

반응융상태에서 가압용침에 의한 재료의 구조화와 복합화

윤석영·강정윤

Infiltrating and Bonding Process under Semi-Molten State for Assembly and Hybrid of Materials

Seog-Young Yoon and Chung-Yun Kang

1. 용침소결확산접합의 원리와 응용

용침소결확산접합 공정은 그림 1과 같이 다공질체의 공극에 이것보다 용점이 낮은 이중 용융금속을 침입시켜 접합하는 방법이고, 침투법, 함침법, 침윤법 등으로 다양하게 불리고 있다. 이 공정은 액상금속의 다공질체 내로 모세관 현상으로 침투하여 접합하는 법으로, 실제로 Fe-Cu, TiC-고속도공구강 등의 조합에 의해 부품들이 제조되고 있다.

그림 2는 이전에는 소결체를 기계 가공하거나, 브레이딩으로 제조하던 것을 용접 소결 확산 접합법으로 제조하는 스타트 모터용 스위치 부품 제조 공정을 나타낸 것이다.

그림 3은 Fe-Cu-C (SMF 4040) 소결용 압분체 1의 상부에 압분체 2를 삽입하고, 그 위에 Cu-3%Co 동용침체 3을 올려 놓고 로에 장입하여 용침소결확산접합시켜 기어 축(Cam gear)을 제조하는 과정을 나타낸 것이다.

그러나 다공질체와 젖음성이 나쁜 재료 조합 시에는 액상금속이 모세관 현상이 원만하게 일어나지 않아, 확

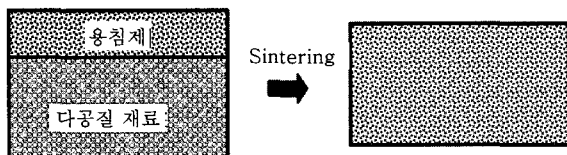


그림 1 일반 용침소결 공정의 모식도

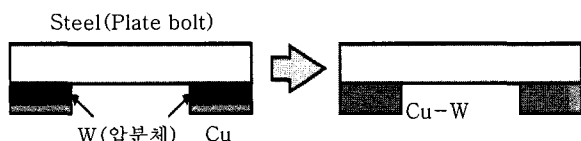


그림 2 일반 용침소결접합법에 의한 스타트 모터용 스위치 부품 제조 예



그림 3 일반 용침소결접합법에 의한 기어축 부품 제조 예

산접합이 이루어지지 않는 경우도 있다. 이러한 결점을 보완하기 위하여 후술하는 것처럼 가압하여 강제로 용탕을 다공질체에 용침하는 방법이 있다.

2. 반응융상태 가압용침소결확산접합

반응용융금속은 고상입자와 그들 사이의 간격을 메우는 액상으로 구성되어 있고, 이것을 외력을 가하면, 특이한 변형 기구, 즉 고상입자간의 상대슬립, 회전, 파괴, 이동 등으로 변형한다. 이것에 의해 가공에 필요한 힘을 크게 저감시킬 수 있을 뿐만 아니라, 다양한 조직제어가 가능하다.

세라믹스와 같은 다공질체는 용융금속과 대체로 젖음성이 불량하여, 모세관현상으로 공극을 채우기가 어렵기 때문에 접합이 이루어지지 않을 경우가 많다. 반응용융금속의 특이한 변형기구 현상을 착안하여, 가압용침소결에 적용한 새로운 반응용 가압 용침소결확산접합법이 개발되었다. 이 프로세스는 어떤 수단으로라도 액상금속에 압력을 가하여 강제로 다공질체의 공극 내로 액상 금속을 침입시키도록 하는 방법이다.

용융금속의 가압은 주로 금형과 펀치를 이용하는 고압주조(가압주조)가 이용되고 있다²⁾. 이 방법은 입자분산강화형 복합재료의 제조에 응용되고 있다. 이와 같은 가압용침은 재료 복합화를 위한 중요한 수단이라고 할

