

확산접합의 原理와 基礎

恩澤忠男* · 金永植**譯

1. 확산접합의 定義와 原理

확산접합은 접합母材間의 固相확산에 의해 接合을 시키는 방법이다. 이 방법은 될 수 있는 한 접합부의 변형을 작게 하기 위해, 접합압력은 작게 한다. 접합 母材에 따라서는 固相의 insert를 사용하여 접합부의 확산을 촉진시키는 경우도 있다.

확산접합법이 유사한 다른 방법과 어떤 점이 다른가를 나타낸 것이 Fig.1이며, 左側으로부터 固相 확산접합(insert材를 사용하는 경우와 사용하지 않는 경우), 液相擴散접합(확산납땜법이라고도 함) 및 납땜법의 名 過程의 개략도를 나타내고 있다.

固相 확산접합은 全 過程을 통하여 固相 狀態에서 접합이 進行되지만, 液相확산접합 및 납땜법은 加熱하여 接合온도에 도달하였을 때에 insert材가 용융한다. 납땜법은 이후 곧 冷却되지만, 液相擴散접합은 접합온도에서 그대로 유지되며, insert材中の 融點降下 元素를 母材中에 확산시켜 접합부를 等溫응고시킨다.

다음에 확산접합의 접합과정에 대해서 좀더 자세히 설명한다.

Insert材를 이용하지 않은 확산접합에서는 Fig. 2에 나타낸 3단계의 접합기구 모델에 의해 접합부의 형성과정이 설명될 수 있다. 1) 제1단계에서, 降伏현상이나 크리프변형과정에 의해 접촉부의 凹凸이 變形하고, 界面의 넓은 범위에 걸쳐 밀착이 생긴다. 이 段階에서 접합界面部는 void를 동반한 結晶粒界로 된다. 제2단계에서는 확산이 변형보다도 중요하게 되어, void의 대부분이 粒界확산에 의해 消失된다. 同時에 界面결정입계의 이동이 일어나서, void의 대부분이 粒內에 잔류된다. 최종단계에서는 void內로의 원자의 體積확산이나 표면확산에 의해 殘留

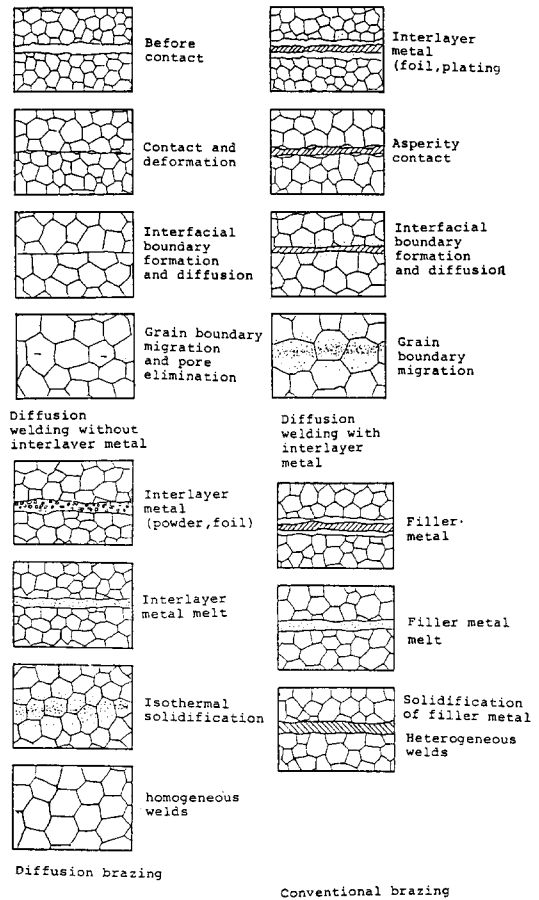


Fig. 1. Schematic illustration of bonding process.

void가 消失된다. 이것은 void로부터 void 밖으로의 空孔확산이다. 실제의 系에서는 이들의 단계를 중복하여 발생하고 있다.

한편, 金屬의 表面은 미시적으로는 큰 起伏이나 작은 凹凸이 존재한다. 또한 大氣에 접촉되는 表面

* 東京工業大學 教授

** 韓國海洋大學 教授

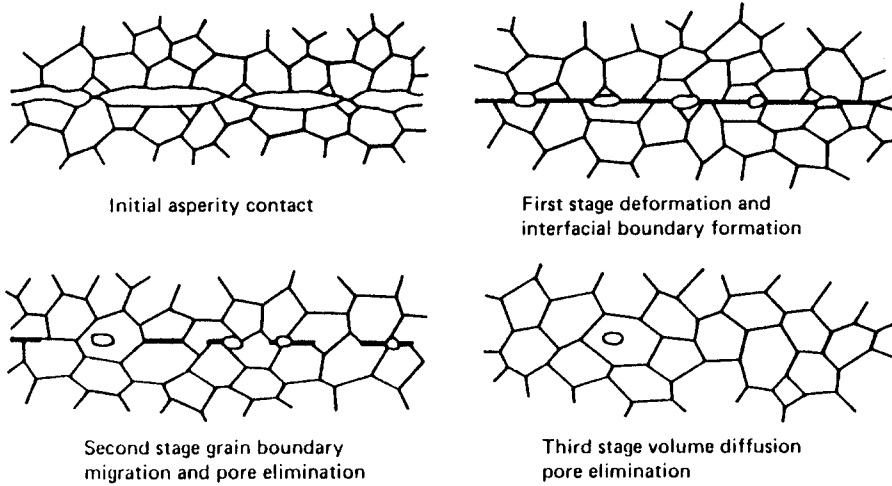


Fig. 2. Illustration of 3 stage bonding process

에는 산화물층 및 가스나 수증기의 흡착층이 형성된다. 그 밖에 油脂, 먼지 등과 같은 固體 또는 液體의 부착물도 있다. 따라서 충분한 확산접합부를 얻기 위해서는 이와 같은 표면 汚染層을 제거해 둘 필요가 있다.

