解 說

大 韓 熔 接 學 會 誌
第 10 卷 第 2 號 1992年 6月
Journal of the Korean Welding Society
Vol. 10. No. 2, Jun., 1992

Brazing기술의 기초와 실제(I)

– Brazing의 기초(상) –

姜 晶 允* · 金 雨 烈**

1. 강좌를 개설하면서

(Brazing)에 의한 금속의 접합기술은 이미 BC 3000년경 고대 바빌로니아(Babylonia)에서 귀금속의 장식품을 만드는 데에 이용되어져 왔다[1]. 근대에 와서는 1950년후반 N.Redns[2] 등이 탄소강의 Ag브레이징을 개발한 이후부터 브레이징에 관한 연구가 활발하게 되었다. 즉, 삽입금속 및 플락스의 개발, 삽입금속과 모재의 젖음성, 브레이징의 강열법과 분위기 조절, 접합이음부의 설계 등에 대해서 계통적인 연구가 시도되었다. 그 결과, 최근에 이르러서는 스테인레스 파이프의 金브레이징에 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.

선진국에서는 많은 연구 개발의 성과로 고부가가치 제품의 생산에 활용되고 있지만, 현재 국내에서는 1950년대의 기술수준에 있고, 연구 개발에 대한 업계 및 학계의 관심이 부족하기 때문에 기술축적은 전혀 되어 있지 않다. 특히, Brazing에 관련된 자료나 기초지식을 습득하기 위한 교재도 출판된 것이 없고, 번역된 전문서적도 구하기가 힘들기 때문에 브레이징기술에 대한 인식도 낮고, 적재적소에 활용도 되지 않고 있는 실정이다.

이와같은 배경 하에서 저자들은 브레이징에 대해서 관심을 가지는 회원들에게 조금이나마 도움을 주고자 외국에서 출판된 서적 및 논문 등을 참고로 하여 정리하여 브레이징의 기초와 실제라는 제목으로 4회에 걸쳐서 게재하고자 한다.

2. Brazing이란

브레이징은 반드시 삽입금속을 사용하고, 접합은 용융 삽입금속이 모재표면에 젖은 후, 이음부의 틈 사이로 모세관현상에 의해서 유입되어 이루어진다. 용융용접 및 브레이징으로 접합한 접합부의 차이를 그림1.1에 표시한다. 브레이징에서는 원리적으로는 모재를 용융시키지 않지만, 미시적으로는 모재와 용융 삽입금속과의 반응에 의해서 접합부 계면에서 합금층의 생성 혹은 모재의 용해현상 등과 같은 복잡한

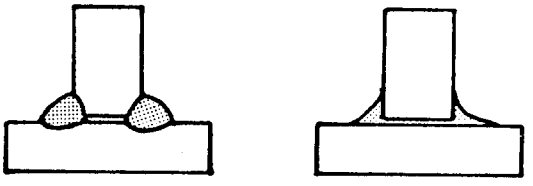

그림 1 용접과 브레이징 접합부의 비교

* 정회원, 釜山大學校 工科大學 金屬工學科
** 정회원, 釜山工業大學 生産加工工學科

반응이 일어난다.

이때 삽입금속(Filler metal or Insert metal)은 모재보다도 저융점을 가져야 하는 것이 필수조건이다. 미국에서는 융점이 427℃(800F)이상, JIS 및 국제표준화기구(ISO)에서는 450℃이상인 삽입금속을 사용할 경우를 브레이징이라고 하고, 융점이 이 이하인 온도를 사용할 때는 납땜(Soldering)이라고 한다[3]. 납땜에 사용되는 삽입금속을 땜납(Solder)라고 한다. 그러나 450℃라는 온도는 편의적으로 결정한 것이고, 특별한 물리적 의미는 없다. 예를들면 Al합금이나 Mg합금과 같이 삽입금속의 융점이 양쪽에 속한 경우가 있으므로 구별하기가 어렵다.

한편, 모재 보다도 저융점의 용가재를 사용하여 용접하는 브레이즈 용접(Braze Welding)은 흔히 공정용접(Eutectic Welding) 혹은 저온용접이라고 부르지만, 용융금속이 표면장력에 의한 것이 아니고 틈사이를 메우는 것이므로 브레이징과는 차이가 있다.

브레이징 기술은 과학 및 공업기술의 발달과 더불어 현재 첨단기술을 구사하고 있는 航空 宇宙産業機器, 原子力機器을 필두로 하여, 加工機器, 家電機器, 家庭雜貨類에 이르기 까지 여러 산업분야나 의료분야에서 활용되어 제품의 제조과정에 필요불가결한 기술로 되어 있다.

