

Brazing 기술의 기초와 실제(III)

— Brazing의 기초(하) —

姜 晶 允* · 金 雨 烈**

1. 브레이징 분위기

브레이징에 사용되는 분위기로서는 진공분위기와 가스분위기로 대별할 수 있다. 가스분위기로서는 연료가스의 변성가스, 암모니아가스, 질소가스, 불화성 가스가 있다. 이와 같은 분위기의 기본적인 역할은 로내의 酸素分壓을 낮추거나, 수소가스에 의한還元作用으로 가열 중에 산화를 방지하는 것이다. 중성가스, 불활성가스 및 진공분위기는 산소 분압을 낮추는 역할을 하고, 변성가스 및 암모니아가스는 수소의 환원작용으로 산화를 방지한다. 분위기를 사용하면, 플럭스를 사용하지 않아도 무산화 분위기에서 접합이 가능하며, 잔류 플럭스 혹은 슬래그의 처리가 필요하지 않고, 열교환기 등과 같은 복잡한 부품을 동시에 다량 브레이징할 수 있는 잇점이 있다. 특히, Ti, Zr의 순금속 및 합금 등과 같이 플럭스를 사용하여도 산화피막 때문에 브레이징이 곤란한 소재의 브레이징에 이용되고, 스테인레스강의 브레이징에도 많이 이용되고 있다.

1.1 성분가스와 금속과의 반응

표 3.1은 AWS 규격에 표시된 브레이징 분위기의 종류와 특징을 나타낸 것이다. 가스분위기로서는 9

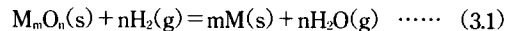
종류, 진공분위기로서는 4종류로 분류하고 있다.

공업적으로 사용되는 분위기가스의 원료로서 가격이 싸고, 입수하기 쉽고, 가능한한 간단한 변성 장치로 변성가스를 발생하기 쉬운 것을 사용하는 경우가 많다. 그래서, 일반적으로 사용되는 분위기 가스는 순수한 단일 성분이 아니고, CO, CO₂, H₂, N₂ 등이 함유된 혼합가스와 수증기(H₂O)로 되어 있다 가스 및 수증기가 브레이징에 미치는 영향을 살펴 보면 다음과 같다.

1.1.1. 수소가스(H₂)

(1) 환원반응과 로점

수소가스는 중성이고 무해한 가스이지만, 고순도인 것은 금속산화물에 대하여 강한 환원작용을 가지고 있다. 이 가스는 연료가스의 변성가스 및 암모니아 분해가스 중에도 함유되어 있다. 수소의 환원 평형식은 다음과 같다.



$$K = (P_{H_2O}/P_{H_2})^n = [P_{H_2O}/(1 - P_{H_2O})]^n \quad \cdots \cdots (3.2)$$

K는 반응평형 상수이다. 환원 평형 반응식인 (3.1)의 자유에너지 변화는 다음과 같다.

* 정회원,釜山大學校 工科學科 金屬工學科

** 정회원,釜山工業大學校 生産加工工學科

표 3.1 브레이징의 분위기(AWS)

AWS brazing atmosphere type number	Source	Maximum dew point incoming gas			Approximate composition, %		Filler metals ^a	Application	Remarks
		H ₂	N ₂	CO	CO	CO ₂			
1	Combusted fuel gas(low hydrogen)	Room temp.	5-1	87	5-1	11-12	BAg, ^b BCuP, RBCuZn ^c	Copper, brass ^a	Decarburizes
2	Combusted fuel gas(decarburing)	Room temp.	14-15	70-71	9-10	5-6	BCu, BAg, ^d RBCuZn, ^e BCuP	Copper, ^b brass, ^a lowcarbon steel, nickel, monel, medium carbon steel ^c Same as 2 plus medium and high-carbon steels, monel, nickel alloys	Carburizes
3	Combusted fuel gas, dried	-40°C (-40°F)	15-16	73-75	10-11		Same as 2	Same as 2 plus medium and high-carbon steels	Carburizes
4	Combusted fuel gas, dried(car- burizing)	-40°C (-40°F)	38-40	41-45	17-19		Same as 2	Same as 2 plus medium and high-carbon steels	Carburizes
5	Dissociated ammonia	-54°C (-65°F)	75	25			BAg, ^a BCuP, RBCuZn, ^c BCu, BNi	Same as for 1, 2, 3, 4 plus alloys containing chromium ^d	Decarburizes
6	Cylinder hydrogen	Room temp.	97-100				Same as 2	Same as 5 plus cobalt, Chromium, tungsten alloys and carbides ^d	Decarburizes
7	Deoxygenated and dried hydrogen	-59°C (-75°F)	100				Same as 5	Same as 5 plus cobalt, Chromium, tungsten alloys and carbides ^d	Decarburizes
8	Heated volatile materials	Inorganic vapors(i.e., zinc, cadmium, lithium, volatile fluorides)					BAg	Brasses	Special purpose. May be used in conjun- tion with 1 thru 7 to avoid use of flux
9	Purified inert gas	Inert gas(e.g. helium, argon, etc.)					Same as 5	Same as 5 plus titanium, zirconium, hafnium	Special purpose. Part must be very clean and atmosphere must be pure
10	Vacuum	Vacuum above 2 torr ^f					BCuP, BAg	Cu	
10A	Vacuum	0.5 to 2 torr					BCu, BAg	Low carbon steel, Cu	
10B	Vacuum	0.001 to 0.5 torr					BCu, BAg	Carbon and low alloy steels, Cu	
10C	Vacuum	1×10 ⁻³ torr and lower					BNi, BAu, BAISI, Ti alloys	Ht. and corr. resisting steels, Al, Ti, Zr, refractory metals	

Note : AWS Types 6, 7, and 9 include reduced pressures down to 2 torr.

a. Flux is required in addition to atmosphere when alloys containing volatile components are used.

b. Copper should be fully deoxidized or oxygen free.

c. Heading time should be kept to a minimum to avoid objectionable decarburization.

d. Flux must be used in addition if appreciable quantities of aluminum, titanium, silicon, or beryllium are present.

e. See Table II. 3 for explanation of filler metals.

f. 1 Torr=133 Pa.