2. 확산접합법의 長點과 短點

확산접합은 보통의 용접방법이나 납땜법에 比하여 많은 長點을 가지고 있으나, 同時에 많은 缺點도 있다.

長 點

(1) 접합부는 母材와 거의 同一한 組織과 성질을 갖는다.

(2) 最少限의 變形이 要求되는 部材, 혹은 접합부의 기계가공이나 成形加工이 될 수 없든가, 行하지 않는 部材의 接合이 될 수 있다.

(3) 融接이 불가능한 異種金屬 혹은 合金의 接合이 可能하다.

(4) 한개의 部材中에 여러 개의 접합부가 동시에 접합될 수 있다.

(5) 접합부에 접근하기 어려운 것의 접합이 가능하다.

(6) 融接에 있어서와 같은 결함이 생기지 않는다.

短 點

(1) 일반적으로 접합에 필요한 시간이 보통의 용접이나 납땜과정보다 길다.

(2) 장치의 價格이 비싸고, 경제적으로 생산될 수 있는 部品の 크기에 제한을 받는다.

(3) 많은 部品이 同時에 처리될 수 있으나, 높은 生産性을 얻는 데는 적합치 않다.

(4) 品質保證을 위한 적절한 非破壞 檢查기술이 없다. 특히 이음부의 設計品質을 保證할 수 있는 方法이 없다.

(5) 모든 構造用 合金에 적합한 insert材와 工法이 아직 開發되어 있지 않다.

(6) 接合表面이나 接合間격의 處理는 일반적으로 在來의 압접이나 납땜법에 比해 훨씬 注意를 要한다.

(7) 擴散接合에서는 진공이나 保護분위기의 한정된 容器中에서 加熱과 압력을 同時에 加하는 것이 裝置上 큰 문제점이다.

3. 擴散接合 裝置

擴散接合 裝置를 大別하면, 소위 Hot press式, retort式 및 HIP式이 있다. Fig. 3에 Hot press式的 擴散接合 장치를 나타낸 것이다. 그 밖에 저항용접과 같이 저항접합법도 있다. 확산접합의 장치는 기본적으로는 접합분위기의 調整系, 接合部를 가열하는 加熱系 및 接合面에 압력을 加하는 加壓系로 되어 있다.

接합분위기로서는 $10^{-2} \sim 10^{-3}$ Pa ($7.5 \times 10^{-5} \sim 10^{-6}$ Torr)의 진공이나, Ar 등의 불활성분위기 혹은 H₂ 등의 環元性분위가 이용된다.

加熱系는 内部加熱의 경우, Mo이나 Graphite의 저항발열체 및 高周波 加熱 등이 이용된다. 外部 加熱

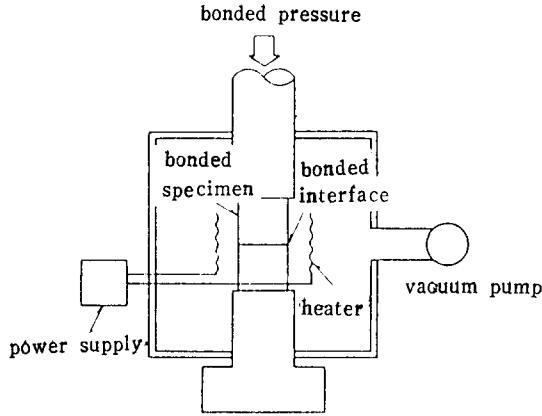


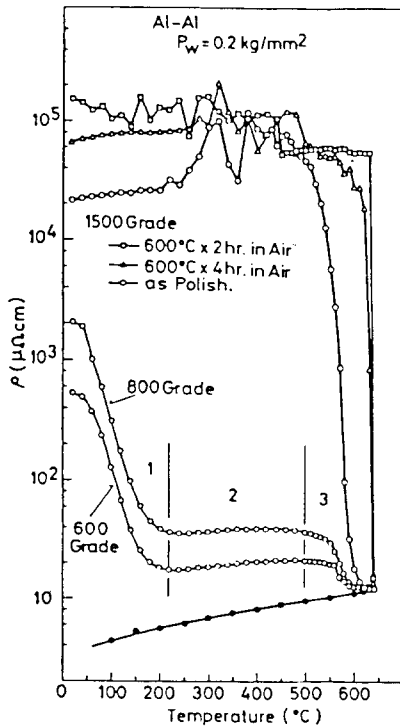
Fig. 3. Diffusion bonding equipment(Hot press type)
 式의 경우는 赤外線 Image爐나 니크롬 發熱體 등도 사용된다. 더욱이 저항접합법에서는 접합母材에 직접 通電하여 가열한다.