예를들면 가전제품에서 냉각기나 펌프등의 Ag브레이징 및 Cu브레이징, 자동차공업에서 열교환기나 배관의 Al브레이징 및 동브레이징, 항공기산업에서 엔진 및 배관의 Ni브레이징이 사용되고 있다. 또한 우주항공기를 대표하는 미국의 스페이스샤틀에도 브레이징에 의한 접합이 많이 적용되고 있고, 주로 Ag, Au, Pd, Ni등과 같은 특수 삽입금속이 사용되고 있다. 제트엔진 노즐부의 브레이징에서 Au－25Ni－25Pd, Au－22Ni－8Pd등의 특수 삽입금속이 7kg이나 사용되고 있고, 그 길이도 3.3km나 된다.

이와같이 브레이징에 의한 접합기술이 급속히 각 산업분야에서 활용되고 있는 요인으로써는, ① 모재를 거의 용융시키지 않고 저온에서 접합이 이루어지므로, 모재의 열영향부가 미소하여 모재의 특성 변화를 최소할 수 있다. ② 이종금속 및 이종재료 간의 접합이 쉽다. ③ 아주 작은 부품이나 복잡한 부품을 정밀하게 접합할 수 있다. ④ 접합부는 도전성이 있고, 기밀한 상태로 밀봉이 가능하다. ⑤ 여러 개소에 대하여 동시에 접합이 가능하다. ⑥ 자동화가 용이하므로 접합조립기술로서의 생산기술에 응용할 수 있다는 등과 같은 타의 접합기술에서 얻을 수 없는 많은 잇점이 있기 때문일 것이다.

브레이징 기술을 부품 생산에 적용하면 제조가 용이하고 생산단가를 낮출 수가 있다. 예를 들면, 그림1.2과 같은 저장파이프를 제작할 때 솔리드 금속을 기계가공하여 제작하거나, 주조하여 제작하는 방법이 있지만, 이것을 파이프와 마게를 서로 브레이징하여 제작하면 보다 간단히 생산할 수 있을 것이다. 그림1.3 (a)와 같은 고경도인 캠과 인성이 풍부한 샤프트가 한 조로 되어 있는 부품을 제조하는 경우, 솔리드인 공구강을 기계가공하여 풀림 처리와 고주파 담금질하여 제조하는 것에 비하여 (b)와 같이 냉간가공된 샤프트와 열처리된 캠을 브레이징하여 제조하는 것이 생산단가도 싸고 제작도 용이할 것이다.

그림1.4와 같은 복잡한 형상을 한 제품을 제조할 때도 솔리드 금속을 기계가공하여 제조한다면 재료의 손실도 많고, 정밀도도 떨어진다. 각 부분을 가공하여

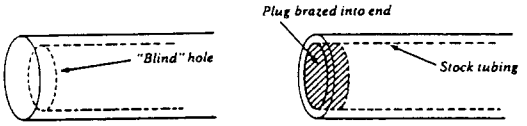

그림 2 Stock tube제작법 비교

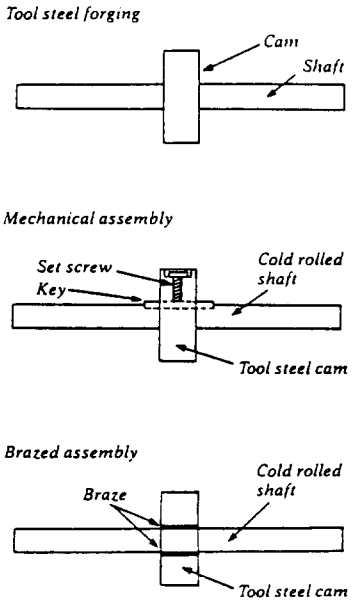

그림 3 Cam-Shaft제작법 비교

브레이징한다면 재료의 손실도 줄일 수 있고, 정밀도도 높일 수 있을 것이다. 특히 선반가공에 사용되는 팁(Tip)과 같은 부품의 제조 시에도 텅스텐 카바이드 팁과 강으로 된 생크와 기계적으로 체결하는 것 보다 그림1.5와같이 브레이징하여 제조하는 것이 수명이 길어질 것이다.

