

계면접합 현상과 최근 토픽

Situation and topics of Interfacial Bonding

강 정 윤

부산대학교 공과대학 재료공학부, 부산

1. 계면접합법의 정의

“계면접합” 용어의 의미를 알기 위해서는 용접(Welding)과 접합(Bonding)이라는 용어의 의미를 정확히 파악할 필요가 있다. “Welding”은 원자간의 결합에 의해 두 개 이상의 물체를 국부적으로 결합시키는 방법을 말한다. weld의 어원은 Coalescence(합체(合體), 합일(合一))이다. 따라서 welding의 의미는 두 물체를 하나로 만드는 조작이라고 할 수 있다. 한편, welding에 대응하는 용어를 우리나라와 중국에서는 熔接, 일본은 溶接으로 표기하고 있다. 모두 “녹일 용”자를 사용하는 것으로부터, 동양에서는 용접을 공통적으로 가열하여 녹여서 두 개 이상의 물체를 연결하는 조작을 의미하고 있다.

접합이란 용어는 영어로 Joining 혹은 Bonding 두 가지로 표현되고, “Joining”은 2개의 물체를 연결한다는 광의의 의미로서 사용되며, 용접(Welding) 이외에 기계적 체결 방법이 포함된다. “Bonding”은 구미에서 welding, Brazing, Soldering 등과 같은 접합의 비표준어로서 사용되는 용어이다. 결국 미국의 경우, “Welding”은 “합체”라는 넓은 의미를 가지므로, Bonding과 Welding을 혼용하여 쓰는 경우가 많다. 반면에 특히 일본과 우리나라에서는 대체로 모재를 거의 녹이지 않는 결합 방법을 “접합(Bonding)”이라는 용어를 사용하는 경향이 많다. 따라서 접합법을 크게 모재를 녹이는 경우를 용융용접으로, 모재를 거의 녹이지 않고 접합하는 경우를 계면접합으로 분류하는 것이 바람직하며, 이미 사용되고 있다.

계면 접합(Interfacial Bonding)은 새롭게 출현한 접합기술이 아니고, 용융용접과 대치하여 사용하고 있는 용어로서, 용접계에서 파급되기 시작된 것은 얼마 되지 않는다. 이 접합법은 모재를 용융시키지 않거나, 극히 표면만을 용융시켜 면접합을 지향하는 방법을 말한다. 용접은 선(線) 즉 2차원적으로 두 물체를 연결하는 것이고, 접합은 면(面) 즉 3차원적으로 연결하는 것이다.

계면접합의 분류는 명확하게 정의되어 있지 않지만, 접합계면에 적극적으로 액상을 형성시켜 접합을 달성하는 액상접합과, 접합계면에 액상을 형성시키지 않고, 고상 상태에서 접합을 달성시키는 고상접합으로 크게 분류할 수 있다. 고상접합으로는 고상확산접합(혹은 확산접합), 마찰접합, 폭발접합, 초음파접합, 압접의 방법이 있고, 모두 가압 조작을 이용한 접합법으로 모재의 용융이 수반되지 않는다. 액상접합의 대표적인 프로세스로서는 브레이징과 솔더링이 있다. 최근 브레이징과 확산접합을 조합한 프로세스인 천이액상확산접합도 액상접합법에 해당한다. 액상접합법에서는 접합과정 중에 모재 사이의 반응에 의해 접합계면에 액상을 생성하는 경우가 있으나, 그 예는 아주 적고, 대부분 접합 전에 모재보다 용점이 낮은 저용점 금속인 삽입금속 혹은 솔더를 모재 사이에 삽입하고, 이것을 용융시켜 접합을 달성한다. 따라서 모재의 용융은 국부적으로만 이루어지고, 용융 깊이는 μm 오더이다.

계면접합은 용융용접과 비교하여 접합 시에 부여하는 열이 대단히 적고, 모재를 재용융시킬 필요가 없으므로, 모재의 열화시키는 정도가 아주 적다. 이 때문에 형상적으로 소형, 복잡한 부품에도 적용 가능하고, 재질적으로는 특수금속재료, 복합재료, 세라믹스 및 이종재료 간에 적용할 수 있는 특징을 가지고 있다. 또한 특성이 서로 다른 금속끼리 접합하거나, 금속과 세라믹스를 접합

하여 두개의 특성을 갖는 새로운 소재를 제조하는 수단으로 사용되고 있다. 따라서 앞으로 보다 계면접합의 이용도가 높아질 것으로 예상된다.

