

機械, 構造物用 세라믹과 금속과의 接合加工 技術

金 永 植*

1. 序 言

機械, 構造物用 파인 세라믹은 高溫強度, 耐摩耗性和 같은 탁월한 機械的 特性을 갖는 新 素材로서 앞으로의 利用分野가 크게 기대되고 있다. 그러나 이러한 우수한 특성이 있는 반면 세라믹은 脆弱성과 劣惡한 加工性과 같은 치명적인 결점도 있기 때문에 이러한 문제의 개선 없이는 앞으로의 利用分野도 制限의 일 수 밖에 없다.

세라믹의 特性上 세라믹 자체에 韌性을 부여하거나 세라믹의 加工性을 개선하는 것은 現在로서는 기대하기 어렵다. 따라서 이러한 문제점을 극복하는 수단으로 韌性이 풍부한 금속과의 複合化, 또는 접합에 의한 一體化 및 세라믹과 세라믹과의 접합기술이 연구되고 있다.

세라믹과 금속간 또는 세라믹과 세라믹간의 접합 방법으로서 접착제를 매개체로 하는 접착제법과 在來의 금속접합방법인 열적 접합방법을 생각할 수 있다. 그러나 有機系 또는 無機系의 접착제법은 강도가 낮고 氣密性이나 熱的 特性도 낮기 때문에 高度의 特性이 要求되는 分野에는 利用될 수 없다.

지금까지의 금속 접합방법으로 이용되고 있는 熱的 接合法를 세라믹과 금속간의 접합에 적용하려면 우선 相異한 熱變形 舉動으로 因해 發生하는 熱應力의 문제를 여하히 해결하느냐 하는 것이 문제이다. 뿐만 아니라 물리적, 화학적, 기계적, 성질에 있어서도 相異한 兩者間的 성질을 접합부에서 어떻게 조화시켜 一體化하느냐 하는 문제를 해결하지 않으면 안된다.

이러한 문제점들이 현재로서는 完全히 해결되지 않는 상태로 廣範圍한 實用化 단계에는 와 있지 않으나, 질화 규소계세라믹과 금속과의 접합기술이 內然機關用 排氣弁部나 세라믹 터보 과급기(ceramics turbo-charger) 로우터 등에 部分的으로 實用化 되고 있다.¹⁾

本稿에서는 세라믹과 금속과의 접합시 발생하는 문제점을 살펴보고 현재 研究되고 있는 접합방법 및 今後의 展望 등에 대해 解說하고자 한다.

2. 세라믹과 금속과의 접합시 문제점

세라믹과 金屬과의 접합을 可能토록 하기 위해서는 먼저 兩材料間 物性的 차이에서 비롯되는 各種 現象과 接合界面에서 접합중 生成되는 各種 生成物에 대한 檢討가 先行되어야 한다.

<表 1>에 세라믹과 금속과의 접합시 고려해야 할 각종 사항과 그 해결책을 정리하여 보인다.²⁾ 이들 여러가지 사항 중에서도 특히 세라믹과 金屬과의 熱膨脹 係數의 差와, 界面에서 生成되는 界面生成물이 가장 重要한 사항이라 할 수 있다.

熱的 接合法의 경우, 접합界面에서의 各種 反應을 촉진시켜, 高強度의 接合構造를 얻기 위해서는 高溫下에서 接合을 行하여야 한다. 그러나 이와 같이 高溫下에서 接합을 行하게 되면, 접합공정후 냉각과정에서 金屬과 세라믹간의 현격한 熱膨脹係數의 차이로 인해 접합부에 熱應力이 發生하게 된다. 세라믹은 塑性變形을 하지 않기 때문에 이러한 熱應力은