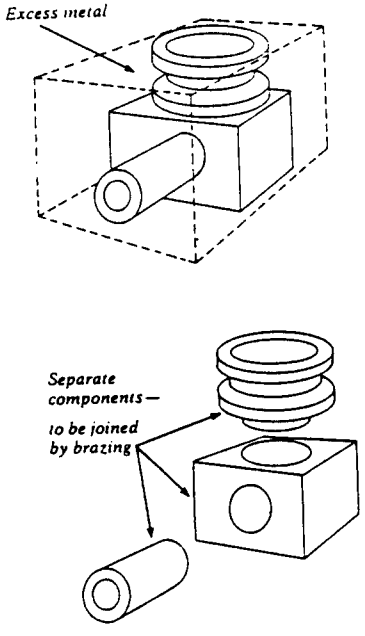

그림 4 복잡한 형상 제품의 제작법 비교

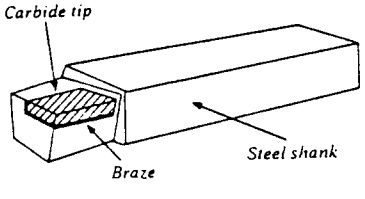

그림 5 Tip의 제작법

3. 접합과정과 원리

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.

그림1.6은 일반적인 브레이징의 접합과정을 모식적으로 나타낸 것이다. 고체가 진공 중에서 그 표면이 청정한 경우에, 고체표면에 존재하는 원자는 내부의 원자와 같이 주위를 타원자로 둘러쌓여 있지 않으므로, 불완전한 결합손을 가진 활성 상태로 된다. 이것이 표면에너지로서 작용하고, 타의 원자를 끌어들일 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. 이때문에, 금속을 브레이징할 때는 우선 플라스나 환원성 분위기의 이용, 혹은 진공 분위기 중에서 가열등으로 산화물층을 제거하여 활성인 표면을 만들 필요가 있다. 표면이 활성화가 되면, 모세관 현상에 의해서 공급된 용융 삽입금속은 모재의 표면에 젖게 된다.

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

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

3.1. 용융금속의 젖음현상(Wetting Phenomna)

액체가 고체와 접촉할 때 고체표면위에 액체가 부착되던가, 스며드는 상태를 젖는다고 한다. 고체금속에 대한 용융금속의 젖음성(Wettability)는 Brazing에서 본질적으로 중요하고 접합과정의 핵심이 된다.