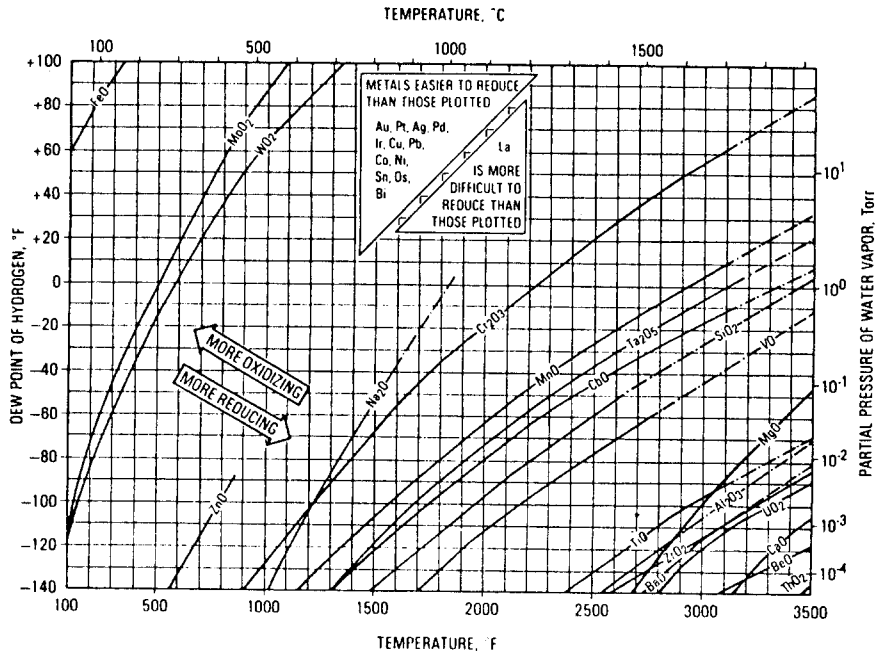


그림 3.1 수소 분위기 금속과 산화물의 산화-환원 평형상태도

$$\Delta G^{\circ} = -RT \ln K = -nRT \ln [1 - P_{H_2O}] \dots\dots (3.3)$$

수증기분압과 露點(T_d : K)과의 관계는 다음과 같다.

$$\log P_{H_2O} = A - B/T_d \dots\dots\dots (3.4)$$

단, $A = 0.4343L/RT_b$, $B = 0.4343L/T_b$, L 은 증발열이고, T_b 는 물의 비점(K)이다.

그림 3.1은 상기의 식을 이용하여 수소가스 분위기 중에서 온도에 따른 각종 금속과 금속산화물의 산화/환원 평형과 로점과의 관계를 나타낸 것이다. 그림 중에서 곡선 보다 윗쪽(혹은 좌측)에 위치하는 곳에 있는 금속들은 산화하여 산화물을 형성하고, 역으로 아래쪽(우측)에 위치할 수록 금속산화물은 수소에 의해서 환원된다. 또한, 고온으로 가열할 수록 환원할 수 있는 수소 중에 수분의 허용량이 증가한다는 것을 알 수 있다. 이 그림으로 부터 Fe, Cu, Ni의 산화물은

환원하기 쉽지만, Ti, Al 등은 브레이징할 수 있는 온도 보다 고온으로 가열하여야만 가능하고, 로점도 아주 낮추어야만 환원이 가능하다는 것을 알 수 있다. 이와 같은 원소를 포함하는 합금은 수소분위기에서 브레이징이 곤란하고, 진공 브레이징하던가, 표면에 Ni이나 Cu등을 도금하여 브레이징하는 것이 바람직하다.

금속이 합금인 경우, 합금 중의 가장 안정한 산화물을 형성하는 원소, 즉 가장 산화하기 쉬운 원소들이들의 평형관계를 지배하는 경향이 있다. 예를들면, 스테인레스강의 경우 Cr이 평형관계를 지배하는 원소이고, 그림 중의 Cr/Cr₂O₃ 곡선 보다 약간 윗쪽의 위치에 평행한 곡선이 된다.

(3. 1)의 반응은 가역반응이고, 수소가스 중의 수분량과 작업온도에 영향을 받는다. 가스 중에 수분이 많거나, 작업온도가 낮은 경우, 반대 방향으로 반응이 진행하여 금속이 오히려 산화를 일으킨다. 따라서, 안정된 산화물을 형성하는 원소가 함유된 모재를 브레이징할 때는 로내의 로점을 정확하게 조절하는 것이

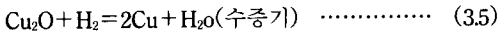
표 3.2 로점과 수분량과의 관계

로점 C	100	80	60	40	20	10	0	-10	-20	-30	-40	-50	-60
수분 %	100	47	20	7.3	2.3	1.21	0.60	0.23	0.10	0.04	0.01	0.004	0.001

중요하다. 표 3. 2는 로점과 수분량과의 관계를 표시한다.

(2) 수소취화

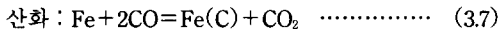
피치동(Pitch Cu)은 Cu₂O형태로 산소를 함유하고 있다. 수소분위기 중에서 가열하면, 수소분자가 금속 내부로 확산하여 결정입계에 존재하는 Cu₂O와 환원(3. 5식)반응에서 수증기가 발생한다. 물 분자는 크기 때문에 금속 표면으로 나오지 못하고 결정입계에 남아 내부응력으로 작용하고, 균열을 일으킨다. 이러한 현상은 특히 표면 근처에서 많이 발생하여 표면이 거북등 모양을 하는 경우가 많다. 따라서, 수소가 함유된 분위기에서 브레이징하는 경우에는 무산소동이냐, 인 탈산동을 사용할 필요가 있다.



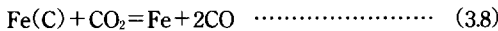
또한, Ti, Zr, Nb등은 수소화합물을 형성하여 취약 해지므로 수소를 함유한 분위기에서는 브레이징하지 않는 것이 바람직하다.

1.1.2 일산화탄소(CO) 및 탄산가스(CO₂)

CO가스는 표 3.1의 No.1~No.4의 분위기에서 포함 되어 있고, 비중이 공기와 비슷하여 유독하기 때문에 반드시 爐外에서 연소시켜야 한다. Fe, Ni, Co, Cu의 산화물을 고온에서 환원 (3.6식) 시키지만, 강에 대해서는 침탄제 역할 혹은 산화(3. 7식)의 원인이 된다.



