

뉴 세라믹스 工程技術의 要素(Ⅱ)

鄭 淳 吉
韓國 뉴세라믹스 研究所 所長



● 1946년생
● 기계공학(재료파괴)을 전공, 방탄세라믹스, Engineering Creamics의 파괴인성강화에 관심을 집중하고 현재 뉴세라믹스 종합연구개발에 참여하고 있다.

지난 號(Ⅰ)*에 이어 이번 號에서는 세라믹스의 基本工程의 나머지 部分인 燒結工程과 應用工程의 加工工程, 接合工程에 關하여 說明하고, 다음 號(Ⅲ)에서는 蒸着工程, 形狀化工程 및 單結晶工程의 技術에 對하여 論하기로 하겠다.

4. 燒結技術

燒結(sintering)이라 함은 固體粒子的 集合體가 이 물질의 融點 보다 낮은 온도에서 加熱하여 結合시킴으로서 일정한 強度를 갖게 하는 것으로, 形成體의 構成物質 및 組成에 소량의 液相이 共存하는 경우를 液相燒結, 그렇지 않은 경우를 固相燒結이라 한다. 이와 같은 燒結은 물질이 異動하는 결과를 나타내며, 物質移動機構로서는 固相擴散(格子內 확산, 粒界 확산, 表面 확산), 液上擴散(溶解析出), 氣相擴散(蒸發-凝縮), 粘性流動, 塑性流動 및 입자의 再配列 등이 있다. 燒結工程으로서는 無加壓燒結과 加壓燒結로 大別하며, 前者는 다시 常壓燒結과 反應燒結의 方法으로, 後者는 高溫프레스法, 熱間靜水壓프레스法, 가스壓燒結, 超高壓燒結, 加壓磁氣燃燒法 등의 方法들이 있다. 다음에 이들 燒結工程技術에 對한 主要 要素를 간단히 各論으로 說明하고자 한다.

4.1 常壓燒結(PLS法: Pressureless Sintering)

常壓燒結이란 大氣壓 下에 각종 雰圍氣 中에서 燒結하는 方法으로서, 가장 일반적이고 複雜한 裝置를 사용하지 않으며 生産性이 높은 燒結法이다.

酸化物系 세라믹스의 燒結은 전통적인 도자기의 燒成技術을 基礎로 하고 있으며, 일반적인 도자기, 타일, 耐火物 등의 燒成에 이용되어 온 Tunnel Kiln, Shuttle Kiln 등이 뉴세라믹스 分野의 燒結爐로 사용되기 위해서는 高純度의 원료를 사용하여 燒結溫度, 加熱速度, 雰圍氣 등을 엄격히 制御해야 한다. 非酸化物세라믹스인 경우 難燒結性 물질이 많기 때문에 燒結助劑를 사용하여, 분위기가 조절 가능한 電氣爐(혹은 가스雰圍氣爐)에서 窒素나 아르곤가스 中에서 燒結시킨다. 물론 添加劑의 영향으로 物性 저하의 원인이 되지만, 다른 燒結方法에 비해 복잡형상의 소결이 可能하고 量産을 위해서는 가장 유망한 方法이다. 酸化物세라믹스 경우에는 化學結合이온성이 강한 경우가 많고, 비교적 擴散速度가 크므로 燒結助劑를 사용할 필요가 없는 경우가 많다. 특히 透光性 알루미늄 등에서는 粒成長을 制御하여 燒結體의 組織을 제어할 필요가 있을 때에는 粒界의 擴散速度를 억제시켜 주는 MgO와 같은 添加劑를 사용한다.

* 大韓機械學會誌 第 28 卷 第 6 號(1988.12)

4.2 反應燒結

통상의 燒結方法에서는 원료의 주요한 組成과 燒結體의 조성은 대부분 동일하지만, 反應 燒結에서는 原料粉末의 成形體의 조성과 燒結後의 組成이 다르다. 例를 들면, 窒化硅素의 反應燒結에서는 硅素(Si)의 微粉末로 成形體를 만들어, 이것을 窒化가스 中에서 加熱함으로써 硅素를 窒化시켜서 최종적으로 窒化硅素(Si_3N_4)의 燒結體를 얻는다.