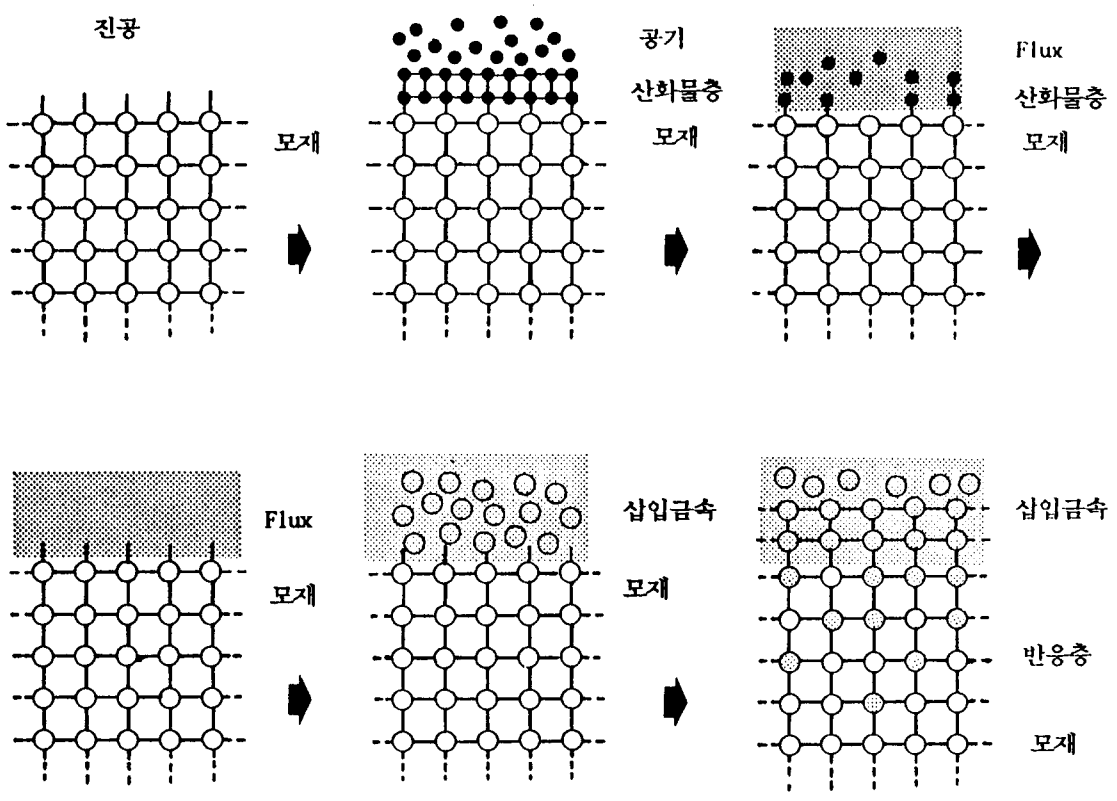

그림 6 브레이징 접합과정의 모식도

기서 θ를 접촉각이라고 부르고, 이 값으로 부터 젖음성의 양부를 결정할 수 있다. 즉, θ의 값이 작으면 그 액체는 잘 젖는 것을 표시하고, 액체가 잘 퍼져가는 것을 나타낸다. 반대로 θ값이 큰 경우에는 잘 적셔지지 않고, 동시에 잘 퍼지지도 않는다. 그림에서 알 수 있는 것처럼 수은의 θ값은 물의 경우 보다도 크다. 일반적으로 수은의 표면장력은 물에 비하여 아주 크기 때문에 같은 유리에서도 수은은 젖음성이 나쁘고, 퍼짐성(Spreadabilty)도 나쁘다. 이상의 결과로 부터 젖는다는 것은 액체와 고체 사이에 부착력과 액체 자체의 응집력과의 비라고 할 수 있다(Adams 설[4]).

액체가 고체표면을 적신다는 현상은 액체와 고체의 접촉면에서 부착장력(액체의 부착 일)이 액체자신이

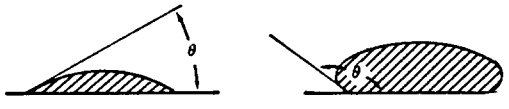

그림 7 젖음상태

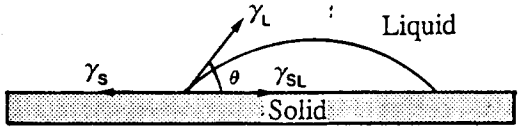

그림 8 계면장력의 평형

가지는 응집력(액체의 표면장력)보다 큰 경우에 일어나는 것이고, 그 역인 경우에는 젖지 않는다. 예를 들어, 그림1.7과 같이 유리판에 물을 떨어뜨리는 경우와 수은을 떨어뜨리는 경우를 비교하여 보자, 여

젖음현상을 정량적으로 표시하고자 할 때는 고체표면에서 액체금속의 부착일량으로서 표현하는 것이 편리하다. 그림1.8에서 고체(모재)표면장력 γ_S, 액체(용융삽입금속)의 표면장력 γ_L, 고-액계면의 표면장력 γ_{SL}라고 하면, 액체가 고체표면을 적신다는 상태변화에 대응하는 열역학적 일량과의 관계에서 평형상태인 경우에는 Young-Dupre의 식[5]으로 알려져 있는 (1)식으로 나타낼 수 있다. 여기서 γ_S 및 γ_L는 엄밀하게 말해서 각각 고체와 분위기 및 액체와 분위기 사이에

계면에너지일 것이다. 따라서 γ_S 및 γ_L은 Flux의 사용 및 접합분위기에 따라 그 값이 달라질 수 있다.

$$\gamma_{LS}-\gamma_S+\gamma_L\cos\theta=0 \quad \cdots\cdots(1)$$

접촉각 θ에 의해 젖음현상은 그림1.9와 같은 3가지 형태로 나눌 수 있다.

확장젖음(Spreading Wetting)인 (a)는 고체상의 액체는 박막상으로 고체표면 위에 자발적으로 퍼져가는 경우이고, 액체가 존재하는 한 퍼져갈 것이다. 확장젖음에서는 액체와 고체가 접촉함에 의해서 고체표면이 감소한 만큼 고-액계면이 생성하여 액체표면이 증가하기 때문에 그 자유에너지의 변화는 (2)식으로 표현된다. 이것은 이 막을 단위면적 만큼 역행시키는 데에 필요한 일량(Ws)에 상당하므로 (3)식으로 표현할 수 있다. 만약 이 값이 양이면 부착하지만 음이면 부착되지 않는다.

