

플라스틱 용착기술

한국폴리아세탈(주)
KOREA POLYACETAL CO., LTD.

KPAC

서울시 중구 소공로 94, 14층 (소공동, OCI빌딩)
14th Floor, OCI BLDG., 94, Sogong-ro, Jung-gu, Seoul, 04532, Republic of Korea
Tel +82-2-728-7400 Fax 82-2-714-9235 www.gpac-kpac.com

1. 일반적인 용착 기술

1.1. 열판 용착기술

열판 용착이란 상, 하 지그(Jig)에 고정된 용착물을 재료의 용융 온도보다 약간 높은 온도로 가열된 열판으로 가압하여 가열, 연화, 용융 시킨 후 용착부 부위가 충분히 녹았을 때 열판을 제거하고 상호 가압한 후 굳을 때까지 냉각시켜 용착시키는 방법이다.

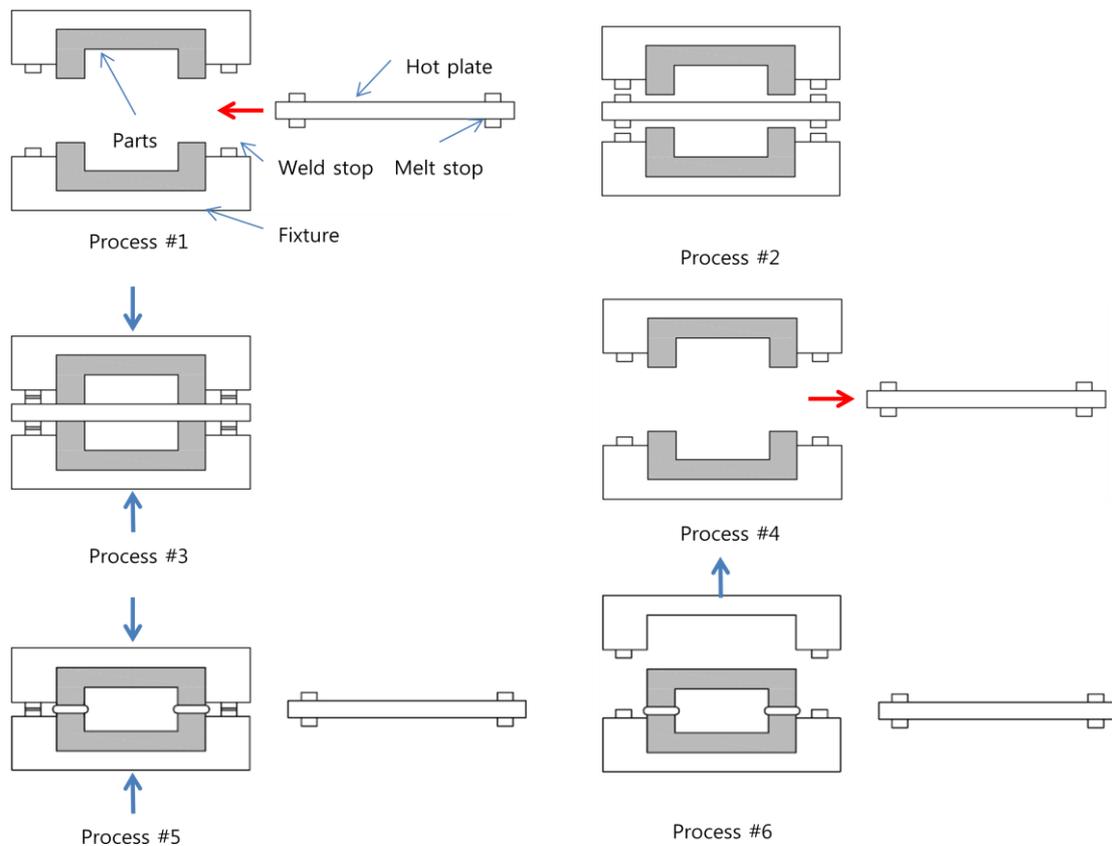


그림 1. 열판용착의 프로세스

상기 그림 1 에서와 같이 총 6단계의 기본 프로세스를 통해 두 모재를 용착시키는 원리를 가지고 있는 열판 용착방법은 용착 후 용착 부위가 모재와 동일한 강도로 유지될 만큼 우수한 접합강도를 갖는 반면 작업물의 형상, 크기 및 재질에 따른 작업가능시간의 한계가 있으며, 타 용착방법에 비해 작업시간이 긴 단점이 있다. 또한, 용착 후 그림 2 에서와 같이 외부로 용융물이 세어 나와 생기는 버(burr)나 보푸라기(fluff)를 발생시킬 수 있는 단점이 있다.

