

## 마르텐사이트계 내열강의 금속 및 기계적 특성에 관한 연구

# A Study on the Internal Quality and the Machining Characteristics of Martensitic Heat Resisting Steel

채 왕석(기아 특수강(주)), 권 용기(전주 공전대 기계과), 김 동현(원광대 기계공학과)  
W.S Chae(Kia steel), Y.K Kwon(Jeon Ju Tech. College), D.H Kim(Won Kwang Univ)

### ABSTRACT

In this paper, we have studied internal quality including chemical compositions, microscopic structure and nonmetallic inclusion of test materials. We have analyzed machining characteristics including tensile strength value, impact value, hardness value etc.

Test materials are used martensitic heat resisting steel, STR11 and STS420J2.

The obtained results are as follows:

1. In analyzing internal quality, STR11 and STS420J2 have typical martensite structure and a minute needle-shaped structure.
2. Tensile strength and reduction of area and hardness value are larger STR11 than STS420J2. But elongation impact are smaller STR11 than STS420J2.
3. Fracture surface of tensile specimen is ductile in STR11 and STS420J2.

**Key Words** : internal quality(내부 품질), martensite (마르텐사이트), heat resisting steel(내열강)

### 1. 서 론

내열 재료(耐熱材料)<sup>(1)</sup>란 각종 분위기 중에서 고온에서의 사용에 견디는 재료의 총칭을 말하며 내열 재료는 금속 재료 뿐만 아니라 내화(耐火) 벽돌이나 파인 세라믹 등도 모두 여기에 포함된다.

일반적으로 현대 생활에서 내열 재료가 없으면 생활에서의 쾌적도를 유지 할 수 없을 뿐 아니라 영위 그 자체가 완전히 성립되지 못하는 것이 기정 사실이다.

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 열분해로 등은 사용 용도에 따라 높은 온도에서 산화 또는 부식이 되지 않고 높은 하중을 가하더라도 변질이 되지 않는 요구하는 경우가 있다.

이와 같이 내열 재료 가운데 높은 온도에 산화와 부식이 되지 않고 높은 하중에 만족하여 변질되지 않는 특수한 강을 내열강(耐熱鋼)이라 한다.<sup>(2)</sup>

내열강은 STR계(Steel)와 STS계(STAINLESS) 등 2가지 계로 대별하며 이 2가지 계는 각각 오오스테나이트계, 페라이트계, 마르텐사이트계로 세분되어 진다.<sup>(1)</sup>

특히 STS계는 스테인레스강의 규격을 그대로 인용되어 있다.

이러한 내열강 가운데 마르텐사이트계는 재료의 제조 과정에서 사용자(주문자)의 요구(주문)에 따라 어니일링, 또는 템퍼링이나 템퍼링 중의 어느 것을 실시하거나, 또는 열처리를 생략하여야 한다.<sup>(3)</sup>

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

난삭재의 의미는 넓은 의미에서 피 가공물의 재질 그 자체가 난삭성을 불러 일으키는 특성을 가지는 재료, 피삭성이 명확하지 않는 재료, 이형 재료, 형상적, 구조적으로 절삭 가공이 난해한 재료, 보유 설비(가공 기계)의 고도 가공의 한계성을 가지는 재료를 의미하며 좁은 의미에서의 난삭재는 피가공물의 재질, 그 자체가 난삭성을 불러 일으키는 재료로 정의하는 것이 보통이다.<sup>(1)</sup>

또 제반 절삭 가공시 절삭성을 검토 및 향상시키기 위해서 절삭 가공전에 절삭 재료에 대한 금속적 특징과 기계적 특징을 명확히 검토하여 보다 향상된 절삭 가공을 시행하여야 한다.

따라서 본 연구에서는 난삭재의 범위에 속하는 마르텐사이트계의 내열강 중 자동차의 내연 기관 부품 소재인 STS계와 STR계의 금속 재료를 비교 소재로 하여 제반 금속적 특징과 기계적 특징을 비교 검토하여 향후 절삭성 시험 및 실제 산업 현장에서 절삭 가공 조건의 설정시 기초 자료로서 제안, 제시하고자 한다.

## 2. 관 계 이 론

마르텐사이트계의 내열강의 조직은 강재를 오스테나이트 영역(A<sub>1</sub>점 이상)에서 급냉하여 얻어지는 삼(麻)잎 모양의 침상 조직(針狀 組織)으로 대단히 높은 경도를 특색으로 한다. 마르텐사이트는 퍼얼라이트변태와 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.