* 韓國海洋大學 船舶機械工學科

表 1. 金屬과 세라믹의 집합時 考慮해야 할 事項과 문제점

	接合을 어렵게 하는 要因	문 제 점	設計上의 해결책
接 合 材	(1) 열팽창계수의 差 金屬 > 세라믹스	집합온도로부터 냉각과정 中 界面에 殘留應力 生成 →세라믹에서 破壞.	(1) 중간 열팽창 계수 물질층 (2) 잔류응력 완화층 (3) 殘留應力이 세라믹에 걸리지 않도록 하는 設計
	(2) 機械的 性질의 差 탄성계수; 金屬 < 세라믹스 강도의 差; 세라믹은 압축에는 強하지 만 引張에는 弱함		
料 物 性	(3) 원자결합樣式的 差 세라믹; 共有결합, 이온결합으로 安定 金屬; 金屬結合	직접 결합이 곤란	(1) 高溫高壓 사용 (2) 活性물질 첨가 (3) 반응 생성물의 제어
	(4) 高溫物性的 差 세라믹은 昇華分解하는 종류도 있으며 산화에 依한 強度劣化현상이 나타남.	融接 불가능	接合 분위기 제어
接 合 界 面	(1) 집합물질간의 젖음성, 擴散. (2) 界面生成物의 強度 금속간 화합물, Silicide 등의 취약층 形成. (3) 界面構造	接合後 界面에서 박리 現象	(1) 活性物質첨가 (2) 반응生成物의 제어 (3) 被接着體에 Anchoring

세라믹쪽에 균열을 야기시켜 집합을 어렵게 한다. 따라서 어떠한 방법으로 든 이러한 熱應力을 완화시키는 방법을 강구하지 않으면 안된다.

熱應力을 低減시키는 방법으로서 지금까지 試圖된 방법들로서는 집합재료 사이에 열 팽창계수가 작은 金屬箔(Foil)을 삽입하는 방법, 塑性變形하기 쉬운 軟質의 金屬箔을 삽입하는 방법 등이 있다.

熱膨脹係數가 작은 金屬으로서는 W, Mo 등으로 이들은 融點 또한 높기 때문에 이 점에서 有利하다. Invar 合金이나 Covar 合金도 利用될 수 있으나 이들은 熱膨脹係數가 작은 溫度범위가 정해져 있어, 이 溫度범위를 벗어나게 되면 오히려 熱膨脹係數가 커지기 때문에 利用時 注意를 要한다. 塑性變形하기 쉬운 金屬箔로서는 Cu, Al, Al合金, Ni, Ag-Cu 合金을 들 수 있으나 이들 金屬들은 強度가 비교적 낮기 때문에 實用上 문제점이 있다.^{3~4)}

또한 집합부의 形狀을 變化시키는 것이 可能한 경우는 그 形狀에 따라 집합부의 熱應力을 緩和시킬 수가 있기 때문에, 有限要素法 等の 數値解析法을 구사하여 熱應力을 계산하는 방법도 研究되고 있다.

이 밖에도 非晶質 또는 超微細粒의 界面層을 금속과 세라믹 面에 形成시켜 粘性的 혹은 超塑性的 性格을 갖는 界面을 만듦으로서 熱應力을 緩和시키는 방법도 研究되고 있다. 또한 界面에 相變態를 일

으키는 金屬을 삽입하여 相變態時 수반되는 큰 變形率에 의해 熱應力을 완화시키는 수단도 研究되고 있다.⁵⁾

한편, 이온 결합 또는 共有結合性的의 세라믹과 금속결합성인 金屬과를 접합시키고자 할 때 接合界面에서 일어나는 酸化와 같은 化學的 反應을 考慮하지 않으면 안된다.

이들 化學的 反應에 의해 금속과 세라믹사이의 界面에 전혀 別個의 相이 生成될 수 있는데, 이러한 反應相은 金屬과 같이 韌性を 갖지 않는 것이 보통이기 때문에 집합부에 荷重이 걸릴 경우 이 反應相이 먼저 파괴 되어 집합강도를 떨어뜨리는 것이 문제로 된다. 이것을 극복하는 수단으로 活性物質을 界面에 첨가시켜 이로 부터 금속과 세라믹간에 整合性 結晶構造를 갖는 反應 生成物을 유기시키는 방법이 연구되고 있다.¹⁾

또한 반응生成物을 적극적으로 배제하는 수단으로 세라믹 表面이 金屬에 의해 全面的으로 侵食되도록 하여 機械的으로 Anchoring시킴으로서 強度를 확보하는 방법들이 연구되고 있다.