炭化硅素의 反應燒結에서는 기본적으로 硅素와 炭素의 고상반응에 따라서 燒結體가 얻어지지만, 실제 製造工程에서는 炭化硅素(SiC)와 炭素의 微粉末를 混合한 것을 成形하여, 그 成型體의 空隙에 용융한 硅素를 流入 함으로서 炭화분말을 炭화규소로 變화시키는 方法을 쓴다. 특히 窒化硅素나 炭化硅素의 反應燒結에서는 소결에 따른 成型體의 수축률이 상당히 적으므로 비교적 복잡한 形狀의 燒結體를 얻을 수 있다. 酸化物의 경우에도 카오리나이트와 알루미늄의 混合物을 反應燒結시켜 몰라이트($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) 등을 제조한다.

4.3 高溫프레스法(HP法 : Hot Pressing)

一軸加工加熱에 의한 가장 일반적인 加壓燒結法으로서 壓力은 보통 $0.01 \sim 0.05GPa$ (약 $102 \sim 510kg/cm^2$)이 사용되며, 黑鉛은 몰드(mold)재료로 주로 사용된다. 加熱方式으로는 高周波誘導式, 抵抗式, 직접 또는 간접가열방식이 사용되며 Si_3N_4 의 경우와 같이 흑연과의 反應이 문제가 되는 경우에는 BN, SiC 등의 粉末을 반응 防止를 위해 試料과 흑연 몰드재 사이에 장치한다. HP法의 가장 큰 장점은 常壓燒結에 비해 燒結助劑를 소량 添加하여 거의 理論密度에 가깝게 燒結할 수 있기 때문에, 高溫物性은 물론 高溫信賴性이 있는 제품을 얻을 수 있으며 常壓燒結 보다 낮은 온도에서 단시간에 燒結구동력을 줄 수 있다는 점 등이 큰 잇점이다. 그러나 一軸加壓燒結이기 때문에 복잡형상의 燒結이 곤란하고 燒結製品의 大型化

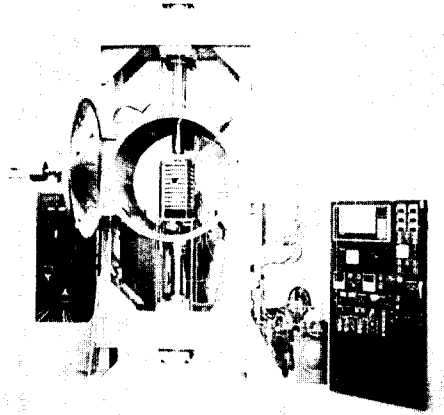
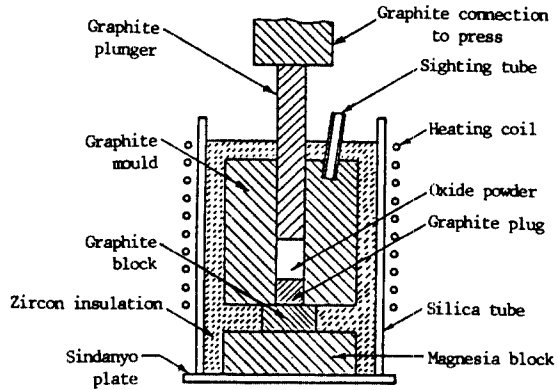


그림 9 Hot-pressing mold assembly

가 어려우며, 燒結體 표면과 흑연몰드 사이의 反應上이 생성되어 加工工程을 要하게 되므로 生産性이 낮고 가격이 높다는 결점이 있다(概略圖 그림 9 참조).

4.4 熱間 靜水壓 프레스法(HIP法 ; Hot Isostatic Pressing)

Ar, He, N_2 등의 不況性가스를 壓力媒體에 의해 $0.1 \sim 0.3GPa$ (약 $1020 \sim 3060kg/cm^2$)의 靜水壓 下에서 燒結을 행하는 方法이며, 이 방법의 특징은 難燒結性 세라믹스를 거의 理論密度에 가깝게 緻密化 시킬 수 있으며, 等方的으로 壓力을 받으므로 結晶粒子의 配向性이 없고 복잡 形狀의 燒結이 가능하다는 점이다.