2. 계면접합법의 기본원리

재료를 용융하여 용접하는 경우, 그 용접부가 접합하였는가에 대한 의문은 없지만, 용융시키지 않고, 고상 상태로 접합하는 계면접합의 경우, 접합력이 발현할 것인가라는 의문이 생긴다. 특히 이종 금속끼리 고상 상태로 접합하는 경우, 접합계면에서 어떤 원자 결합 상태를 이룰 것인가에 대한 의문이 생긴다. 따라서 계면접합의 기본원리를 파악하기 위해서는 원자론적 차원에서 살펴볼 필요가 있다.

그림 1의 (a)는 재료 내부의 원자배열 상태를, (b)는 이 재료가 파괴되었을 때 원자배열 상태, (c)는 다시 접합하였을 때 원자배열 상태를 나타낸 것이다. 그림 2는 원자간에 작용하는 힘과 원자거리와의 관계를 정성적으로 표시한 것이다. 2개의 원자가 아주 멀리 떨어져 존재할 때는 이 두 원자에 작용하는 상호 인력은 거의 0에 가깝지만, 접근함에 따라서 인력도 크게 작용하고 금속 결정 중의 평균 원자간 거리 1.5배가 되는 곳에서 최대가 된다. 결국 재료가 파괴된 상태는 원자간의 거리가 멀리 떨어져 상호간의 인력이 0인 상태를 말하고, 접합은 두 재료를 최대 인력이 작용하는 거리로 접근시켜, 인력과 척력의 크기가 같게 되어 두 물체가 결합한 상태로서 에너지적으로도 안정하게 된다.

그림 3은 상온계면접합의 개념을 표시한 모식도¹⁾이다. (재료의 표면이 청정하고 이상적인 경우, 재료표면에 위치하는 원자는 결합손(Dangling bond)을 가진 활성화된 상태이다. 따라서 활성화된 상태인 표면을 가진 재료를 그림2에 표시한 것처럼 원자간 인력이 작용하는 거리까지 접근시키면, 표면간에 인력 및 결합력이 작용하여 응착되어 접합이 이루어진다. 이와 같은 개념을 직접 실현시킨 계면접합을 상온계면접합 혹은 표면활성화 상온접합법이라고 말한다. 따라서 상온계면접합을 실현하기 위해서는 재료의 청정화 기술, 재료의 초평활화 기술 및 접합분위기의 초고진공화 기술의 개발이 필요하다.

그러나, 공업용 재료는 그림 4와 같이 표면에 산화층 및 오염층이 존재하고, 요철이 존재하므로, 피접합면이 서로 접촉되지 않고, 접촉되더라도 순수 원자간의 인력이 작용할 수 없기 때문에 접합이 이루어질 수 없다. 따라서 공업용 재료에서 계면접합을 달성하기 위해서는 산화층과 오염층을 제거하고, 요철을 평편하게 할 필요가 있다. 이를 위해서 온도와 압력을 부가하여 직접 접합하거나, 모재보다 용점이 낮은 삽입금속 혹은 솔더의 액상을 게재시켜 접합한다.

