



레이저에 의한 자동차 부품의 열처리 기술

Laser Heat Treatment for Automobile Parts

정 대 현 / 현대자동차 과장
DaeHyeon Joung / Hyundai Motor Company

1. 서론

자동차산업에 레이저 응용기술이 도입 되기 시작한 것은 그리 오랜 역사를 가지고 있지 않다. 그러나 레이저에 의한 생산 효율 및 광범위한 응용 범위로 인해 단 시간에 자동차 생산기술의 여러 분야에서 응용되고 있으며, 그 수요는 급속한 속도로 증가 하고 있다.

레이저를 응용한 자동차 생산기술은 차체용접을 비롯하여 여러가지 분야가 있으나, 본고에서는 레이저를 응용한 자동차 부품 및 금형의 열처리 기술에 대하여 소개하고자 한다.

일반적으로 산업계에서 널리 사용되고 있는 레이저는 CO₂, Nd:YAG레이저 등이 있으며, 최근에 Diode 광을 이용한 Diode 레이저가 개발, 상용화되어 그 응용분야를 넓혀가고 있다. 이들 레이저는 자동차 산업에서 용접뿐만 아니라, 표면 처리 분야(열처리, 클래딩 등)에서도 널리 사용되어 지고 있다. 레이저를 이용하여 자동차 부품을 열처리하기 위한 방법, 레이저의 특성 및 사례에 대하여 간략히 기술하고자 한다.

2. 레이저 열처리

2.1 레이저 열처리란

전통적인 열처리 방식에서는 제품의 일부분을 열처리하고자 할 경우, 가열하는 범위가 필요한 부분에 비해 넓은 면적을 가열함으로써 제품의 열변형 및 불필요한 부위의 경도 상승 등과 같은 결과를 얻게 되며, 대량 생산을 위해 대규모의 설비와 많은 작업 시간이 소요된다. 그러나, 레이저를 이용한 열처리는 전통적인 열처리 방법과 달리 다음과 같은 장점을 가지고 있다.

1) 별도의 냉각 장치가 불필요하다.

가열부 체적이 전체 체적에 비해 미소하기 때문에 미소 체적에 대한 순간 가열시 발생하는 비 가열부와 의 온도 차에 의한 빠른 열전도 속도로 인한 자연 냉각 효과로 충분한 냉각 효과를 얻을 수 있다.

2) 다양한 제품 형상에 대한 열처리 가공이 용이하다.
로봇이나 수치 제어 시스템과 같은 장치에 부착하여

작업이 용이하기 때문에 복잡한 형상의 제품에 대해서도 작업이 용이하다.

3) 열변형을 최소화 할 수 있다.

작은 레이저 스폿에 의해 필요한 부위만 국부적으로 가열할 수 있어 열변형을 최소화 할 수 있다.

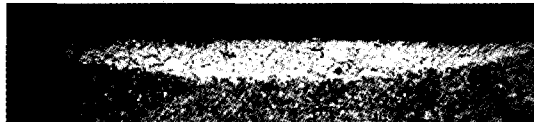
4) 대량 생산이 가능하다.

짧은 시간에 최소의 부위에 최대의 에너지를 집중시켜 작업하므로, 후 공정 작업시 온도에 의한 작업 지연 시간이 없다.

5) 열처리 깊이 제어가 용이하다.

레이저의 출력 또는 조사속도 등을 조정함으로써 열처리 온도, 가열 시간 조절이 용이하다.

그러나 레이저관 인체에 치명적인 위험을 줄 수 있어 완벽한 안전 설비를 갖추어야 하며, 초기 투자비와 운영비가 전통적인 방식에 비해 많이 소요된다는 단점이 있으나, 이는 제품의 품질과 생산성에 의해 충분히 보상될 수 있다.

