

# 스테인레스강의 레이저 절단특성평가

Evaluation of LASER Cutting Quality of Stainless Sheets

산업과학기술연구소    장 인화  
                                  이 창희  
                                  장 래용  
한양 대학교            임 기원

## 1. 서론

CO<sub>2</sub> LASER에 의한 절단은 그 품질이 우수하며 가공속도가 빠를 뿐 아니라, NC와 CAD/CAM의 조합에 의한 자동화가 쉬운 장점으로 인하여 다품종 소량생산 분야에 있어 그 경제성이 점차로 증대하고 있다. 또한 LASER 절단은 고밀도로 집속된 LASER에 의한 피가공체의 급속가열을 기본 원리로 하는 비접촉식의 절단으로서 초소성/초경성 재료의 절단에 매우 유리하며, 현재 ceramics, plastics, 고무, 목재, 가죽, 옷감 등의 비급속 절단에 까지 널리 사용되고 있다. 한편 이러한 LASER 절단은 과거에 산소 절단이나 plasma 절단에 주로 의존하던 급속재료의 절단에 있어서도 절단품질의 우수성과 스테인레스강 등 절단이 까다로운 재료에의 적용성때문에 점차로 그 사용이 늘어가고 있는 실정이다.

본 연구는 이러한 LASER 절단의 스테인레스강에의 적용연구로서, 3mm 두께의 오스테나이트계, 마르텐사이트계, 페라이트계 스테인레스 강판의 레이저 산소절단과 용융절단에 있어 각 LASER 절단 공정변수가 절단 품질에 미치는 영향을 실험을 통해 분석해 보았다.

## 2. 실험방법

LASER 절단 품질이라 함은 절단면의 거칠기, 절단면의 각도, dress 부착 정도와 함께 절단폭과 절단면에 의한 liquid film 및 재질저하 그리고 절단표면의 산화막 형성등을 총괄하여 말하며, 이러한 절단품질의 각 요소는 피가공물의 종류, 두께뿐 아니라 절단과정중의 각종 조건들과 밀접한 관계를 가지고 있다.

본 연구에서는 1KW CO<sub>2</sub> LASER 절단기를 이용 3mm 두께의 STS 304, 316, 321, 410, 430에 대하여 절단속도, 보조가스량, pulse frequency와 duty 등을 Table 1 에서 보는 바와 같이 변화시켜가며 LASER 산소절단과 용융절단을 수행하였으며 육안검사 및 조도측정기, 광학현미경, image analyzer, SEM 등을 이용하여 절단품질을 검사하였다. 품질검사 항목으로는 절단형상, 절단폭, 절단면 조도 등을 사용하였으며 열영향층을 광학현미경 및 SEM으로 조사, 열영향부에 있어서의 조직, liquid film의 두께, oxide film 분포, 그리고 dross의 특성분석 등을 수행하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

절단면형상 스테인레스강의 절단면형상은 일반적으로 탄소강에 비교하여 열동하다. 그 가장 큰 원인은 스테인레스강에 다량 함유되어 있는 Cr으로 생각되어 지는데, Cr이 LASER 절단작업중 보조가스로 분사되는 산소 또는 일반 공기중에 포함되어 있는 산소와 결합하여 Cr 산화물을 형성하며, 이 Cr 산화물은 용점이 매우 높고 점도가 높기 때문에 제거가 잘 안되고 절단면에 부착되어지기 때문이다.

Fig.1은 LASER 산소절단과 LASER 용융절단에서 일반적으로 보여지는 절단면의 예를 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 LASER 산소절단의 경우에는 절단면이 거의 수직을 이루는 훌륭한 절단이 이루어지고 있으나 절단면 하부에 dross가 형성되고 절단면 표면에 산화피막이 형성되어지는 결점을 가지고 있다. 한편 LASER 용융절단에서는 절단속도가 산소 절단에 비해 상대적으로 느리기 때문에 절단면 하부가 직각을 이루지 못하는 경우가 많이 보이고 있으나 절단면 표면에 산화 피막이 거의 보이지 않으며 dross도 산소절단에 비해 월등히 적은 양상을 보이고 있다.