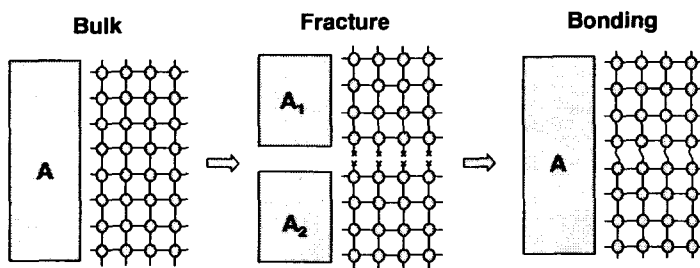


그림 1 고체, 파괴된 재료, 접합부의 원자배열

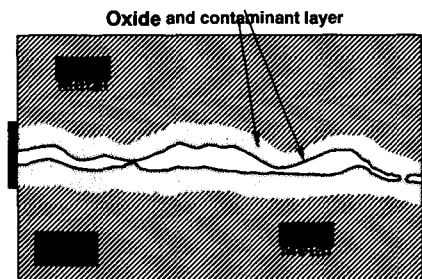


그림 4 공업재료의 표면상태 모식도

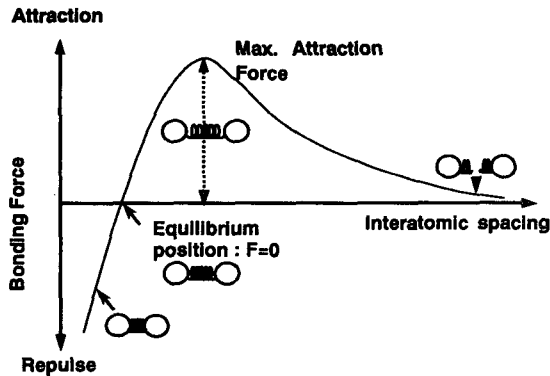


그림 2 원자간 거리와 원자간에 작용하는 힘

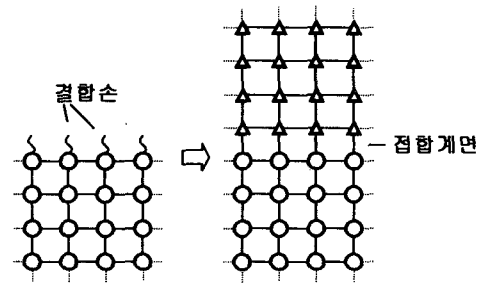


그림 3 계면접합의 기본개념

3. 상온계면접합 현상

상온계면접합은 이종금속 접합에서도 열팽창 차이에 의한 잔류응력의 문제가 없고, 접합부에 반응층이 형성되지 않으며, 위치 변화가 없는 정밀접합이 가능하므로, 전자부품, 반도체 또는 기능재료, 아몰퍼스 등과 같은 신소재의 접합에 적용될 것으로 기대되고 있다.

그림 5는 전자현미경 내에서 금(Au)으로 제조된 칩 부품끼리 접합하는 과정에서, 접합부의 격자상을 관찰하여 접합현상을 파악한 것이다²⁾. (a)는 접촉전의 격자상, (b)는 접촉 직후의 격자상으로 접촉에 의해서 금의 격자가 서로 약간 회전하고, 접합부에서 격자의 정합성을 만들면서 접합부를 형성하고 있는 것을 알 수 있다. 접합이 진행됨에 따라서 (c)에서 보이는 것처럼 원자의 접합 개소가 증가하고 있다. (d), (e), (f)는 접합체를 역으로 당겨서 박리시키는 과정을 관찰한 것이다. 이것으로부터 접합부의 형성은 접합계면에 원자의 접근과 접합부에서 원자의 이동에 의한 것임을 알 수 있지만, 접합기구의 전체를 설명할 수는 없다.

그림 6¹⁾은 Cu의 디스크 위에 Ag막을 고진공에서 상온계면접합시킨 후, 파단부의 SEM조직이다. 비교적 강한 접합부가 얻어졌음을 알 수 있다.

실용재료를 상온계면확산접합하기 위해서는 초평활면을 만들기 위한 초미세가공기술과, 표면 오염층을 제거하기 위한 청정기술의 개발이 필요하다. 현재 접합강도에 미치는 표면조도, 변질층 등의 영향에 대한 데이터의 축적과 접합기구에 대한 연구가 진행되고 있다.