$$\Delta F=\gamma_S-\gamma_{LS}-\gamma_L \quad \cdots\cdots(2)$$
$$Ws=\gamma_S-\gamma_{LS}-\gamma_L \quad \cdots\cdots(3)$$

침적젖음(Immersional Wetting)인 (b)는 모세관내를 액체가 침투 하거나, 액체중에 고체를 침적할 때 젖는 경우이고, 수평인 2개의 판 사이에서는 점성저항으로 정지할 때 까지 자발적으로 침입하고, 수직인 3개의 판 사이에서는 중력과 평형이 될 때 까지 일정한 높이로 상승할 것이다. 액체를 역행시켜 단위면적의 고체표면을 노출시키는 데에 요하는 일량 W_i(Work of Immersion)는 (4)식으로 표현할 수 있다.

$$W_i=\gamma_S-\gamma_{LS} \quad \cdots\cdots(4)$$

부착젖음성(Adhensional Wetting)인 (c)는 고체표면 위에 액체가 자발적으로 퍼지지도, 스며들지도 않고 단순하게 놓여 있는 상태이고, 이 액적을 단위면적 고체표면으로 부터 떼어내는 데에 필요한 일량 W_a는 다음과 같다.

$$W_a=\gamma_S+\gamma_L-\gamma_{LS} \quad \cdots\cdots(5)$$

(1)식에서 $\gamma_S-\gamma_{LS}$는 고/액의 접촉에 의해 고체표면에서 고/액계면으로 변화할 때의 자유에너지 감소를 표시하는 척도이다. γ_S나 γ_{LS}의 값은 직접적으로는 측정할 수 없기 때문에, 간접적인 방법으로 다음 (6)식을 사용하여 젖음성을 평가한다. A가 크면 클수록 젖음성은 좋다.

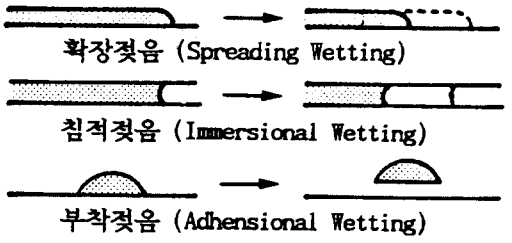

그림 9 젖음형태

$$A=\gamma_L\cos\theta \quad \cdots\cdots(6)$$

(6)식을 이용하면 앞의 (3), (4), (5)식은 각각 다음 식으로 표현된다.

$$W_s=A-\gamma_L=\gamma_L\ (\cos\theta-1) \quad \cdots\cdots(7)$$

$$W_i=A-\gamma_L\cos\theta \quad \cdots\cdots(8)$$
$$W_a=A+\gamma_L=\gamma_L\ (\cos\theta+1) \quad \cdots\cdots(9)$$

만약 $\theta\leq 180°$이면 $W_a\geq 0$으로 부착젖음성을, $0°\leq\theta\leq 90°$이면 $W_i\geq 0$으로 침적젖음을 $\theta=0°$이면 $W_a\geq 0$으로 확장젖음을 일으킨다. A는 부착장력(Adhesion Tension)이라고 한다.

실제 Brazing시에는 θ값이 대체로 0°에 가깝고, 90° 이상이 되는 경우가 거의 일어나지 않는다. 따라서 Brazing시의 젖음의 침적젖음이나 확장젖음 양자로 생각하는 것이 좋다.

또한, 젖음성의 지배적인 인자라고 생각되어지는 γ_{LS}는 고-액계면에서 접촉하는 원소 사이의 용해열에 의존하는 것으로 생각되고 상태도로 부터 추정할 수 있다.즉, 고체와 액체의 양 원소가 고상에서 용해도를 가지고, 화합물을 형성하는 경우에는 γ_{LS}값이 작고 젖음성도 좋다[6]. 반대로 용해도도 없고 화합물을 형성하지 않을 경우에는 γ_{LS}는 크고 젖음도 나쁘다.

표1.1[7~15]은 고체금속 A와 액체금속 B사이의 계면에너지 γ_{LS}값을 측정한 결과이다. 평형용해도와 γ_{LS}값은 서로 대응 관계가 있음을 알 수 있다.