3. 接合 方法

세라믹과 金屬과의 집합기술 연구는 세라믹이나

금속보다 融點이 낮은 Insert材를 이용하는 납땜 접합법과 Insert材를 넣지 않고 세라믹과 금속을 직접 고체상태에서 접합하는 고체 확산접합법에 관한 연구가 주류를 이루고 있다.

3.1 납땜 접합법

세라믹과 金屬과를 납땜 접합하려고 할때 세라믹은 납땜의 젖음성 또는 퍼짐성이 본질적으로 나쁘기 때문에 세라믹 표면을 metallizing처리를 하든가, Ti과 같은 活性金屬을 납땜에 첨가하여 납땜의 젖음성이나 퍼짐성을 개선하는 등의 방법이 연구되고 있다. 固體表面의 젖음성은 Sessile drop法에 의해 연구되고 있다. ⁶⁾ <그림 1>은 접촉각(θ)를 갖는 固體와 접촉하고 있는 液滴을 나타내고 있는데, 여기서

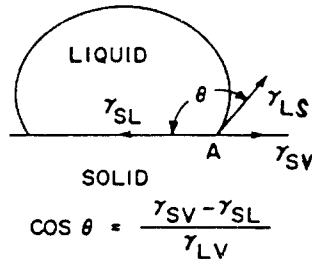


그림 1. Sessil Drop과 界面에너지와와의 관계

γ_{LV} 는 액체-기체間的 表面에너지, γ_{SV} 는 固體-氣體間的 表面에너지, γ_{SL} 는 固體-液體間的 界面에너지를 나타낸다. 산화물액체는 固體金屬 보다 낮은 表面에너지를 갖고 있기 때문에, 金屬을 젖게 하는 경향이 있으나, 반대로 액체금속은 酸化物 固體(세라믹) 보다 큰 表面에너지를 갖고 있기 때문에 界面에너지가 높고, 젖음성이 나쁘며, 세라믹 표면을 퍼져 나가지 못한다. 그러나 어떤 종류의 元素를 첨가하게 되면 界面에너지를 減少시키는 것이 可能하다. <그림 2>는 알루미늄 表面에 존재하는 액체 니켈에 Ti, Cr, Sn, In 등의 金屬을 첨가할 때의 界面에너지 變化를 나타내고 있다. ⁶⁾ Ti의 첨가에 의해 界面에너지가 급격히 低下하고 있는데, 이것은 界面에서 Ti의 선택적 흡착에 의한 Ti 산화물의 形成에 의한 것이라고 생각되고 있다.

이 방법에 의한 세라믹-금속의 접합으로서, Cu-Ti合金의 使用, Ti 水素化合物과 Ag-Cu, Au-Cu合金과의 併用이 있다.

이상과 같이 活性金屬을 납땜에 첨가하여 행하는 납땜 접합법은 산소에 대하여 活性인 高融點 金屬

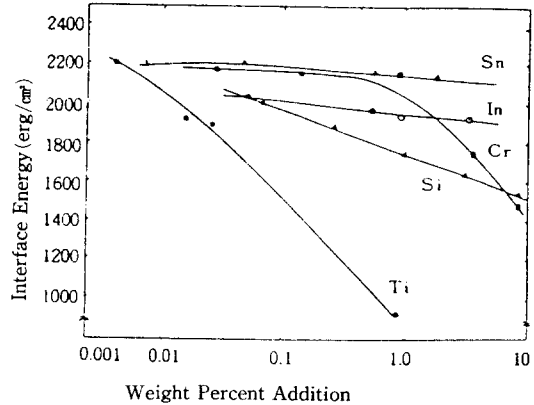


그림 2. 알루미늄 表面에 존재하는 액체 니켈의 界面張력에 미치는 첨가 元素의 영향

(Ti, Zr, Ta, Nb等)과 세라믹과의 界面에서의 反應을 利用하는 방법으로, 비교적 低融點의 合金을 만드는 Cu, Ag, Ni 등의 金屬과의 合金을 利用하여 眞空中이나 Ar 등의 不活性 분위기 中에서 行하여지고 있다.