HIP燒結法은 크게 두가지고 sinter plus

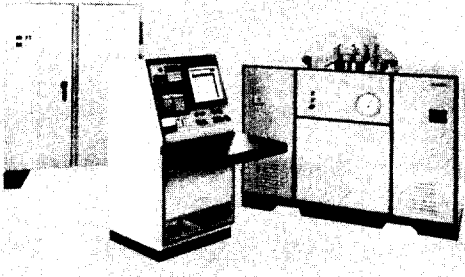
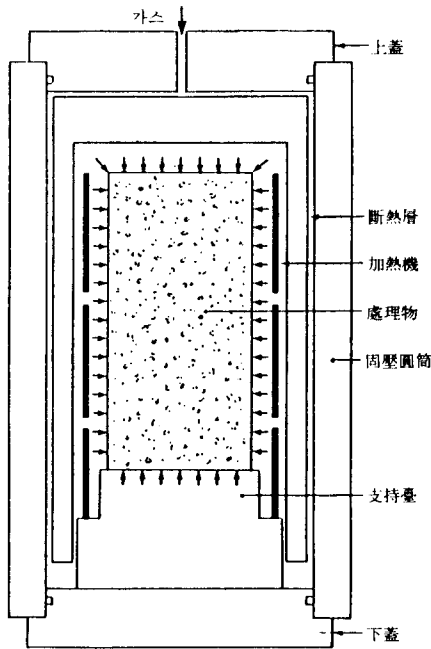


그림 10 HIP 장치의 구조

HIP 방법과 seal plus HIP 방법으로 나눌 수 있으며, sinter plus HIP 방법은 post-HIP으로 成形體를 92~94% 이상의 密度까지 燒結하여 開氣孔을 없앤 예비소결체를 처리하는 방법이다. seal plus HIP 방법은 成形體를 sealing하여 開氣孔화시켜 燒結하는 방법으로 encapsulation, glass bath, sinter glass, press seal method 등이 알려져 있다. 통상의 高溫프레스燒結에 비해서 加壓力이 높기 때문에, 難燒結性 非酸化물을 저온 단시간으로 미세한 조직을 가진 치밀한 燒結體를 얻을 수 있으나 sinter plus

HIP 방법은 2 단계 燒結이기 때문에 경제성이 낮고 粒子 성장에 따른 물성 저하가 문제가 되며, seal plus HIP 방법은 sweden의 ASEA社를 中心으로 glass encapsulation 방법이 개발되었다(概略圖 그림 10 참조).

4.5 가스압 燒結

難燒結性的 세라믹스에서는 물질의 移動速度를 올려서 燒結을 촉진시키는 경우에는 燒結溫度를 올리는 것이 필요하지만, 窒化硅素에서는 고온에서 硅素가 窒素로 分解되므로 1氣壓 부근에서 충분히 高溫化되는 것이 곤란하며, 窒化硅素의 分解壓이 온도 依存性을 나타내므로 窒化分壓(PN_2)을 올리면 보다 高溫까지 安定領域이 넓어진다. 따라서 분위기 가스압을 높게 하는 것에 따라 窒化硅素의 分解를 억제하여 燒結溫度를 올리는 것을 目的으로 한 것이 가스압 燒結法이다.

4.6 加壓 磁氣 燃燒法

각종 非酸化물은 대단히 높은 融點을 가진 것이 많고, 燒結할 때의 분위기가 제한되기 때문에, 이러한 化合物 구성원소들의 큰 生成熱을 利用하여 化合物의 合成과 동시에 燒結을 하는 방법이다. 이 방법을 이용하여 元素들의 混合物을 成形하고 그 일부를 局部的으로 高溫 加熱하면, 合成反應의 進行에 따라 단시간 內에 化合物의 합성과 燒結을 동시에 完了시키는 것이 可能하다.

4.7 超高壓 燒結

1~6GPa(약 10,200~61,200kg/cm²) 정도의 超高壓 下에서 加熱하는 특수한 方法으로서, 초고압 발생장치는 피스톤, 실린더형, 벨트형, 多面體 anvil형이 있다. 試料은 보통 pyrophyllite材에 싸서 함께 setting한 흑연 heater로 가열하거나 또는 試料에 직접 電氣를 통해서 加熱한다. 이 方法의 경우, 燒結助劑는 불필요하며 壓力이 높아질 수록 試料室의 크기가 작아지기 때문에 實用的인 사용은 되지 않고