CO₂가스는 일산화탄소 가스와 공존하는 가스이다. 산소와 일산화탄소로 解離되는 경우 산화성이 있으므로, 사용시 장치에서 공기의 누출에 주의할 필요가 있다. 한편 철강재료를 모재로 하는 경우 脫炭을 일으킨다. 이 가스에 의한 탈탄 반응식은 다음과 같다.

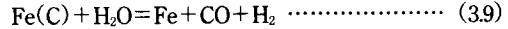


1.1.3 질소가스(N₂) 및 수증기(H₂O)

질소가스는 중성이지만, 고온이 되면 Mo, Ti, Cr, Nb 등과 질화물을 만들기 때문에 이와같은 원소를

포함하는 재료를 대상으로 접합할 때는 주의할 필요가 있다.

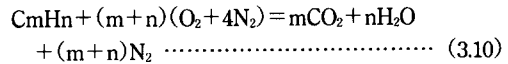
수증기가 가스내에 존재하거나, 반응에 의해 발생한 수증기는 산화 및 탈탄의 원인이 된다.



1.2 각종 분위기가스의 특징

1.2.1 연료가스

일반적으로 연료가스라고 함은 프로판, 부탄, 도시 가스 등과 같은 탄화수소계 가스를 말한다. 이 연료가스를 공기로 불완전 연소시켜서 얻어지는 가스를 變成가스라고 한다. 탄화수소계 가스를 충분한 공기량으로 완전 연소시키는 경우, 그 반응은 (3. 10)식과 같고, 가스의 조성은 CO₂, H₂O, N₂로 된다. 그러나, 공기량을 적게 하여, 불완전연소시킨 경우 CO₂ 및 H₂O의 량이 감소하고, 대신에 CO 및 H₂가스가 발생한다.



No. 1~No. 3형의 분위기 가스는 연료가스에 비교적 다량의 공기를 넣고, 촉매가 들어 있는 변성로 중에서 열분해 혹은 산화 분해시켜 얻어지는 가스이다. 이때 외부에서 열을 가하는 것이 아니라 연료가스 자체의 발열반응을 이용하기 때문에 이 종류의 가스를 발열형 변성가스라고 한다.

한편, No. 4형의 분위기가스는 연료가스에 완전 연소에 필요한 공기량에 대해 절반 정도의 공기를 혼합하여, Ni 촉매를 충전한 변성로에 통과시키면서, 약 1000℃로 가열하여 혼합가스를 변성하기 때문에 흡열형 변성가스라고 부른다.

(1) 저수소계 연료가스 No.1

No.1형의 변성가스는 H₂, CO₂, CO, N₂ 가스와, 로점이 실은 근처인 H₂O를 함유한 조성으로 되어 있다. 이 변성가스는 수소량이 적고, H₂O 및 CO₂을 함유하기 때문에, 환원성이 약하고, 탈탄성 분위기가 된다. 이 때문에 철강재료 정도의 모재에만 이용되고, 황동의 경우에는 플락스를 함께 사용한다.

(2) 약탈산성 연료가스 No.2

No.1 보다 공기량을 적게하여 불완전 연소시킨 것

이기 때문에, No.1보다 H₂ 및 CO의 가스량이 많다. 따라서, 환원력이 보다 강하여 Ni이나, 저 중탄소강의 브레이징 분위기로 이용된다. 그러나, H₂O 및 CO₂를 함유하기 때문에 탈탄성 분위기가 되므로 탄소강을 브레이징하는 경우에는 될 수 있는 한 짧은 시간 안에 작업을 완료하는 것이 바람직하다.

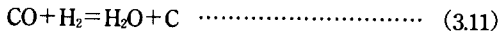
(3) 건조형 연료가스 No.3

No.2형가스 보다 더욱 CO₂ 및 4H₂O량을 더욱 감소시킨 가스이고, 환원력이 강하고, 탈탄작용도 개선된 것이 특징이다. 그래서, 동 및 Ni합금, 중고탄소강의 브레이징에 적용되고 있다.

일반적으로 수증기를 제거하는 방법으로는 변성가스를 냉각기로 0°C이하로 냉각하여 수분을 동결시키는 냉동법, 건조제 혹은 吸收劑를 사용하는 방법 및 Ni을 觸媒로 하여 변성시키는 방법이 있다. 탄산가스의 제거법으로는 탄소보다 혹은 에타놀아민 등과 같은 흡수제를 사용하는 방법과 가스에 의한 변성법이 있다.

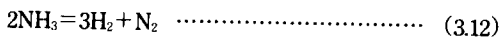
(4) 침탄성 연료가스 No.4

이 가스는 다량의 H₂와 CO가 함유되어 있으므로, 환원력이 강하고, CO에 의한 침탄 분위기를 이룬다. 따라서, 탈탄의 문제가 있는 중고탄소강의 브레이징에 적합하다. 단, 변성로의 제어 조건이 까다롭고, 균질한 가스를 만들기 위한 조작 기술이 필요하다. 특히 작업조건에 따라서는 후연이 발생하여 부착하는 경우가 있고, 유기 바인더로 혼합한 Cu페이스트형 삽입금속을 사용하는 경우에는 설치된 삽입금속 부분에 바인더가 카본화하여 남는다.



1.2.2 분해 암모니아가스(No.5형)

암모니아가스를 Ni촉매를 충전한 용기(Retorter)에 통과시키면서, 900~1000°C로 가열하면 (3.12)식과 같이 반응하여 수소가스와 질소가스로 분해된다. 이때, 소량의 수분과 미분해 암모니아가스가 잔류하는 경우가 있으므로, 보통 실리카겔이나 활성알루미늄이드와 같은 吸收劑를 사용하여 제거한다.



저로점인 분해가스는 75%의 H₂를 함유하고 있으

므로 환원력이 강하고, 동, 탄소강은 물론 스테인레스강의 브레이징에 이용 가능하다. 실제 작업시에는 로점을 -50°C에서 -60°C정도로 하여 사용한다.

미분해 암모니아가스가 많은 경우 原子狀의 질소로 해리된 후, 鐵과 반응하여 철의 표면에 硬하고 脆弱한 窒化物을 만드는 경우가 있으므로 주의할 필요가 있다. 특히 스테인레스강에서는 내식성을 저하시킨다.