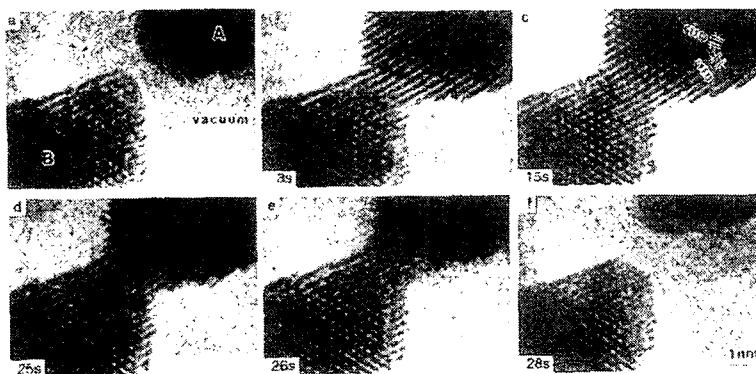


그림 5 전자현미경 내에서 Au 상온계면 접합부의 관찰
(a) 접근, (b),(c) 접촉접합, (d),(e) 인장, (f) 파단



그림 6 Cu-Ag 상온계면접합 파단부의 SEM조직

4. 고상확산접합법

확산접합법에 대해서는 지난 30년동안 많은 연구가 행하여지고 이용되고 있으나, 연구자에 따라서 용어는 다양하게 사용되고 있다. 예를들면 Solid state Bonding, Pressure Bonding, Roll Bonding, Isostatic Bonding, Eutectic Bonding, Hot Press Bonding 등이 있다. Grekene과 Owczarski는 이러한 용어의 혼동을 피하기 위하여 다음과 같이 정의하였다³⁾. “확산접합이란 열과 압력에 의하여 일정한 간격을 갖는 접합부가 최소변형을 일으키면서 확산을속과정으로 서로 접촉하는 표면이 합체하게 되는 접합 방법이라고 하였다.

그림 7⁴⁾은 확산용접의 접합과정을 모식적으로 표시한것이다. 접합과정은 다음의 3과정으로 대별할 수 있다. 1) 고온 Creep 변형과정 : 가열과 가압에 의해 고온 Creep변형과 유사한 소성변형이 생겨 각종의 표면피막이 파괴되고 국부적으로 순수한 표면이 나타난다. 이 현상은 시간이 증가함에 따라 순수금속에 접촉하고 있는 면적이 증가하여 간다. 동시에 모재 상호간에 확산이동이 일어난다. 2) 입계이동 및 Void의 소멸과정 : 미접촉부는 가늘고 긴 Void로 잔존하던 Void는 계면 Energy적으로 안정되기 위해 구상화 한다. 더욱 접합이 진행됨에 따라서 입계확산에 의해 Void는 점점 소실하고, 선상의 입계가 입계의 Energy를 보다 안정된 상태로 되도록 입계가 이동한다. 3) 체확산에 의한 Void소실과정 : 입계가 이동하고, 체확산에 의해 Void가 거의 소실한다. 이 과정에서는 결정립의 성장이나 재결정현상이 생기는 경우가 많다. 각종 산화피막이나 표면피막은 일반적으로 고용하든가 미세화되고 모재에 분산한다. 그러나 이종금속간의 접합은 접합계면 근처에서 금속간화합물이 형성되는 경우가 많아 접합과정이 복잡하다.

접합인자로서의 접합온도, 유지시간, 가압력, 피접합면의 표면상태, 접합분위기, 등이 있다. 접합온도는 모재의 확산계수, 소성변형, 표면피막이나 산화피막의 모상으로 고용 및 void의 소실에 큰 영향을 주고, 또한 모재의 변태나 석출상태 및 재결정을 결정하기 때문에 중요한 인자이다. 접합 가능한 온도는 시간 및 가압력의 크기 등에 따라 변화하지만 비교적 변형이 미소하고, 실용적인 시간 범위에서 접합 가능한 하한온도는 $0.40.6T_m$ (T_m :용점)이다. 온도와 압력에 따라서 접합시간이 결정되지만, 보통 수초에서 수 시간 정도이다. 특히, 이종금속간의 접합인 경우에, 장시간 처리하면, Kirkendal void나 금속간화합물이 형성될 우려가 있으므로 필요 이상으로 접합시간을 길게 할 필요는 없다. 접합압력은 피접합면의 미세한 표면 돌기부분을 소성변형시켜 평활한 면으로 만들고, 산화피막을 파괴시켜 순수금속표면을 돌출시켜 순수 금속표면이 접촉 가능하도록 하는 데에 있다. 따라서, 과도한 압력은 불필요하다. 접합면의 표면상태로는 청정도 및 표면조도이다. 접합분위기는 접합시 가열 유지하는 동안 산화하기 쉬우므로, 보통 불활성 가스, 환원성 가스 및 진공 분위기 중에서 행한다. 아주 대형인 제품에서는 접합면의 주위를 TIG나 MIG용접으로 실드하고 대기중에서 가열, 가압하여 확산접합을 하여도 양호한 결과를 얻을 수 있다.