비교적 高溫이든가 強한 부식환경아래서 使用可能한 납땜의 종류와 接合溫度를 <表 2>에 나타낸다. ⁷⁾

表 2. 活性金屬法의 Insert材와 그의 接合조건

Filler metal system	Approximate brazing temperature °C	Materials		
		Refractory metals	Graphite	Al ₂ O ₃
Ti-V-Cr	1550-1650	×	×	×
Ti-Zr-Ta	1650-2100	×	×	×
Ti-Zr-Ge	1300-1600	×	×	×
Ti-Zr-Nb	1600-1700	×	×	
Ti-Zr-Cr	1250-1450	×		
Ti-Zr-B	1400-1600	×		
Ti-V-Nb	1650	×		
Ti-V-Mo	1650	×		

×; 接合可能

이상과 같은 活性금속법을 사용하는 外에 銅을 세라믹 表面에 metallizing하여 그 위에 金屬을 납땜방법으로 접합하는 銅法이 있다. ⁷⁻⁹⁾ 용융銅은 大氣 혹은 산소 분위기 中에서 알루미늄과 같은 산화물 세라믹에 대해 퍼짐성이 좋기 때문에 銅板을 세라믹 表面에 접촉시켜 두고 1100°C 부근의 온도에서 공기 中 加熱한다. 이렇게 하면 銅 表面은 산화하여 산화銅이 용융액상으로 세라믹 表面을 덮게 된다. 냉각 후 銅의 外 表面의 산화물을 제거하고 접합시키고자 하는 금속과 납땜하는 방법이다. 이 방법은 銅의 양

호한 소성변형성 때문에 접합界面에서의 잔류응력을 완화시킬 수 있어 견실한 접합부를 얻을 수 있다.

〈그림 3〉은 원형톱의 톱날에 적용한 銅法의 예를 보인 것이다.

비산화물계 세라믹인 SiC의 경우는 銅 대신 Cr을 metallizing하여 접합하는 방법이 研究되고 있다.¹⁰⁾ 이 방법은 SiC 세라믹 표면에 Cr을 爐中 metallizing한 후 다시 그 표면에 Ni 도금을 實施하여, 接合하고자 하는 금속과 은납땜으로 접합하는 방법이다.

〈그림 4〉는 이 방법의 概要를 보인다.

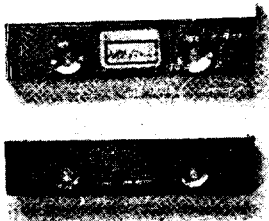
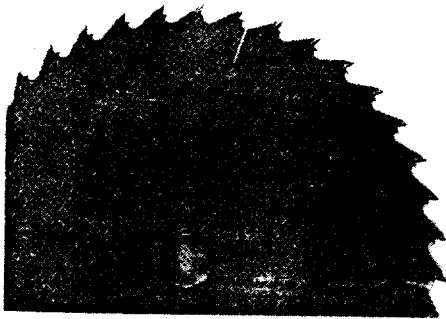


그림 3. 銅法의 適用例 (알루미나 세라믹 톱날 금속에 접합시켜 만든 원형톱과 벨트 크리너)

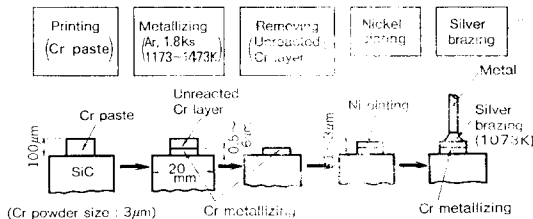
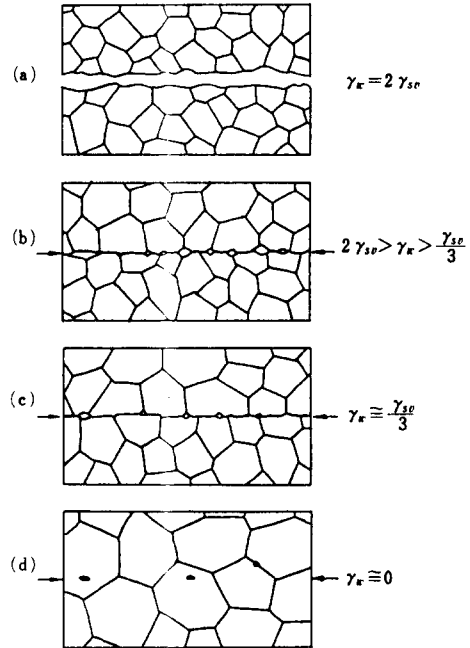