이에, 열판 용착시 용출물이 용융 되어 나오므로 용도와 미관의 중요도에 따라 적절한 용착 부위 설계가 필요하다.

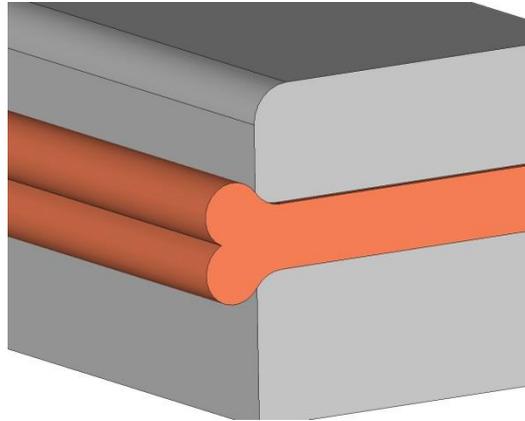


그림 2. 열판 용착후 외관

1.2. 진동 용착기술

진동 용착이란 열가소성 수지 2개의 제품간에 가압을 하면서 상부지그에 좌우 진동을 통해 접촉 부위에서 발생하는 마찰열로 수지를 용융 시키고 충분한 용융을 얻은 후에 진동을 멈추면 제품이 정열 되고 지속적인 가압과 냉각 통해 용착시키는 방법이다.

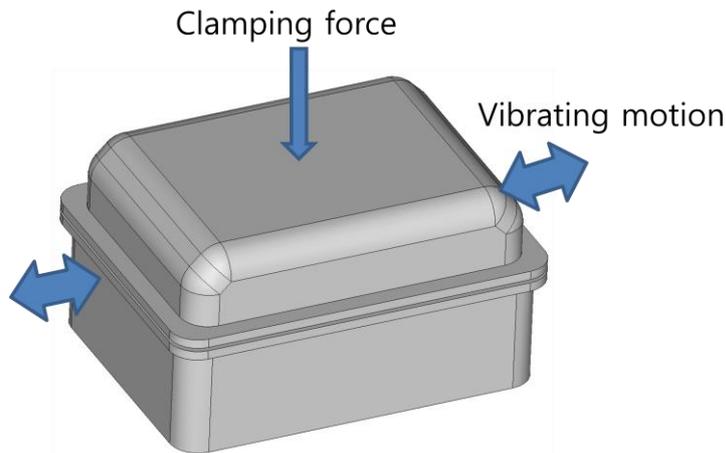


그림 3. 진동용착 원리

제품간의 상대적인 좌우 운동을 통해 발생하는 마찰열로 용착을 시키는 진동 용착방법은 재질, 크기 및 형상에 대한 제약이 적으나, 모재가 마찰열을 이용하여 용착시키는 원리이므로 탄성이 비교적 큰 경우와 맞댄 두 모재간의 평탄도가 10도 이상의 경우에는 적용이 어려운 단점이 있다. 또한, 그림 4 와 같이 용융 후 모재 외측으로 용융물이 돌출

되는 양상을 보이기도 한다.

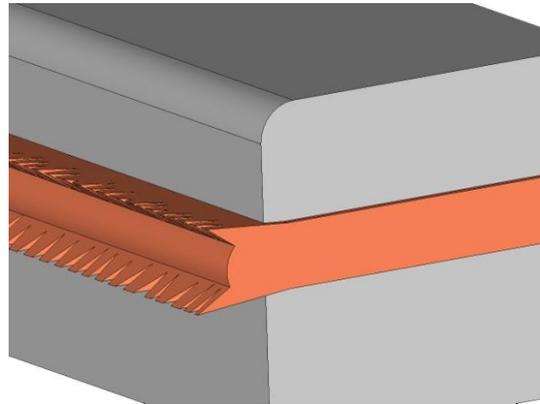


그림 4. 진동 용착후 외관

1.3. 초음파 용착기술

초음파의 진동이 처음 가해지면 용착면의 미세한 표면 돌기(asperity)가 매우 빠르게 발열하게 된다. 이 표면 돌기부분이 다른 곳 보다 많은 응력이 집중되어 큰 변형율과 진동에너지의 대부분을 소모하게 되어 용착 부위의 돌기부분이 용융되고 그 주변부로 열이 전위된다. 이 순간 용착면 전체에 용융층이 얇게 형성 되고 초음파의 계속적인 진동으로 짧은 시간에 확산이 이루어져 용착이 되는 원리를 가지고 있다.