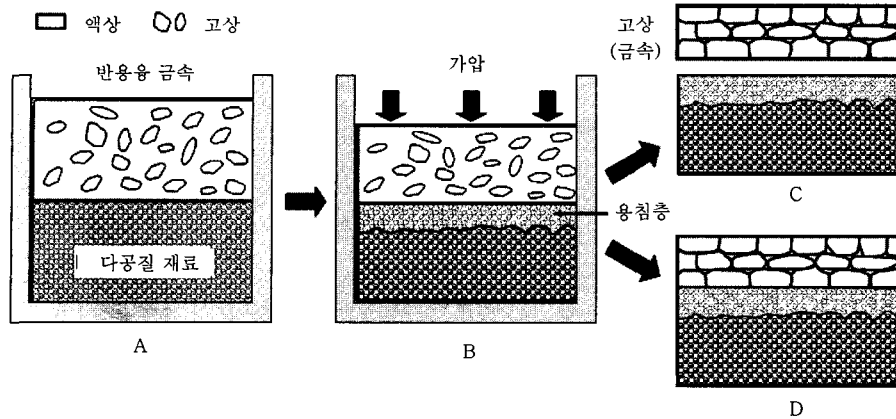


그림 4 반용융상태에서 가압용침 및 접합의 모식도

수 있다. 금속/세라믹스 복합화에서도 상기 가압용침법이 적용되지만, 용융금속 대신에 반용융 금속이 사용되는 것이 특징이다.

그림 4는 금속/세라믹스 접합 복합화 프로세스의 모식도이다. 우선 세라믹스 다공질체와 합금은 금형 중에 쌓아놓고, 합금을 반용융상태(A)로 하고 가압한다.(B) 가압에 의해 합금중의 액상은 다공질체로 침입하고, 고상은 세라믹스 표면에 퇴적한다. 이 퇴적한 고상에 대한 처리 여부에 따라 다음 2개의 복합체 형태가 얻어진다. 첫째는 용침 후 퇴적한 고상을 제거하는 경우로서 표면부에 금속과 세라믹스와의 복합조직을 갖는 세라믹스부재가 얻어진다.(C) 둘째로는 용침 후 가압을 유지한 채 액상을 응고시킨 경우로서 세라믹스 상에 퇴적한 고상은 용침층을 개재한 세라믹스와 일체화하고, 금속/세라믹스 복합체가 얻어진다.(D)

본 가압용침 소결확산접합 프로세스는 다음과 같은 장점을 가지고 있다. ① 단시간에 복합화 혹은 접합이 가능하다. ② 젖음성이 불량한 액상이라도 접합이 가능하다. ③ 소결온도가 낮다 ④ 작업이 간단 용이하고 안전하다. ⑤ 연질 금속이 복합화 하여, 압력실링 기능 세라믹스 소재로 사용 가능하다.

그림 5는 반용융금속으로 Pb-Sn, 세라믹스 다공질체로서 알루미늄을 사용하여 금형 중에서 가압하여 제조

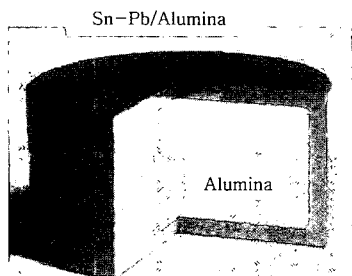


그림 5 일반 가압용침소결접합법으로 형성된 복합체

한 시료의 종단면을 나타낸 것이다. 그림 중에 검게 둘러싸여 있는 부분은 Pb-Sn 합금이 용침한 부분이다.

다공질체의 용침량은 가압조건에 따라서 크게 영향을 받는다. 예를 들면 그림 6은 압력(p) 및 고상분율(ψ)의 영향을 나타낸 것이다. 무가압 또는 가압이 낮은 범위에서는 거의 용침현상이 일어나지 않는다. 이 공정에서는 약 10MPa 이상의 압력으로 용침이 가능한 것을 알 수 있다. 이와 같이 서로 젖음성이 낮은 조합에서는 용침현상이 발생하기 위해서 일정 이상의 가압력이 필요하다. 한편 고상분율의 영향도 크다. 고상분율이 증가하여, 일정 이상이 되면, 용침량은 급격히 감소한다. 이것은 액상량의 저하에 의한 것보다도 고상입자끼리 접촉하는 고상분율로 증가되면, 가압 편치의 진행이 급격히 방해되고, 합금 중에 액상이 존재하여도 유출되기 때문인 것으로 생각된다.