그림 4. Cr metallization과 Silver brazing공정

3.2 固體反應 接합법

이 방법은 세라믹과 금속과를 직접 접합시키는 방법으로 금속에 있어서 일반적인 固相接合의 進行과정을 〈그림 5〉에 보인다. 금속과 세라믹의 固相接合



r_w : 接合面의 에너지
 r_{sv} : 表面에너지

그림 5. 固相接合의 進行과정

의 경우, 외부로부터 압력을 가해 금속을 變形시켜 行하는 방법과, 거의 압력을 가하지 않고 變形을 수반함이 없이 行하는 방법으로 나누어 진다. 前者의 接合예와 接合結果를 〈表 3〉에 나타낸다.¹¹⁾ 接합은 환원성 분위기 中에서, 금속용점의 약 90%까지 接合 온도를 높여 각각의 加壓조건에서 行하여진 결과

表 3. 알루미나(Al_2O_3)와 금속의 加壓下에서의 固體 반응 接합예

Metal	Pressure cm ²	Temperature °C	Time sec.	Bending strength
Pt	~0.25kg/cm ²	1550	50	25kg/mm ²
Fe	7	1375	100	22
Ni	15	1350	200	10
Cu	50	1025	200	8
Al	75	610	120	6.5
Zn	150	350	120	3.2
Pb	120	290	120	5.6

이다. 이들 방법은 接합후 냉각中 세라믹과 금속의 열팽창 差에 依한 應力발생을 防止하기 위해 소성변형能이 큰 금속이 이용되고 있다. 加壓이 거의 없는 상태에서의 금속과 세라믹의 接合예를에 〈表 4〉 보인다.¹²⁾ 이와 같이 加壓이 없이 接합이 이루어 지는

表 4. 加壓없이 금속과 세라믹의 固相接合조건 및 그 結果

Couple	Temperature °C	Time h	Torque inch-pounds
Al ₂ O ₃ /Pt/Al ₂ O ₃	835	16	negligible
Al ₂ O ₃ /Pt/Al ₂ O ₃	1016	16	53
Al ₂ O ₃ /Pt/Al ₂ O ₃	1055	16	108
MgO/Pt/MgO	810	16	0.2
MgO/Pt/MgO	960	2	40
MgO/Pt/MgO	1090	2	46
Al ₂ O ₃ /Au/Al ₂ O ₃	1000	4	69
Al ₂ O ₃ /Araldite/Al ₂ O ₃	—	—	108
BeO/Ni/BeO	1100	17	85
Al ₂ O ₃ /Ni/Al ₂ O ₃	1050	2	29
Al ₂ O ₃ /Ni/Al ₂ O ₃	1100	2	65
Al ₂ O ₃ /Ni/Al ₂ O ₃	1055	16	44
Al ₂ O ₂ /Ni/Al ₁ O ₃	1155	2	39
Al ₂ O ₃ /Ni/Al ₂ O ₃	1155	17	55

경우는 금속이 세라믹중에 擴散되어 中間層이 형성되고 이러한 中間層의 형성으로 접합이 이루어 지는 것으로 인정되고 있다. <그림 6>는 Si₃N₄ 및 SiC와

Al



Al

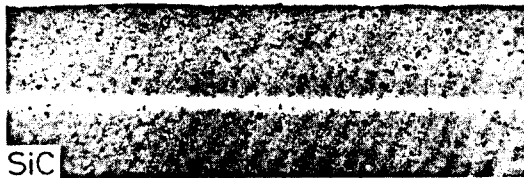


그림 6. Si₃N₄ 및 SiC와 Al의 고체반응 접합 界面部

Al과를 加壓法에 의한 고체 반응 접합부의 界面部를 보인 것이다.¹³⁾ 이 경우는 中間層의 存在가 認定되지 않는다.

