

레이저 워크샵 (下)

-레이저관련 연구소, 학계의 발표내용 수록-

한국광학회가 주최한 제14회 광학및 양자전자 학술발표회에서 개최된 레이저워크샵의 발표내용을 97년 11월호에 이어 게재하니 관심 있는 독자의 많은 참고바란다. -편집자 주-

게재순서

• 98년 1월호

5. 레이저 마이크로머시닝
-한국기계연구원 자동화연구부 황경현박사 외
6. 철강재료 레이저 용접부의 고온균열 발생거동
-포항산업과학연구원 접합가공연구팀 김기철 박사
7. 자동차산업에서의 고출력 레이저의 응용
-고등기술연구원 자동차기술연구실 박인수 박사
8. 레이저빔에 의한 경사기능재료 개발
-연세대학교 재료공학부 김도훈 교수

레이저 마이크로머시닝

글 : 한국기계연구원 자동화연구부 황경현 · 윤경구 · 이성국 · 김재구

엑시머 레이저는 Ar, Kr, Xe 등의 희귀가스와 F, Cl과 같은 할로젠족 가스를 혼합하여 방전여기에 의해 발진되는 157~350nm 파장대에 자외

선 레이저이다. UV 레이저를 이용하면 종래의 기계 가공 공장으로 실현할 수 없는 극소형 및 초정밀의 기계구조, 센서 또는 액츄에이터를 비접촉식으로

할 수 있고 가공시 열손상이 거의 없다. 최근 제품의 소형화 및 박막화 추세에 따른 미세가공 기술의 급속한 발전을 살펴보면, UV 레이저를 이용한 실

리콘 표면의 도핑(doping)에 관한 연구, 알루미늄 기판에 UV 레이저를 이용한 LAD (Laser assisted deposition) 패킹징 기술에 관한 연구, 미소 전자 패킹징에 레이저를 이용하는 방법뿐만 아니라, 레이저 유도에 의한 금속과 혼합물의 물질전달 현상을 활용한 마이크로 패터닝에 관한 연구도 진행되고 있다. 여기에서는 여러 가지 응용분야중 레이저 어블레이션, 레이저유도 화학에칭, 레이저 PVD 등에 대하여 광학계, 초정밀 이송기구, 고진공 챔버 등이 시스템을 구성하고, 금속박막가공, 폴리머 가공, 실리콘 웨이퍼의 미세가공, 기능성재료 증착 등에 적용한 일반적인 프로세스를 설명한다.

1. 레이저 어블레이션

레이저 어블레이션은 전자적 여기, 결합파괴, 가열에 의한 화학적 분해, 제거, 증발 등의 여러 가지 프로세스가 복합적으로 작용하여 일어난다. 이 경우 가공대상물의 주변 분위기 가스는 가공프로세스에 큰 영향을 주지 않으므로 유용목적에 따라 진공중, 대기중 또는 특별히 제어된 분위기 가스를 사용하기도 한다.

그리고 어블레이션 가공을 위해서는 High peak intensity 레이저가 필요하며, 따라서 펄스길이 아주 짧은 레이

저가 사용된다. 일반적으로 펄스길이는 Nanosecond 범위가 사용되며, 경우에 따라서는 Picosecond 또는 Sub-Picosecond 범위의 펄스 레이저를 사용하기도 한다. 펄스 길이가 짧을수록 가공된 단면의 품질이 우수하다. 어블레이션 가공을 하면 원자, 분자 또는 가공물의 파편 등이 생성되며 이러한 부산물의 종류와 분포는 어블레이션 메카니즘과 레이저의 에너지 세기에 따라서 결정되고 가공물로부터 분리되는 부산물은 부분적으로 활성화되거나 이온화되어 가공표면으로부터 팽창하는 플라즈마를 형성하며, 어블레이션 공정중 화학반응에 의해 가공물의 성질을 변경시키고자 할 때는 분위기 가스를 활용하기도 한다.