1.2.3 봄베용 수소가스(No.6형)

이 가스는 시판되고 있는 봄베용가스를 말하고, 가스의 품질은 신뢰성이 낮기 때문에 로점은 실온 부근의 수분을 함유하고 있다고 생각하는 편이 안전하다. 따라서, 100%의 H₂임에도 불구하고, 그 환원력은 No.2형 정도로 생각하는 편이 좋다. 동, 모넬합금, 저탄소강 및 중탄소강 등의 브레이징에 이용된다. 한편, 수분이 함유되어 있으므로 탈탄(3.9식)이 일어날 가능성이 높아 고탄소강에는 일반적으로 이용하지 않는다. 소형 수소분위기 로를 간단히 만들 수 있기 때문에 귀금속 장식용 제품의 爐브레이징에 많이 이용되고 있다.

1.2.2.4 탈산건조형 수소가스(No.7형)

수소가스 중의 산소와 수분을 제거한 건조형 분위기가스이다. 로점 -60°C에서는 H₂O가 0.001%, O₂가 0.0001% 정도의 순수한 수소가스이다. 그래서 탄소강, 스테인레스강은 물론 Cr, Co합금 및 WC등의 초경합금에 이용된다. 즉 Al, Ti, Zr, Be등의 금속을 제외한 대부분 금속에 이용 가능하다.

수소가스 정제법으로는 소량의 경우에는 파라듐(Pd)투과막에 의한 정제법이, 대량의 경우에는 파라듐촉매와 흡수제를 병용하는 정제법이 있다.

1.2.5 가열증기(No.8형)

이 분위기는 황동계의 모재를 Ag삽입금속으로 브레이징하는 경우에만 이용되는 특수한 분위기이다. 즉 黃銅 표면의 탈아연 현상에 의한 변색을 방지하고, 삽입금속 성분 중에는 Zn 및 Cd의 증발을 방지하기 위해서 사용되는 분위기이다. 모재 및 삽입금속 중에 증발성이 강한 금속의 증발을 방지하기 위해서 사용되는 분위기이다. 모재 및 삽입금속 중에 증발성이 강한 금속의 증발을 방지하기 위해서 브레이징 전에 미리 Zn 및 Cd등의 금속을 가열 증발시켜 평형상태인 로 분위기를 만든 후 브레이징한다. 보통은 No.1~No.7형의 가스분위기와 병용한다. 보다 효과를 높이기

위해서, 붕화화카리움과 같은 증발성이 강한 붕화물을 넣거나, 플라스를 병용하기도 한다.

1.2.6 고순도 불활성가스(No.9형)

주기율표 상의 0족의 원소인 He, Ne, Ar, Kr, Xe은 어떤 물질과도 반응하지 않기 때문에 불활성원소라고 부른다. 가격면에서 Ar을 가장 많이 이용하고, 때로는 He을 이용하기도 하지만 고가이다. 시판용 가스는 충분히 건조 혹은 정제하여, 수분 및 산소가 적은 고순도 가스로 만들어 분위기 가스로 사용하는 것이 안전하다. 정제된 고순도 Ar, He의 불활성가스는 환원성이 아니지만, 무산화 분위기로서 유용하다. 통상의 순도는 로점 -60°C의 것이 사용되지만, 고가이기 때문에 단독으로 사용하는 것 보다도 진공과 병용하여 사용하는 것이 효과적이다.

수소분위기에서 취화하기 쉽고, 활성 금속인 Ti, Zr, Nb 등의 브레이징과 세라믹스의 브레이징에 사용된다. 또한, 활성금속을 함유한 Ag삽입금속 및 Ti삽입금속을 사용할 때 적합한 분위기이다.

한편, 이 분위기는 환원력이 전혀 없으므로, 전처리로써 피접합부 및 삽입금속의 표면에 대해서 반드시 청정화처리를 하여야만 한다.

1.2.7 진공분위기(No.10형)

표 3.1에서는 진공도에 따라서 No.10~10C로 분류하고, 각각에 대한 용도를 나타내고 있다. 일반적으로 촉매나 흡착제를 사용하여 로점이 낮은 분위기를 만드는 것 보다도, 진공으로 하여 酸素分壓이나 水蒸氣分壓을 낮추는 쪽이 훨씬 쉽다. 표 3.3에서 보는 바와같이 $1.3 \times 10^{-2} \text{Pa} (10^{-4} \text{Torr})$ 의 진공으로 할 경우 로점은 -80°C 이하로 되는 것을 알 수 있다.

Ti, Al, Zr 및 합금 등의 브레이징에는 유리하지만,

증기압이 높은 Zn, Cd 등을 함유한 모재나 삽입금속은 이와같은 금속들이 증발하기 때문에 사용하지 않는 것이 좋다.

진공 브레이징은 모재를 劣化시키지 않고, Ni 삽입금속 등을 사용하는 경우 브레이징성이 우수하지만, 장치가 고가이고, 대량생산성이 떨어지기 때문에 가격면에서 불리하다.

최근에는 진공 관계의 기술이 발달하여, 진공장치의 가격이 많이 떨어지고 있으므로, 사용되는 빈도가 많아지고 있다. 특히, 원자력 관계의 부품 및 항공우주 관계의 부품 조립에 많이 이용되고 있고, 라지에타와 같은 부품의 조립에도 사용되고 있다.

또한, Au 및 Ag합금과 같은 경우, 진공용의 삽입금속이 별도로 규격으로 규정하고 있고, Al합금의 경우에는 진공용의 새로운 삽입금속이 개발(2편 참조)되고 있다.

1.3 분위기 사용시 주의 사항

수소가스를 함유한 분위기를 사용하는 경우 로(爐) 재료의 수명을 고려하여, 1100°C 이하로 작업하는 것이 좋다. 보통 대형로인 경우, 600~700°C에서는 고순도 불활성가스를 흘려 보내고, 이 온도 이상에서 수소를 치환하여 사용하는 것이 좋다. 가열 승온시에 저온측에서는 산화할 염려가 있으므로, 저온쪽은 가급적 급열하는 것이 좋다.