특히, 이종금속간의 접합 시에는 상호확산에 의해 커켄달 보이드가 형성되거나, 금속간화합물이 형성되는 경우가 많다. 고용점 재료의 접합에서는 소성변형이 어렵고, 산화성이 강한 금속의 접합에서는 산화막 형성 때문에 접합강도가 낮다. 이 현상을 방지하기 위해서 삼입금속을 이용한다. 삼입금속을 이용하면 ① 낮은 온도에서 확산을 촉진이 가능하고, ② 낮은 압력에서의 표면변형을 촉진하므로 고경도 재료의 접합이 가능하고, ③ 금속간 화합물의 생성을 방지할 수 있고, ④ 산화성이 약한 금속을 삼입금속으로 사용하면 청정표면을 얻을 수 있다. 삼입금속의 형태로는 포일, 도금층, 증착층 등의 형태로 사용된다.

초소성현상이 나타나는 Ti합금, 이상스테인리스강 및 Al합금은 변형이 쉽고, 확산접합성이 우수하므로, 제품 형태로 가공과 동시에 접합을 행하는 초소성 성형·확산접합(Superplastic Deformation/Diffusion Bonding :SPF/DB)법이 개발되었다. 그 제조 과정의 일예를 그림 8에 표시한다. 에 대한 적용한 연구가 발표되고 있다.

일본의 경우 부품 제조에 확산접합을 채용하는 이유로는 고품질의 제품을 얻기 위해서(35%) 다른 방법으로 제조가 불가능하기 때문에(30%), Cost를 저하시키기 위해서(25%), 제품의 중량을 감소시키거나, 기타(10%)의 이유 때문인 것으로 알려져 있다⁵⁾.

최근 공업제품은 경박 단소의 방향으로 가고 있고, 확산접합에 의해 제조되는 부품도 종래보다 가볍고, 작고, 또한 접합온도 및 압력을 낮게 하는 정밀접합의 방향으로 가고 있다. 이들의 방향에의 브레이크스로홀로 기대되는 기술로서는 초정밀가공에 의한 평활면을 이용한 접합, 표면 청정화에 의한 접합이다.

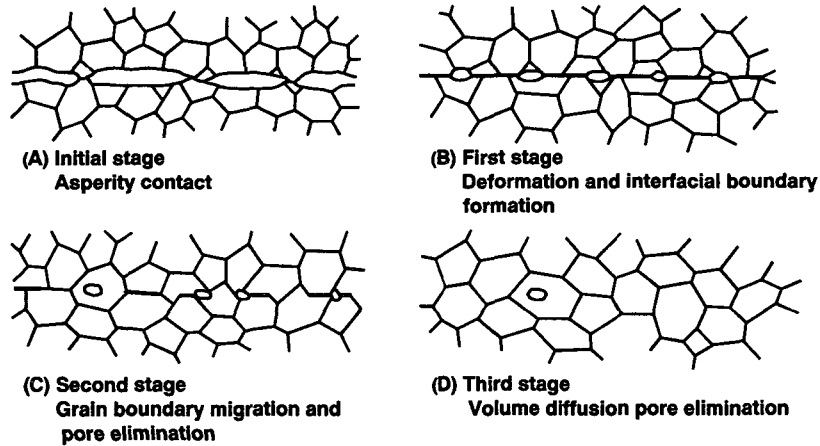


그림 7 확산접합 과정의 모식도

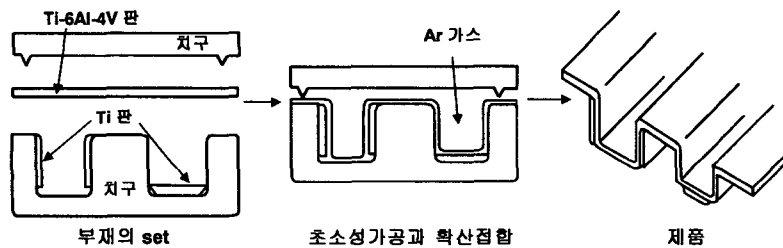


그림 8 초소성 성형·확산접합법을 이용한 패널 제조 과정

4. 브레이징(Brazing)

