

열분석 해석에 의한 Nd:YAG 레이저 절단면 Striation 형성에 관한 연구

Investigation of Striation Formation in Thin Stainless Steel Tube during Pulsed Nd:YAG Laser Cutting Process by Numerical Simulation

연세대학교 재료공학부* 김병철, 김도훈

I. 서론

레이저 절단은 각종 산업공정에서 점차적으로 적용이 증대하고 있으며, 레이저 절단시 절단 품질이 중요한 요소로 대두되었다. 절단면의 품질은 절단시 형성되는 Striation에 많은 영향을 받는다. 절단면에 생성되는 Striation은 용융부 불안정(hydrodynamic instability)에 기인하며, 이는 레이저빔 흡수율, 산소의 확산에 따른 산화열의 작용 등이 관계되어 있다. 펄스 형태의 레이저의 경우 연속과 Striation 생성 기구와 함께 주사속도, 주파수, 펄스폭, 레이저 출력 등 레이저 각종 변수가 복잡한 상관 관계에 있다. 본 연구는 절단면의 품질을 개선시키기 위하여 FDM 열분포 해석과 실험을 통하여 Striation 형성에 관한 레이저 주사 조건의 영향을 분석하였다.

II. 해석 및 실험방법

FDM해석은 3차원 transient heat transfer를 적용하였으며, 개량 차분법을 도입하였다. 해석에 적용하기 위하여 레이저빔 흡수율, 열전도도, 및 열용량은 온도에 의존하며, 재료의 밀도는 일정하고, 복사 에너지는 무시하였다. 산화열은 2000K에서 30%가 산화된다고 가정하였으며, 용융/응고 과정을 온도 회복법을 이용하여 고려하여 주었다. 온도 초기치는 상온, 경계치는 대류 열전달을 고려하였다.

실험은 50W Nd:YAG를 사용하여 $\phi 1.8\text{mm}$, $t 0.125\text{mm}$, 스테인레스 316L 스틸 봉에 주사한 후 절단면을 SEM으로 관찰하였다. 절단에 사용된 노즐의 구경은 1mm이며 취입가스 압력은 4기압이었다.

III. 결과 및 고찰

레이저 절단시 산화열 및 melt ejection 효과를 고려하지 않을 경우 절단이 이루어지지 않았으며, 해석 및 실험을 통하여 melt ejection에 의한 레이저빔의 침투를 확인 할 수 있었다. 절단시 생성되는 Striation은 주사속도, 주파수, 펄스폭, 레이저 출력 등 레이저 각종 변수의 조합에 의하여 결정된다. 각 변수의 조건이 달라짐에 따라 주사되는 에너지 밀도 및 레이저빔의 조합이 달라지며, 에너지 밀도는 특히 레이저빔의 흡수율의 변화를 야기한다. 펄스 레이저 경우 짧은 가열시간과 비교적 긴 냉각속도를 가지므로 가열시의 에너지의 밀도에 따른 레이저빔 흡수율이 Striation 및 절단에 큰 영향을 미친다.

레이저 각종 변수에 대한 영향을 보면, 레이저 각종 변수 조합에 의하여 절단중 온도가 높은 구역인 Hot Spot를 생성하며, 이는 주사속도가 낮고 펄스폭이 적은 경우 많이 생성된다. 비교적 빠른 주사속도와 에너지 밀도가 높은 경우 뚜렷한 Striation을 관찰할 수 있었으며, 에너지 밀도가 높은 경우에도 주사속도가 크고 펄스폭이 적은 경우와 주파수가 낮은 경우에는 절단이 이루어지지 않았다.

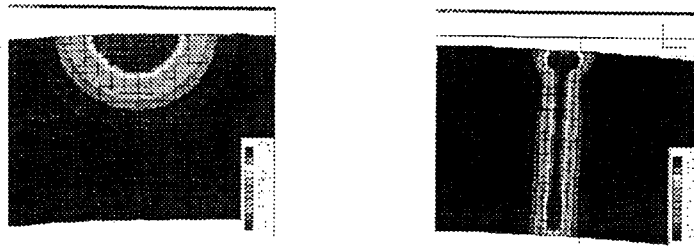
IV. 결론

연구 결과를 통하여 해석 및 실험 결과가 같은 경향을 나타내었으며, 연속파(CW)와는 달리 에너

지 밀도에 따른 산화열의 변화가 Striation 형성의 주요 원인을 알 수 있었으며, 에너지 집적도는 레이저 주사조건에 따라 변함을 알 수 있었다. 레이저 변수 중 주사속도, 펄스폭, 파워, 주파수에 따른 Striation 형성에 관한 영향을 조사하였으며 에너지 집적도가 클수록 작은 절단폭(kerf width)을 가지며 뚜렷한 Striation을 형성함을 알 수 있었다. 에너지 집적도가 큰 경우에도 절단이 이루어지지 않는 경우를 분석하였으며 각 주사조건에 따른 절단폭의 변화를 고찰하였다.

