

모터용 적층 스테이터 코어의 펄스 Nd:YAG 레이저 용접성

The Weldability of Laminated Stator Cores for Motor by Pulsed Nd:YAG Laser

김 종도*, 이 창제**, 오용택***

* 한국해양대학교 기관시스템공학부

** 한국해양대학교 대학원

*** 한국LASER산업

1. 서 론

모터의 구조부품 중 핵심부품인 적층코어의 고정에는 주로 기계적인 방법과 용접법을 이용하여 왔다. 기존의 방법은 생산단가가 낮고 그 방법이 간단하며 이미 검증된 프로세스라는 이점이 있지만, 외주환부를 고정할 수 있는 최소두께나 고정강도의 제약에 의해 소형경량화가 곤란한 요인이 되고 있다. 또한, 적층코어의 외각에 별도의 가공형상을 주거나 가공 후 후처리공정이 필요하여, 부품완성까지의 선행기간(lead time) 및 생산의 유연성면에 있어서 문제점이 제기됨에 따라, 레이저를 이용한 적층코어의 용접이 대두되고 있다.

레이저를 이용하면, 코어의 외주환부 폭이 4mm이하에서도 용접이 가능하여 제품의 소형경량화가 가능할 뿐만 아니라, Fig.1과 같이 여러 크기의 코어가 혼재한 공정라인에서 초점거리의 변화만으로도 그 대응이 가능하여 제조공정에 유연성을 부여할 수 있다. 또한, 용접공정 전 모터코어 적층판의 오손 등에 의한 영향을 받지 않는 동시에, 가공 후 불필요한 공정을 생략 할 수 있

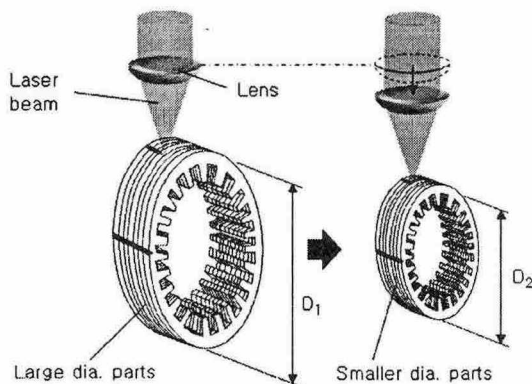


Fig. 1 Compatibility for handling a wide variety of parts

는 이점이 있다. 따라서 본 연구에서는 제품의 신뢰성 및 공정속도의 향상을 위해 전기모터 적층코어의 용접법 개발을 목적으로 하였다.

2. 사용재료 및 실험방법

본 실험에서는 0.5mm^t의 무방향성 PN60 규소강판을 4mm의 외주환부폭을 갖는 80×80mm의 크기로 재단하였으며, 기존의 아크용접과 달리 입열과 변형을 고려한 용접개소의 프로젝트션(projection)부를 두지 않았다. Fig. 2에 나타난 것과 같이 적층된 강판을 변형없이 충분한 강도를 얻을 수 있는 레이저용접의 가공인자를 도출하기 위한 실험을 실시하였다.

레이저용접부와 기존의 아크용접된 모터 적층코어의 용접부를 비교하기위해 단면의 조직관찰을 행하고 경도 및 인장시험을 통하여 용접특성을 검토하였다.