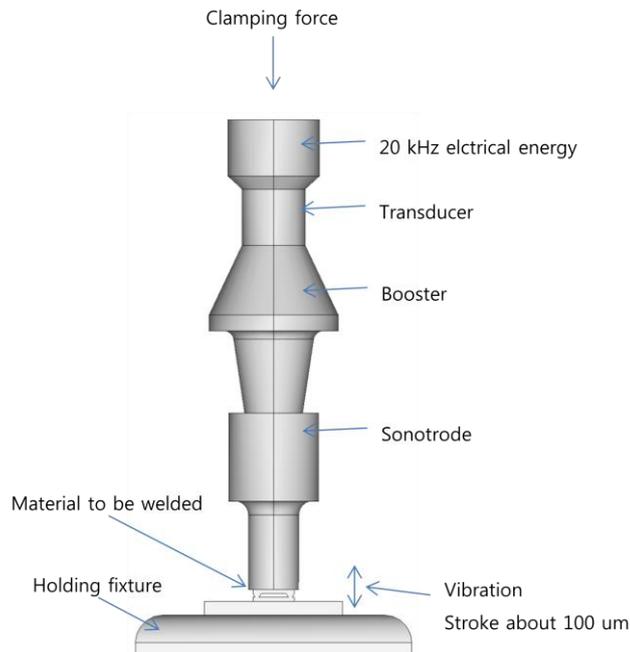


그림 5. 초음파용착 시스템

이러한 초음파 용착 기술은 일반적으로 플라스틱 용착용으로 널리 사용되어 왔던 기술이며, 초기 투자비가 타 용착 장비에 비해 저렴한 장점으로 인해 다양한 분야에 널리 적용되어 오고 있는 기술이기도 하다. 이 기술의 장점으로는 작업시간이 빠르며 소형제품에 적합한 점이 있다. 그러나 용착 후 용착강도 및 수밀성에 있어 취약하며, 초음파를 이용한 진동 용착 방식이므로 모재의 탄성이 높을수록 용착강도 및 수밀성의 한계를 갖는 단점이 있다. 또한, 작업시 발생하는 초음파로 인해 작업자의 청각을 자극하므로 이에 대한 주의가 필요하다.