V. 참고문헌

1. J. D. Chung, J. S. Lee, K. H. Whang and T. H. Kim, *J. of Materials Processing and Manufacturing Science*, 1996, Vol. 5, no. 1, pp.3-15
2. Bunting, K.A. and G. Cornfield, *J. Heat Transfer*, 1975, Vol. 97, pp.116-122
3. W. Duley, W. W., *CO₂ Laser*, Academic Press (New York), 1976, pp.248-263
4. Y. Arata, H. Maruo, I. Miyamoto and S. Takeuchi, *Trans. JWRI*, 1979, Vol 8, No.2, pp15-26
5. A. Ivarson, J. Powell, J. Kamalu, C. Magnusson, *J. of Materials Processing Technology*, 1994, Vol. 40, pp359-374
6. John Powell, *CO₂ Laser Cutting*, Springer-Verlag (New York), 1998, pp214-215.
7. J. Mazumder and W. M. Steen, *J. Appl. Phys.*, 1980, Vol. 51, No.2, pp.941-947
8. T. H. Kim, K. C. Chong, B. Y. Yoo, J. S. Lee, and K. H. Whang, *J. of Material Science*, 1995, Vol. 30, No. 3, pp.784-792
9. C.P. Hong and W. H. Baek, *J. of the Korean Inst. of Metals*, 1998, Vol.26, No.8, pp.810-821
10. Y. Bayazitoglu and M. N. Ozisik, *Elements of Heat Transfer*, McGraw-Hill (New York), 1988, pp.209-214



(a)

(b)

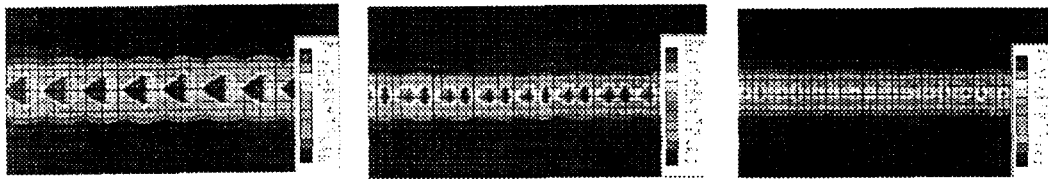
Fig. 1. Simulated temperature distributions in cross section of tube. Each mesh size was 5m.

(a) When a melt ejection effect was not considered.

(2.7W, 600hz, 0.12msec, 300mm/min)

(b) When a melt ejection was considered above 2000K.

(2.7W, 600hz, 0.12msec, 300mm/min)



(a)

(b)

(c)

Fig. 2. Simulated temperature distributions in stainless steel tube when a pulsed Nd:YAG laser power was 3.9W, pulse duration was 0.12msec, frequency was 600Hz and scanning speed was 300mm/sec. Each mesh size was 5m. (a) surface, (b) center of thickness, (c) bottom

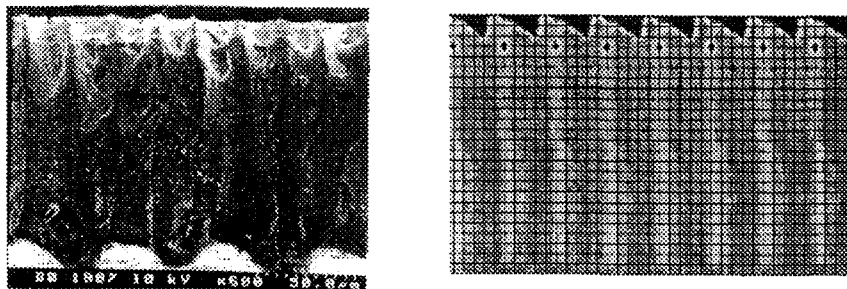


Fig. 3. Striation patterns on cut walls obtained by laser irradiation and simulation (800mm/min, 2.7W, 600Hz, 0.12msec)