가공 대상물은 금속, 반도체, 폴리머, 유리, 세라믹, 염료, 전기·광학 소재, 생체조직, 고온초전도체, 다이아몬드 또는 Diamond like carbon 등과 같이 대부분의 재료가 가공가능하며, 응용분야는 마이크로 electronics, 광학, 초전도체 박막, 생물학, 의료분야 및 공업적인 절단, 마킹, 드릴링 등과 같이 다양하다.

2. 레이저유도 화학에칭

레이저 유도 화학에칭은 레이저에 의해 활성화된 가스가 고체표면과 반응하여 가공을

하는 프로세스으로써 레이저 어블레이션 프로세스와는 다르게 레이저 유도화학에칭은 다음과 같이 몇단계로 나뉘어져 일어난다. 첫단계에서는 고체표면과 분위기 가스사이의 화학반응으로 고체표면의 원자와 가스분자가 몇 단계의 과정(표면에 가스의 흡착, dissociative chemisorption, 고체표면 아래로의 가스확산에 의한 새로운 화학물층 형성)을 거쳐 반응을 하게 된다. 레이저빔의 조사하는 분위기 가스의 활성화, 고체표면의 가열 등에 의해 모든 반응 프로세스를 촉진시킨다. 그리고 두 번째 단계에서는 반응된 물질들의 분리공정으로 레이저 빔을 조사시키면, 빔이 조사된 부분에 한해서 표면이 활성화 되거나 가열되어 분리반응이 일어나게 된다.

일반적으로 에칭가스는 할로겐족 가스(Cl_2 , Br_2 , Cl_4 , CF_2Br_2 , ...)를 사용하고, 압력의 범위는 $10^{-7} \sim 500$ Torr까지 다양하다. 그리고 사용되는 레이저는 CW, 펄스 모두 사용되며 응용분야는 레이저 direct writing 또는 projection patterning 방식에 의해 미세 전자회로의 연결, 수정 등에 활용되고 있다. 최근에는 레이저 기술의 발달과 더불어 레이저 어블레이션, 레이저 유도 화학에칭 기술의 실용화가 점진적으로 진척되고 있다.

3. Laser physical vapor deposition(LPVD)

엑시머레이저 Ablation에 의한 Deposition 프로세스는 피에조일렉트릭 재료, 슈퍼얼로이재료, 형상기억합금 등과 같은 기능성 재료 분야에서 주목을 끌고 있다. 증착된 박막은 빌크재료와 다른 성질을 가지며 그 이유 중 하나는 원재료인 타겟과 증착된 막과의 화학적 성분 변화라 할 수 있다. 화학적 성분은 스퍼터링에 비해 고전적 진공기술에서의 진공압의 차이에 따라 다르며 따라서 엑시머레이저 어블레이션에 이용한 박막제조는 성분변화를 최소화할 수 있는 것으로 기대되어 연구되어 왔다. 이 과정에서 타겟은 열적 변화라기보다는 다소 광화학적으로 분해된다고 할 수 있다. 특히 고기능의 마이크로 센서 액츄에이터를 제조하기 위해서는 기능성 재료(intelligent material)를

수십 μm 이상의 두께로 막을 형성하는 기술과 3차원 정밀 진공스테이지의 제어 및 반송 초미립자의 혼합·교환에 따라 각종 patterning 및 경사 기능적 구조를 형성하고, 레이저를 이용하여 적층막의 일부 또는 전체를 가공 어닐링하는 기술이 필요하다. 일본의 기계기술연구소(MEL)에서는 이 방식을 이용하여 마이크로 미러를 제조하는 기술에 관한 연구를 진행하고 있으며 그 내용은 PZT를 실리콘웨이퍼에 증착시키면서 경사구조를 만들고 최종적으로 금속박막을 코팅하여 거울을 만들고 전원을 부가하여 거울의 기울기를 제어하는 것이다. 이처럼 LPVD를 이용하여 마이크로 액츄에이터나 센서를 제작하는 연구는 그 응용 범위가 넓다고 할 수 있다.