Brazing에 의한 금속의 접합기술은 이미 BC 3000년경 고대 바빌로니아(Babylonia)에서 귀금속의 장식품을 만드는 데에 이용되어져 왔다⁶⁾. 근대에 와서는 1950년 후반 N.Redns 등⁷⁾이 탄소강의 Ag 브레이징을 개발한 이후부터 브레이징에 관한 연구가 활발하게 되었다. 즉, 삽입금속 및 플락스의 개발, 삽입금속과 모재의 젖음성, 브레이징의 가열법과 분위기 조절, 접합이음부의 설계 등에 대해서 계통적인 연구가 시도되었다. 그 결과, 최근에 이르러서는 스테인레스 파이프의 슐브레이징에 의한 로켓트부스타(Rocket Booster)의 제작, LSI의 프린터배선, 파인세라믹스와 금속을 브레이징하여 소형 자동차의 Turbo Charger Rotar의 제작 등에 이용되고 있고, 첨단기술에 없어서는 안될 중요한 접합기술로 주목을 받고 있다.

브레이징은 반드시 삽입금속(Filler metal or Insert metal)을 사용하고, 접합은 용융 삽입금속이 모재표면에 젖은 후, 이음부의 틈 사이로 모세관현상에 의해서 유입되어 이루어진다. 용융용접부 및 브레이징부의 차이를 그림 9에 표시한다. 브레이징에서는 원리적으로는 모재를 용융시키지 않지만, 미시적으로는 모재와 용융 삽입금속과의 반응에 의해서 접합부 계면에서 합금층의 생성 혹은 모재의 용해현상 등과 같은 복잡한 반응이 일어난다.

이때 삽입금속은 모재 보다도 저융점을 가져야 하는 것이 필수조건이다. 용점이 미국에서는 427°C (800F) 이상, JIS 및 국제표준화기구(ISO)에서는 450°C 이상인 삽입금속을 사용할 경우를 브레이징이라고 하고, 용점이 이 이하인 온도를 사용할 때는 솔더링이라고 한다⁸⁾. 그러나 450°C라는 온도는 편의적으로 결정한 것이고, 특별한 물리적 의미는 없다. 예를 들면 Si합금이나 Mg합금과 같이 삽입금속의 용점이 양쪽에 속한 경우가 있으므로 구별하기가 어렵다.

그림 10은 일반적인 브레이징의 접합과정을 모식적으로 나타낸 것이다. 고체가 진공 중에서 그 표면이 청정한 경우에, 고체표면에 존재하는 원자는 내부의 원자와 같이 주위를 다른 원자로 둘러싸여 있지 않으므로, 불완전한 결합손을 가진 활성 상태로 된다. 이것이 표면에너지로서 작용하고, 타의 원자를 끌어들이 수 있는 구동력(Driving Force)인 동시에 액체금속이 젖게되는 근본적인 원인이다. 그러나, 공업재료의 표면에는 일반적으로 복잡한 흡착층 및 산화물층 등이 존재한다. 또한 청정한 표면을 대기 중에 방치하거나, 가열하면 표면에너지에 의해서 공기 중의 산소 등과 같은 가스들이 흡착하여 흡착층 및 산화물층을 형성한다. 따라서 금속표면은 결합에너지가 포화하게 되어 그 표면은 불활성 상태가 되어 액상금속이 젖기가 힘들게 된다. 이 때문에, 금속을 브레이징할 때는 우선 플락스나 환원성 분위기의 이용, 혹은 진공 분위기 중에서 가열 등으로 산화물층을 제거하여 활성인 표면을 만들 필요가 있다. 표면이 활성화가 되면, 그곳으로 모세관 현상에 의해서 공급된 용융 삽입금속은 젖게 된다. 브레이징의 가장 기본적인 과정은 용융한 삽입금속이 모재표면에 젖는(Wetting) 과정이다. 젖음에 의해서 접촉된 고상의 모재와 용융 삽입금속의 계면에서는 모재의 성분원소가 삽입금속 쪽으로 용출하거나, 삽입금속의 원소가 모재 안으로 확산할 것이다. 이 결과에 의해서 계면에서 모재표면이 일부 용융하거나, 합금층을 형성하는 등의 과정을 거쳐서 접합이 이루어진다.