오스테나이트가 마르텐사이트로 변하는 Ar<sup>''</sup>변태는 과공석강(過共析鋼)에서 속도가 매초 약 300℃ 이상일 때 나타나지만 탄소량이 낮은 것은 한층 더 빠른 냉각 속도가 필요하다.

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>(4)</sup>

템퍼링 마르텐사이트는 급냉한 상태의 마르텐사이트보다도 산(酸)에 부식되기 쉽다.

마르텐사이트계 스테인레스강은 오오스테나이트 영역으로 부터 퀴칭(Quenching)할 때 마르텐사이트 조직이 되기 위해 충분한 양의 C(0.1%~1.0%)와 함께 12~17%의 Cr을 함유한다. 이 합금들을 마르텐사이트라고 하는 이유는 오오스테나이트 처리와 퀴칭 열처리 후에 스테인레스강의 조직을 변화시켰기 때문이며 이 계의 합금은 페라이트계나 오스테나이트계에 비하여 내식성이 떨어진다.<sup>(5)</sup>

마르텐사이트계 스테인레스강의 강도와 인성을 증가시키기 위한 열처리는 탄소강과 저합금강의 경우와 같이 합금을 오스테나이트화 하고 마르텐사이트 조직이 되도록 급냉시킨 다음, 응력을 제거하고 인성을 증가시키기 위하여 템퍼링을 실시한다. 12~17% Cr 합금은 경화능이 우수하며 수냉할 필요가 없고 좀더 느린 속도로 마르텐사이트 조직을 얻을 수 있다.

또 마르텐사이트 스테인레스강은 화학 조성에 따라서 C-Cr 마르텐사이트계, 중 C-Cr 마르텐사이트계, 고 C-Cr 마르텐사이트계로 구별하며 각각의 조직 특성에 따라 사용 용도가 달라진다.

마르텐사이트의 제반 기계적 성질<sup>(6)</sup> 즉, 항복 강도, 인장 강도, 연신율, 단면 수축율 등은 열처리에 의해 조절이 가능하다. 템퍼링 온도에 따른 기계적 성질의 변화는 인장 강도의 경우 450℃ 정도에서 인장 강도가 급강하 하기 전에 약간의 증가 현상이 발생하는데 이것은 (Fe,Cr)<sub>23</sub>C<sub>6</sub>의 석출에 의한 2차 경화에 기인한 것이다. 충격치는 템퍼링 온도가 260℃ 부근에서 최고치를 나타내며 450~550℃에서 최소값을 나타낸다.

경도는 완전 경화(硬化)하였을 경우 탄소량에만 의존하며 탄소량이 증가함에 따라 경도는 급격히 높아지나 탄소의 함유량이 0.6% 이상에서는 경도가 그다지 변하지 않는다.

## 3. 실 험

### 3-1. 실험재 및 실험 장치

#### 1) 실험재 종류

실험재는 자동차 엔진 부품 중 밸브 소재로 쓰이는 STR 11 내열강 (Sample A)과 STS 420J2 내열강 (Sample B)등 2가지 소재를 비교 소재로 하였다.

#### 2) 실험재의 제조

실험재의 제조 공정은 다음 Fig 1과 같다.

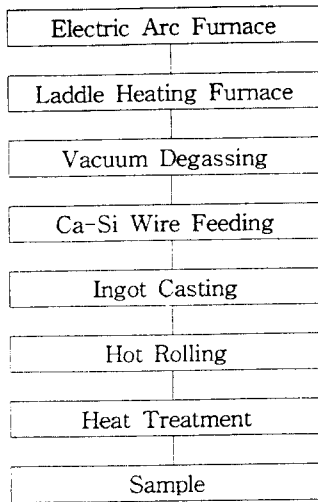


Fig 1 Manufacturing process of sample

### 3) 실험 장치

본 실험에서 사용된 실험 장치 및 기기에 대한 사양은 Table 1과 같다.

Table 1 The specifications of experimental apparatus

Spectrometer	- model : ARL(Swiss) ARL-3460 - 34 channels
Image analyzer	- model : LECO(U.S.A) LECO-300 - ×50~200
Component analyzer of inclusion	- model : JOEL(U.S.A) EPMA JXA 8600MX
Tensile tester	- model : SHIMADZU UH-100AUH-100A - maximum range : 100 ton, 6 range
Rockwell Hardness tester	- model : MATSUZAWA MXT- a 27 - B.C scale
Impact tester	- model : SHIMADZH CH-type - maximum range : 30 m kg,

### 3-2 금속학적 시험

비교 시험재의 내부 품질의 규명을 위한 금속학적 시험에서 화학 성분은 ARL-3460 분광 분석기를 이용하여 성분을 분석하였으며 이때 시험편은 직경이 14mm 이상인 환봉을 사용하였다.