4. 접합성에 영향을 미치는 因子

4.1 접합표면

(1) 산화피막의 영향

Fig. 4(a), (b)에 Al 및 CPTi의 접합界面的의 접촉저



항의 온도변화를 나타낸 것이다. 2) 測定은 10^{-2} Pa의 진공중에서 행한 것이다. Al의 경우 1500번의 Sand paper로 접합表面을 다듬질한 경우, 室溫에서의 접촉抵抗値는 母材에 비해 매우 높다. 이것을 加熱하여도 500°C 이상으로 되기까지는 접촉저항의 현저한 低下는 인정되지 않고, 용접直下의 630°C 이상으로 될 때 母材의 比抵抗과 거의 같게 된다. 이러한 결과는 Al의 접합界面에서는 산화피막의 영향이 용접直下의 360°C 이상의 溫度域까지 없어지지 않는다는 것을 보이는 것이다.

(b)의 Ti에서는 1500번의 Sand paper로 연마한 후 바로 접촉저항을 측정할 경우에 비하여, 연마후 600°C에서 대기중에서 산화피막을 성장시킨 경우가 室溫에서의 접촉저항이 현저하게 增加하고, 또한 접촉저항이 低下하는 溫度域은 高溫側으로 크게 移動한다.

이러한 사실은, Ti의 경우도 산화피막이 접합界面에서 金屬表面끼리의 접촉을 방해하는 효과를 갖고 있는 것을 나타내고 있다. 그러나 Al에 비교하여 Ti의 경우는 600°C~700°C 即 母材의 용접보다도 상당히 낮은 온도에서 접촉저항이 母材에 가깝게 된다. 이것은 Ti에서는 산화피막중의 산소가 600~700°C에서 Ti 母材에 확산, 固溶하여 버린다는 것을 보이고 있다.

大橋는 이 산화피막의 거동을 模式化하여 Fig. 5와 같이 나타내고 있다. 3) 여기서는 다음과 같이 3種類로 分類하고 있다.

Ti型—接合面間의 산화피막이 擴散접합의 初期에 消失하고, 산화피막은 接合에 큰 영향을 미치지 않는다. 이들의 金屬으로서는, Ti 外에 Zr, Ta, Nb 등

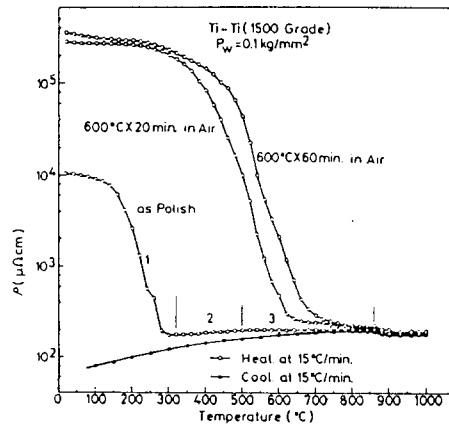


Fig. 4. Variation of electric resistance across bonding interface with temperature

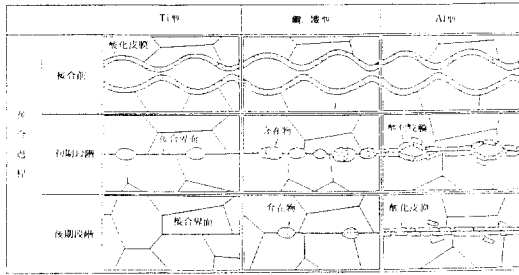


Fig. 5. Behavior of oxide film at bonding interface 이 있다.

銅, 鐵型—擴散接合의 初期에 接合面의 산화피막이 응집하고, 空隙의 內面 및 密着部에 介在物을 형성한다. 接합의 進行과 더불어 응집이 進行하고, 또한 母材로 산소의 擴散에 의해 介在物量은 감소한다. 銅, 鐵, 스테인레스鋼이 여기에 屬한다.

Al型—산화피막이 매우 安定하며, 擴散接合中에 소실하지 않는다. 그러나 接합의 進行과 더불어 皮膜은 球狀化하여, 接合線에 따라서 몇개의 산화물 粒子로서 殘留한다. 이것은 母材中에서 보이는 非金屬 介在物 만큼은 有害하지 않다.

(2) 接합분위기의 영향

Fig. 6(a), (b)는 Ti-6Al-4V 合金 및 CPTi을 진공중(a) 및 Ar中(b)에서 擴散接合하여, 後熱處理를 한 경우의 剪斷強度의 變化를 나타내고 있다. 4) 진공중과 비교하여 Ar中에서 接合한 試料은 8시간의 열

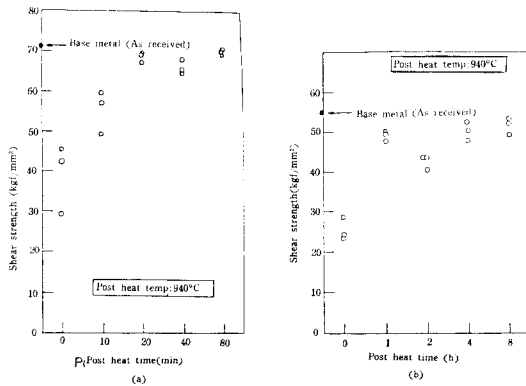


Fig. 6. Effect of PWHT on shear strength of diffusion bonded joints.