표면이 불활성 상태인 세라믹스를 브레이징할 때는 모재 표면에 메탈라이징(Metallizing)처리를 실시하거나, 삽입금속 중에 모재 성분과 반응을 잘 일으키는 활성금속을 첨가하여 젖음성을 증가시킨다.

모재가 용융 삽입금속에 의해 젖으면 시간의 경과와 더불어 모재 원자가 용융 삽입금속 내로 용출하거나, 삽입금속의 성분이 모재 중으로 확산하는 것에 의해 접합부 계면에 새로운 합금층 혹은 모재의 용융 현상이 생기고 그 후 냉각함에 따라 삽입금속이 응고하여 접합이 완료된다. 이 과정은 모재 및 삽입금속의 종류, 가열 및 냉각조건 등 제 조건에 따라 다르다.

삽입금속을 선택하거나, 합금설계를 하고자 할 때에는 삽입금속이 갖추어야 할 기본적인 성질을 파악하는 것이 급선무일 것이다. 그 성질로서는 젖음성, 용점이 가장 중요하지만, 그 외에도 용도에 따라서 필요한 성질이 있다. 기본적인 성질을 열거하면 다음과 같다. (1) 젖음성이 좋고, 적당한 유동성을 가질 것, (2) 용점이 낮고, 적당한 용융폭을 가질 것, (3) 접합온도에서 증발하기 쉬운 성분이 적을 것, (4) 접합 시에 각 성분이 액상에서 분리되지 않을 것, (5) 접합부의 기계적 성질 및 내식성이 사용목적에 적당할 것, (6) 판이나 선재로 가공하기 쉬울 것 등이 있다.

현재 JIS에 규정되어 있는 삽입금속으로는 표 1에 표시한 것과 같이 Ag, 인동, Au합금 등이 있지만, 용점이 아주 다르다. 이 중에서 Ag, 인동, Au 및 Pd 삽입금속을 귀금속 삽입금속이라고 부른다. 한편, AWS, DIN 규격으로는 상기의 삽입금속 이외에도 전자관용 삽입금속, 저Ag 삽입금속 등이 있다. 브레이징 기술 및 신소재 기술의 발달과 더불어, 사용조건 및 모재에 알맞는 새로운 삽입금속이 개발, 제조, 시판되고 있다.

부품의 제조 및 조립 시에 접합이 필요한 경우, 다양한 접합법 중에서 브레이징을 선택하는 경우는 다음과 같은 장점 때문이다. (1) 면접합·복잡한 형상부품 접합이 가능 (2) 정밀접합·미세접합이 가능 (3) 다수 부품을 동시에 접합이 가능 (4) 마무리 가공한 상태로 접합이 가능 (5) 이종재료의 접합도 모재의 성질을 소실하지 않으면서 쉽게 접합이 이루어진다. 여기서 (1)과 (2)는 용융용접에서는 곤란한 경우이고, (3)과 (4)는 경비 절감과 직결된다는 것이 특징이다. 실제의 경우는

이들의 특징이 중복되는 경우가 많다. 최근에는 부품제작 시 접합부의 고기능화와 생산성 향상에 의한 경비절감을 목적으로 다른 접합법을 사용하다가 브레이징으로 전환하는 경우가 많고, 브레이징 적용에 의해 새로운 부품을 제작 가능한 경우가 많다. 브레이징의 특징을 살펴 제조 조립되는 부품의 예를 표 2에 나타낸다.

최근 연구의 토픽으로는 브레이징 과정에서 계면형성과정을 고분해능 현미경을 이용하여 원자론적으로 해석을 시도하고 있다. 또한 삽입금속의 합금조성 설계와 최적 접합조건을 수리계획법 및 인공지능을 이용한 최적화에 대한 연구가 전개되고 있다. 한편 대형제품에 적용할 수 있는 브레이징 공정 및 장치설계와 시제 자동차용 열교환기의 고밀도화, 경량화에 대응하는 새로운 양산공법 개발을 목적으로 브레이징 시트를 대체할 수 있는 삽입금속 공급방법이나, 생산효율을 비약적으로 향상시킬 수 있는 브레이징 온도 저온화, 단시간화 등에 대한 연구가 기대된다.

