

액체로켓엔진용 인젝터 접합부의 미세조직 Microstructure of the Brazed Joint for LRE Injector

남대근*, 홍석호*, 이병호**

* (주)로템 기술연구소

** (주)비츠로테크 기술연구소

ABSTRACT Brazing is an indispensable manufacturing technology for liquid rocket engine. In this study, for LRE injector, stainless steel 316L was used of base metal and Ni based MBF-20 of insert metal. The brazing and diffusion was carried out under various conditions. There are solid phase and residual liquid phase in the brazed joint. With increment of holding time, the amount of solid phase increased and the elements of base metal and insert metal compositionally graded. Boron diffused from insert metal came into base metal and made boride with Cr and Mo at the brazed joint of base metal and insert metal.

1. 서 론

KSR-III 액체추진로켓의 성공적인 발사이후에 로켓의 국산화 개발에 관심이 고조되고 있다. 로켓은 많은 구성품으로 조립되며, 특히 로켓엔진은 고온의 연소가스와 극저온의 추진제에 노출되므로 제품의 신뢰성이 요구된다¹⁾.

로켓엔진을 개발하기 위해서는 다양한 특수공정이 필요한데, 그 중에서 접합기술은 복잡한 형상의 부품들을 조립하는데 사용되며, 로켓엔진의 성능에 중요한 역할을 한다¹⁻³⁾.

본 연구에서는 접합기술이 사용되는 로켓엔진의 부품 중에서 인젝터에 대한 접합특성을 확인하고자 하였으며, 이를 위하여 접합 및 확산처리 시간을 변화시켜 접합부에서의 미세조직을 분석하였다.

2. 사용재료 및 실험방법

2.1 사용재료

본 연구에서 사용한 모재는 오스테나이트계 스테인레스강인 316L을 사용하였으며, 삽입금속은

Ni기 합금인 MBF-20을 사용하였다. Table 1은 사용된 재료의 조성이다.

2.2 실험방법

접합 전 모재는 전해연마를 수행한 후 삽입금속과 함께 초음파 세척하여 고주파 진공로에서 접합하였다. 접합은 양 모재사이에 삽입금속을 설치하고 1×10^{-5} torr의 진공도에서 1K/s의 속도로 가열하고, 접합 및 열처리를 실시한 후 노냉

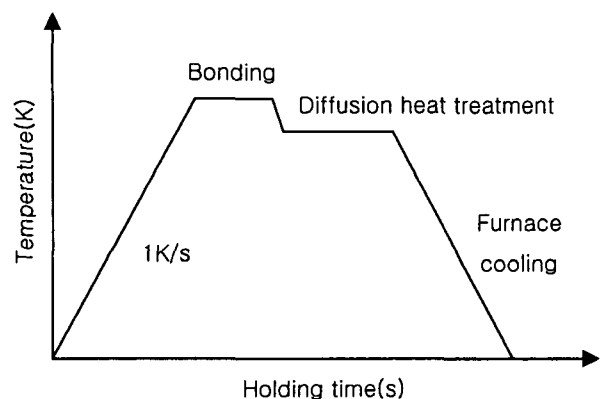


Fig. 1 Thermal cycle pattern

Table 1 Chemical composition of materials used(wt%)

Materials		C	B	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	Fe
Base metal	316L	0.08	-	2.0	1.0	0.04	0.03	12.0	17.0	2.5	Bal.
Insert metal	MBF-20	-	3.2	-	4.5	-	-	Bal.	7.0	-	3.0

하였다. 접합은 1323K의 접합온도에서 0.6-1.2ks로 유지시간을 변화시켰으며, 확산처리는 1273K의 온도에서 유지시간을 1.8-3.6ks로 변화시켰다.

접합부는 연마면을 전해에칭한 후 광학현미경으로 미세조직을 관찰하였다. 또한 접합부의 성분은 EPMA를 사용하여 분석하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 접합부의 조직

Fig. 2는 모재인 316L 사이에 삽입금속인 MBF-20을 사용하여 브레이징한 접합부의 조직을 나타내었다. 접합부는 모든 시편에서 비교적 양호하였으며, 미접합부는 관찰되지 않았다.

Fig. 2(a)는 브레이징 온도 1323K, 유지시간 0.6ks로 접합한 후에 1273K의 온도에서 1.8ks 동안 시편을 유지시켜 접합부의 성분을 확산시킨 경우이다. 접합계면에서 삽입금속 방향으로 흰색의 고상영역이 보이며, 이후 중심방향으로 회색

물결모양의 잔류액상이 관찰된다. Fig. 2(b)는 Fig. 2(a)에 비하여 1273K의 온도에서 유지시간을 3.6ks로 증가시킨 경우이다. 접합계면 근방의