- (a) Base Metal: Ti-6Al-4V alloy
Atmosphere : Vacuum
- (b) Base Metal: CPTi
Atmosphere : Ar

처리에도 불구하고 母材強度에 達하여 있지 않다. 이것은 Ar에 의해 空隙이 消失하지 않기 때문이라고 생각된다.

각종의 분위기에서 接합한 경우의 接합부 空隙에 잔류하는 가스의 舉動을 大橋는 Fig. 7과 같이 나타내고 있다. 3) Ar 등의 불활성 가스는 空隙內에 殘留하나, 母材와 반응하는 가스, 예를 들면, 산화물, 질화물, 水産化物을 형성하는 경우는, 산소, 질소, 水素가 空隙內에 남지 않는다.

接合雰囲気	大氣	眞空	水素	Ar
第1段階	O_2, N_2		H_2	Ar
第2段階	銅 介在物	CH_4, CO, CO_2 介在物	H_2	Ar 介在物
	鐵	N_2	N_2, H_2	N_2, Ar
	SUS 304		H_2	Ar
	Ti 合金			Ar

Fig. 7. Behavior of residual gases within voids at bonded interface

(3) 산화피막 제거법

純 Al의 接합강도와 接합온도와의 關係에 대한 接합表面處理의 영향을 Fig. 8에 나타내었다. 2) 와이어 브러시 後에 電解研磨를 行한 것은 가장 낮은 온도에서부터 母材破斷으로 나타난다. 그다음이 1200번의 研磨紙로 研磨한 후 電解研磨한 試料이며, 가장 낮은 것은 와이어 브러시만에 의한 것이다. 이것은 산화물을 多量으로 포함하고 있는 界面層이 接합강도의 증가에 惡影響을 끼친 것이라고 생각된다.

Fig. 9에 接합표면을 glow 放電에 의해 처리한 효과를 나타내었다. 5) 試驗片의 溫度는 방전시간의 증가와 더불어 上昇하여 10分 후에는 거의 一定하게 되어 있다. 損失重量은 放電時間과 더불어 直線적으로 증가하여, 試驗片의 重量이 감소하고 있다. 따라서, 산화피막이 Ar 이온에 의해 제거되어, 試驗片의 溫度上昇과 더불어 이음부 강도는 증가한다.

銅의 擴散接合性에 미치는 表面處理의 효과를 Fig. 10에 나타낸다. 6) emery paper 연마에 의한 경우는 500°C에서 接합한 이음부에서도 인장강도는 7kgf/

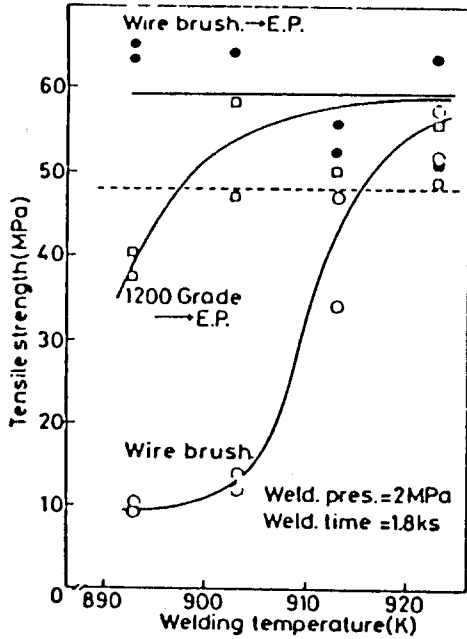


Fig. 8. Effect of surface treatment and bonding temperature on tensile strength of pure Al joint.

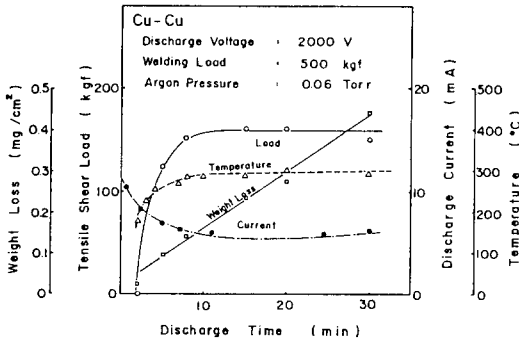


Fig. 9. Effect of discharge time on weight loss, tensile shear load, discharge current and temperature of specimen treated by glow discharge.

mm² 정도밖에 안되지만 buff 연마처리를 하면 접합성은 현저하게 개선되어, 400°C에서 접합한 이음부에서도 인장강도는 18kg/mm² 정도에 이르고 있다. 또한, Ar 이온 증격을 실시한 試片에서는 250°C의 매우 낮은 경우에서도 12kgf/mm²를 넘는 이음부 강도가 얻어진다. 300°C에서 접합한 이음부에서는 20 kgf/mm²를 넘고 있다.