Fe와 알루미늄과의 직접 접합은 이루어지지 않기 때문에 有効한 中間層의 開發이 必要하게 된다. 이러한 수단으로 Fe의 酸化舉動으로부터 生成되는 FeO에 注目하여 여기에 Fe를 혼합시킨 Fe-FeO 複合化 中間層을 이용한 固體接合에 관한 研究가 보고되어 있다.¹⁴⁾

이 방법은 Fe-FeO 中間層을 Fe와 알루미늄 사이에 끼워넣고 이 試驗片을 10⁻³ Pa, 1200°C, 3kg/mm² 압력 하에서 1時間 유지하여 접합이 이루어졌다. 또한 SuS 321 스테인레스 鋼을 진공중에서 加熱하면 鋼內部로 부터 Ti과 炭素가 表面에 擴散하여, TiC膜이 生成되는 현상을 發見하여, 이 化合物 偏析을 利用한 새로운 固相接合法가 研究되어 있다.¹⁴⁾

이상과 같은 一連의 固體反應 接合조건은 다음과 같이 要約될 수 있다.

- 1) 접합온도는 금속 용점(절대온도)의 약 90% 정도이다.
- 2) 접합분위기는 大氣中이나 경우에 따라서는 아르곤 또는 진공이 사용된다.
- 3) 加壓은 界面에서의 物理的 접촉이 可能한 정도의 압력이다.

이상과 같이 여러가지 접합방법이 試圖되고 있으나 現在까지 연구 보고된 各種 接合法의 結果는 母材금속과 세라믹의 강도에 크게 못미치는 접합강도를 나타내고 있을 뿐이다.¹⁵⁾

3.3 金屬 表面에의 세라믹 被覆法

재료의 使用環境은 科學技術의 급속한 발전과 더불어 屢신 苛酷化되어 가고 있으며 따라서 재료의 高機能化가 要求되고 있다. 실제로 外部環境과 接하고 있는 部分은 材料의 表面部이기 때문에 이 表面物性이 材料特性을 결정하는 가장 중요한 要素라 할 수 있다. 이러한 의미에서 材料의 表面만을 어떤 방법으로든 處理하여 高機能性을 부여함으로써 苛酷한 使用環境에 대처할 수 있다.

세라믹은 그 뛰어난 耐蝕性, 耐熱性, 耐摩耗性으로 因해 金屬材料 表面에 이러한 세라믹 被覆을 시행해 줌으로서 金屬材料의 特性과 表面部만이 세라믹 특성을 지닌 素材 製作이 可能해진다. 이러한 목적으로 최근들어 새로운 表面處理 技法으로서 CVD法 (Chemical Vapor Deposition), PVD法 (Physical

Vapor Deposition)과 같은 氣相 蒸着法과, 溶射法과 같은 液體微粒子를 加速시켜 素材表面에 충돌시켜 皮膜을 形成하는 技法이 각광을 받고 있다.

이중에서도 溶射法은 다른 表面被覆技術과 비교하여, 機動性を 갖고 있으며 복잡하고 大型의 것에도 적용이 可能하고 또한 作業분위기에 영향을 받지 않는 특징이 있기 때문에 여러 方面에 그 적용이 확대되고 있다.

세라믹 溶射皮膜의 高機能化를 達成하기 위해서는, 세라믹 皮膜의 微視的 構造의 해명과 더불어, 皮膜中の 未接合部를 포함한 결합의 定量的 評價法이 確立되어 皮膜의 特性 개선이 앞으로 더욱 이루어져야 하겠으나 現在 추진되고 있는 분야별 적용예를 열거하면 다음과 같다.