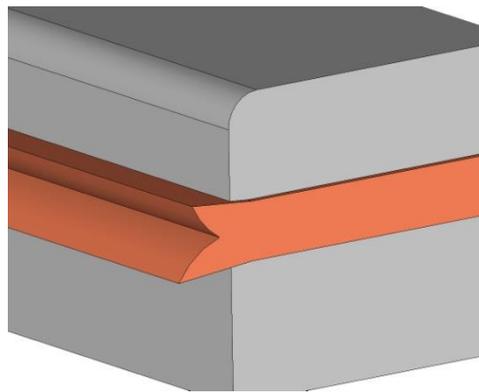


그림 6. 초음파용착후 외관

2. 레이저를 이용한 플라스틱 용착기술

2.1. 원리

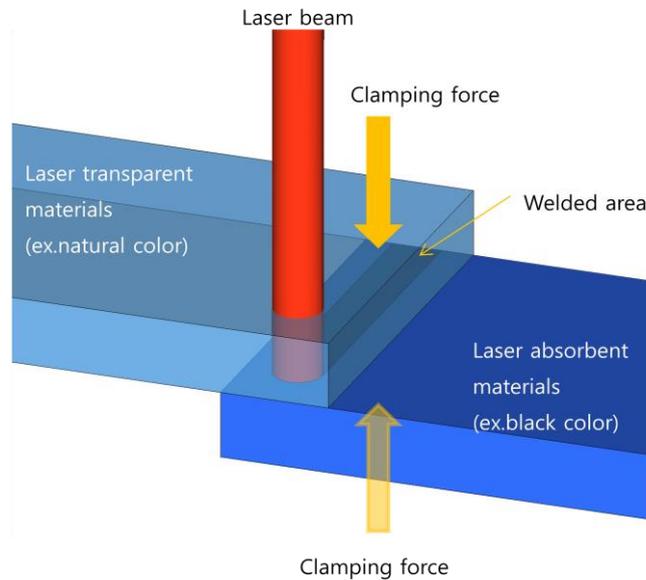


그림 7. 레이저 용착원리

레이저 플라스틱 용착을 위해서는 레이저 빔을 흡수하는 플라스틱 재료(흡수재)에, 레이저 빔을 투과하는 플라스틱 재료(투과재)를 포개어 놓고, 클램핑지그를 통해 용착되어야 할 두 모재사이에 갭(Gap)이 최소화될 수 있도록 유지한 상태에서 투과재 쪽으로부터 레이저 빔을 주사(走査:scanning)하는 방법으로 용착(溶着)시킨다. 흡수재는 카본블랙(carbon black)처럼 레이저 빔을 흡수하는 물질을 혼련(blending)한 플라스틱이다.

레이저 빔은 투과재를 통과한 후에, 흡수재 중의 카본블랙에 흡수됨으로서 흡수재의 분자고리를 진동하여 발열하고, 그 열에 의하여 흡수재가 용융하면서 동시에 용융풀을 형성하게 되는데 이때, 투과재도 흡수재로부터 열전달을 받아 용융하면서 용착된다. 냉각 과정을 거쳐 두 모재의 용착이 완료되는 원리를 갖고 있다.

2.2. 레이저의 선택

(1) 고출력 다이오드 레이저 (이하 HPDL)

HPDL은 일종의 반도체 레이저로 타 레이저에 비해 소형이며 에너지 효율면에서 50%에 달할 만큼 매우 높은 경제성을 띠고 있어 자동차 부품생산라인과 같이 높은 장비의 내구성과 신뢰성을 요구하는 양산라인에 적합한 장점이 있다.

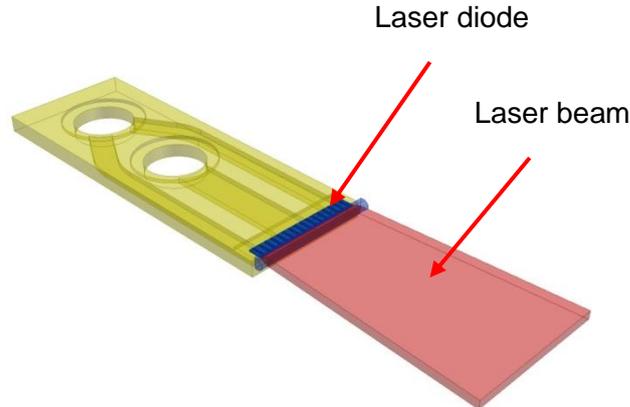


그림 8. 레이저 다이오드 바

그림 8 에서와 같이 레이저 다이오드에 높은 전류를 가해 이때 발생하는 NIR영역대의 파장을 갖는 높은 출력이 발진된다.

다이오드 레이저의 파장대는 일반적으로 $\lambda = 800 \sim 1,100 \text{ nm}$ 이며 다이오드 레이저는 일종의 반도체로 소재는 갈륨(gallium), 인듐(indium) 또는 알루미늄(aluminium)으로 만들어지며 예로 인(phosphor)으로 도핑(doping)된다.

플라스틱의 레이저 용착을 위하여는 대부분의 경우 100 Watts면 일반적인 열가소성 수지를 용융시키는데 충분한 출력이라 할 수 있다.