현미경 조직은 시험편을 압연한 강재의 단면 방향으로 절단하여 채취하였고 1,200까지 연마 후 연마액(알루미나)를 사용하여 polishing을하고 3 % Nital 용액으로 적절히 부식 시킨 후 광학 현미경을 이용하여 400배율로 관찰하였다.

### 3-3 기계적 성질 실험

비교 시험재의 기계적 성질을 비교하기 위하여 인장 시험은 KS 4호 시험편을 준비하였고 100 ton 용량의 인장 시험기를 사용하여 3회 시험의 평균치를 인장 시험값으로 하였다.

또 인장 시험의 파단면의 단면 특성을 조사하기 위하여 EPMA를 이용하여 파단면을 관찰하였다.

경도시험은 로크웰 경도 시험기의 B scale을 사용하여 소재 단면의 표면에서 중심까지 5 point 시험의 평균치를 경도값으로 하였다.

충격 시험은 KS 4호 시험편을 준비하여 샤르피 충격 시험기를 사용하여 3회 충격 시험의 평균치를 충격값으로 하였다.

## 4. 결과 및 고찰

### 4-1. 금속학적 시험 결과

본 실험에서 사용한 비교 시험재의 화학 성분 분석 결과는 Table 2와 같다.

Table 2 Chemical composition of determined Samples

Sample	A	B
Component(%)		
C	0.481	0.331
Si	1.658	0.435
Mn	0.480	0.707
P	0.0087	0.0268
S	0.0162	0.012
Cu	0.032	0.038
Ni	0.047	0.291
Cr	8.587	12.414
Mo	0.012	0.010
Al	0.0079	0.0212

본 실험에서 압연한 소재의 단면에 대한 현미경 조직의 관찰 결과는 Photo 1과 같다.

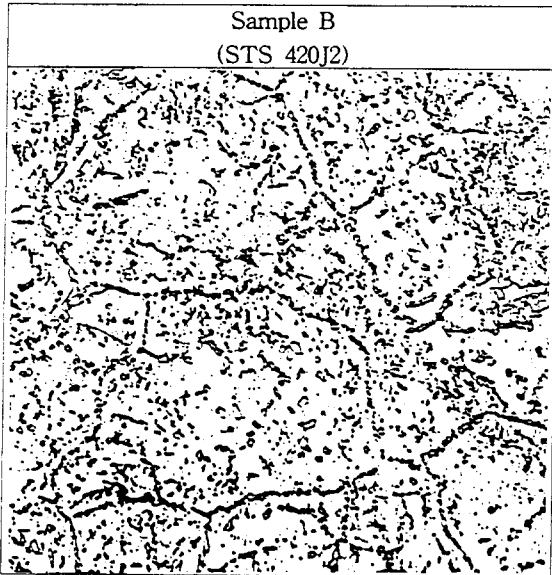
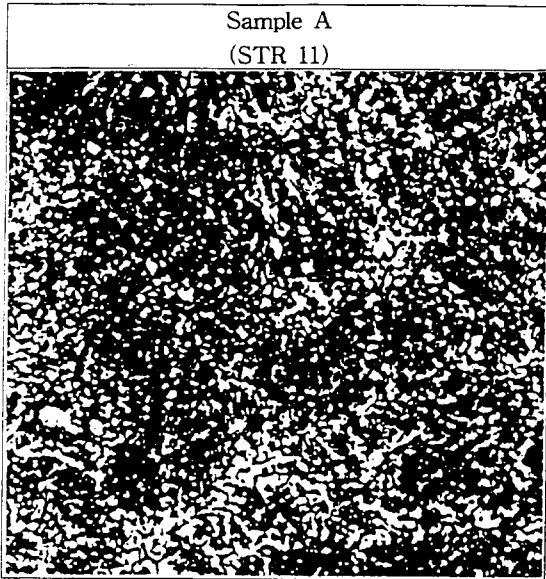


Photo 1 Optical microstructure of tested samples ( $\times 400$ )

조직 사진에서 보면 Sample A,B 공히 조직이 마르텐사이트(Martensite)이며 일부에 가는 침상(針狀) 또는 삼잎(麻葉)모양이 보여진다. 이 조직은 강재의 오스테

나이트 계역( $A_1$ 점 이상)에서 급냉하여 얻어지는 삼잎모양의 침상 조직으로 대단히 높은 경도를 특색으로 한다. 마르텐사이트는  $100\text{ }^\circ\text{C}$  정도의 Tempering에 의해 템퍼링 마르텐사이트가 되지만 거의 조직의 변화가 없는 것을 알 수 있다.