서로 용해도가 없는 조합인 경우에도 용해도가 있는 화학적으로 활성인 금속을 첨가하면 젖음성은 향상된다. 그림1.10[16]은 서로 용해도가 없는 Fe와 Ag계에서 철과 용해도를 가지는 Cu를 Ag에 첨가할 때, γ_{LS}값의 변화를 측정한 결과이고, 소량의 Cu를 첨가하므로써 계면에너지가 상당히 저하하는 것을 나타내고 있다. 또한 고-액계(System)에서 액체의 두성분의 혼합에 의해서 ΔG가 감소하면 Wetting(젖음)이 잘 된다는 보고도 있다. 예를들면 Fe에 Ag(액체)의 젖음은 액

표 1 순금속의 표면 에너지

液體 / 固體	溫度(K)	平衡溶解度	$\gamma_{SL}(m/Jm^2)$	文 獻
Sn / Zn	473	0.150	150+30	7
Pb / Ag	603	0.065	160+40	8
Pb / Cu	1093	0.115	390+65	9
Cu / Fe	1373	0.033	430+70	10
Cu / Nb	1773	0.05	428+65	11
Ag / Cr	1673	0.022	540+120	12
Cu / W	1773	0.010	980+100	13
Sn / Mo	1873	1.5×10^{-3}	1150+160	14
Sn / W	2273	$\sim10^{-5}$	1000+300	15
Pb / Fe	1193	3×10^{-4}	1415	16
Ag / Fe	1373	3×10^{-4}	1370+315	17

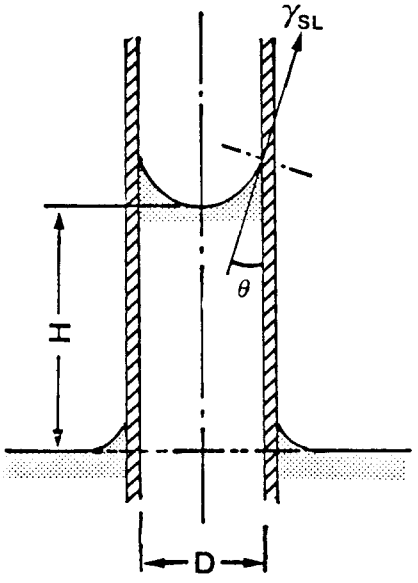

그림 10 고체 Fe와 Ag-Cu합금간의 계면에너지

체에 Pd를 첨가하면 ΔG가 감소하여 젖음성이 증가한다.

3.2. 접합간격으로 용융삽입금속의 유입

용융삽입금속은 접합부의 좁은 틈 사이로 모세관 현상에 의해서 흘러 들어간다. 틈 사이로 흘러 들어간 용융 삽입금속의 선단에는 젖음에 의해서 요철(Meniscus)이 형성되고, 모세관현상의 구동력인 모세관 압력 P_k가 발생한다. 모세관 압력 P_k는 Laplase식인 (10)식으로 표시된다.

$$P_k=\gamma_L\ (1/r_1+1/r_2)\ \cdots\cdots(10)$$

r_1 및 r_2는 요철이 직교하는 두 방향의 곡률반경이다. 평형인 2개의 판 사이에서는 $r_2=\infty$이고, 간격을 D라고 하면 P_k는 (11)식으로 된다.

$$P_k=2\gamma_L\ \cos\theta/D\ \cdots\cdots(11)$$

평형인 2개의 판 사이의 액체의 최대 수직상승 높이 H는 그림1.11과 같이 표시되고, 상승한 액체에 의한 정수압 $P_k=\rho gH$와 평형이어야 하므로, (11)식으로부터 H는 (12)식으로 표시할 수 있다.

$$H=2\gamma_L\ \cos\theta/D\rho g\ \cdots\cdots(12)$$

여기서 ρ는 액체의 밀도, g는 중력가속도이다.

또한, 용융금속이 그림1.12와 같이 수평인 2개의 면 사이를 흐르는 경우, 그 흐름이 층류를 이룬다고 생각하면, 그림의 $2h$의 단면에서 용융금속의 유입속도 v는 다음(13)식으로 표시된다.