2.3. 레이저 타입별 에너지 프로파일 비교

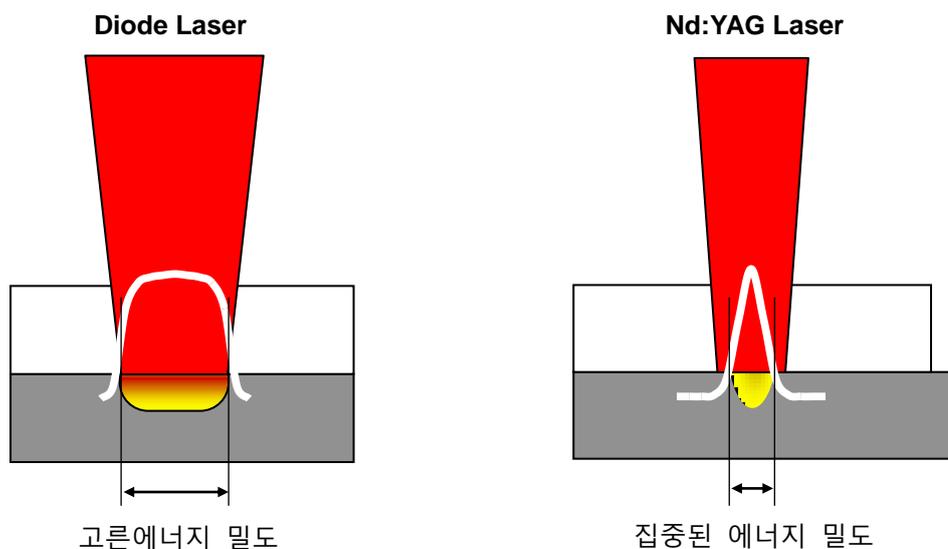


그림 9. 다이오드 레이저 & Nd:YAG 레이저 빔의 에너지 프로파일 비교

일반적으로 그림 9 에서와 같이 다이오드 레이저의 에너지 프로파일은 탑-햇(Top-Hat) 분포를 나타내며, Nd:YAG 레이저의 경우 빔 중앙의 에너지 밀도가 높은 가우시안(Gaussian) 분포를 나타내는 특성을 가지고 있어 이중 가우시안 분포를 나타내는 Nd:YAG 레이저는 주로 용착폭이 500 μm 이하를 요구하는 초소형 제품에 적용이 적합한 특성이 있다. 이와 반대로 레이저 빔 중앙부의 에너지가 고른 분포를 나타내는 다이오드 레이저 빔의 경우 500 μm 이상의 비교적 큰 제품의 용착에 적합한 특성을 나타내고 있다.

2.4. 적용 가능한 소재의 선택

레이저를 이용한 플라스틱의 용착에서는 수지의 특성이 매우 중요하다. 만약 레이저빔이 수지에 조사되면 수지와 상호작용 즉, 투과, 반사, 흡수성에 의하여 레이저빔이 약화된다. 투과율 "T" 는 전체 조사된 레이저 출력중에서 실제로 소재를 통과하는 비율을 의미한다. 따라서 이 투과율이 용착될 하단부에 얼마만큼 도달하느냐가 중요한 관건이다. 이는 레이저의 파장대와 수지의 특성과 밀접한 관계가 있다.

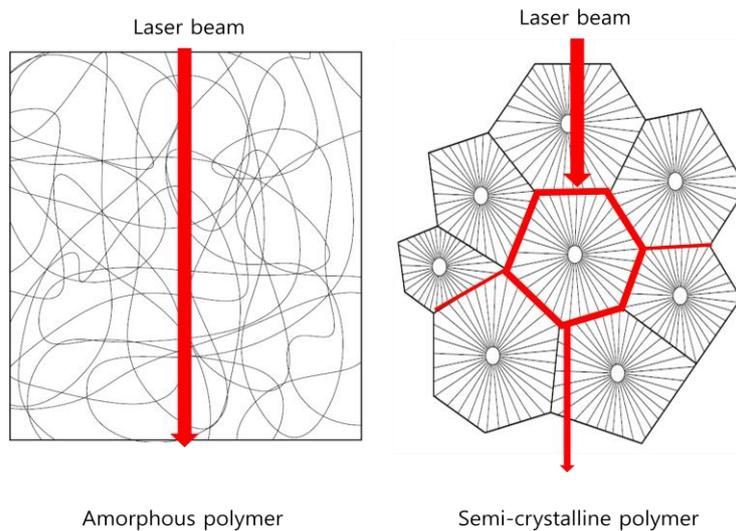


그림 10. 비결정형 구조와 부분결정형 구조

2.5. 플라스틱 레이저 용착방법

레이저를 이용한 플라스틱 용착방법에는 반동시용착법, 궤적이동용착법, 동시용착법, 마스크용착법과 같이 크게 4가지 정도의 방법이 사용되고 있다.

이러한 방법들로 구분되는 이유는 에너지의 전달방법 및 빔의 구현의 차이 때문인데, 어떤방법을 선택할지는 여러 가지 요소 중 특히, 제품의 형상, 투자비, 접합부의 용착패턴, 작업속도 등을 고려해야만 한다.