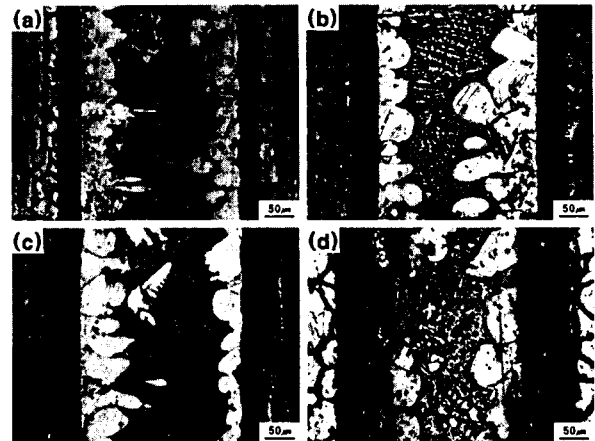


Fig. 2 Microstructures of bonded interlayer at (a) 1323K×0.6ks, 1273K×1.8ks (b) 1323K×0.6ks, 1273K×3.6ks (c) 1323K×1.2ks, 1273K×1.8ks (d) 1323K×1.2ks, 1273K×3.6ks

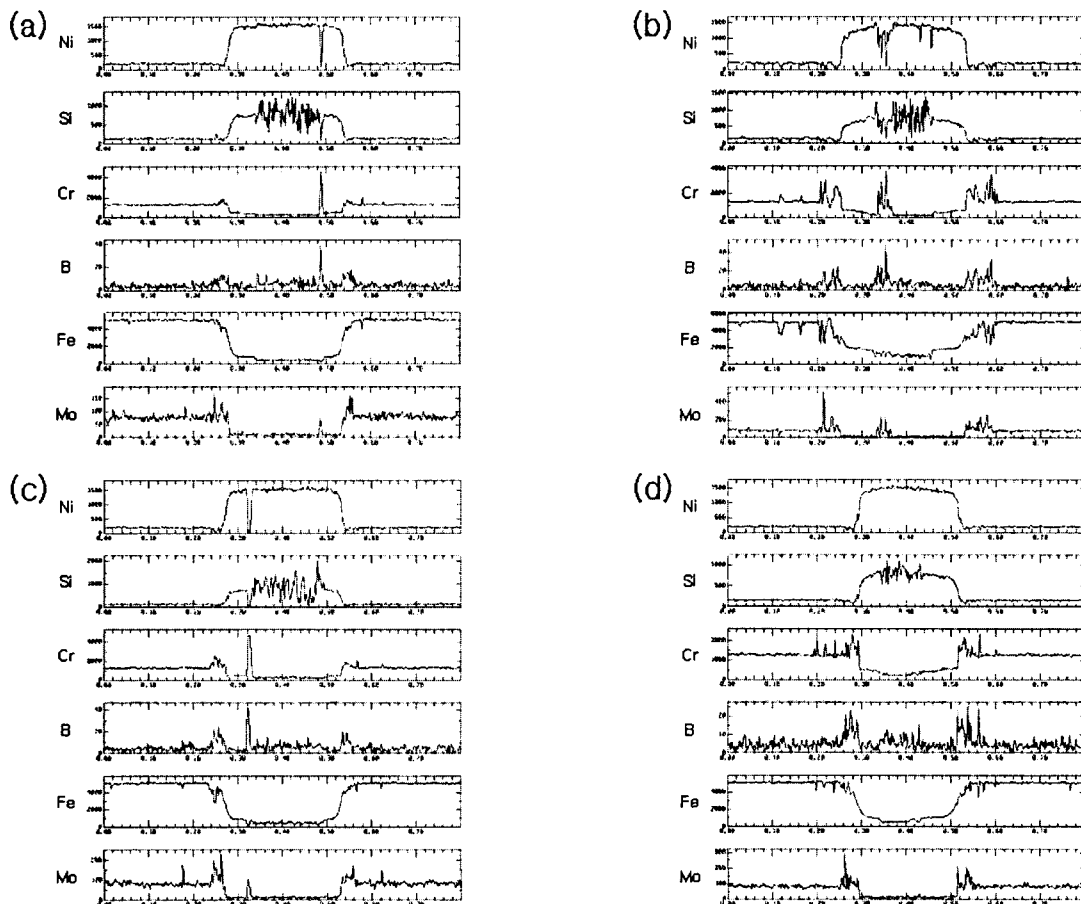


Fig. 3 Element profiles analyzed by EPMA of bonded interlayer at (a) 1323K×0.6ks, 1273K×1.8ks (b) 1323K×0.6ks, 1273K×3.6ks (c) 1323K×1.2ks, 1273K×1.8ks (d) 1323K×1.2ks, 1273K×3.6ks

고상영역이 Fig. 2(a)의 경우보다 10%정도 높았으며, 접합부 중심으로 이동하는 경향을 보인다. Fig. 2(c)는 브레이징 1323K×1.2ks와 확산처리 1273K×1.8ks의 조건을 거친 시편으로, 고상영역이 Fig. 2(a)와 비슷하였다. Fig. 2(d)는 Fig. 2(c)에 비하여 1273K의 온도에서 유지시간을 3.6ks로 증가시켰다. 고상영역의 경우 다른 시편에 비해서 조대화된 것을 알 수 있는데, Fig. 2(c)에 비하여 17%정도 많고, Fig. 2(b)에 비해서도 7%정도 많았다. 전체적으로 확산처리시간이 증가하는 경우 고상영역이 증가하고, 고상과 잔류액상의 계면이 원형으로 변화되는 경향을 보인다.