$$v=p(0.25D^2-h^2)/2\eta x\ \cdots\cdots(13)$$

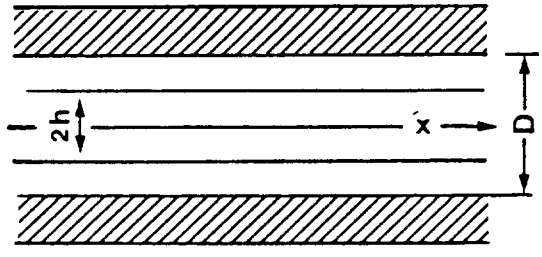

그림 11 무한 평형판 사이에서 액체의 상승 높이

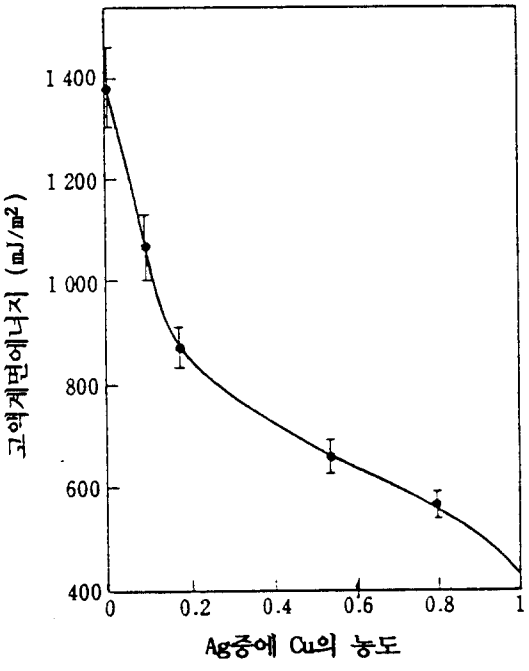

그림 12 평행 판 사이에 흐름

여기서 η는 용융금속의 점도, p는 단위면적당 유입압력 즉 $P_k - P_H$이고, x는 용융금속의 유입거리이다. 또한 용융금속이 거리 x만큼 유입하는 데에 필요한 시간 t는 다음과 같다.

$$t = 3\eta x^2/\gamma_L \cos\theta\, D \quad \cdots\cdots(14)$$

용융금속의 유입 및 퍼짐성은 가열온도, 비열, 열전도도, 분위기 등에 따라 변화하지만, 기본적으로는 이와같은 식이 사용된다. 상승높이에는 벽면의 표면조도가 크게 영향을 미친다. 그림1.13는 2개의 탄소강판 사이에 Ag-Cu합금의 상승높이와 탄소강의 표면조도와의 관계를 나타낸다. 벽면의 표면조도가 큰 편이 상승 높이가 높다. 이것은 표면조도가 클수록 용융금속과 고체금속과의 실접촉면적이 증가하여 용융금속의 부착일량이 증가하기 때문이다.

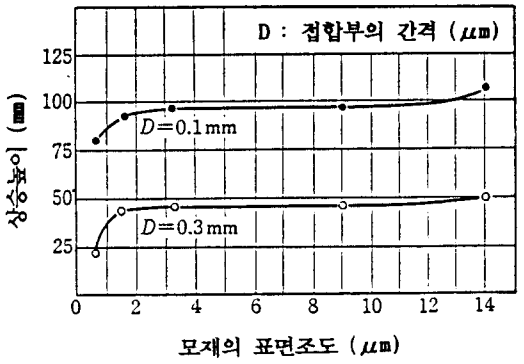

그림 13 상승높이에 미치는 접합부의 간격과 표면조도의 영향

3.3. 접합면계에서 반응

접합은 용융 삽입금속과 모재표면이 서로 접촉한 후 반응하여 이루어진다. 일반적으로 용융삽입금속에 의해 모재표면이 일부 용융(용해)한다. 이 반응의 율속기구는 모재의 원자가 용출에 의해서 일어나는 계면반응기구와 용융삽입금속 속에 융점저하원소가 모재쪽으로 확산에 의해서 일어나는 확산율속기구가 있다. 이러한 율속기구는 모재 및 삽입금속의 조합에 따라 다를 것으로 생각된다. 이 부분에 대한 연구는 아직 미흡하다.

접합계면부의 조직은 모재와 삽입금속의 조합에 따라 다양하게 변할 뿐만 아니라, 가열온도 및 가열시간에 따라서 복잡하여 진다. 만약 삽입금속으로 순금속을 사용하여 순금속을 접합하는 경우에 상태도로 부터 예측할 수 있다. 실제에는 여러 성분이 포함된 삽입금속과 모재를 이용하기 때문에 접합부와 조직은 아주 복잡하다. 순금속의 모재와 순금속의 삽입금속을 사용하여 접합한 접합계면의 조직은 다음과 같이 분류할 수 있다.