(참고문헌)

1. Richard M Osgood, "Laser-

fabrication for solid-state electronics", IEEE circuits devices MAG vol.6, NO.5, pp25~31(1990)

2. A Bauer, J.Ganz, K.Hesse and E.Kohler, "Laser-assisted deposition for electronic packaging applications", Applied Surface Science Vol.46, PP113~120(1990)

3. Robert F. Miracky, "Laser advance into microelectronics packaging", Laser Focus, Vol.27, NO.5, PP85~98(1991)

4. Zolt Toth, Zoltan Kantor, Peter Mogyorosi and Tamas Szorenyi, "Surface patterning by pulsed laser induced transfer of metals and compounds", SPIE Vol.1279, PP150~157(1990)

철강재료 레이저 용접부의 고온균열 발생거동

글 : 포항산업과학연구원 접합기공연구팀 김기철 박사

1. 서 언
테일러드 블랭크등 자동차

공업의 발전과 더불어 레이저 용접 기술은 과거 어느 때 보다

도 큰 관심을 불러 일으키고 있다. 레이저 용접 기술은 용접부

품질, 공정의 제어와 자동화 용이성 때문에 종래의 박판 용접 중심에서 점차 후판재에 이르기까지 그 영역이 넓어지고 있으며, 특히 조선 공업등 중후판 제조 공업에서도 도입의 가능성을 적극적으로 검토하고 있는 것으로 알려지고 있다. 이러한 이유에서 구미의 일부 국가에서는 레이저 용접이라는 특별한 환경에 맞는 철강 제품의 공인 규격 제정도 거론되고 있는 실정이다. 그러나, 고장력강을 이용하여 구조 부재를 만든 경우 용접 과정 또는 용접 후의 균열 발생 특성은 구조물의 강도를 포함하여 안전성에 큰 영향을 미치는 요소이므로 매우 중요하게 다루어지고 있다. 본 연구는 구조용 열연 강재의 레이저 용접시 응고 과정에서 발생하는 고온 균열이 소재의 조성, 용접 조건 등과 어떤 상관성을 가지고 있는가에 초점을 맞추어 조사한 것이다.

2. 실험 방법

시험재는 두께 2.5mm의 기계구조용 고장력강을 사용하였다. 고출력 CO₂ 레이저 용접장치를 써서 용접을 실시하였고, 용접 후에는 균열 발생 특성을 광학 및 전자 현미경을 이용하여 해석하였다.

3. 결과 및 고찰

구조용 고장력강에서는 소

정의 기계적 강도를 확보하기 위하여 C, Ni 등 합금 원소를 첨가하여야 하는데, 이러한 원소들은 철강 조직내의 불순물 원소인 P 및 S의 용해도를 낮춘다. 용접시 이 원소들은 Fe-Mn-S(P) 합금계의 저 용접 개재물을 형성하여 용접부 응고의 마지막 단계에서 용융 막을 만들기 때문에 응고 수축에 대한 저항력을 저하와 함께 용접균열을 형성하게 된다. 한편, 박판 강재의 레이저 용접부는 소입열 고속 용접의 영향으로 용융금속의 절대량이 적고, 응고 과정에서의 온도 기울기가 매우 급격하여 응고 조직의 성장 속도가 빠르다. 뿐만 아니라, 용융지에서의 격심한 교반 효과도 중첩되므로 용접부의 조직이 매우 미세하고 복잡하다. 그 결과, 동일한 양의 저용점 개재물이 용융상태로 존재하는 조건이라고 하더라도 응

