

스테인레스강의 레이저 절단시 문제점과 해결방안

The Problem involved in cutting stainless steels by laser and its solution

해사기술연구소 용접공정실 한유희

1. 서론

Flame Cutting 시 다음의 조건을 만족해야 한다 :

- 산소 jet 에 의해 연속적인 연소가 일어나야 한다.
- 절단부에서 발생하는 산화물의 용융점이 모재의 용융점보다 낮아야 한다.
- 발화온도 (Ignition Temperature)가 모재의 용융점보다 낮아야 한다.

이러한 조건들은 연강 또는 저합금강에서 만족된다. 그러나 Chrom 또는 Nickel 이 함유된 고합금강에서는 절단시 발생하는 산화물의 용융점이 모재보다 높은 관계로 Flame Cutting 조건이 만족되지 않는다. Chrom 또는 Nickel 의 산화물이 포함된 Slag 은 점도가 높고 따라서 절단부에서 잘 제거되지 않는 경향이 있다.

2. 고합금강의 레이저 절단시의 문제점

고합금강의 절단면은 드로스 부착 또는 침식등의 불량을 보일때가 많다 (Fig.1 a, b). 또한 절단속도면에서 동일 두께의 연강의 경우보다 느리다. 이와같은 절단성의 저하 원인은 합금원소가 절단 Process 에 영향을 주기 때문으로 판명된다. 절단 Process 는 크게 3단계로 분리된다 :

- 레이저빔 흡수
- 연소
- Slag 제거 (산소 Jet 에 의해)

3. 레이저 빔 흡수

여러원소가 함유된 합금의 경우 격자의 주기가 엄격히 일정하지 않고, 이는 적외선 영역의 레이저 빔의 흡수율을 높이는 결과를 낳는다 [1]. Table 1 은 10.6 μ m 파장의 빛에 대한 몇가지 금속의 흡수율 및 기타 Thermophysical Property 를 나타낸 것이다. 표에서 보듯이 탄소의 양이 증가할수록 흡수율은 증가하고 반대로 열전도율은 감소

하는 경향이 있다. 이러한 현상은 레이저 절단시 단지 Energy Balance 상 합금쪽이 유리할 것이라는 추측이 든다.

Table 1 : Thermophysical and optical properties [2]

재 료 / Property	C_p (J/g.k)	λ (J/cm.s.k)	μ (%)
Fe (0%)	0.440	0.670	4.8
Fe (0.5% C)	0.440	0.628	6.7
Fe (1% C)	0.444	0.502	8.4
SUS 304	0.498	0.138	12.0

4. 연소 및 Slag 제거

레이저 연소절단 (Oxygen Assisted Laser Beam Cutting)시 선별연소 (Selective Oxidation / Combustion) 가 일어난다 [3]. 용융되었던 부위와 Slag 에서 금속원소의 조성은 모재의 그것과 다르게 나타난다.

예를들어 스테인레스강 X 5CrNi 18 9 (C 0.05, Cr 18, Ni 9%, Rest Fe) 절단부의 용융부를 보면 Nickel 은 증가하고 Chrom 은 감소됐음을 볼 수 있다 (Fig.2, Fig.3). 따라서 Slag 층에는 Nickel 이 적고 Chrom 이 많다. 이러한 현상은 절단면에 가까울수록 심화된다. 이와 같은 선별연소에 의한 일정 합금원소의 감소 현상은 내식성의 감소를 초래할 우려가 있다.

선별연소 현상은 절단 process 에 중대한 영향을 미친다고 본다. 스테인레스강에서 Chrom 이 선별적으로 연소 함으로써 Slag 의 Chrom 함유량 (산화물의 형태로) 은 높게되고 따라서 점도가 상승되어 Slag 이 잘 제거되지 않는다. Slag 이 제거되지 않으면 연소 반응은 느러지고 결국 절단속도가 저하된다. 이때 산소 Jet 에 의해 Slag 이 제거되지 않으면 Slag 에 접한 모재용융부 (Slag 의 용융온도보다 낮다)가 침식되어 절단면이 불량하게 된다. Fig.4 는 이와같은 현상을 증명하는 것으로 Slag 내부에 밝은색의 금속 입자들이 Slag 의 유동 방향으로 나타나 있다. 이러한 금속균은 절단면 하부에서 모재가 침식되어 괴리된 것으로 설명된다.