(1) 고용체형

결정구조가 동일하고 원자반경의 차가 15% 이하인 원소사이에는 전율고용체를 이루는 경우가 많다. 이와 같은 금속을 모재와 삽입금속으로 사용하면, 접합계면의 조직은 단상으로 보이지만 농도는 연속적으로 변화한다. Cu-Ni계와 같이 전율고용체를 이루는 경우와 일부고용체를 만드는 경우가 있지만, 가장 안정한 접합형태를 이룬다. Ni-Cu계의 접합계면에서는 단순한 고용체만이 존재하고 큰 결정립내에 농도차가 있는 지역에서는 특수한 모자이크 구조가 나타난다. Cu-Mn계에서와 같이 응고시 고상상태에서 변태에 의해 상이분리되는 경우도 있다.

(2) 공정형 및 포정형

Brazing에서 가장 많이 사용되는 합금계이고, 공정온도가 성분금속의 온도보다 낮을 수록 상호작용이 크다. 이것도 고용체형과 마찬가지로 안정한 접합상태를 이룬다.

(3) 금속간화합물형

많은 금속사이에는 금속간화합물을 만드는 경우가 많다. 금속간화합물은 보통 화학적인 원자가 개념은 적용되지 않고 그 조성은 화학양론적으로 결정되는 일정한 비율은 아니다. 일반적으로 금속간화합물은 경하고 취약하므로 충격강도가 낮지만, 정적 인장강도는 높은 값을 나타내는 경우가 많다. 이 형태는 Ti-Al계, Fe-Sn계 등에서 자주 나타난다.

(4) 부착형

고상 뿐만 아니라 액상에서도 반응이 일어나지 않아 분리되는 경우에는 접합이 일어나지 않는다. 이 형태는 Fe-Ag계 및 Fe-Cu계와 같이 서로 상대편으로 확산하지 않고 합금을 만들지 않지만, 젖음현상에 의해 계면에서의 에너지가 개방되어 서로 밀착하고 기하학적으로 접합되는 상태이다. Fe-Bi의 접합계면의 경우도 중간조직은 보이지 않는다. 이 접착력은 Van der Walls힘에 의한 것으로 생각된다. 따라서 접합력도 약하다.

(5) 혼합형

응고과정에서 다양한 반응은 접합력에 큰 영향을 미친다. 즉 고용, 공정, 포정, 편정등의 반응이 일어나고, 화합물을 형성한다. Al-Sn계의 경우 Sn99.5%에서 공정점이 있기 때문에 부착이 어렵지만 Fe-Zn계에서는 99.99%에서 공정점이 있고 고용체 및 금속간화합물을 만들기 때문에 접합이 가능하다. Cu-Mg계 경우에는 CuMg, Cu_2Mg, $CuMg_2$등의 금속간화합물을 이루고 있고 서로 모재와 공정을 이룰 수 있다. 따라서 접합부의 조직은 상당히 복잡하다.

(6) 2종이상의 원소가 관계하는 접합

삽입금속의 성분이 여러 성분이 경우, 이 성분 중 모재와 반응하여 접합한다. 예를들면 Al에 Sn-Pb합금을 사용하여 접합하면, Sn도 Pb도 반응하지 않아 접합이 곤란하지만 Sn-Zn을 사용하면 Zn이 쉽게 반응하여 접합된다. 이 경우 모재를 일부 용해하므로 냉각중에 조직은 복잡하게 변화한다. W과 Cu은 반응을 일으키지 않으므로 접합하기가 힘들지만 Cu에 Al을 넣으면 Al은 W과 잘 반응하므로 부착하기 쉽다. Ni과 W은 반응이 잘 일어나므로 우선 W은 Ni도금한 후 Cu로 접합하면 된다.

참고문헌

1) J.Wolters : Gold Bull., 10(1977) 27
2) N.Bredns : Weld. J., 37(1958) 493s
3) ISO 857 : Definition of Welding process
4) The Physics and Chemistry of Surface, O.U.P (1941)
5) 日本金屬學會編 : 界面物性, 丸善(1976), 196
6) A.R.Miedema : Z.Metallkd., 70-1(1979), 14
7) P.Passeron : J.Less-Common Met., 52(1977), 37
8) A. Passeron : Scr. Metall., 16-5(1982), 547
9) L. Coudurier : J. Chim.Phsi., 74-3(1977), 289
10) H. Lawrende and Van Vlack : Trans. AIME, 191-3(1951), 251
11) E.N.Hodkin : J.Less-Common Met., 20(1970), 93
12) B.C.Allen : J.Less-Common Met., 29(1972), 263
13) B.C.Allen : Trans. AIME, 236-6(1951), 903
14) K.Mazance : Phys. Met. Metallogr., 12-1(1961), 79
15) D.Pique : Ann. Chim., 6(1981), 443
16) D.Pigue : Ann. Chim., 6(1981), 443