하시키기 위하여 기압을 감압하는 진공 탈가스(VOD) 공정과 조피 공정을 거치고 압연공정에서는 주문사양에 따라 분과압연 및 중형 압연공정과 표면 산화스케

일 등의 이물질을 제거하고 내부결함 검출 및 표면결함을 제거하는 빌렛 공정을 거쳐 풀림 (annealing), 담금질(quenching), 뜨임(tempering) 등 열처리 공정으로 제조된다.

실험재의 화학성분은 Table 1과 같고 단면에 대한 현미경 조직은 Photo 1과 같으며 기계적 성질은 Table 2와 같다.

Table.1 Chemical composition of sample

Component	wt%
C	0.331
Si	0.435
Mn	0.707
P	0.0268
S	0.012
Cu	0.038
Ni	0.291
Cr	12.414
Al	0.0212



Photo 1 Optical microstructure of sample (×400)

Table 2 Mechanical properties of sample

Item	Measured value
Tensile strength (Kg/mm <sup>2</sup> )	78.4
Elongation (%)	29.2
Reduction of area (%)	54.6
Hardness (HB)	222
Impact value (Kgr-m)	3.95

## 2). 실험 장치

본 실험에서 사용된 실험 장치 및 기기에 대한 사양은 Table. 3과 같다.

Table. 3 Experimental apparatus and tools

TESTER	SPEC.
Free cutting tester	HL380 WHA CHEON (Korea) Spindle speed: 45~1800rpm Range of feeds 0.06~0.84
Tool dynamometer	TYPE-9257B KISTLER Range of force Fx,Fy:-5~5KN Fz:-5~10KN Sensitivity Fx,Fy:7.5PC/N Fz:-3.5PC/N

### 3-2. 실험 방법

본 연구에서는 선삭가공시 절삭속도 및 이송의 영향을 고찰하기 위하여 절삭속도와 절삭저항과의 관계 및 이송과 주 절삭저항과의 관계를 평가 기준으로 하였으며 절삭성 시험은 선반에 공구 동력계(Tool dynamometer, KISTLER 9257B)를 사용하였고, 바이트 홀더는 PCLNR2020-K12, 인서트 타입은 TiCN이 코팅된 WC 초경 공구인 CNMG120408의 KT300을 각각 사용하였다.

실험재는 먼저 스케일을 제거하고 선삭 회전시 편심을 없애기 위하여 표면을 1mm 깊이로 예비 절삭 후 절삭속도를 510rpm, 710rpm, 1,010rpm으로 하고, 이송속도를 0.228 mm/rev, 0.264 mm/rev, 0.314 mm/rev으로 하였으며 절삭깊이를 1mm, 2mm로 하였다.

절삭저항은 매 조건 마다 측정 시간을 총 10초로 하고 매 1초 마다 10개의 저항값의 평균치로 하여 주분력, 배분력, 이송분력 등 3 분력을 각각 측정하였다.

## 4. 결과 및 고찰

### 4-1 절삭 속도와 절삭 저항과의 관계

Fig. 1은 실험재인 STS계 마르텐사이트계 내열강에 대하여 절삭 깊이가 1mm 및 2mm일 때 절삭 속도에 따른 이송의 변화에 대한 절삭 저항의 변화를 보여주고 있다

실험재의 절삭속도의 변화에 따른 이송변화에 대한 절삭저항을 고찰하여 보면 절삭깊이가 2mm일 때 절삭저항이 절삭깊이가 1mm일 때의 절삭 저항보다 높았으며 절삭 깊이의 변화와 관계 없이 절삭속도가 증가함에 따라 절삭저항이 감소하였다.

또 이송의 변화에 따른 절삭저항은 이송속도가 0.314mm/rev에서 0.264mm/rev, 0.228mm/rev로 감소할 수록 비례적으로 감소하였다.

이와 같이 절삭깊이의 변화와 이송의 변화에

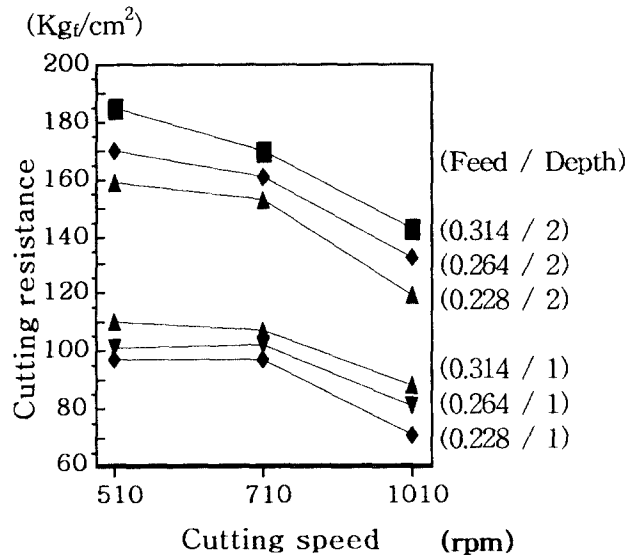


Fig. 1 Cutting speed vesus cutting resistance

관계없이 절삭속도가 높을수록 절삭저항이 감소하는 것은 절삭가공시 절삭온도의 상승에 의하여 피절삭재의 강도가 떨어지는 것으로 판단되며 이것은 마르텐사이트의 기계적 성질중 뜨임 온도의 변화에 따라 인장 강도의 변화가 급격히 변화하는 것과 일치한다.