산소가 함유된 Cu(무산소동, 탈산동은 제외), Ti, Zr, Nb, Ta등은 수소를 흡수하여 취화하는 경향이 있으므로 일반적으로 수소분위기를 사용하지 않는다.

수소가스라고 하면 대부분의 사람들은 폭발이라는 이미지를 먼저 생각하지만, 수소가스의 폭발한계치

표 3.3 진공도와 로점과의 관계

진 공 도 Torr	10	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵
불 순 물 량 %	1.34	0.134	0.0134				
불 순 물 량 p p m			134	13.4	1.34	0.134	0.0134
로 점 C	+11	-18	-40	-59	-74	-83	-101

표 3.4 공기 중에서 가스의 폭발한계치

가 스 명 수	소	메	탄	이산화탄소	프 로 판	부 탄	암 모 니 아
최 저 치 %	4	5	12	12	2.2	2	13
최 고 치 %	75	15	75	75	7.3	8.5	26

(공기와 혼합비) 4~75%와 발화점 530°C를 이해하고, 밀폐상태를 피하기만 하면 조용한 연소만이 일어날 뿐이다. 일반적으로 사용되는 可燃性가스와 폭발한계치는 다음 표 3.4와 같다. 특히, 밀폐된 작은 작업장에서는 누출된 수소에 의해서 이 한계치에 달하는 경우가 많기 때문에 조심하여야 한다.

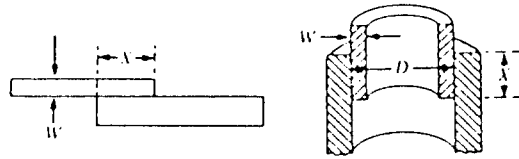


그림 3.3 판재 및 파이프의 겹치기 이음부

2. 이음부의 설계(Joint Design)

2.1 이음부의 기본 형상

브레이징에서는 모재를 거의 용융시키지 않고, 접합하기 때문에, 가열에 의한 모재의 열영향부가 문제가 되는 경우는 거의 없다. 그러나, 일반적으로 삽입금속의 강도는 모재에 비교하여 약하기 때문에 이음부의 형상은 접합재의 강도에 크게 영향을 미친다. 이음부의 형상을 선택할 때는 사용목적에 따라 요구되는 성질(기계적 성질, 전기적 성질, 내식성 등), 모재의 종류, 삽입금속의 종류, 플럭스 및 분위기, 부품의 형상, 접합방법 등을 충분히 고려한 다음 결정해야 할 것이다.

브레이징 이음부의 형상은 겹치기형(Lap Joint) 및 맞대기형(Butt Joint)과 이들 형상을 변형한 스카프형(Scarf Joint) 및 조합한 맞대기-겹치기형이 있고, 이 형상들은 그림 3.2에 표시한다. 실제 브레이징 작업시는 기본 형상을 응용하거나 조합한 형상을 채택하는 경우가 많다.

브레이징 접합이음부의 설계에서 가장 중요한 것은 이음부의 면적을 크게하는 것이다. 이 때문에 강도를 요구하는 경우에는 겹치기 형상을 기본으로 한 형상에서는 접합면적이 접합강도와 밀접한 관계를 가진다. 이 형상에서 적정한 접합면적은 다음 식에 의해서 구할 수 있다. 그림 3.3(a)와 같이 판재와 판재를 접합할 때에는 (3.13)식에 의해서 구할 수 있다. 그림 3.3(b)와 같이 파이프와 파이프를 접합할 때에는 (3.

14)식에 의해서 구할 수 있다.

$$X=Y(T \cdot W/L) \dots\dots\dots (3.13)$$

$$X=Y\{T \cdot W(D-W)/LD\} \dots\dots\dots (3.14)$$

여기서, X는 접합면적, W는 모재의 두께, D는 파이프의 직경, T는 인장 강도, L는 삽입금속의 전단강도, Y는 안전계수이다. 단, W와 L값은 약한 모재 쪽의 것을 선택하고, Y값은 보통 2~3의 값을 사용한다. 일반적으로 접합면적은 판두께의 3~5배 정도를 채용한다. 이 형상은 접합 후에 판두께가 변한다는 단점을 가지고 있다. 특히 박판의 접합에 많이 사용된다.

맞대기 형상은 접합면적이 모재의 단면적과 동일하여, 접합강도가 일반적으로 약하다. 그래서, 이 형상은 삽입금속의 강도 혹은 접합강도가 모재 보다 큰 경우에 채용되는 경우가 많다. 예를들면, 완전폴림한 탈산동을 Ag삽입금속으로 접합하는 경우이다. 또한, 피접합면의 평활도 및 평형도가 접합재의 건전성에 큰 영향을 준다.

그림 3.2(c)는 맞대기 형상을 변형한 스카프형(Scarf Joint)이 있다. 이 형상은 모재의 단면적을 일정하게 하고, 모재와 동일한 두께를 가진 접합재를 얻을 수 있으면서, 접합면적을 맞대기형의 것 보다 크게 할 수 있다는 잇점이 있다. 스카프 각도는 각각 45, 39, 22.5, 19.5°이면, 모재의 단면적에 대한 접합면적의 비는 1.4, 2.0, 2.6, 3.0으로 변화한다. 스카프의 각도를 작게하면, 접합면적을 크게할 수 있음을 알 수 있다. 이 형상은 박판 접합에는 곤란하고, 보통 후판의 접합에 이용되는 경우가 많다. 단점으로는 가공이 어렵다는 점이다. 또한, 브레이징 작업시 스카프의 각도를 준 끝부분이 과열되기가 쉽고, 용융삽입금속의 흐름성이 나쁠 경우에는 접합결함이 발생하기 쉽기 때문에 가공 및 조립 등에 주의를 요한다.