절단폭 스테인레스강의 LASER 절단폭은 일반 탄소강과 거의 비슷한 수준으로 0.3-0.5mm 정도이다. 일반적으로 LASER 용융절단의 절단폭이 산소절단의 절단폭보다 약간 큰 경향을 보이고 있는데 이는 절단속도의 차이에 기인하는 것으로 생각되어진다.

절단면조도 스테인레스강의 LASER 절단면 조도는 양호한 절단이 이루어진 경우에도 평균조도가 산소절단의 경우 3-6 $\mu$ m 토서, 탄소강의 1-4 $\mu$ m 보다 열동하며,

LASER용용절단의 경우에는 평균조도가 6-12 $\mu$ m로서 산소절단에 비해 2배 정도 증가하고 있다.

**열영향층** 스테인레스강의 LASER 절단 열영향층은 절단방법(산소절단, 용용절단)의 차이와 피절단재(오스테나이트계, 마르텐사이트계, 페라이트계)의 재질 차이에 따라 그 특성을 조금씩 달리하고 있다. 전형적인 LASER 절단면의 열영향은 절단 표면 근처의 liquid film 형성과, liquid film내의 oxide particle의 존재, 열영향부의 조직변화 그리고 절단면 하부의 dross 부착등이 있다.

Fig.2는 실험에 사용된 3가지 강종의 liquid film의 두께를 image analyzer를 이용하여 측정된 것이다. 3강종 모두 절단하부로 오면서 liquid film의 두께가 점차로 증가하고 있는데 이러한 경향은 오스테나이트계인 STS 304에서 더욱 뚜렷이 나타나고 있으며 film의 두께 자체도 더 넓은 것을 알 수 있는데 이는 Ni이 주원인으로 생각되어진다. 또한 이러한 liquid film내의 조직은 오스테나이트계의 STS 304의 경우 용고속도가 낮은 부분에서  $\delta$ -페라이트가 혼합된 형상을 보이고 있다. 한편 마르텐사이트와 페라이트계에 있어서는 열영향부에서 grain의 size가 크게 증가하는 경향을 나타내고 있다.

Fig.3은 LASER 산소절단에 의한 STS 410 시편의 dross SEM/EDAX 분석 결과로서 dross의 내부와 외부가 다른 형상의 조직을 가지고 있는 것을 보여주고 있다. 일반적으로 오스테나이트계의 경우에는 dross와 oxide film에 있어서 Cr이 Fe 보다 많은 type A가 보여지고 있으며 STS 410과 430에 있어서는 type A와 type B가 같이 보여지고 있다.

LASER 용용절단의 경우에는 STS 304의 경우, dross에서는 type A가 oxide film에서는 type B가 많이 나타나고 있으며, STS 410과 STS 430의 oxide film에서는 type B와 type A가 각각 많이 나타나고 있다.

참고 문헌

1. S.E. Nielsen. "Laser cutting with high pressure cutting gases and mixed gases" Proc. of 3rd International Conference on Lasers, June.1986, Paris
2. M.Querry, S.F. Yuan, and C. Bedrin, "Characterisation of surfaces morphology in laser cutting", Proc. of 3rd International Conference on Lasers, June 1986, Paris
3. Arata, Y., Maruo, H., Miyamoto, I., and Takeuchi, S., "Dynamic behavior in Laser cutting of mild steel", Trans. JWRI Vol.8, No.2, pp15-26, 1979
4. 박세진, 김도훈, 최종술, "CO2 레이저에 의한 스테인레스강의 절단면 품질개선 연구", 춘계학술발표대회, 대한금속학회, 1989

Table 1 스테인레스강 절단 공정변수영역

	레이저 산소절단	레이저 용융절단
절단속도 (mm/min)	360 - 840	60 - 140
절단가스유량 (l/min)	75 - 175	140 - 160
Frequency (Hz)	100 - 500	-
Duty (%)	-	50 - 70