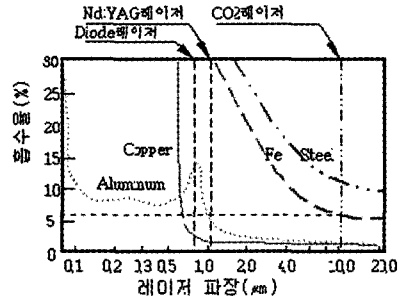


〈사진 1〉 레이저 열처리된 금속 단면

2.2 레이저 종류의 선정

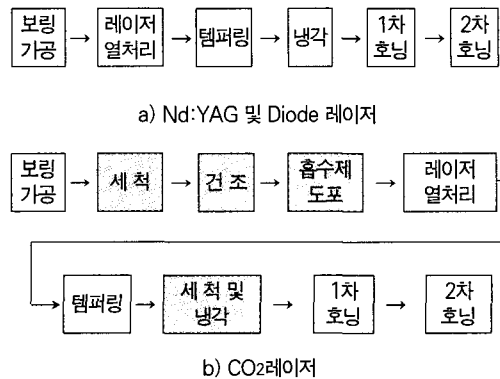
모든 레이저가공은 가공물의 표면에 조사되는 레이저 에너지의 흡수량에 따라 가공 결과가 달라질 수 있다. 레이저 에너지 흡수율은 레이저 파장(레이저 종류)과 가공 재료의 종류, 표면 거칠기, 가공물의 표면 온도 등에 의해서 달라지며, 〈그림 1〉은 레이저 종류에 따른 금속 재료의 에너지 흡수율을 나타낸 것이다.

그림에서 보는 바와 같이 일반 Steel(鋼)이나 Fe(鐵)에 대하여 흡수율이 가장 높은 레이저는 Diode 레이저로서 기존의 Nd:YAG 레이저나 CO₂ 레이저에 비해 동일한 출력으로 깊은 열처리 깊이를 얻을 수 있어 레이저 열처리분야에서 사용 분야가 증가하고 있는



〈그림 1〉 레이저종류에 따른 재질별 흡수율 (자료 제공:TRUMPF Korea Co.,Ltd.)

추세이나 고출력 제품은 발진장치와 Optic 일체형으로서 부피가 커 로봇 등으로 핸들링하기에는 약간의 제약성이 있다. 그리고 현재 산업용으로 가장 널리 쓰이고 있는 Nd:YAG 레이저는 Diode 레이저에 비해 흡수율이 떨어지나 상용화된 고출력 제품이 많으며, 광 Fiber를 사용하여 발진장치와는 분리된 Optic을 사용하므로 레이저 Optic을 움직이는 로봇 또는 기계 장치의 운동이 자유롭기 때문에 가장 널리 사용되고 있다. 그러나 CO₂ 레이저는 상용화된 레이저 중 가장 흡수율이 낮으나 Nd:YAG 및 Diode 레이저 등의 고출력 제품이 상용화 되기 전에는 열처리용으로 사용된 예는 있으나 CO₂ 레이저를 이용하여 열처리할 경우 <



〈그림 2〉 열처리 공정 비교



자동차생산기술

그림 2)에서 보는 바와 같이 흡수율을 높이기 위한 흡수제도포작업이 필요하게 되며 그에 따른 공정 수의 증가 및 열처리 품질이 흡수제의 도포 품질에 영향을 받게 되므로 생산성 저하를 가져올 수 있어 현재는 거의 사용하지 않는다. <그림 2>는 동일한 부품을 레이저 열처리 시 CO₂ 레이저를 사용한 공정과 Nd:YAG 레이저를 사용한 공정을 비교한 예로서, CO₂레이저에 의한 방법이 많은 공정 수가 필요함을 알 수 있다.

2.3 레이저 열처리에 영향을 주는 요소

레이저 열처리 결과에 영향을 주는 요소는 여러가지가 있을 수 있으나, 레이저 열처리 시 반드시 고려되어야 할 요소들은 다음과 같다.

1) 레이저 빔 에너지 분포

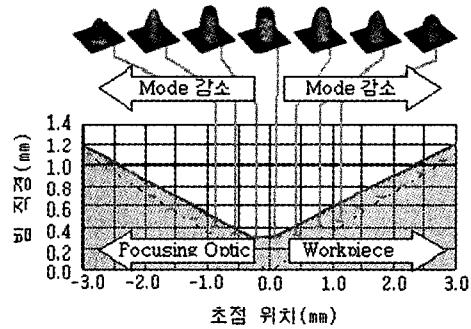
열처리부 전체의 균일한 깊이와 경도를 얻고, 표면 용융 방지하기 위하여 열처리부 전면에 균일한 에너지 분포를 가지는 가열원이 필요하다. 그러나 상용화되어 있는 Nd:YAG 또는 CO₂ 레이저용 Optic은 대부분 용접용 및 절단용으로 제작되어 스폿 크기가 작고, 원형의 형상으로 되어 있다. 따라서 이외의 응용 분야에 사용할 경우, 사용자가 용도에 맞게 개발하여 사용하거나, 표준형 Optic을 사용하여 레이저 초점 위치를 변화시켜 필요한 스폿 크기를 얻어야 한다.