가압용침에 의해 액상이 다공질체의 개방기공을 완전히 충전하는가 여부는 본 프로세스에 의한 접합복합화에 큰 문제점이다. 예를 들면 그림 7과 같이 상기 Pb-Sn/알루미나 접합 복합화한 시료의 단면조직을 보면, 알루미늄(회색)중에 혼재하고 있는 합금이 충전된 부분(흰색)과 더불어 미충진 영역인 기공(검은 점상 부

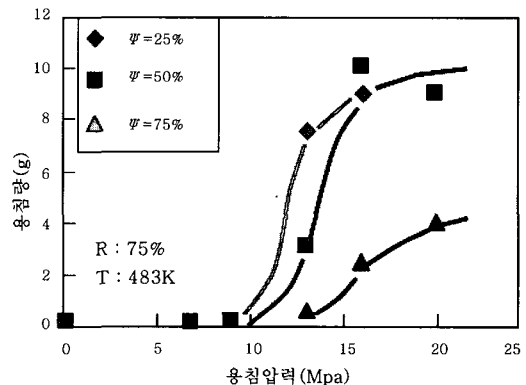


그림 6 일반 가압용침소결접합법으로 형성된 복합체

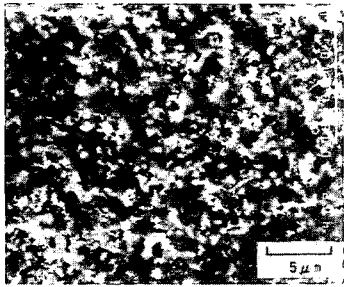


그림 7 Pb-Sn/알루미나 가압용침층의 미세조직

분)이 보인다. 이 시료는 상대밀도가 75%이고, 대부분 개방기공으로 존재한다. 따라서 개방기공으로 존재하여도 가압으로 충전되는 것은 결코 아닌 것을 알 수 있다. 이것은 젖음성이 불량하기 때문에 압력을 제거할 때 앞서 기공에 침입한 액상이 다공질체 밖으로 유출되기 때문이다.

그림 8은 483K의 일정 용침온도에서 하중을 제거할 때 온도와 충전율(β)와의 관계를 나타낸 것이다. 충전율은 용침층 중에 전 개방기공을 채운 최대 용침량에 대하여 실측 용침량의 비율이다. 제하 온도를 낮추면 충전율이 현저히 증가하고, 이 합금의 공정점인 456K 이하가 되면, 용침한 액상의 유동성 저하에 의해, 제하 후에 유출이 억제되었기 때문인 것을 시사하고 있다. 이상과 같이 가압용침 후에 제하 온도에 대해 유의할 필요가 있다.

전술한 바와 같이 반응용침속의 가압용침에서는 액상이 세라믹스의 다공질체에 침입하고, 고상은 다공질체의 표면에 퇴적한다. 이때 침입한 액상이 응고하기까지 가압 유지하면 퇴적한 고상과 다공질체는 용침층을 사이에 두고 일체화한다. 침입하여 응고한 합금은 퇴적합금과 세라믹스와 연결하는 양카로 작용한다. 따라서 피접합체 재료간의 반응성이 나빠도 접합이 가능하다.

그림 9는 반응용침속 용침소결 프로세스에서 얻어진 접합체의 단면의 일예를 나타낸 것으로, 단면 미세조직

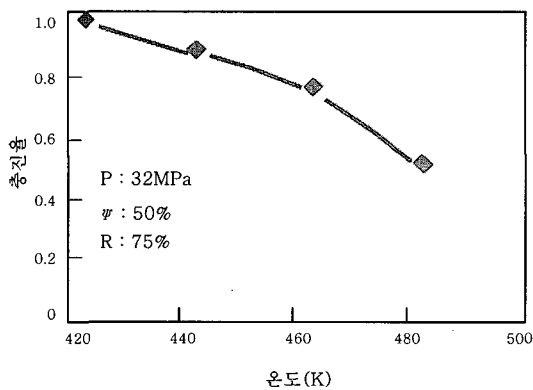


그림 8 Pb-Sn/알루미나 가압용침소결접합에서 압력 제거 온도와 충전율과의 관계

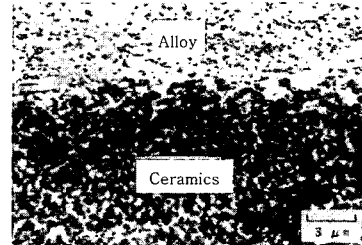
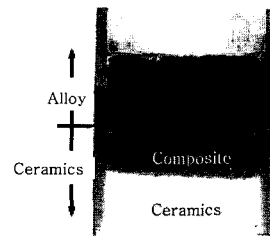