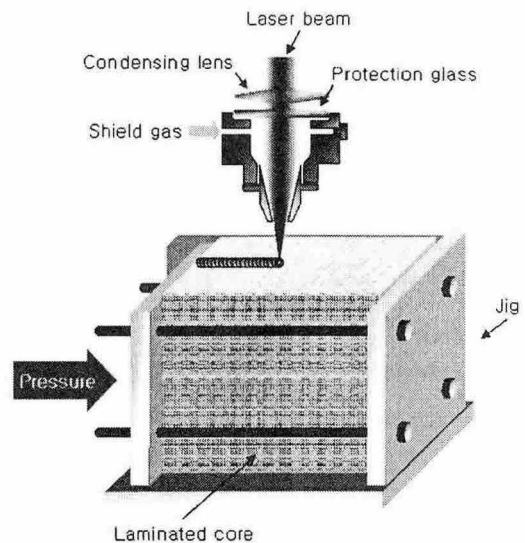


Fig. 2 Schematic of laser welding of laminated core

3. 실험결과 및 고찰

3.1 적층코어의 레이저 용접특성

적층코어의 레이저용접은 적층에 의한 형상인자와 규소강판에 코팅된 절연피막에 의해 상당한 영향을 받는다. 특히 절연피막이 용접결합에 미치는 영향은 지대할 것으로 판단된다. 따라서, 레이저용접시 안정적인 키홀의 유지가 관건이다. 적층코어의 레이저용접시 키홀의 유지에 가장 큰 영향을 미치는 가공인자는 펄스 중첩율(duty ratio)과 펄스폭(τ_p)으로 판단된다. 특히 펄스폭의 가감에 따른 피크파워의 제어를 통해서 험핑과 스파터를 수반하지 않는 건전한 비드를 얻을 수 있었다.

Fig. 3에 나타낸 적층코어의 레이저용접특성과 같이 펄스폭 2~4ms사이에서 가장 깊은 용입을 얻을 수 있었으나 험핑비드로 되었으며, 펄스폭 6ms부터 건전한 비드를 얻을 수 있었다.

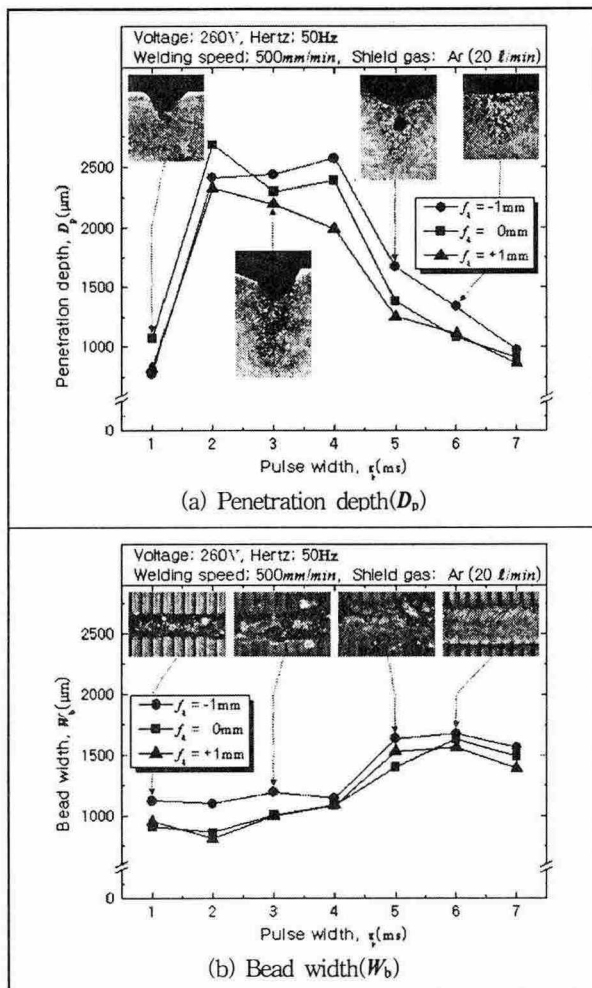


Fig. 3 Variation of penetration depth(D_p) and bead width(W_b) in laminated core welded by Nd:YAG laser as a function of pulse width

또한 입열량이 증가함에 따라 펄스폭 6ms에서 비드폭은 최대값을 보였는데, 적층판의 접합강도는 용입깊이보다는 용접부의 면적에 비례하는 것으로 판단되기 때문에, 비드폭의 확대는 접합강도의 증대에 기여할 것으로 생각된다. 뿐만 아니라, 기존의 아크용접과 같이 입열을 최소화하기 위한 용접개소의 프로젝션부위가 없이도 결합이 없는 용접이 가능하였다.