맞대기-겹치기형(Butt-Lap Joint)은 그림 3.2(d)에

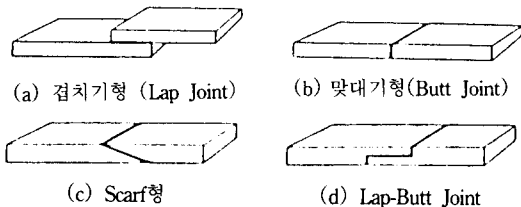


그림 3.2 브레이징 이음부의 기본 형상

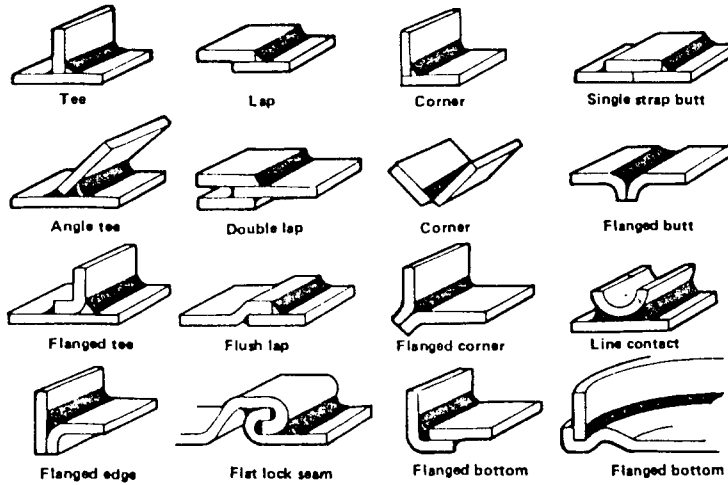


그림 3.4 브레이징 이음부의 형상의 예

표시한 것처럼 맞대기형과 겹치기형의 조합한 형상으로, 최대 집합강도를 유지하면서, 동일한 모재의 두께를 유지하기 위해 고안된 형상이다. 이 형상은 모재의 가공이 더 필요하다는 점이 있지만, 작업시 지지대가 필요하지 않다는 잇점도 있다.

그림 3.4는 AI합금의 브레이징시 사용되는 집합 이음부의 형상을 나타낸다.

2.2. 이음부 설계방안

(1) 응력집중 상태를 피하기 위한 형상의 설계방안

집합재 하중이 걸리면, 이음부는 모재와 재질이 다르고, 크기 형상 등의 차이에 의해서 불연속 점이 되어, 응력집중 부위로 작용한다. 더우기, 정적인 하중하에서 모재에서 파단하도록 설계한 집합재일지라도, 하중의 방향이 변하거나, 반복하중을 추가하는 경우, 이음부에서 응력이 집중되어 이음부에서 파단하는 경우가 발생한다. 따라서, 이음부 형상을 설계할 때에는 이음부에 걸리는 응력집중을 가능한 분산시키는 형상을 먼저 생각하여야 할 것이다. 그림 3.5의 (a)와 같이 판재와 환봉을 브레이징한 집합재에 수직방향(P방향)으로 하중이 걸리면, F점에서 응력집중이 일어나, (b)와 같이 F점에서 파괴된다. 이런 경우 (c)와 같이 환봉에 테이퍼를 주어 브레이징하면, 부과된 응력이 모재로 분산되어 환봉의 끝 점이 판재와 함께 변형이 일어나고, F점에서 파단되기 어렵게 된다.

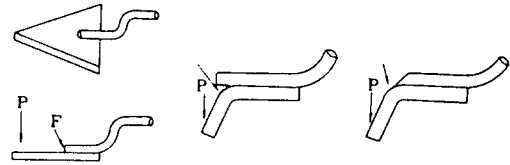


그림 3.5 응력 집중 현상과 개선 예

또한, 그림 3.6의 (a)와 같이 점선의 화살표 방향으로 하중이 부과되면, 낮은 하중에서도 이음부에서 분리될 우려가 있다. 이런 경우에는 (b)와 같이 보강재를 부착하여 설계를 모색하는 것이 현명하다.

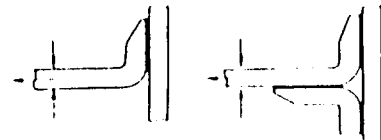


그림 3.6 응력 집중부 개선 예 : 보강재

또 하나의 기술로써는 이음부의 강도를 증가시키는 방법이다. 그림 3.7과 같이 전형적인 이음부보다는 삽입금속의 양을 약간 많이 사용하여 필렛을 형성시켜, 집중응력을 분산시키는 방법도 가능하다.

그림 3.8은 이음부에 집중응력이 걸리는 경우, 응력을 분산시키는 설계의 예를 나타낸다.

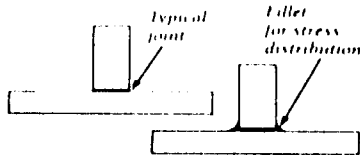


그림 3.7 응력 집중부 개선 예: Fillet 형성

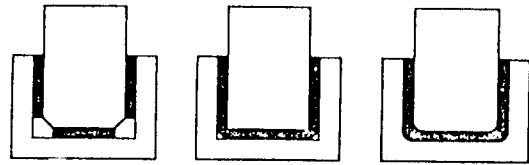
Problem	Solution A	Solution B
<p>Stress concentrated here</p>	<p>Light section strengthened at joint</p>	<p>Heavy section shaped to reduce stress</p>
<p>Stress concentrated here (butt joint)</p>	<p>Members thickened at joint</p>	<p>Scarf joint to increase bonding area</p>
<p>Stress concentrated here</p>	<p>Light section strengthened at joint</p>	<p>Light section reinforced at joint</p>
<p>Stress concentrated here</p>	<p>One member redesigned to spread stress</p>	<p>Other member redesigned to spread stress</p>

그림 3.8 응력집중 감소를 위한 디자인

(2) 용융삽입금속의 흐름을 고려한 설계방안

용융삽입금속은 적당한 틈 사이에서는 흘러들어 가지만, 만약 부분적으로 간격이 넓은 곳이 있으면 정지한다. 이런 현상은 특히 모서리 부분에서 많이 발생한다. 예를들면, 그림 3.9의 (a)와 같은 모서리 부분에서 틈 사이의 간격이 커지면 용융삽입금속이

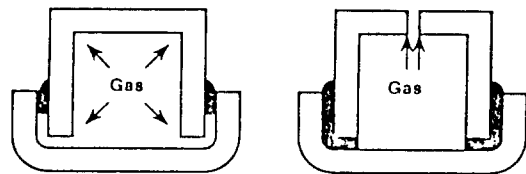
채워지지 않고, (b)와 같이 모서리가 직각이 되는 경우도 모서리 부분에서 보이드로 남는다. 이와같은 모서리 부분에서는 될 수 있는 한 (c)와 같이 라운드지게 하는 것이 최선의 방법이라고 할 수 있다.