(1) 반-동시용착법(Quasi-Simultaneous welding)

반-동시용착법은 레이저 빔이 일정한 영역내에서 스캐너(scanner)를 이용하여 매우 빠른 속도(예. 최대 10 m/sec)로 용착부위를 따라서 수 회에 걸쳐 조사하는 방식이다. 이때, 매우 빠른 속도로 수 회에 걸쳐 용착부위에 조사하므로 거의 동시에 용착부위가 용융되면서 용착이 가능한 장점이 있다. 또한, 이 경우 용착부위의 갭(Gap)을 어느 정도 극복할 수 있으며 동시용착법과 비교하여 상당히 높은 작업의 유연성을 가지고 있다. 그러나, 단점은 스캐너의 위치가 고정되어 제품의 위치와 항상 최적의 위치는 아닐 수 있고 작업영역이 제한적이므로 대형제품인 경우 또는 형상이 복잡한 경우에는 적용이 어려운 특징이 있다.

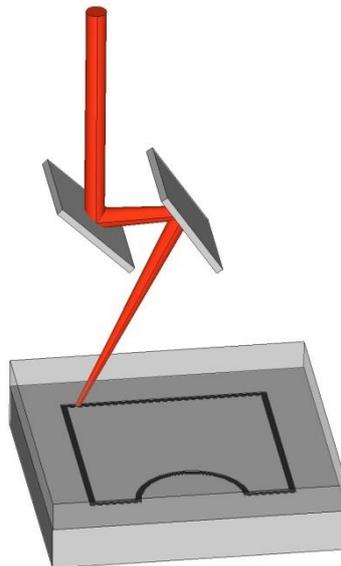


그림 11. 반-동시용착법

(2) 궤적이동용착법(contour welding)

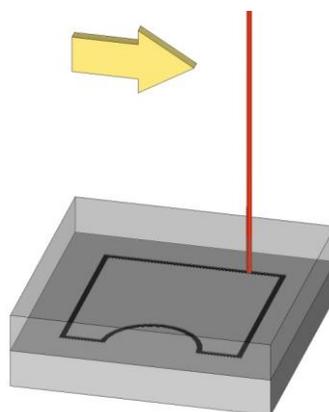


그림 12. 궤적이동용착법

가장 많이 사용되는 공법중에 하나인 궤적이동용착법은 용착부에 레이저 빔을 순차적으로 조사하는 공법으로 국부적으로 에너지가 전달되어 용융되는 범위가 적으므로 수지가 용융되어 흐르는 것을 최소화 할 수 있다. 이런 장점들이 높은 유연성과 3차원 형상과 같은 복잡한 형상의 제품에 적용하는데 용이하다. 이 방법의 경우 별도의 용착 돌기의 디자인을 통해 갭(gap)을 최소화 하여야 한다. 이는 제품 사출 시부터 허용공차범위를 일정하게 관리하여야 한다.

사용되는 레이저의 출력과 이동속도는 용착해야 할 제품의 특성, 즉 플라스틱의 종류, 첨가제의 함유량, 투과율 및 흡수율 그리고 제품의 두께 등을 고려하여야 한다.

(3) 동시용착법(simultaneous welding)

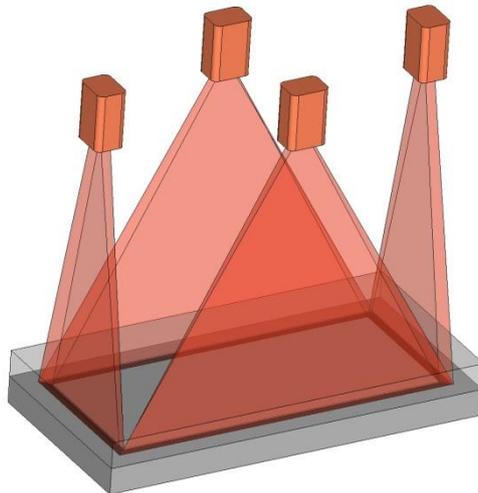


그림 13. 동시용착법

용착부위 전체가 동시에 용융되어 용착되는 동시용착법은 여러 개의 다이오드레이저를 제품의 용착부위와 동일하게 정렬하여 동시에 조사하는 방식이다.

이때, 각 레이저의 초점들이 모여져서 전체 용착부위와 동일한 초점을 형성하며 용착시 제품 및 레이저는 모두 고정된 상태이다.