고과정에서 이러한 물질들의 분산 효과가 높아 동상의 아크 용접부와는 다르게 용접 속도가 빠를수록 고온 균열에 대한 저항력이 높게 나타난다. Figure 1은 실험 결과의 한 예로써 용접 속도가 용접부의 고온 균열발생에 미치는 영향을 제시하고 있다. 이 실험에 사용된 재료는 탄소량이 다소 많았고(0.34%), Cr, Mo, Ni 등의 원소도 함유된 것으로 소입성 지표인 탄소 당량이 높으므로(0.69%) 용접 후의 응력 집중도도 크다. 그림에 의하면 용접 속도의 증가에 따라 균열 발생에 소요되는 응력이 높아지고 있다. 즉 레이저 출력을 고정한 조건에서 빠른 용접 속도로 용접을 실시할 경우, 용접부의 고온 균열 발생의 확률이 낮아진다는 것을 의미한다. 이것은 레이저 용접법을 박판 강재에 적용할 때, 용접부의 고온 균열

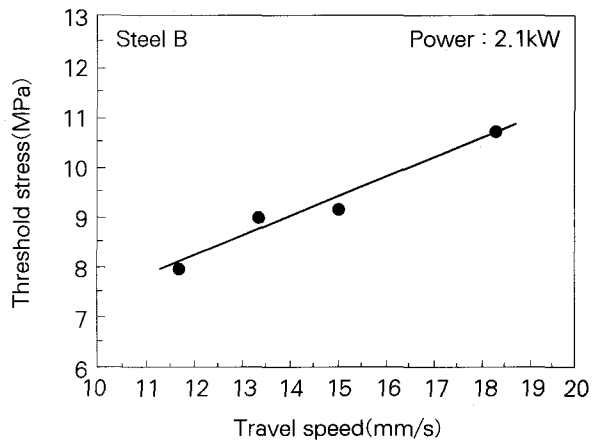


Figure 1. Effect of welding speed on the cracking characteristics

발생 거동이 아크용접법에서와 전혀 다른 양상을 보인 것이며, 그 이유는 레이저 용접시 용접부의 형성 메카니즘과 깊은 관

계가 있는 것으로 판단되었다.

〈참고문헌〉

1. M. Kutsuna : Metallurgi-

cal aspect in laser welding of steels and aluminum alloys, ICALEO-96(1996), 122-131

자동차 산업에서의 고출력 레이저의 응용

글 : 고등기술연구원 자동차기술연구실 박인수 박사

최근의 자동차 산업기술은 경량화, 안전도 향상, 그리고 생산비 절감등으로 대변된다. 이러한 경향에 발맞추어 자동차 메이커와 스틸메이커, 그리고 시스템메이커들은 최적설계와 새로운 생산공법에 관하여 많은 투자를 하고 있다. 특히 기존의 생산방식이 갖는 한계를 인식하고 충분히 발달되어 있는 기초기술을 이용하여 최첨단의 혁신적인 생산공법을 구사하고 있는 것이 그 특징이라 할 수 있다. 이러한 기초기반기술 중에서 레이저는 중소기업에서 대기업, 그리고 전자분야에서 기계분야에 이르기까지 그 응용범위가 넓다.

생산공정에서 레이저의 가장 큰 장점은 일방향 프로세스(one-sided process)라는 점이다. 현재 자동차 산업의 차체공정에서 가장 많이 쓰이고

있는 점용접(spot welding)의 경우는 판넬을 겹치기 용접상태로 놓고 판넬의 상하면에서 두개의 용접도구에 의해서 이루어지는 양방향 프로세스(two-sided process)라고 할 수 있다. 양방향 프로세스의 경우는 디자이너의 설계과정에서 공정상의 많은 제약을 갖게 되며, 이는 신차의 스타일링 과정에서의 제약으로 이어져 파격적인 디자인으로 경쟁력을 갖기 힘들다. 또한 생산비 측면에서 보면, 기존의 점용접은 양방향 프로세스로 인해 최소 16mm이상의 플랜지가 요구되나 일방향 프로세스인 레이저 용접 경우는 최대 5mm 정도가 필요하거나 또는 필요없게 된다.