(4) 表面거칠기의 영향

表面거칠기의 접합정도에 대한 영향은 Fig. 4에 나

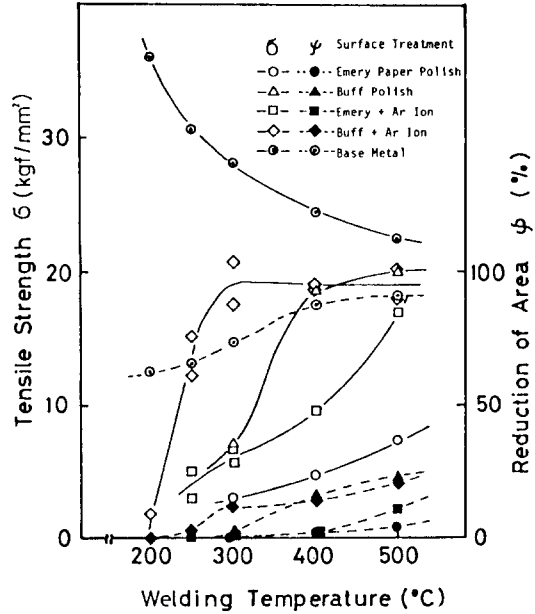


Fig. 10. Bonding temperature versus bonding strength curves for bonded joints provided by various surface treatments.

타면 Al의 접촉저항의 변화로 나타낸 것과 같이 표면거칠기가 큰 쪽이 밀착과정이 빠른 경우도 있다. Fig. 11은 CPTi과 軟鋼의 접합에 미치는 표면거칠기와 인장강도와와의 關係이다. 여기서는 buff 研磨쪽이 가장 인장강도가 높게 되어 있으며, 거칠기가 커짐에 따라 접합강도는 저하하고 있다. 7)

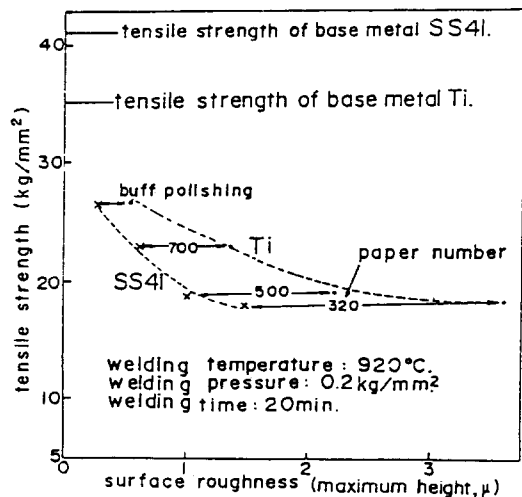


Fig. 11. Effect of surface roughness on tensile strength of CPTi-mild steel joint.

4.2 접합온도, 시간 및 압력의 영향

접합온도는 다음 式으로 나타내는 바와 같이 접합면과의 原子擴散에 指數함수적으로 영향을 미치기 때문에, 접합온도를 올리면 접합성은 비약적으로 상승한다. 또한, 접합시간도 다음 式으로 나타낸 것과 같이 원자확산에 1/2乘으로 영향을 미친다. 압력은 특히 접합면의 void를 소멸시키는 작용 이외는 확산 등에는 영향을 끼치지 않는다.

$$D = D_0 e^{-Q/KT}$$

$$X = C(Dt)^{1/2}$$

여기서 D 는 溫度 T 에서의 확산계수, D_0 는 비례계수, Q 는 확산의 활성화 에너지, T 는 절대온도, K 는 Boltzmann定數, X 는 확산거리, t 는 시간, C 는 定數.

Fig. 12는 접합계면에 있어서 void율과 接合變形量의 관계를 보인다.²⁾ 이 그림은 Ti-6Al-4V 합금의 열처리하지 않는 상태와 900°C 및 1010°C에서 an-annealing한 母材를 이용한 경우의 접합부로서, 어떤 경우도 void率は 접합온도, 母材組織에 관계없이 접합변형량만에 의해 정리될 수가 있고, 접합변형량의 증가와 더불어 void率は 低下한다.

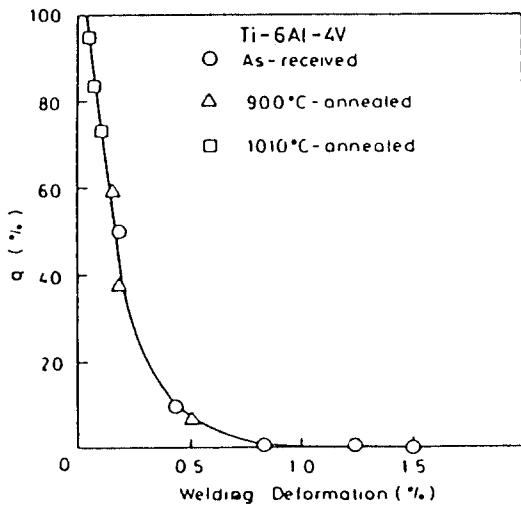


Fig. 12. Relation between bonding deformation and void ratio at bonding interface.

4.3 母材의 組織 및 超塑性에 의한 영향

Fe의 擴散접합부의 이음효율에 미치는 加熱方式의 영향을 Fig. 13에 나타낸다.⁵⁾ Fe는 910°C에서 $\alpha \leftrightarrow \gamma$ 의 변태를 일으키기 때문에 變態超塑性에 의해 일정 온도에서 접합하는 것보다도 낮은 압력에서 접합이 可能하게 된다.