5. 절단성 향상 방안

선별연소 현상은 금속원소의 산소친화력의 차이로 인한 확산속도의 차이로 나타나므로 이에 대한 대책을 강구하면 된다. 즉 주어진 금속을 절단할 때 확산에 영향을 주는 시간과 온도를 잘 조절하면 될 것이다. 온도가 높을수록 선별연소 현상은 감소되고 시간이 짧을수록 확산량은 감소되므로 레이저 빔을 Pulse 형태로 한다. 매 Pulse마다 일정범위를 가열하여 연소시키고, 연소물인 Slag 을 제거하게 되면 Slag 에서 모재에 이르는 온도구배가 급격하게 되고 반응시간이 짧아져 선별 확산이 감소된다. 연속파 (Continuous Wave) 의 경우 Slag 이 제거되지 않은 상태에서 계속 Beam Energy 를 주게 되면 용융부위가 확장되어 Chrom 의 확산량이 증대되고 Slag 의 점도가 높아지고 결국 용융부 침식이 일어나 절단면이 균일하지 못한 결과를 낳는다. Pulse 를 사용하여 스테인레스강을 효과적으로 절단할 수 있음이 Fig.5 의 결과를 나타냈다.

Pulse 에서도 침투출력이 평균출력의 3-4 배 높은 Super Pulse 를 사용하면 절단속도가 증가하고, 절단면 품질이 향상된다. 이는 Fig.6 에 나타난 절단부에서서 합금원소의 분포를 측정된 결과 (Fig.7) 를 볼 때 선별연소의 감소현상이 절단성 향상의 원인임을 알 수 있다.

6. 결 론

고합금강은 Pulse 를 사용하면 절단성이 향상된다. Super Pulse 를 사용하면 더욱 효과적이고 경제성 또한 제고된다. 이는 선별연소 현상을 억제시킴으로써 Slag 의 유동성을 좋게하여 Slag 이 쉽게 제거되기 때문이다.

7. 참고문헌

- [1] Pepperhoff, A : Das optische Verhalten von Metalloberflächen.
Handbuch der Mikroskopie in der Technik, Umschau
Verlag Frankfurt 1969
- [2] Mincta, S. et al. : Measurement of thermophysical properties and absorptivity by cw-CO₂ laser heating.
Bull. Japan Soc. of Prec. Eng. 17 (1983) H3
- [3] Han, Y.-H. Decker, I. : Laser cutting of selected steels ; micro structural changes and their effect on the mechanical properties. : European Conference on Laser Treatment of Materials 25-26 Sept. 1986, Bad Nauheim (FRG).

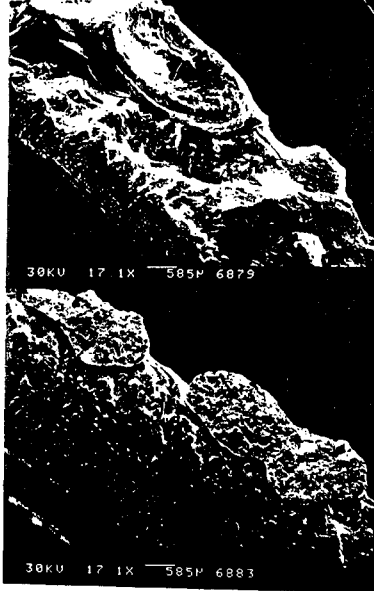


Fig.1 : Selected example of cut edge (X5CrNi189)
 a) Thickness ; 3mm, dross on the bottom edge of the cut
 b) Thickness ; 3mm, erosion from the middle edge to the bottom edge of the cut

Fig.2 : Microstructure below the cut surface (X5CrNi189)
 a) Section of the Cut edge
 b) Melted zone / base metal
 c) SEM photograph of the melted zone

Fig.3 : Element distribution in the cut edge (X5CrNi189)