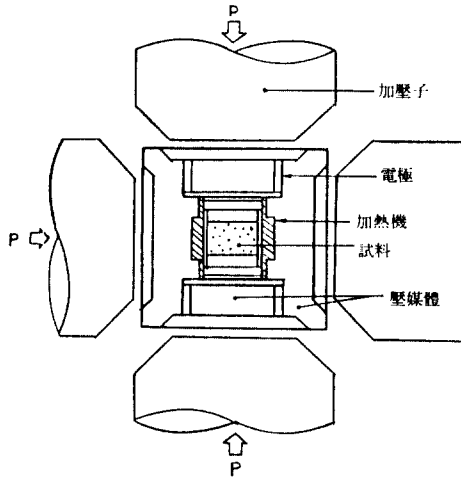


그림 11 超高壓 發生裝置

있지만, 工業用 다이아몬드와 立方晶窒化硼素의 合成에 應用되고 있다(概略圖 그림 11 참조).

5. 加工工程

세라믹스加工에서 除去加工法은 力學的 原理를 기본으로 한 機械加工法과 物理的, 化學的 原理를 근거로 하고있는 特殊加工法으로 크게 나누어 말하고 있다. 여기서 除去加工이라 함은 세라믹스의 形狀附與에 대해 燒結, hot press 등은 加工過程에서는 예비적인 段階이고, 本來의 加工은 이것 이후 부터 시작하는 것이다. 파인세라믹스의 加工時 要求되는 사항은 첫째, 종래의 금속재료의 機械加工과 동등한 수준의 加工精度와 能率로서 加工이 가능해야 한다. 둘째, 加工에 의한 파괴, 흠을 外部的으로 발생시키지 않고, 內部的으로도 결함을 유발하지 않아야 한다. 셋째, 單結晶材料, 非晶質材料 등과 같은 機能材料에 대해서는 加工의 영향에 의한 변질이나, 機能劣化를 일으키지 않아야 한다. 넷째, 加工成形的 균형을 모색하기 위한 加工費의 低廉化를 이루어야 하며, 다섯째, 脆性材料+靱性材料의 複合體(例

를 들면, FRP, FRM 등)도 동시 가공 할 수 있어야 한다. 이하에 주요한 加工法에 대하여 간단히 說明하고자 한다.

5.1 研削加工

파인세라믹스의 研削加工은 크랙의 發生成長에 依存하고 있다. 加工面 下에서 수직으로 形成된 크랙은 研削方向에 따라 形를 잡고, 仕上面 거칠기에 필적하는 깊이를 가지고 있다. 따라서 연삭방향에 平行으로 引張된 경우와 直角方向으로 引張된 경우에는 後者의 強度가 낮게되고, 前者의 60% 程度되는 것도 있을 수 있다. 硬脆材料의 研削加工의 모형으로서 砥粒에 의한 材料除去過程에서는 그림 12에 나타남과 같이 세개의 領域이 存在하여 研削이 進行하고 있다. 그림 13은 粗研削의 모형(model)로서 加工應力이 미치는 범위는 적당히 크게 하여 크랙을 발생시켜 材料를 除去하는 것이다. 材料表面에는 砥粒의 加工應力에 의한 크랙과 아울러 砥粒의 통과 後, 應力의 급격한 解放에 따라 크랙部位가 밀려서 칩이