Ti-6Al-4V 합금은 열처리하지 않는 상태의 조직

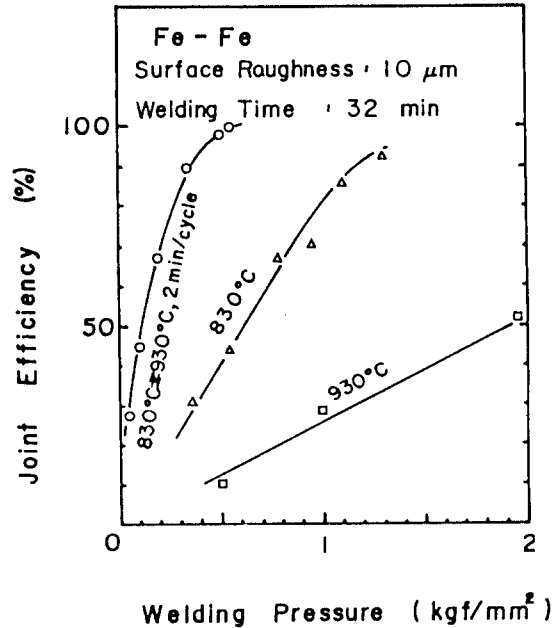


Fig. 13. Relation between bonding pressure and joint efficiency of Fe-Fe diffusion bonded joint using various heating cycles

은 매우 미세한 結晶粒을 보이고 있으며, 낮은 應力에서 塑性變形이 생긴다. 이것은 微細粒 超塑性이라고 불리운다. 그러나 熱處理를 行하면 열처리 온도가 높아감에 따라 결정립의 粗大化를 일으켜 超塑性 현상은 없어지게 된다.

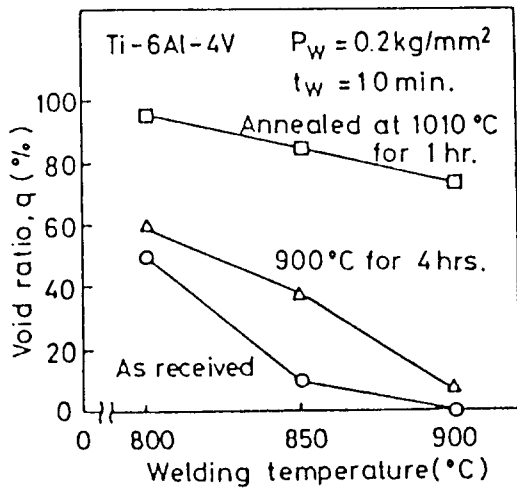
Fig. 14에 이러한 母材에 대한 void율 및 引張強度에 대한 접합온도의 영향을 나타내고 있다.²⁾ 열처리하지 않는 상태의 微細粒을 가진 母材에서는 접합성이 매우 좋았던 것이 母材를 열처리하여, 結晶粒이 粗大化하면 같은 접합조건에서도 void率が 크게 된다는 것을 알 수 있다.

4.4 Insert 材의 영향

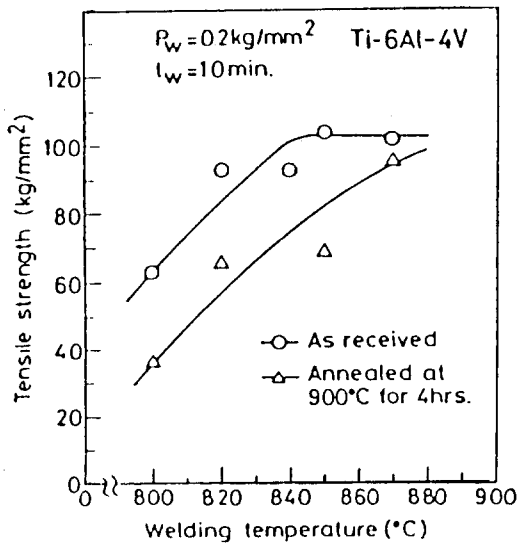
Insert材의 효과로서는 軟質層으로서의 작용, 확산 촉진제로서의 작용 및 취약한 금속간 化合物의 生成 방지 등의 作用이 있다.

Fig. 15는 접합면의 도금법으로서, 이온도금, 전기도금, 진공증착을 비교한 것이다.⁵⁾ 또한 비교하기 위해 銀箔을 삽입한 경우 및 직접접합의 결과도 나타내었다. 어떤 경우라도 직접접합한 경우보다 銀을 도금한 쪽이 強하게 되고, 도금법으로서의 이온도금법이 우수하다.

Fig. 16은 銅의 확산접합에 있어서 insert材의 供給



(a)



(b)

Fig. 14. Effect of microstructure of base metal on (a) void ratio and (b) tensile strength of Ti-6Al-4V alloy joint.

방법이 달라짐에 따른 접합강도의 비교를 나타내고 있다. 또한 여기에서의 이온 증착에 의한 insert材의 두께는 2~2.4 μ m이다.

箔을 사용한 경우 銀箔보다도 金箔을 사용한 경우가 접합강도는 매우 높게 된다. 이온 도금을 하면 어떤 경우에도 매우 強度가 높게 되나, emery paper에 의한 경우보다 buff 研磨쪽이 약간 강도가 높다.