#### 4-2 기계적 성질 시험 결과

본 실험에서 사용한 비교 시험재인 각 Sample에 대한 인장시험 및 경도시험 결과를 요약하면 Table 3과 같다.

Table 3 Results of tensile test and hardness test

Item	Sample	
	A	B
Tensile strength(kgf/mm <sup>2</sup> )	90.6	78.4
Elongation (%)	18.1	29.2
Reduction of Area(%)	36.2	54.6
Impact(kgm/cm <sup>2</sup> )	2.63	3.95
Hardness (H <sub>R</sub> B)	267	222

본 기계적 성질 실험은 퀴칭, 템퍼링 상태에서의 기계적 성질을 나타내며 Sample A가 Sample B보다 인장 강도 및 단면 수축율과 경도가 높았으며 연신율과 충격치는 Sample B가 Sample A보다 높은 것으로 나타났다. Sample A가 Sample B보다 경도가 높은 것은 C의 함량의 다소에 따라 기인된 것으로 판단된다. 이상의 기계적 성질은 향후 제반 절삭 가공시 기초 자료로 활용될 것이다.

한편 인장 시험 후 파단면에 대한 파단 조직을 관찰한 결과 photo 2와 같으며 Sample A,B 공히 파단면이 연성 파괴 형태를 나타내었으며 파단 조직의 딩플(Dimple)의 형태 및 크기로 보아 Sample A가 인장 강도의 값이 높게 나타난 것을 알 수 있다.

## 참 고 문 헌

1. 狩野勝吉, “난삭재의 절삭 가공 기술”, (주)기술 정보, pp. 184-186, 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 제39권 제9호, 1987
4. 박희선, “新編 金屬 組織學 ” pp. 396-397, 1989
5. 起亞 特殊鋼, “스테인레스鋼 一般”, pp. 43-55, 1996
6. JIS HAND BOOK 1, “Steel for special purpose” Japane Standards Association pp. 678-719, 1996

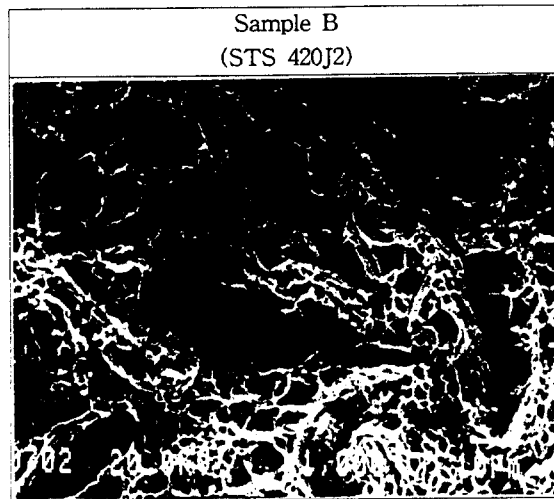
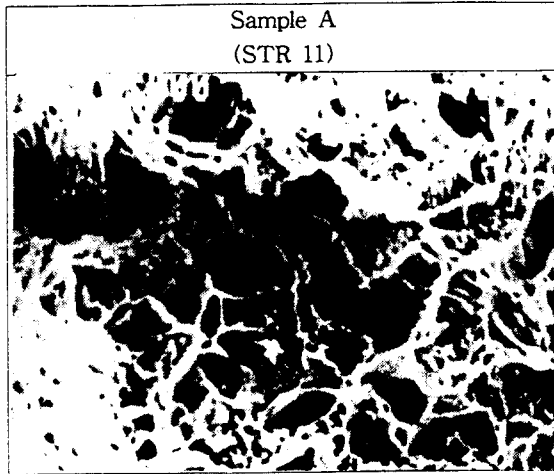


Photo 2 SEM micrographs specimen surface  
in tensile test

### 5. 결 론

현재 자동차 부품 중 내연 기관용 밸브 소재로 사용되어지고 있는 마르텐사이트계 내열강종 STR 11과 STS420J2의 시험재에 대한 금속학적 특성 및 기계적 성질을 시험한 결과 다음과 같은 결론을 내렸다.

1) STR11과 STS 420 J2 두 소재가 공히 대부분 조직이 마르텐사이트 조직으로 나타났으며 일부 에 가는 침상 조직이 나타났다.

2) 퀸칭,템퍼링 상태에서 인장 강도 및 단면 수축율과 경도는 STR11이 높았으며 연신율과 충격치는 STS420J2가 높았다.

3)인장 시험후 파단면의 파단 조직은 연성 파괴 형태를 나타내었다.