세라믹의 耐摩耗·耐熱性を 살린 적용분야로서는 Roller나 Pulley 表面에 ZrO_2 , Cr_2O_3 皮膜을 형성하고, 耐蝕·耐摩耗성에 對해서는 Ni-Cr을 under coating하고 그 위에 $Al_2O_3-ZrO_2$ 皮膜 또는 실리콘 樹脂에 의해 봉공된 Al_2O_3 皮膜이 利用되고 있다. 流體를 수송하는 펌프의 Seal部에는 Cr_2O_3 나 $Cr_2O_3-TiO_2$ 皮膜이 耐蝕, 耐摩耗용으로 이용되고 있다.

가스터빈의 燃燒器內筒의 斷熱에 대해서는, Ni-Cr-Al-Y 등의 耐酸化性 Under Coating과 $ZrO_2-Y_2O_3$ 皮膜이 적용되어, 性能 向上과 耐久性 向上에 큰 효과를 나타내고 있다. 그 밖에도 製鋼, 熱處理 설비, 보일러, 열교환기, 밸브, 스피들 등에 대해서도 耐摩耗, 耐熱, 斷熱, 耐腐蝕 目的으로 세라믹 皮膜이 有効하게 利用되고 있다.¹⁰⁾

이상과 같은 耐熱, 耐蝕, 耐摩耗의 보호 피막 이외의 高機能性 皮膜을 利用한 例로서도 그 종류가 매우 多樣하다. 즉 電氣絶緣성, 전기전도성을 이용하는 분야나, 遠赤外輻射, 光電極, 산소센서, 연료 전지, 磁氣헤드, 高溫超電導, 生體材料 등 세라믹의 特性을 살린 금속 材料上的 皮膜利用 기술은 앞으로도 그 開發分野가 매우 廣範圍하다.

4. 結 言

機械, 構造用 세라믹의 利用範圍를 擴大해 나가기 위해서는 金屬材料와의 複合化 技術이 필수적이다. 따라서 今後 各種 세라믹의 개발과 병행하여 세라믹과 금속과의 複合化·接合技術도 急速히 發展하리라 예측된다.

現在の 複合化·接合技術로서는 在來의 金屬熔接기

술인 熱的接合이 主로 利用되고 있으나, 이 경우 相異한 材質의 特性으로 因해 誘發되는 界面에서의 熱應力과, 界面生成物의 處理가 가장 핵심적 技術과제라 할 수 있다.

이를 위해서는 熱應力 低減의 技術 개발과 接合界面의 解析技法, 그리고 금속재료의 特性이 엔지니어링 세라믹의 特性에 가까워 질 수 있도록 이온 注入 技術이나 表面非晶質化 技術과 같은 金屬表面의 改質技術의 개발이 이루어져야 할 것이다.

또한 現在로서는 接合部의 各種 特性 評價法이 確立되어 있지 않으나, 接合部의 信賴性 向上을 위해서는 接合部의 特性評價法의 개발과 이의 標準化가 시급히 이루어져야 할 것이다.

參 考 文 獻

- 1) 石田, 新素材接合加工技術の現象と今後, 日本機械學會誌, Vol. 90, No. 821(1987)
- 2) 小山田 外 3人, ニューセラミックスの接合プロセスとその應用(Ⅱ), 溶接學會誌, Vol. 55, No. 8(1986)
- 3) 田中, 遠藤, 日本 金屬學會秋期講演概要集, p. 420(1986)
- 4) 堀野外, 日本 金屬學會春期講演概要集, p. 139(1986)
- 5) 日本 金屬학회關東支部講演會, 「金屬セラミックスの接合」, Text (1984~1986, 毎年1回)
- 6) 荒田, 大森, セラミックスの接合, 溶接學會誌, Vol. 52, No. 8(1983)
- 7) D. A. Canonic, et al, Welding Journal. 56, (1977), p. 31.
- 8) 速水, ニューセラミックスの接合プロセスとその應用(Ⅰ), 溶接學會誌, Vol. 55, No. 8(1986)
- 9) 江畑 外, 硫化銅を用いるセラミックスと 金屬との新しい接合方法について, 大阪工業技術試驗所季報, Vol. 16, No. 2(1965)
- 10) 岡村外, クロムメタライズ法にする SiC セラミックスと 金屬との銀ろう付, 第1報, 第2報, 溶接學會論文集, Vol. 6, No. 2(1988)
- 11) J. T. Klomp, Recent Development for Bonding Ceramics to Metals (Part II), Powder Metallurgy International, Vol. 3, No. 4(1971)
- 12) H. J. Bruin, et al, Ceramic-Metal Reaction Welding, J. Met. Soc., Vol. 7. No. 8(1972)