그러나, Nd:YAG레이저의 경우 초점 위치를 변화시키므로써, 에너지 분포가 <그림 3>과 같은 형태로 변하여 에너지 분포가 불균일해지므로 주의하여야 한다. 따라서, 적용 부위 및 열처리 사양에 따라 최적의 에너지 분포를 낼 수 있는 전용 Optic을 사용하는 것이 좋다.

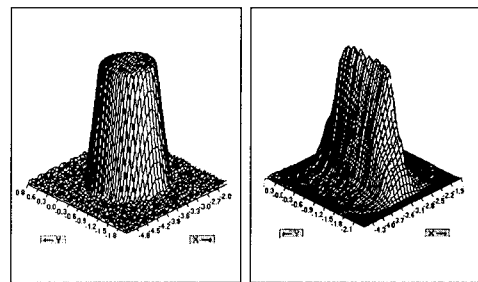
CO₂레이저는 대부분 빔 중앙의 에너지 강도가 가장 큰 에너지 분포를 가지므로, 용접 및 절단에는 유리하나 열처리에는 불리하다. 따라서, 별도의 다면체 반사경(Kaleidoscope) 등을 사용하여 열처리 면적 및 에너지 분포를 얻어야 한다.

그러나 Diode레이저의 경우 상용화된 제품은 고른

에너지 분포를 가지며, 초점 렌즈 종류에 따라 스폿 크기 조절이 가능하므로 별도의 Optic이 필요치 않다.



<그림 3> Nd:YAG레이저의 초점 위치별 에너지 분포 변화 (자료 제공:TRUMPF Korea Co.,Ltd.)



<그림 4> Diode레이저의 에너지 분포

2) 흡수율

레이저 에너지의 흡수율은 열처리 결과치, 경도, 깊이 및 가공 속도, 공정 구성 등 생산성에 영향을 주므로 용도에 맞는 레이저 종류의 선정이 중요하다. 레이저 흡수율에 영향을 주는 요소는 ① 레이저 출력 파장 ② 가공물의 표면 거칠기 등에 따라 달라진다. 여기서 레이저의 파장은 레이저의 종류가 정해지면 자연스럽게 결정되는 것으로서 사용자에게 의한 조정은 불가능하다고 할 수 있다. 그러나 표면 가공 거칠기는 사용자에게 의해 조정이 가능한 것이므로 열처리 후 공정에 영향을 주지 않는 범위에서 최적의 값을 선정하는 것이 좋다.

3) 레이저 빔 크기

레이저 발전기의 최대 출력은 초기 투자비, 유지, 보수비와 관계가 있으므로, 최소 에너지를 사용하여 최대한 효과를 내기 위해서는 레이저 빔의 강도(Intensity)를 최적화 할 수 있는 크기 선정이 필요하다. 그리고, 레이저에 의한 열처리하는 아주 짧은 시간 내에 가열과 냉각이 이루어 지므로 금속 내부 조직의 변화가 일어날 수 있는 시간을 확보를 위한 온도를 유지하기 위해 레이저 조사 방향으로 장방형이 유리하다.

3. 적용 및 개발 사례

3.1. 디젤엔진 실린더 보어 열처리

자동차에 장착되는 디젤엔진은 연소 방식에 따라 간접연소(IDI), 직접연소(DI)방식으로 나누며 연소 방식에 실린더 보어 표면의 기계적 성질에 영향을 준다. 간접연소방식 디젤엔진은 부연소실에서 발생한 화염이 연소실로 전파되면서 실린더보어 벽면의 온도를 상승시켜 피스톤 링과 마찰시 내마모성을 저하시키는 요인이 된다. 따라서, 일부 자동차 메이커에서는 실린더 보어 벽면을 열처리하여 경도를 상승시켜 보어 벽면의 내마모성을 향상시키고 있다. 열처리 방법으로는 레이저에 의한 방법과 고주파를 이용한 방법이 사용되고 있다. <표 1>은 엔진 실린더 블록에 대한 레이저 방식과 고주파 방식을 비교한 것이다.

열처리용 Optic의 형상은 <그림 4>와 같다. 수직으로 조사 되는 레이저 빔을 방향 집광하기 위하여 무산소동(Copper)을 다면체 반사경으로 가공, 코팅하여 사용한다.