3.2 접합부의 성분

Fig. 3은 EPMA를 사용하여 접합부 계면에서의 성분변화를 선분석으로 관찰한 것이다. 접합부는 크게 4종류의 영역으로 구분할 수 있는데, 먼저 삽입금속에서 Ni, Cr, Si, B으로 구성된 잔류액상영역이 있으며, Ni, Cr, B과 안정화된 Si로 구성된 고상영역, 그리고 Ni, Cr, Si, Fe, Mo의 함량이 변화되는 접합계면과 Fe, Cr, Ni 등으로 구성된 모재영역으로 구분된다.

Fig. 3(a)은 브레이징 1323K×0.6ks, 확산처리 1273K×1.8ks의 조건을 거친 시편이다. 접합부 계면에서 모재방향으로 보론의 성분함량이 다소 높게 나오고 있는데, Fig. 2와 연관하면 삽입금속의 용점저하 원소인 Si와 B 중에서 확산이 용이한 보론이 모재로 이동하고 있음을 알 수 있다. 따라서 접합부 계면과 가까운 삽입금속 영역에서 용점상승으로 등온응고가 진행되면서 고상영역이 성장하는 것으로 보인다. 잔류액상 영역에서는 Si의 성분함량이 요동치고 있으며, Fig. 2에서 보면 잔류액상이 물결무늬로 여러 개의 미세한 상으로 구성된 것으로 생각된다. 한편 접합부 계면에서 보론과 크롬, 몰리브덴의 성분함량이 높는데, 이는 삽입금속에서 이동된 보론이 크롬과 몰리브덴 등과 결합하여 석출상이 이루는 것으로 보인다⁴⁾.

Fig. 3(b)는 브레이징 1323K×0.6ks, 확산처리 1273K×3.6ks의 경우로서 접합부 계면부위에서 Ni, Si, Fe 등의 성분함량이 경사를 보이고 있다. 이는 확산처리 시간의 증가에 따라서 모재와 삽입금속의 성분들이 접합부 계면을 기준으로 이동하는 것으로 생각된다.

Fig. 3(c)는 브레이징 1323K×1.2ks, 확산처리

1273K×1.8ks의 경우이며, Fig 3(a)와 유사한 경향을 보이는데, 석출상의 경우 주로 접합부 계면에서 관찰되었다. 이는 확산되는 보론이 계면에서 크롬과 결합되는 것으로 보인다.

Fig. 3(d)는 브레이징 1323K×1.2ks, 확산처리 1273K×3.6ks의 경우이며, Fig 3(b)와 같이 접합부 계면에서 성분함량의 경사가 관찰되었다.

4. 결 론

로켓엔진용 인젝터에 대하여 브레이징과 확산처리 시간변화에 따른 접합부 조직관찰 및 성분변화를 검토하였다. 본 연구에서 얻은 결론은 아래와 같다.

1) 접합부는 모든 시편에서 비교적 양호하였으며, 브레이징 및 확산처리 시간이 증가할수록 고상영역이 증가하였다.

2) 접합부는 크게 잔류액상, 고상, 접합계면, 모재로 구성된 4종류의 영역으로 구분할 수 있다.

3) 확산처리 시간이 증가할수록 모재와 삽입금속의 성분함량이 경사를 보였으며, 이는 확산에 의한 것으로 판단된다.

4) 삽입금속에서 확산된 보론은 크롬, 몰리브덴과 석출상을 형성하는 것으로 판단되며, 주로 접합부 계면에서 관찰되었다.

후 기

본 연구는 과학기술부 국가지정연구실 사업의 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Dae Up Kim, Yong Ho Cho, Young Soo Kim, Yoo Cheol Woo and Yong Kyu Rho : Material and Joining Technology for Liquid Propellant Rocket, Journal of KWS, 18-6(2000), 677-680
2. AWS : Brazing Manual(3rd Edition), AWS, INC., 1976, 197-203
3. Dae Geun Nam, Seok Ho Hong and Kyu Seok Han : Optimized Brazing Conditions of Regenerative Cooling Thrust Chambers, Journal of KSAS(2003), 112-113
4. Byong Ho Rhee : Transient Liquid Phase Diffusion Bonding of Duplex Stainless Steel Using Ni-base and Fe-base Insert Metal, Doctor's Thesis, Yonsei University, 2003, 80-87