동시용착법의 장점은 전체 용착부위가 동시에 용융되고 가압력이나 용착할 제품간의 갭(gap)이 고정적이어서 용착품질을 관리하기가 용이하나 초기 투자비용이 높으며 제품의 형상 변경이 불가능하다는 단점이 있다. 그러나 궤적이동용착법과 비교하면 동시용착법의 경우 용착 시간이 상당히 짧기 때문에 생산량이 많은 제품의 경우의 적용이 적합하다.

4) 마스크용착법(Mask Welding)

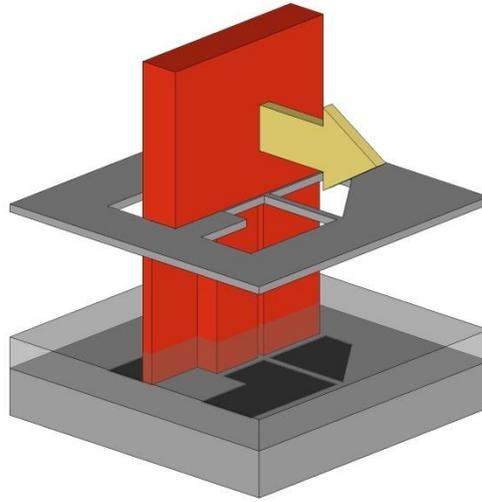


그림 14. 마스크용착법

마스크용착법이란 필요한 부분만이 열려있는 마스크를 레이저헤드와 제품사이에 위치시켜 제품의 원하는 부분만을 조사하여 용착시키는 방법이다. 즉, 레이저가 조사되지 않아야 할 부분은 마스크에 의하여 레이저 빔이 차단되는 효과를 볼 수 있다.

이때, 제품의 크기와 용착 형상 등은 일차적으로 마스크와 레이저 빔의 품질에 의하여 좌우되며, 마스크의 경우 최소 100 μm 정도까지 제작이 가능하다. 또한 한번의 마스크 이동으로 여러 개의 복잡한 용착부위의 용착이 가능한 장점이 있다.

주로 적용분야는 아주 정밀한 용착선이 필요로하는 초소형 제품에 적용될 수 있다.

마스크 방식에는 일반적으로 다이오드레이저를 이용한 선형빔(line beam)을 사용하는 데(예, 20 x 1 mm^2) 레이저 빔이 마스크에 도달하기 전에 필히 에너지가 균일한 평행광의 조사가 필수적인 조건이다.

마스크의 제작은 레이저 절단을 이용하거나 포토마스크 방식으로 크롬 도금된 유리로 제작되며, 포토마스크 방식으로 제작된 마스크가 형상이나 유연성 면에서 장점이 있다.

2.7. 레이저 플라스틱 용착 거동

레이저 용착을 위한 플라스틱 재질이 선정이 되고 프로세스 파라미터가 최적화 되었을 때 용착할 준비는 끝이 난다. 그 후 레이저 빔이 설정된 속도로 원하는 용착 라인을 따라가며 조사를 하게 되는데 이 모든 경우에 매우 중요한 것 중의 하나는 흡수모재 층에 용융을 시킬 만큼의 충분한 에너지를 공급하는 것이다. 이는 두 모재의

분자고리간의 완전한 결합을 위해 분자의 운동에너지를 높이기 위함이다. 그러나 모재의 과도한 온도증가는 색의 변화 및 분해 등 물성변화를 야기하므로 제한적일 수 밖에 없다.

그림 15.에서 보는 바와 같이, 첫 번째(A) 흡수층에서 레이저 빔이 흡수가 되어 용융이 시작된다. 용융될 때, 모재의 단위 체적이 증가되고 용융된 흡수층은 두 모재간의 작은 갭(gap)을 매워가기 시작한다. 두 번째(B)와 같이 용융된 흡수층이 투과층에 닿게 되면 열은 투과층으로 전도되고 투과층 역시 용융되기 시작한다. 이러한 과정을 통해 두 모재간의 충분한 기계적, 화학적 결합이 이루어지게 되어 용착 강도가 증가하게 된다. 특히 이 경우 두 모재 간의 상호 결정화 구조가 형성하게 되면 그 용착 강도는 더욱 증가하게 된다.