(a) 불량 (b) 불량 (c) 양호

그림 3.9 이음부형상과 용융삽입금속의 흐름

또한, 적절한 간격을 유지한 경우라도, 플라스 혹은 삽입금속 및 플라스에서 발생한 가스, 용융한 플라스, 내부에 존재했던 공기 등이 빠져나갈 곳이 없으면, 용융삽입금속의 흐름은 멈추기가 쉽다. 이런 경우 외관 상으로는 문제가 없는 것 처럼 보이지만, 실제로는 용융삽입금속의 흐름이 불량하여 보이드 등에 존재하는 경우가 많다. 예를들면, 그림 3.10과 같은



(a) 불량 (b) 양호

그림 3.10 가스누출 구멍의 설계 효과

형상을 브레이징할 때 (a)처럼 공기 혹은 가스 누출 구멍을 고려하지 않으면, 용융삽입금속은 압력 때문에 흐르지 못하고 멈춘다. 그러나 (b)처럼 누출 구멍을 설계하면, 용융삽입금속의 흐름에는 문제가 없다. 가스 누출을 배려한 설계의 예를 그림 3.11에 표시한다.

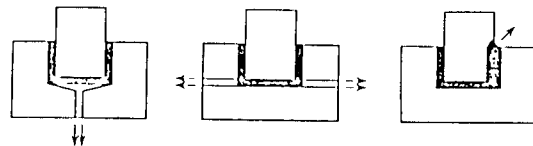


그림 3.11 가스 누출 구멍 설계 예

(3) 삽입금속의 배치에 대한 고려

용융삽입금속의 흐름에 대한 설계 방안과 더불어

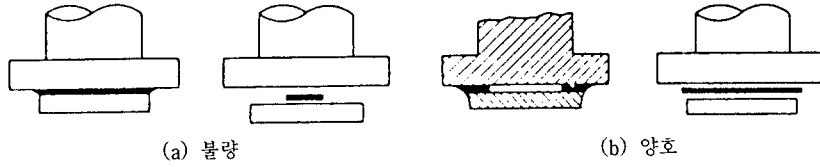


그림 3.12 삽입금속의 설치방법에 따른 집합상태

고려해야 할 점은 삽입금속의 배치에 대한 설계방안이다. 특히 설치형 삽입금속의 경우에는 삽입금속을 어디에 놓는가에 따라서 이음부의 강도는 물론 용융 삽입금속의 흐름 및 집합결합의 발생과도 밀접한 관계가 있다. 따라서, 이음부 형상의 설계, 단계에서 삽입금속의 형태 및 위치를 검토할 필요가 있다. 간단한 예로서, 판상의 삽입금속을 사용하는 경우 그림 3.12의 (a)와 같이 배치하면, 표면장력의 상관 관계에 의해서 삽입금속이 중간에는 충전되지 않아 보이므로 남지만, (b)와 같이 배치하면, 프락스 및 공기는 용융삽입금속과 더불어 외측으로 빠져나가게 되고, 삽입금속으로 완전히 채워져서 보이드가 발생하지 않는다.

특히 양 모재 사이에 두께 차가 있으면, 얇은 모재 쪽 온도의 상승속도가 빠르기 때문에, 두꺼운 모재의 온도가 삽입금속의 용융온도에 도달하기 전에 얇은 모재 쪽은 이미 용융삽입금속과 반응하여 나머지 용융삽입금속의 흐름을 저해하거나, 모재의 얇은 부분이 완전히 용융하는 에로존(Erosion) 현상이 일어난다. 따라서, 삽입금속은 얇은 모재와 접촉하지 않도록 설계하거나, 삽입금속을 배치하기 위한 Groove를 설계할 때는 두꺼운 모재 쪽에 설치해야 한다. 에로존 현상을 방지하기 위한 설계 예를 그림 3.13에 표시한다. (a)는 얇은 파이프가 심하게 용융이 일어날 것으로 예상되는 부분에 방해물을 설치하는 방법이고, (b)는 두꺼운 쪽의 모재가 삽입금속의 용점 이상의 온도에 도달하면, 삽입금속이 용융하여 집합부로 흘러 들어가게 하기 위하여, 두꺼운 쪽에 Groove를 만들어 주는 방법이다. 이때 아랫 쪽에 생긴 모재의 용융부는 큰 문제가 되지 않는다. 설치형 삽입금속에 설계 예를

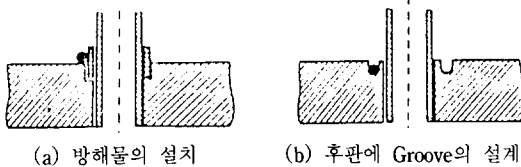


그림 3.13 박판과 후판의 접합 시 삽입금속의 설치 방법

그림 3.14에 표시한다. 검은 원으로 표시한 것이 삽입금속이다.

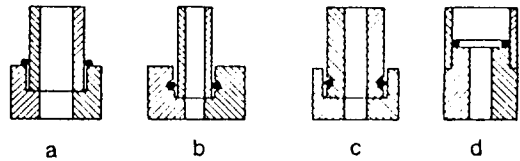


그림 3.14 삽입금속의 설치에 대한 설계 예

2.3 접합부 간격의 설계 방안

브레이징 이음부의 강도는 접합부의 간격(Clearance)과 깊은 관계가 있다. 그림 3.15는 저탄소강을 Ag삽입금속으로 브레이징한 경우에 전단강도에 미치는 접합부 간격의 영향을 도식화한 것이다. Gas형 플락스를 사용하는 경우, 접합부 간격이 좁을수록 전단강도가 증가하고 있고, 삽입금속의 본래의 전단강도 보다 높은 값을 나타내고 있다. 접합재의 강도가 삽입금속의 본래의 강도 보다 크게 되는 것은 접합부에서 우선 소성변형이 일어나지만, 항복응력이 더 큰 모재의 영향으로 접합부 근방에서 소성변형을 일으키기 위해서는 더욱 큰 응력이 필요하기 때문이다. 그래서, 접합강도가 삽입금속의 본래의 강도 보다 큰 경우가 많고, 간격이 좁을 수록 접합강도는 크게된다. 그러나, 너무 좁으면, 용융삽입금속의 흐름이 나쁘게 되고 집합결합이 발생하게 되어 도리어 강도를 저하게 된다.