그러나 상대적으로 긴 빔의 펄스폭(τ_p)과 높은 반복률(pps), 그리고 레이저 유기 플라즈마로 인하여 집광헤드의 과열을 초래할 수 있다. 따라서 실제 공정 투입시 광학계의 초점길이를 고려하고, 집광헤드에 팬과 같은 간단한 냉각장치의 설치를 고려해야 할 것으로 판단된다.

3.2 레이저용접과 아크용접의 비교

Fig. 4에 나타낸 것과 같이 레이저용접부와 아크용접부의 특성을 비교해보면, 레이저용접이 아크용접에 비해 더 깊은 용입깊이와 작은 열영향부를 갖는다는 것을 알 수 있다. 이에 반해 아크용접은 용입깊이에 비해 비드폭이 상당히 크다.

뿐만 아니라, Fig. 5에서와 같이 아크용접은 레이저용접부에서 볼 수 없는 기공들이 발견되었다. 특히, 기공들은 가장 취약한 용융경계면을 따라 다수 발견되었으며, 이는 절연피막의 영향으로 판단된다.

레이저용접부와 아크용접부의 최고 경도는 비슷했으며, 열영향부와 비드폭이 작은 레이저용접의 경도가 모재방향으로 빠르게 감소하였다. 또한, 아크용접의 열영향부 경도가 레이저용접의 열영향부보다도 다소 높게 나타나, 상대적으로 아크용접이 레이저용접에 비해 열영향부가 취약할 것으로 판단된다. 그 결과를 Fig. 6에 나타낸다.