참고문헌

- 1) 加紫良 : 日本溶接學會 界面接合委員會 IJ-18-86(1986))
- 2) 野村, 岩本, 田中 : 일본금속학회춘기대회강연개요집,(1997), p163
- 3) W.A. Owczarski : WJ, 1981 Feb. p23
- 4) W.H.King, etc : Weld. J.,(1968) 444s
- 5) 大前 : 일본용접학회지, 50-4(1981) p343
- 6) J.Wolters : Gold Bull., 10(1977) 27
- 7) N.Bredns : Weld. J., 37(1958) 493s
- 8) ISO 857 : Definition of Welding process

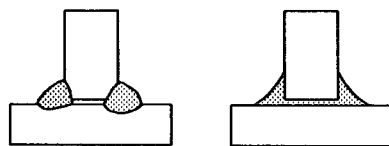


그림 9 용융용접부 및 브레이징부의 차이

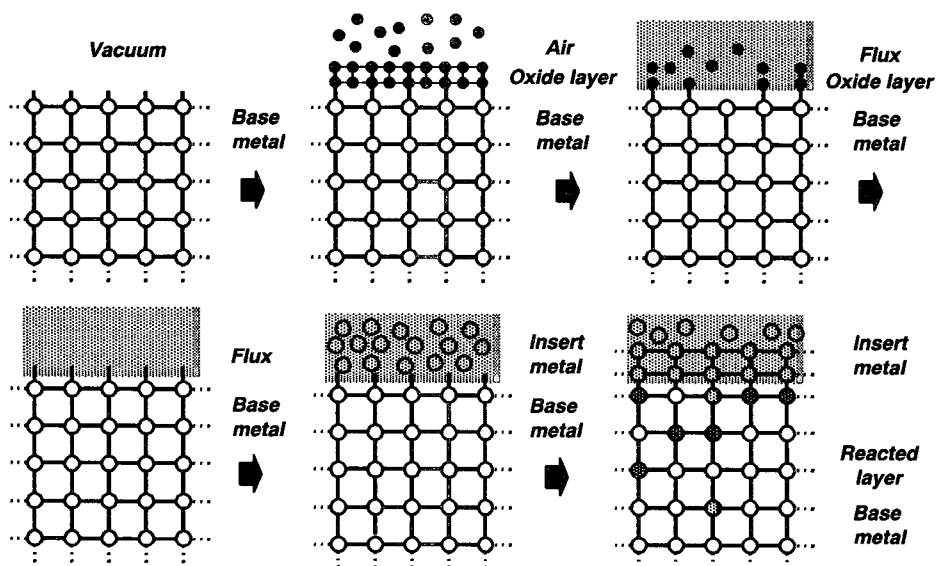


그림 6 브레이징 접합과정의 모식도

Table 1 브레이징용 삽입금속의 종류

명 칭	기호	종류	주요성분	첨가성분	용융온도(℃)
은 삽입금속	B _{Ag}	17	Ag, Cu, Zn	Cd, Ni, Sn, Li	605-800
동/황동삽입금속	B _{CuZn}	8	Cu, Zn	Ni, Sn, Si	800-935
Al합금 삽입금속	B _A	22	Al, Si	Cu	520-615
인동 삽입금속	B _{CuP}	6	Cu, P	Ag, Sn	640-900
Ni 삽입금속	B _{Ni}	8	Ni, B, P	Ce, Fe, Si	875-1135
금 삽입금속	B _{Au}	6	Au, Cu, Ni	Ag	880-1030
Pd 삽입금속	B _{Pd}	10	Pd, Ag	Cu, Mn, Ni	805-1235

Table 2 브레이징 특징과 이에 대응하여 제작된 제품 예

특 징	제 품 예
면접합 · 복잡한 형상부품 접합 면접합 복잡형상부 + 비용 절감 복잡형상부 + 열처리와 동시 접합	펌프, 모터용 피스톤 등 트래스미션용 실린더블록, 엔진용 슬라이더 등 파워스태어링용 유압부품, 배기밸브 등
다수 부품 동시 접합	허니컴 패널, 자동차용 라지에터, 회전기용 오일냉각기, 차 에어컨용 콘덴서 및 에버퍼레이터 등
마무리 가공 상태로 접합	항공기용 각, 내경 슬라이더 부착 회전축, 회전자 등
내열성, 접합강도, 기밀성 접합	전력용 콘덴서, 열전자 발전소자, 전류도입 단자 등