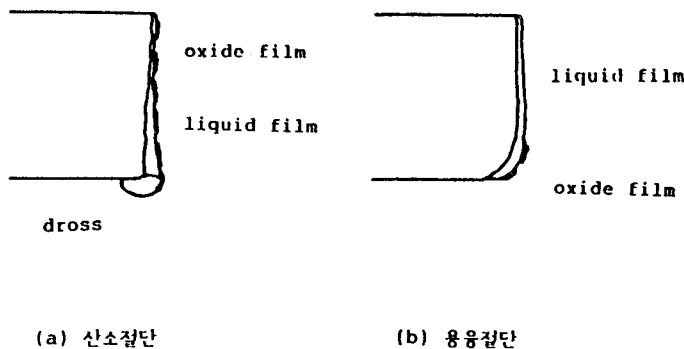


Fig.1 절단법에 따른 절단형상

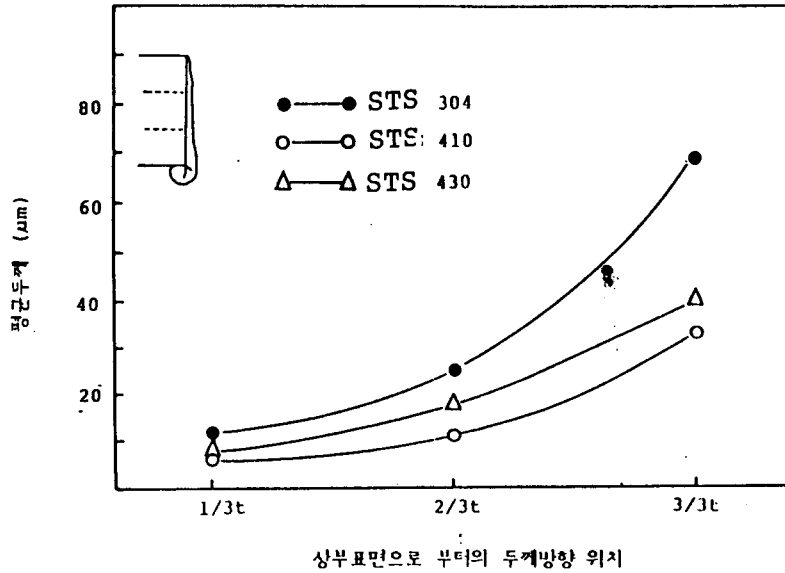


Fig.2 강종별 두께 '방향'의 liquid film 두께

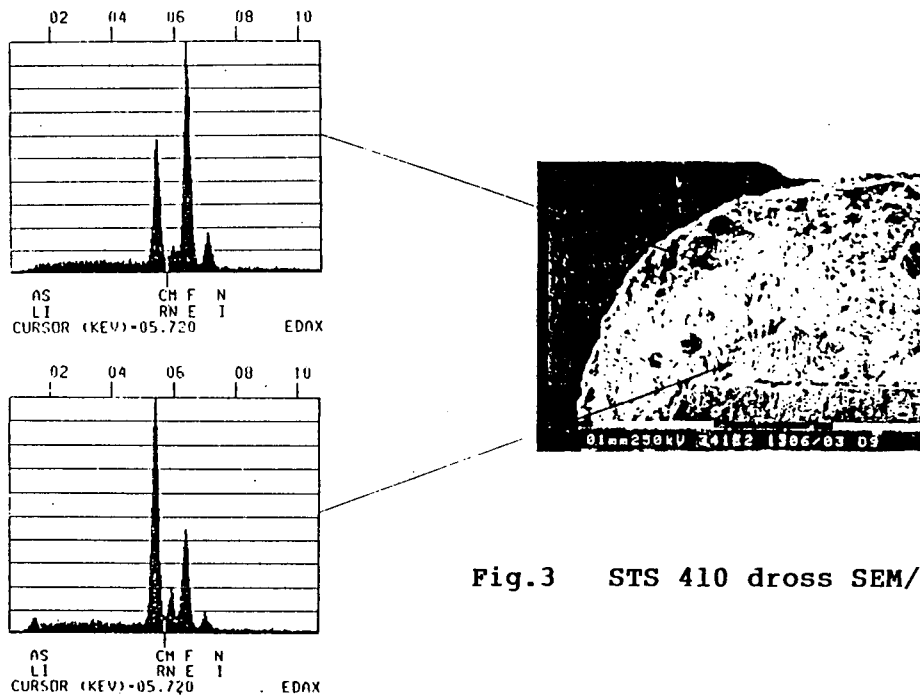


Fig.3 STS 410 cross SEM/EDAX