13) 大森外, セラミックスの接合, 溶接技術, Vol. 35, No. 1(1987)
 14) 福富, 金屬へのセラミックスの接合被覆, 金屬, 1986年 4月號
 15) 西本, ファインセラミックスと金屬のハイブリッ

ト化, 溶接學會誌, Vol. 57, No. 8(1988)
 16) 大森, セラミックス溶射, コーティング技術によるハイブリツィ化, 溶接學會誌, Vol. 57, No. 4 (1988)

《용접 용어 해설》

Pinch Effect(핀치효과)

핀치효과란 아크 柱를 교축하여 그 직경을 작게 하려고 하는 작용을 말하며, 여기에는 熱的 핀치 효과와 電磁的 핀치효과가 있다.

아크 柱를 외부로부터 물이나 기체에 의해 강하게 냉각하면, 열손실이 커지며, 냉각하지 않는 경우와 비교하여 동일전류에서도 아크는 강하게 교축된다. 이것은 아크가 강하게 냉각되면 표면적을 가능하는한 작게하여 열손실을 작게하려는 소위 자위수단이며, 이결과, 중심부의 온도는 매우 높아지게 된다. 이것을 熱的 핀치효과라고 한다. 플라즈마 용접은 이현상을 이용한 것이다.

이에 대해 電磁的 핀치효과는, 아크 柱로 흐르는 전류에 의해 형성되는 磁界로 말미암아 아크 柱를 中心 방향으로 교축하려는 힘이 생기는데, 이 현상을 말한다. 이러한 현상으로 인해, CO₂용접이나 MIG 용접의 경우, 용융금속이 전극 와이어로부터 분리되어 모재쪽으로 용이하게 이행된다.

Diffusible Hydrogen(확산성수소)

용착금속에 용해되어 있는 수소중 결정 격자 내를 자유로이 확산 이동할 수 있는 원자상 혹은 이온상의 수소를 확산성 수소라고 한다. 확산성 수소는 용접후 실온에서도 장시간 방치하면 거의 전부가 외부로 방출되어 버린다.

원자상 수소는 원자반경이 매우 작기 때문에 철의 결정격자 사이를 비교적 자유롭게 이동할 수 있다.

확산성 수소의 확산 탈출은 온도가 높을수록 빨리 이루어진다. 용착금속의 냉각에 따라 확산성 수소는 외부로 방출되나, 일부는 모재쪽으로도 확산한다. 그 양은 용착금속 중의 수소량이 많을수록 크게 된다. 이 수소는 비이드밀균열(Under bead crack)의 중요한 원인으로 된다. 오스테나이트계 용착금속에서는 수소의 용해도가 크고, 또한 냉각시의 변태도 일어나지 않기 때문에 수소의 확산 탈출은 거의 이루어지지 않으며 또한 열영향부로의 이행도 어렵기 때문에 비이드 밀 균열에 대해서는 안전도가 높다고 할 수 있다.

확산성 수소의 분석은 용접시험편을 물속에 급냉시킨후, 45°C 그리세린 중에 유지시켜 48시간내에 방출되는 수소량을 측정하여 이것을 확산성 수소량으로 규정한다. 비확산성 수소는 확산성 수소를 방출시킨 후의 시험편을 고온(예: 800°C)으로 유지하여 방출시킨 수소를 회수하여 측정한다. 수소의 양은 보통 용착금속 100gr중에 포함된 수소의 표준상태에서의 용적(cc/100gr)으로 나타낸다.