최대의 강도를 얻기 위한 접합부 간격을 결정할 때에는 다음과 같은 사항을 염두에 둘 필요가 있다. 동일한 간격에서도 플락스 혹은 분위기, 모재의 표면상태, 모재 및 삽입금속의 종류, 용융삽입금속과 모재와의 반응성, 접합부의 기하학적 형상 등에 따라서 접합강도는 변화한다. 특히 이종재료 간의 브레이징인 경우에는 팽창계수의 차를 고려하여야 한다.

그림 3.15에서 알 수 있는 것 처럼 같은 접합부

간격을 삽입금속과 플럭스 및 분위기에 따라 정리한 것이다. 이 기준은 위에서 나열한 조건에 따라 달라질 수도 있다.

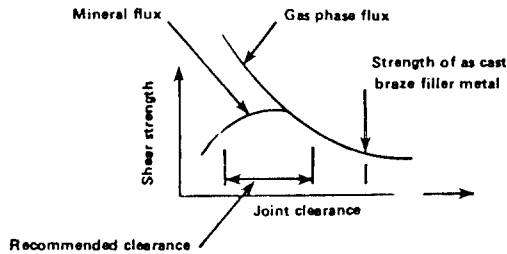


그림 3.15 접합부 간격과 접합강도와와의 관계

간격이라도 사용한 플럭스의 종류에 따라 변화한다. 이것은 플럭스 및 분위기에 따라서 용융삽입금속의 흐름이 다르기 때문이다. 즉 분위기가 나쁠 때에는 적당한 용융삽입금속의 흐름을 얻기 위해서는 보다 넓은 간격이 요구된다. 그러나 너무 넓으면, 플럭스와 용융삽입금속과 혼합이 일어나, 접합강도를 저하시킨다. 표 3.5는 최대강도를 얻기 위해 이용되는 접합부 일반적으로 용융삽입금속은 모세관현상에 의해 흘러 들어간다. 만약, 모재에 표면이 너무 매끄러우면,

용융삽입금속이 균일하게 분산되지 않을 것이다.

그 결과 보이드가 생기고 접합강도는 저하한다. 반면에 표면조도가 너무 크면, 평균 접합부 간격이 넓어질 뿐만 아니라, 어느 부분만이 브레이징이 되어 역시 강도 저하의 요인이 된다. 일반적으로 표면조도는 0.7~2.0 μ m 정도가 적당하다. 특히 접합부 간격이 제로인 경우 및 압력을 가하는 상태인 경우는 어느 정도의 표면조도가 유지되어야 한다.

모재의 성분 중에 산화하기 쉬운 Al, Ti 등과 같은 성분이 포함된 경우는 산화피막 때문에 용융삽입금속의 젖음성이 불량하게 된다. 따라서, 이러한 금속의 함유량이 증가할수록 접합부 간격을 넓게 하여야 한다.

용접이 일정한 순금속 및 공정합금인 삽입금속은 고액 공존 구간을 갖는 삽입금속 보다 접합부 간격을 좁게 하는 것이 좋다. 또한, 모재와 용융삽입금속이 서로 반응성이 좋은 경우는 액상의 유동성을 저해하는 경향이 있으므로, 반응성이 없는 경우 보다 넓은 접합부 간격이 요구된다. 표 3.6은 삽입금속과 모재의 조합에 따른 적절한 접합부 간격을 나타낸다.

접합부 길이가 긴 경우에는 접합부의 끝점에 도달하기 전에 응고할 우려가 있으므로 짧을 때 보다 접합부 간격을 넓게하여야 한다. 더우기 모재와 용융

표 3.5 삽입금속의 종류에 따른 적정 접합부 간격

Filler metal AWS classification	Joint clearance, in.
BAISi group,	0.002-0.008 for length of lap less than 0.25in. 0.008-0.010 for length of lap greater than 0.25in.
BCuP group	0.001-0.005 no flux and for flux brazing (mineral fluxes)
BAG group	0.002-0.005 flux brazing (mineral fluxes) 0.000-0.002 + atmosphere brazing (gas phase fluxes)
BAu group	0.002-0.005 flux brazing (mineral fluxes) 0.000-0.002 + atmosphere brazing (gas phase fluxes)
BCu group	0.000-0.002 + atmosphere brazing (gas phase fluxes)
BCuZn group	0.002-0.005 flux brazing (mineral fluxes)
BMg	0.004-0.010 flux brazing (mineral fluxes)
BNi group	0.002-0.005 general applications (fluxes/atmosphere) 0.000-0.002 free-flowing types, atmosphere brazing

*Clearance on the radius when rings, plugs, or tubular members are involved. On some applications it may be necessary to use the recommended clearance on the diameter to assure not having excessive clearance when all the clearance is on one side. An excessive clearance will produce voids. This is particularly true when brazing is accomplished a high quality atmosphere (gas phase fluxing).

+For maximum strength a press fit of 0.001 in. of diameter should be used.

표 3.6 모재-삽입금속의 조합과 적정 접합부 간격

(단위 : mm)

IM	B.M	강	동 합 금	탄 소 강
동	삽 입 금 속	-	-	0.05이하
황	동 삽 입 금 속	0.07-0.38	0.07-0.33	0.05-0.25
인	동 삽 입 금 속	0.05-0.25	0.07-0.38	-
은	삽 입 금 속	0.05-0.38	0.05-0.38	0.02-0.15

삽입금속과의 반응성이 좋을 경우에는 더 넓게 하여야 한다.

특이 이종재료 간을 접합할 경우에는 열팽창계수 차이에 의해서 상온에서 설정한 간격과 접합온도에서 간격은 변화한다. 따라서, 접합온도에서 적정간격을 조립 시에 설정할 필요가 있다.

참 고 문 헌

1) 松 忠男 : 熔接技術 1989(4月), p.69

- 2) AWS : Brazing Manual
- 3) ASM : Metal Handbook
- 4) ASM : Brazing Source Book
- 5) AWS : Welding Handbook (1978)
- 6) M. M Schwarz : Brazing (1987)
- 7) 일본용접학회 : 최신 접합기술 편람
- 8) 末澤 : 先端熔接工學
- 9) 日本熔接協會 : ろうの選び方 使い方
- 10) 日本熔接協會 : ろう付. はんんだ付入門