### 4-2 이송과 주 절삭 저항과의 관계

Fig. 2는 실험재인 STS계 마르텐사이트계 내열강에 대하여 절삭깊이가 1mm 및 2mm일 때 이송의 변화에 따른 절삭깊이에 대한 주 절삭 저항의 변화를 보여주고 있다.

실험재의 이송의 변화에 따른 절삭속도의 변화에 대한 주 절삭저항을 고찰하여 보면 절삭깊이가 1mm일때 주 절삭저항보다 절삭깊이가 2mm일 때 주 절삭저항이 높았으며 절삭깊이의 변화에 관계 없이 이송이 증가함에 따라 주 절삭저항이 비례적으로 증가하였다.

또 절삭속도의 변화에 따른 주 절삭저항은 절삭 깊이가 2mm일 때 절삭속도가 510rpm에서 710rpm, 1,010rpm으로 증가할 수록 비례적으로

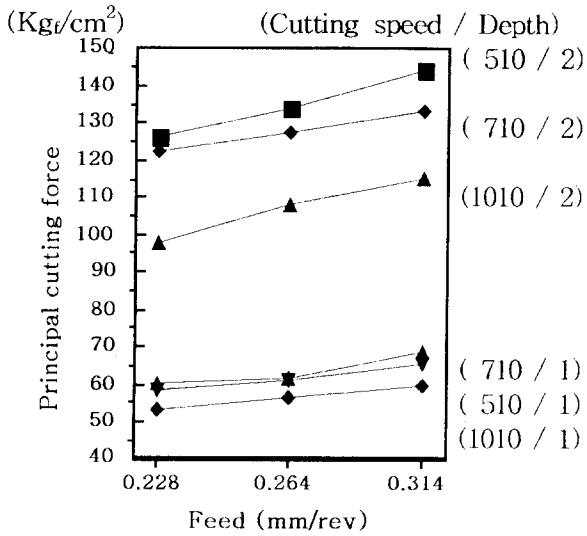


Fig. 2 Feed speed versus principal cutting force

감소하였으나 절삭깊이가 1mm일 때는 절삭 속도가 710rpm, 510rpm, 1,010rpm 순으로 주 절삭 저항이 감소하였다.

이것은 이송에 대한 주절삭 저항은 이송이 커짐에 따라 점점 증가하고 절삭깊이와 주 절삭저항과의 관계는 거의 직선적으로 증가한다는 것에 기인된다.

또 절삭시 전단역(剪斷域)의 절삭재의 강도는 소성(塑性) 등으로 인하여 원 재질과 현저히 차이가 있는데 이것은 칩제, 전단파괴에 대한 전단 변형이 보통 재료시험에 의한 변형보다도 크기 때문에 가공경화가 된 것이며 돌출, 칩의 전단면은 전단력과 동시에 압축력을 받기 때문에 순수 전단 응력만의 파괴와 더불어 재료조직 내의 마찰력이 크게 영향을 미쳤고 세제, 절삭 중에 전단 변형의 속도가 크기 때문이다.

## 5. 결 론

실험재인 STS계 마르텐사이트계 내열강에 대하여 선삭 가공시 절삭 특성을 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 동일한 절삭속도 및 이송조건에서 절삭깊이가 작을 수록 절삭성이 우수한 것으로 나타났으며, 절삭깊이가 일정 할 때 이송속도가 증가함에 따라 비례적으로 절삭저항 값이 증가하였고 이송속도가 일정 할 때 절삭속도가 증가 할 수록 절삭저항은 감소하였다.

2) 동일한 절삭깊이에서 이송이 증가함에 따라 주 절삭저항이 비례적으로 증가하였고 절삭깊이가 클수록 절삭속도가 증가함에 따라 절삭성은 우수하며 절삭깊이가 작을 수록 절삭속도는 일정 범위에서 절삭성이 우수한 것으로 나타났다.

따라서 실험재의 내부 품질 및 기계적 성질과 선삭가공 특성을 고려하여 경제적인 절삭가공 조건 선정이 가능하다고 판단된다.

## 참 고 문 헌

- [1] 狩野勝吉, “難削材의 切削 加工技術”, (株) 技術 情報, p184-186, 1987
- [2] 鐵鋼 材料, “金屬工學講座, 材料編 8”, 朝倉書店, 1987
- [3] 山崎道夫, “超耐熱 合金 の 開發現況” 機械의 研究, 第39卷, 第9號, 1987
- [4] AMERICAN MACHINIST & Automated Manufacturing, Special Report 790, p115, 1986
- [5] 朴禧善, “新編 金屬 組織學”, p396-397, 1989
- [6] 起亞 特殊鋼, “스테인레스강 일반” p43-55, 1996
- [7] 徐南燮, “金屬 切削 理論”, 東明社, p52-88, 1988