Fig. 17은 insert材와 金箔, 銀箔, Ni箔 및 黃銅箔

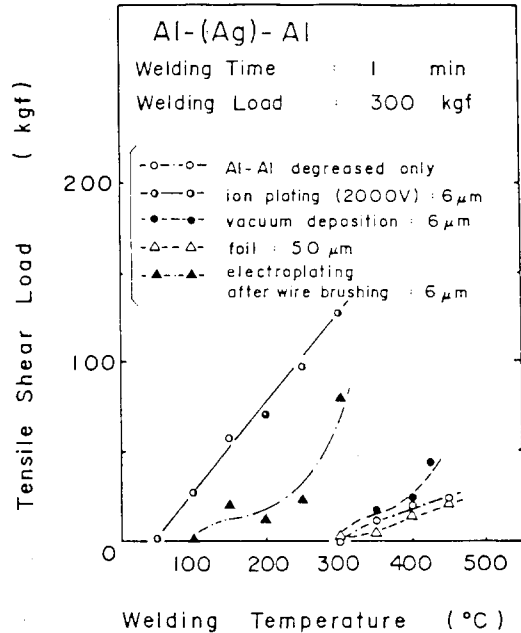


Fig. 15. Relation between bonding temperature and strength of lap joints with interlayer metals provided by various method.

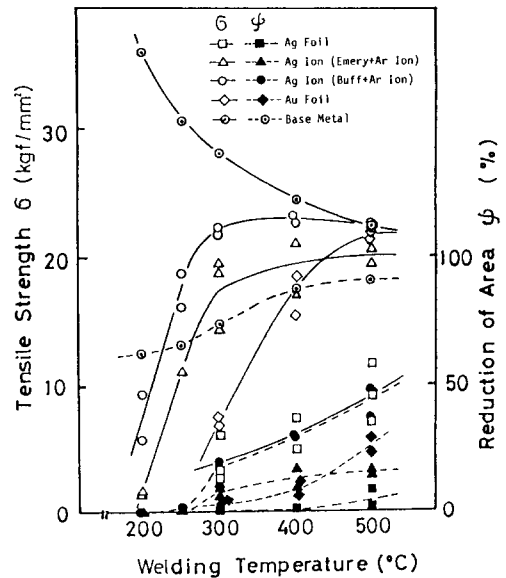


Fig. 16. Relation between bonding temperature and strength of butt joints with interlayer metals provided by various methods.

을 이용하여 銅의 확산접합성을 비교한 것이다. 이 에 의하면 金箔이 가장 접합성이 뛰어나다. 黃銅箔을 이용한 경우 700°C에서 이음강도가 最大인 것을

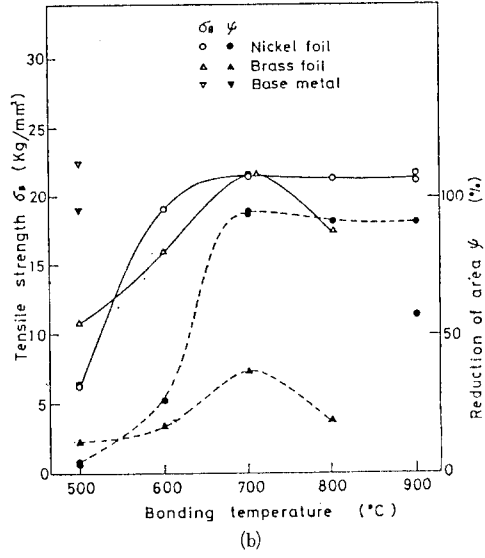
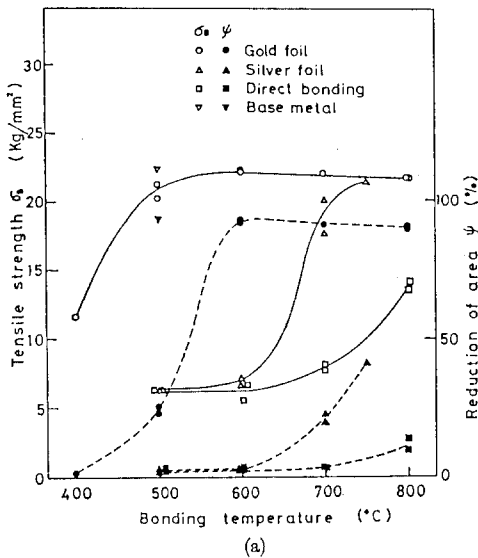


Fig. 17. Relation between bonding temperature and tensile strength of copper joints with various metal foils.

나타내고, 800°C에서는 강도가 떨어지고 있다. 이것은 母材의 銅과의 界面에 Kirschendall void가 생긴 때문이다.