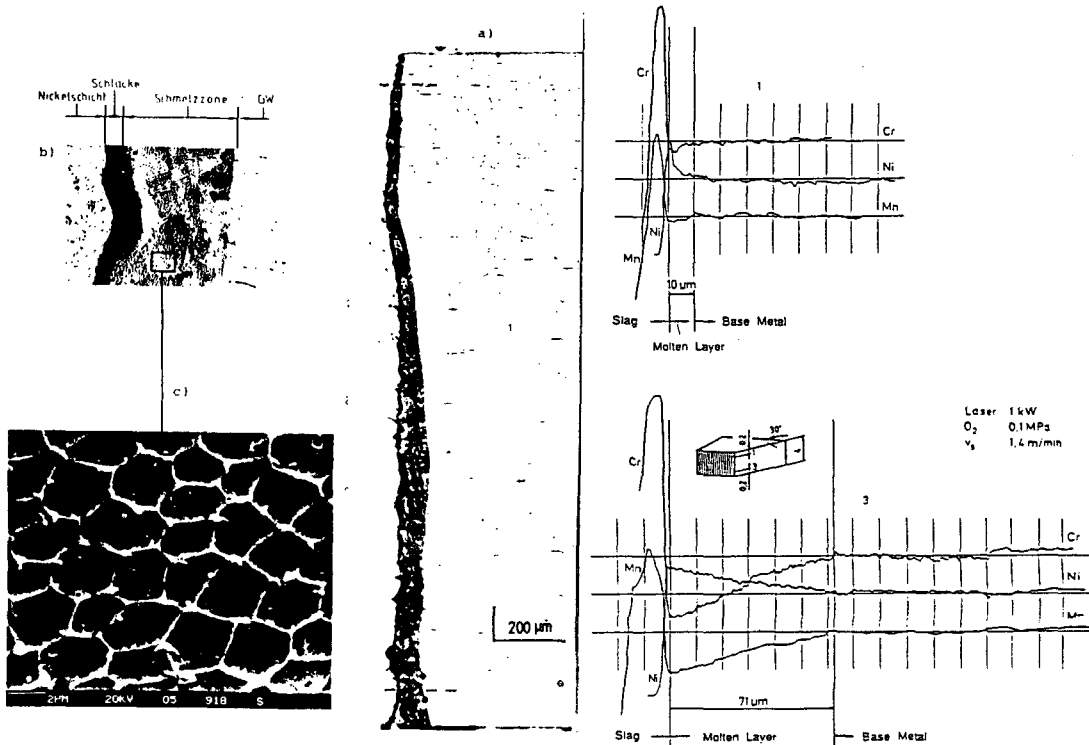




Fig.4 : Optical micrograph of the bottom edge of the cut (X8Cr17)



Fig.6 : Optical micrographs of the cut edge
 a = middle edge, b = bottom edge, super pulse $V_s = 1\text{m/min}$
 c = middle edge, d = bottom edge, normal pulse $V_s = 0.3\text{m/min}$

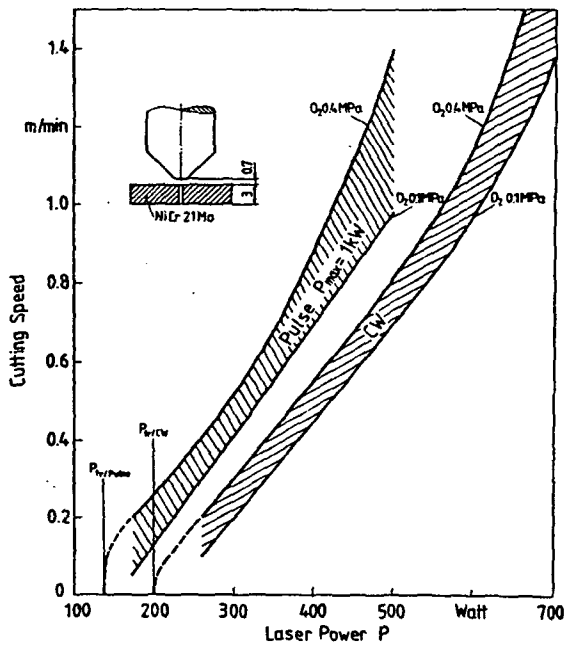


Fig.5 : Maximum cutting speed by cw or pulsed power modulation

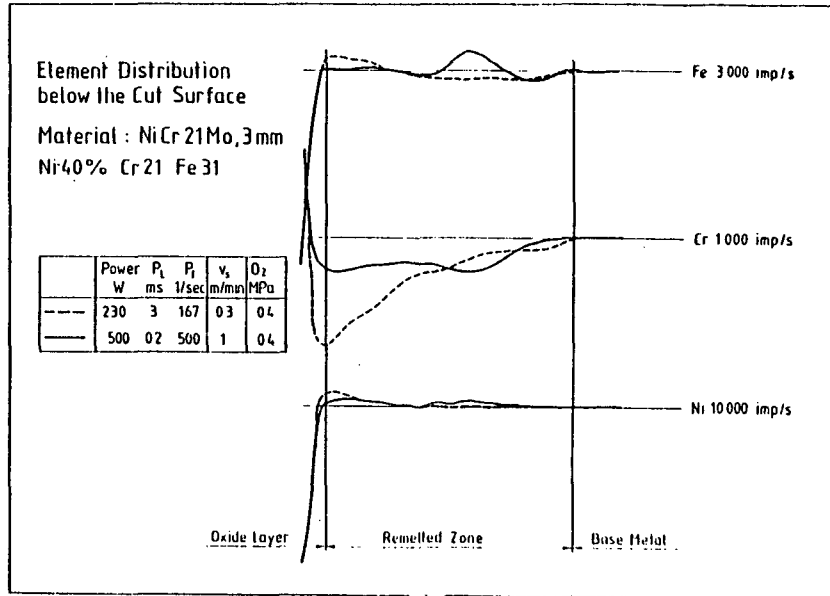


Fig.7 Element distribution, P_L : pulse width, P_f : pulse frequency