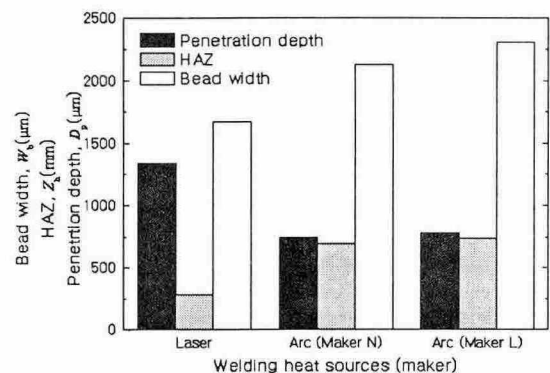


Fig. 4 Comparison of weldment formed by pulse laser and arc heat source

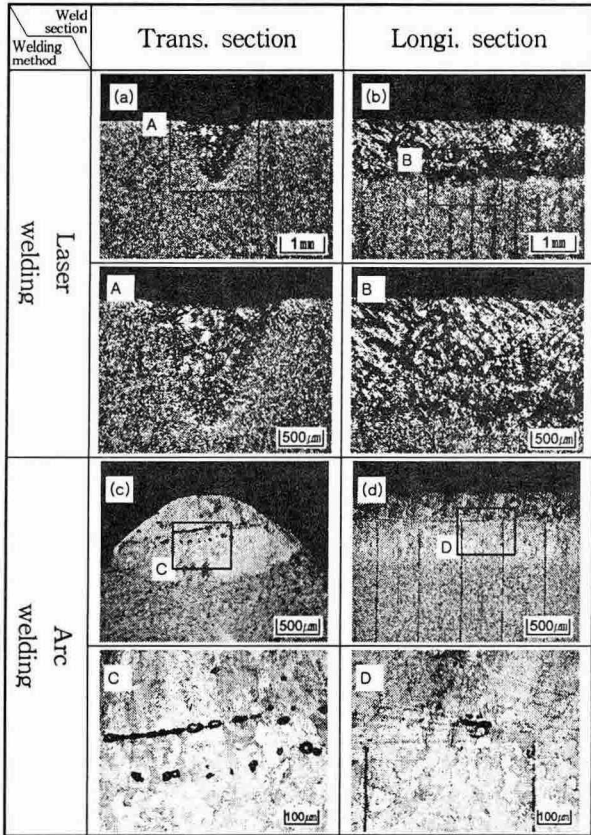


Fig. 5 Appearance and defects of weldment by pulse laser and arc heat source

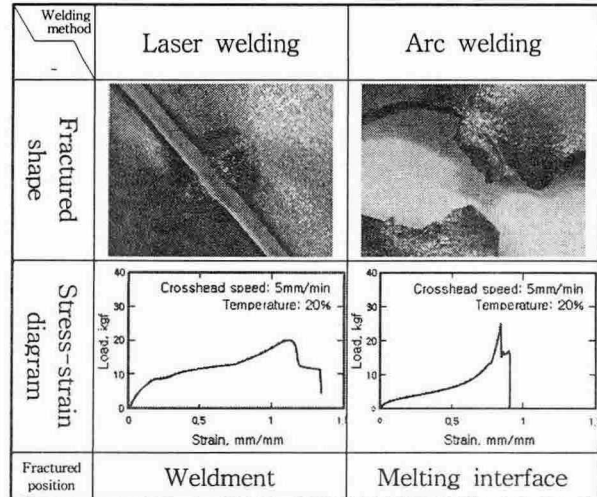


Fig. 7 Tensile test results of specimen made by pulse laser and arc heat source

이 아크용접에 비해 약 2배정도 강하였다. 더욱이 아크용접은 용융경계면에서 파단을 일으키며 끊어진 반면, 레이저용접은 용접부 전체가 서서히 파단되어 갔다. 즉, 아크용접은 입열에 의해 용접부와 모재사이의 강도차이가 크게 발생했기 때문으로 보이며, 레이저용접은 용접부와 모재사이의 강도차이가 작기 때문인 것으로 판단된다. 따라서, 지금까지의 결과로 보아 레이저용접이 아크용접에 비해 내구성이 더 좋을 것으로 판단된다.

4. 결 론

레이저에 의한 적층코어의 용접은 규소강판에 코팅된 절연피막의 영향으로 결합이 발생하기 쉬우나, 펄스폭에 의한 피크파워의 제어를 통해 절연피막의 제거공정 없이도 건진한 비드를 얻을 수 있었다. 뿐만 아니라, 별도의 용접설계 공정 없이도 용접이 가능하고, 용접 후공정도 생략할 수 있었다. 더욱이 결합을 제어하기 위해 충분히 설계된 기존의 아크용접에 비해서도 우수한 용접 품질을 나타내었다.

참 고 문 헌

1. Youshio Iwai, Nozomu Okumura and Osamu Miyata : Application of Laser Processing for Automotive Parts Manufacturing, Proceeding of LAMP'87, 517-523

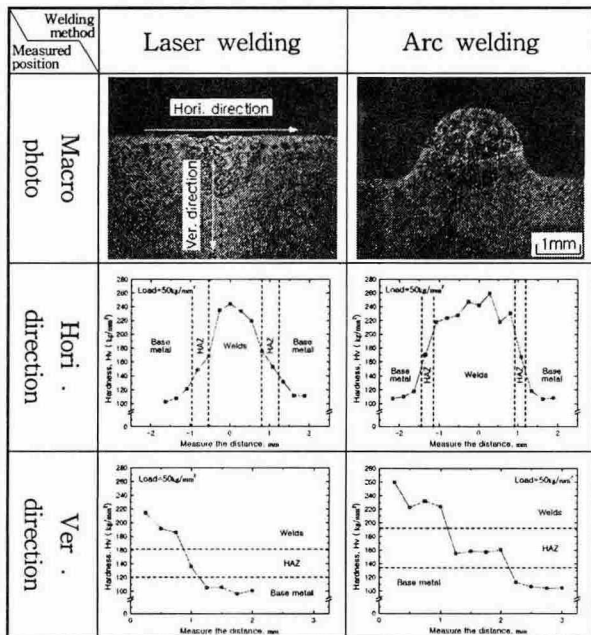


Fig. 6 Hardness distribution of weldment by pulse laser and arc heat source

Fig.7은 레이저와 아크용접의 인장시험결과를 나타낸다. 아크용접이 레이저용접에 비해 다소 인장강도는 강하였으나, 항복강도는 레이저용접