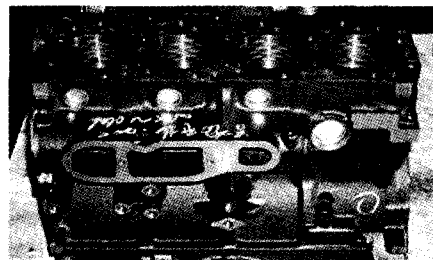
3.2 금형 열처리

자동차 차체 성형용 금형 및 엔진 부품을 성형하는 단조 금형은 성형시 발생하는 재료의 유동에 의한 마찰로 인해 국부적인 마모가 발생하여 금형의 수명을

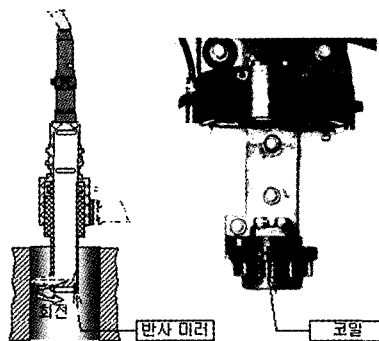
단축하는 요인이 되고 있다. 그러나 금형의 경도를 증가시키기 위해 금형 전체의 열처리시 금형의 경도는 증가하는 반면 취성도 커지게 되며 금형 전체를 열처리하는 대규모 설비가 필요하게 된다. 따라서 레이저를 이용하여 경도 증가가 필요한 부분에 대하여 국부적으로 열처리하여 사용하기도 한다.

<표 1> 디젤 엔진 실린더 보어 열처리 방법 비교

항 목	레이저	고주파	
열처리 조직	Martensite + 편상흑연 + 잔류 Austenite		
경도(Hv)	600~650		
품 질	경화깊이(mm)	0.3~0.4	1.0
	열변형량	적음	큼
생 산 성	가공시간(초)	70~80	110~120
	공정	단순 - 차폐막	복잡 - 침수조+Block승강기
	후 호닝공정 수	2	3
원 가	투자비	多	少
	유지비	中	少



<사진 2> 레이저 열처리된 실린더 블록

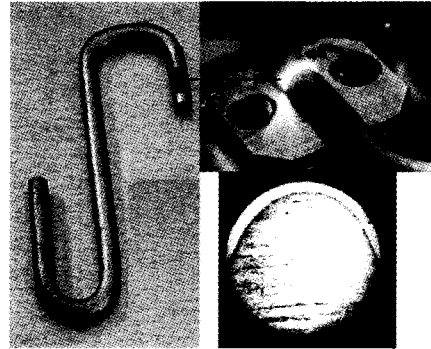


<그림 5> 레이저 Optic과 고주파용 코일



3.3 기타

폭스바겐의 Door의 자동 닫힘 기능을 가진 힌지 (Hinge)부분의 스프링을 다이오드 레이저를 이용하여 열처리하고 있으며, 피스톤 링을 레이저를 이용하여 열처리하기도 한다.



〈사진 3〉 Door 힌지 스프링 열처리
(자료제공 : Rofin-Sinar Laser GmbH)

4. 결론

지금까지 자동차 생산기술부문에서의 레이저를 이용한 열처리기술에 대하여 살펴 보았다. 현재까지의 레이저 열처리기술은 제한적인 분야에서 사용되어지고 있으나 향후에 적용 분야가 점차 증가할 것으로 전망된다.

(정대현 과장 : jdh1217@hyundai-motor.com)

참고문헌

- 1) Yoshio SUZUKI와 4명, "Laser-Hardening of Cylinder-Bores for Diesel Engines", MITSUBISHI MOTORS TECHNICAL REVIEW, No. 6 (1994)
- 2) James T. Luxon, David E. Parker, Industrial Laser and Their Applications(2nd ed), Prentice Hall, pp. 267 ~ 273
- 3) 西森廉夫와 3명, "シリンダブロックボアのライナレス化の - 液中高周波焼入れの實用化", マツダ技報, No 14(1996)
- 4) 김도훈, 레이저 가공학, 경문사
- 5) 日本熱處理技術協會, 鑄物と非鐵金屬材料の熱處理, 日刊工業新聞社, pp. 87 ~ 116
- 6) 고병두 역, 탄소강의 레이저 조사 경화 및 중간 조직에 미치는 탄소의 영향, 열 조형 기술, 1993년11월호, pp. 38 ~ 45
- 7) ネットン高周波熱鍊株式会社, シリンターブロック内面 焼入れ焼戻し
- 8) Friedrich Bachmann, High power kW-range Diode Lasers for Direct materials processing, XIII International Symposium on Gas Flow & Chemical Lasers - High Power Laser Conference Florence, Italy, September 18 - 22, 2000