그림 9 Pb-Sn/알루미나 가압용침소결접합부의 거시조직과 접합계면에서 미세조직

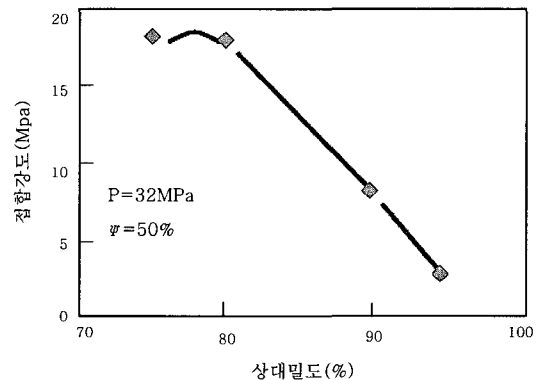


그림 10 Pb-Sn/알루미나 가압용침소결접합체의 접합강도에 미치는 상대밀도의 영향

과 함께 나타낸 것이다. 이것으로부터 계면에서 고상합금이 세라믹스에 침입한 양상이 보인다. 접합강도를 조사한 결과는 그림 10에 나타낸다. 접합강도는 다공질체의 상대밀도에 크게 의존하는 것을 알 수 있고, 본 프로세스에 의한 접합이 용침합금의 양카 효과에 강하게 의존하고 있음을 반증하고 있다.

그림 11은 반응용침속 가압용침소결 프로세스에서 얻어지는 접합형태의 예이다. (a)는 복합조직층(M+C, 단 M:금속, C:세라믹스)을 표면에 갖는 세라믹스부재, (b)는 복합조직의 벌크와 금속의 제타부재, (c)는 금속과 세라믹스와 접합부재(복합조직층을 개재한 접합)이다. 이와 같이 용침에 의한 복합조직은 다양한 형태로 구상할 수가 있고, 형태에 따라서 용도가 다양할 것이다. 또한 (d)는 상기 복합조직(M+C)의 미세조직 모식도로서 이 복합조직의 구조는 금속이 세라믹스 기지에 단순히 분산한 것만이 아니고, 금속끼리가 서로 망목상으로 연결되어 이것이 소결상태인 세라믹스에 결합된 것이다.

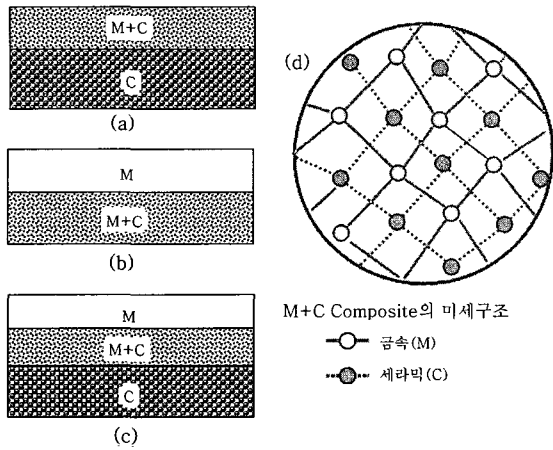


그림 11 반응용금속 가압용침소결접합 프로세스에 의해 얻어지는 복합체의 형태

따라서 이 프로세스에서 얻어진 복합체(조직)은 세라믹스에 결합된 것이다. 따라서 이 프로세스에서 얻어진 복합체(조직)은 세라믹스의 성질과 금속의 성질을 병합되고, 이 특징으로부터 이제까지 없는 재료 특성이 기대된다. 예를 들면, 세라믹스의 강인화, 복합조직층을 개재한 이중금속과의 접합에 이용할 수 있다.



- 윤석영(尹錫永)
- 1960년생
- 부산대학교 재료공학부
- 기능성재료, 재료물성평가
- e-mail : syy3@pusan.ac.kr



- 강정운(姜鼎允)
- 1953년생
- 부산대학교 재료공학부
- 접합공학, 계면미세조직제어
- e-mail : kangcy@pusan.ac.kr

또한 적층형 복합형태로서는 금속과 세라믹스의 적절한 조합에 의해 표면에 습동, 진동, 열전도, 전기전도에 관련한 기능을 가진 세라믹스 부품, 또는 내마모성, 내열성, 내식성 표면을 갖는 금속 부품 등의 제조에 응용될 수 있다.

표 1은 각종 소결접합과 용접 접합법의 장단점을 비교한 것이다.

표 1 각종 소결접합법과 용접접합법과의 특성 비교

접합법	소결 확산접합	Cu 용침접합	브레이징	용접
조합재료 제약	△	△	○	△
강도	○	○	○	△
크기	○	△	×	△
열처리성	○	△	△	×
접합 신뢰성	○	△	△	△
경제성	○	×	×	△

참 고 문 헌

1. Nagata : J. Jpn Inst. Met., 25-12(1986) 1022
2. Shirota : J. Jpn Welding Society, 68-2(1999) 109