CO₂ 레이저와 Nd : YAG 레이저를 포함한 전체 산업동향으로 보면 아직까지 레이저

의 응용은 질단이 주를 이루고 있다. 그러나 자동차 산업에 크게 영향을 미치는 공정은 레이저 용접이다. 차체분야의 레이저 응용은 차체의 강성증대라는 큰 장점을 갖고 있으며, 생산라인에서 유연성이 우수하기 때문에 혼류생산에 적합하다. 레이저를 사용하여 생산되고 있는 자동차 차체(body-in-white)를 레이저차체프레임(laser welded space frame)이라고 부르는데, 현재는 부분적인 레이저차체프레임이라고 할 수 있으며, 루프 판넬과 사이드판넬의 레이저 용접을 양산에 적용하고 있다. 향후에는 레이저의 적용부위가 점차 증가할 것으로 보인다.

〈참고문헌〉

1. Frank DiPietro, "Laser

will Revolutionize Automotive Manufacturing," 6th International Focal Spot User Seminar, 1995
2. F. Natsumi, K. Ikemoto,

H. Sugiura etc, "Laser Welding Technology for Joining Different Sheet Metals in a One-piece Stamping Process," Int.

J. of Materials and Product Technology, Vol.7, No.2, 1992.

레이저빔에 의한 경사기능재료 개발

글 : 연세대학교 재료공학부 김도훈 교수

레이저빔은 표면열원에 속하므로 레이저빔이 지닌 특성에 의하여 초고온등 혹독한 환경에 견딜 수 있는 재료의 개발에 이용될 수 있는 중요한 도구로서의 가능성을 제공하여 주고 있다. 즉 새로운 재료개발의 한가지 방법으로서 레이저빔에 의한 경사기능재료 개발에 대하여 고려하여 보겠다. 경사기능재료는 에너지산업과 항공기 산업 등에서 고온구조재료로서 흔히 사용되며, 그 목적은 내열성과 기계적 강도를 동시에 유지하면서 이중 이상으로 구성된 재료에서 그 계면에 형성되는 집중된 열응력과 잔류응력의 완화를 위하여 사용된다. 이들 경사기능재료는 금속/세라믹 재료와 금속/금속 재료로 나눌 수 있으며, 이들은 보통 고온로에서 고체소결법 혹은

액체소결법으로 제조된다. 그러나 이들 방법은 고온에서 장시간 가열시켜야 하므로 재료의 물성이 변화되고, 또한 고온에서 기지재료의 열화를 초래한다. 그러나 이러한 단점들을 배제하는 새로운 방법으로서 레이저빔에 의한 경사기능재료개발 방법을 제시하며, 그 물성과 특성 등에 대하여 검토하여 보겠다. 이 방법에서는 조성재료들 사이의 레이저빔 흡수능 차이, 계단식 조성변화 문제, 기포와 균열 형성의 문제 등이 중요하며, 이들 결함들을 제거할 수 있는 방법들을 제시한다.

그리고 실제적인 예로서 경사기능성 Inconel/Steel 재료 개발에 대하여 실험방법과 결과들을 제시한다. 이 연구에서 경사기능 Inconel/Steel 재료

에 조성경사를 주기 위하여 레이저빔에 의한 표면합금화방법을 적용하였다. 실험방법으로 Inconel판을 철재 상에 밀착시킨 후 균일한 표면합금층을 형성시키기 위하여 연속적으로 CO₂ 레이저빔을 조사시켰으며, 같은 과정을 수차례 반복하여 수행하였다. 그리하여 이 재료에서 두가지 합금원소(Cr과 Ni)의 동시적인 조성 경사화를 수행하였다. 이 재료의 조직, 상과 조성경사를 측정하기 위하여 SEM, XRD와 EDS를 사용하였다. 4회까지의 연속된 표면합금화 처리로서 약 3mm 두께의 양호한 경사조성층을 형성하였으며, 그 조성은 Cr이 21%에서 0%, Ni이 40%에서 0%, Fe가 39%에서 99%로 경사화되었다.