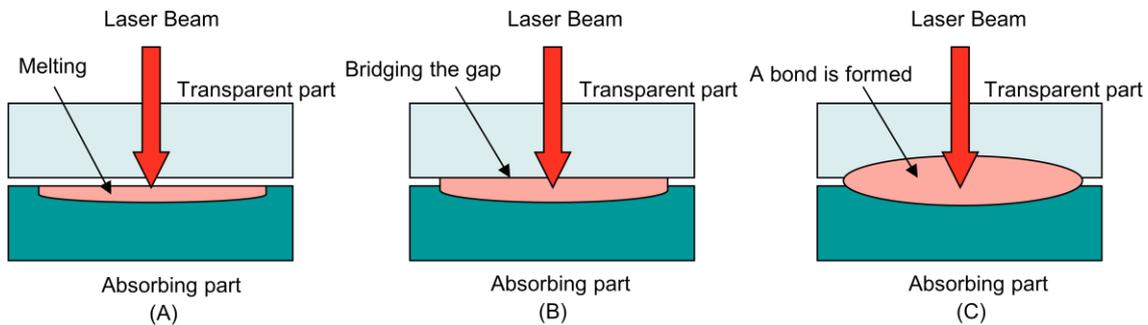


그림 15. 레이저 용착 거동

3. 참고문헌

- (1) 김도훈 교수, 연세대학교, 레이저가공학(2005)
- (2) Dr. E.Kellar, TWI, Bonding Plastics
- (3) Dr.P.wells, Branson Ultrasonics, Ultrasonic and linear vibration welding of plastics
- (4) Dr.M.Warwick, TWI, Application studies using through-transmission laser welding of polymers
- (5) Dr.D.Hansch, Prolas GmbH, Laser welding of plastics - Process and production technology
- (6) Dr.M.Van, DSM research, Engineering plastics for laser welding
- (7) Ian Jones, TWI, Process monitoring methods in laser welding of plastics
- (8) Laserline GmbH, www.laserline.de
- (9) Rofin-Bassel GmbH, www.rofin-bassel.de

본사

04532, 서울특별시 중구 소공로 94 (OCI빌딩, 14층)
Tel. 02-728-7481 Fax. 02-714-9235

연구소

15850, 경기도 군포시 고산로 166, 104동 201호 (당정동, SK벤티움)
Te Tel. 031-436-1300 Fax. 031-436-1301

Headquarters

14th Floor, OCI BLDG., 94, Sogong-ro, Jung-gu, Seoul, 04532, Republic of Korea
Tel. +82-2-728-7481 Fax. +82-2-714-9235

EU & America Sales

14th Floor, OCI BLDG., 94, Sogong-ro, Jung-gu, Seoul, 04532, Republic of Korea
Tel. +82-2-728-7467 Fax. +82-2-714-9235

Asia Sales

14th Floor, OCI BLDG., 94, Sogong-ro, Jung-gu, Seoul, 04532, Republic of Korea
Tel. +82-2-728-7491 Fax. +82-2-714-9235

China Sales

上海聚醚醚酮化工贸易有限公司
上海市长宁区天山路1717号SOHO天山广场2幢T2-903C室(200051)
Tel. +86-21-6237-1977; E-mail: cpac.sales@gpac-kpac.com

Disclaimer: 1. 상기 자료는 본 제품에 대해 당사의 현재 기술 수준에서 측정된 것이며, 측정 방법 및 조건에 따라 변경될 수 있습니다. 본 제품에 고객에 의해 안료 및 기타 첨가제가 사용된 경우 상기 자료는 적용되지 않습니다. 본 제품은 (치)의학 Implants 용으로는 적합하지 않으며, 고객은 안전 및 보건 기준에 따라 본 제품을 사용해야 합니다. 제품 사용의 결정 및 책임은 고객에게 있으며, 상기 자료는 법적 소송 및 근거자료로 활용될 수 없습니다.

2. 상기 성형수축률은 당사 시험편 금형을 이용하여 특정 사출조건에 한하여 측정된 수치이므로, 측정조건에 따라 다소 변동될 수 있습니다. 귀사에서 제작하고자 하는 금형의 경우 두께, 디자인, 사출기, 사출조건 등이 당사 시험편 금형과 상이하여 상기 수축률과 차이가 있을 수 있으므로, 귀사의 설계조건, 사출성형조건 등을 충분히 검토하신 후 필요 시 보정하여 적용하시기 바랍니다. 제작하고자 하는 금형과의 수축률 차이가 발생할 경우 당사에서는 어떠한 법적 책임도 질 수 없으며, 모든 책임은 귀사에 있음을 분명히 밝혀 드립니다.