Fig. 18은 Cupro-Nickel(20% Ni—Cu)과 炭素鋼의 insert를 이용하지 않은 直接확산접합이음부의 인장강도와 접합온도를 나타낸 것이다.¹⁰⁾ 800°C 및 900°C하에서는 母材破斷으로 되어 있는데 對해, 1000°C에서 접합하면 界面破斷으로 된다. 또한 Fig. 19는 일단 600°C에서 접합한 이음부를 700~1000°C, 1~8시간 후열처리 했을 때의 이음부강도를 나타내고 있

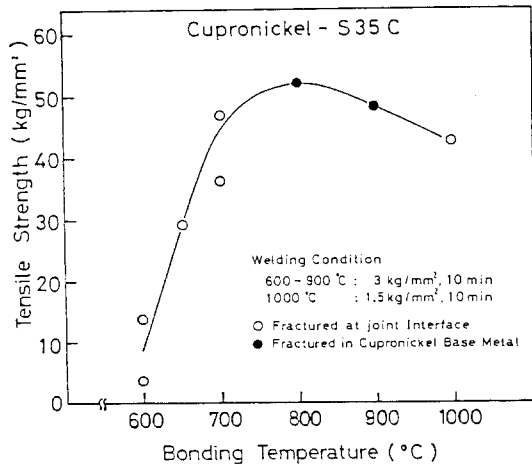


Fig. 18. Relation between bonding temperature and tensile strength of Cupro-nickel to carbon steel diffusion bonded joint.

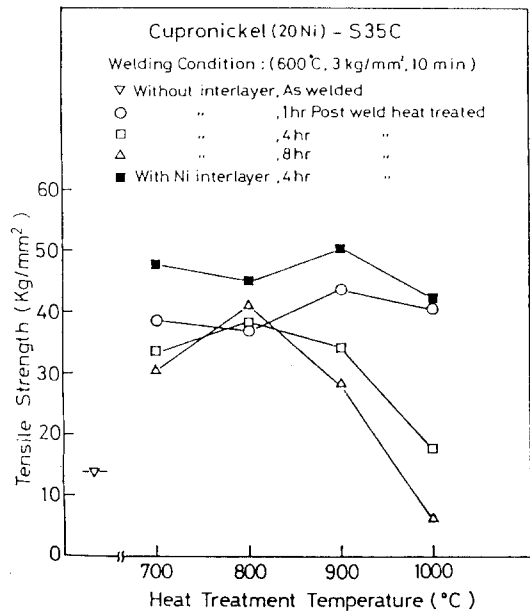


Fig. 19. Effect of PWHT on strength of Cupro-nickel to carbon steel diffusion bonded joint.

다. 熱處理 溫度가 높게 될수록 또한 시간이 길어질수록 이음부의 強度는 低下하고 있다. 이와 같은 현상이 생기는 것은 접합界面부근의 Cupro-Nickel中の Ni이 up-hill diffusion에 의해 炭素鋼中에 확산하기 때문에 그 部分의 強度가 低下하는 때문이다.

따라서 Fig. 19에 나타낸 바와 같이 Cupro-Nickel과 炭素鋼의 界面에 Ni箔을 삽입하면, 界面에서 硬度的 低下가 보이지 않기 때문에, 이음부의 強度는 高溫에서 열처리하여도 低下하지 않는다.

參 考 文 獻

- 1) AWS篇, Diffusion Welding and Brazing, Welding Handbook Vol. 37th Edition, (1980) 311.
- 2) 池内, Al·Al合金及びTi·Ti合金의 擴散接合, 溶接學會東部支部講習會テキスト(1986), 46.
- 3) 大橋, 擴散接合部に及ぼす接合雰圍氣의 影響, 溶接學會界面接合委員會資料(1986).
- 4) 瀬戸, 擴散接合實用上の2, 3의 留意點, 溶接學會界面接合委員會資料(1985).
- 5) 大橋 擴散溶接に關する基礎的研究, 學位論文(1984).
- 6) 鈴木, 恩澤 他, 銅の擴散接合性に及ぼす表面處理의 影響, 溶接學會誌 50-2(1981), 70.
- 7) ARATA et al., Diffusion Welding of Titanium to Mild Steel, Trans. J. W. S., 4-1(1973)96.
- 8) 橋本, 田沼, 固相接合, 溶接學會誌 41-1(1972), 19.
- 9) 恩澤他, 擴散接合性に及ぼすインサートメタル의 效果, 溶接學會誌 45-8(1976), 57.
- 10) A. SUZUMURA and T. ONZAWA, Diffusion Welding Cooper-Nickel Alloys to Carbon Steel, Trans. J. W. S., 9-2(1978), 46.
- 11) JWS, Application of Diffusion Joining in Industries in Japan, IIW Doc. IA-337-86-OE.

대한 용접학회지 투고 안내

당 학회는 여러분의 투고를 언제나 기다리고 있습니다. 보다 내용이 충실한 학회지를 만들기 위해서 1987년 1월 1일부터 접수되는 원고에 대해서 다음과 같이 게재료를收受하고 또한 투고료를 지불하기로 하였사오니 회원 제위의 보다 적극적인 투고 있으시기를 바랍니다.

다 음

- ◎ 연구논문; 인쇄후 6페이지 까지 기본료 20,000원, 6페이지 초과시 페이지 당 10,000원씩의 게재료를 저자가 부담.
- ◎ 연구논문 이외의 강좌, 해설, 전망, 수상, 논설, 기술자료 심포지움, 좌담회 기록; 학회로부터 인쇄 페이지 당 6,000원씩의 투고료를 저자에게 지불.
- ◎ 원고 작성은 본 학회지 末尾에 있는 대한 용접학회지 집필요강을 준수하여 주십시오.