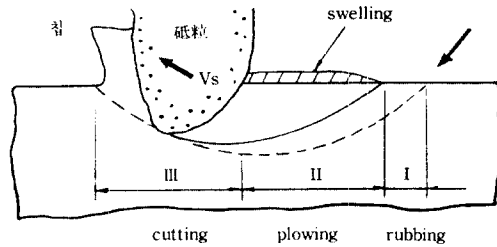


그림 12 砥粒의 材料除去 過程

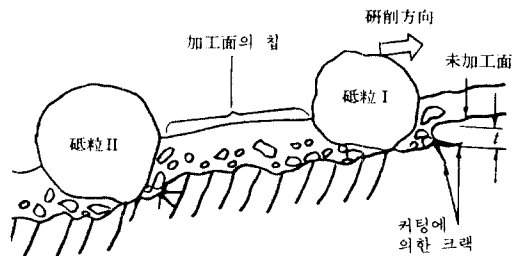


그림 13 硬脆材料의 粗研削 模式圖

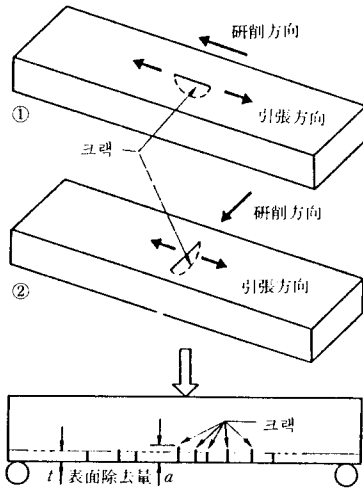
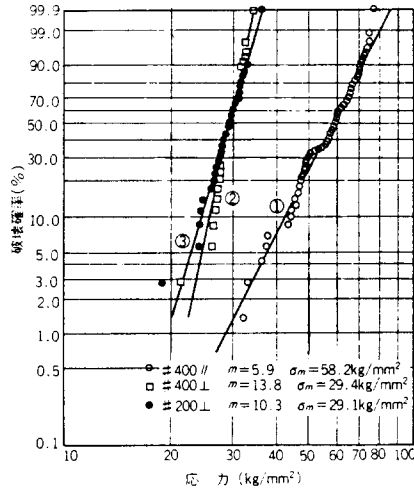


그림 14 연삭방향과 강도의 관계



生成된다. 따라서 粗研削에서는 研削面に 크랙이 存在하고 있는 것은 명백하며, 研削方向에 따라서도 破壞強度가 다르다는 것을 말해주고 있다. 그림 14는 研削向 方向과 強度와의 관계를 나타낸 것으로서, 仕上面 粗도가 동일하여도 研削方向과 靱應力이 가해진 方向이 다르면 破壞強度가 다르고, 靱應力이 가해진 方向에 直角으로 研削되고 있으면 이쪽이 強度가 크게 된다는 것을 보여주고 있다.

5.2 超音波 加工

超音波 加工法の 原理는 그림 15의 加工原理 說明圖에 나타난 바와 같이, 15~30kHz의 진동수로서 30~60 μ m 程度의 振幅으로 工具를 縱 방향으로 振動시켜, SiC, B₄C 등의 砥粒을 물에 懸탁한 加工液을 珪 가공물에 흘려보내면서 適當한 힘으로 이 工具를 누르면, 工具와 工作物 사이에 들어간 砥粒이 振粒하는 工具에 의해서 被加工物에 高速打撃을 주어 珪 가공물을 미량씩 剝해하면서, 工具 끝면형상과 그에 대응한 形狀을 珪 가공물에 조각해 들어간다. 따라서 工具와 被加工物 間에는 砥粒平均粒徑에 相當한 加工公差가 생긴다. 砥粒은 平均粒徑

20~50 μ 정도를 사용하며, 被加工物은 加工 關通 時의 결함 방지와 珪 가공물의 고정을 위해서 靱 락이나 왁스 등으로 유리판 등을 아래에 接觸해서 사용한다. 最近들어 세라믹스의 3次元異形 形狀加工을 위해서 비교적 가공이 용이한 半燒結體에 대해서, 超音波 加工에 의

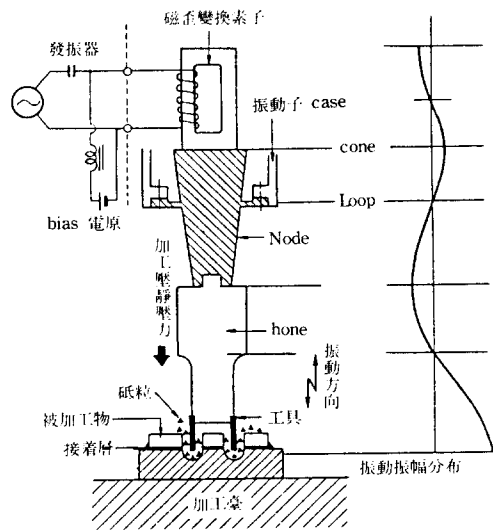


그림 15 超音波 加工裝置

해 完全燒結 後의 수축량을 계산한 수치로 加工을 행한 後, 完全燒結을 실시하는 加工法이 開發되었다. 超音波 加工은 주로 보석류나 유리, 자기류의 加工에 사용되고 있고, 現在는 실리콘 單結晶의 加工이나 다이아몬드 금형의 仕上加工에도 利用되고 있다.

5.3 放電加工

放電加工은 型彫放電加工과 와이어(wire)放電加工으로 대표되는 金屬의 放電加工, 導電성을 거의 갖지않는 유리 등에 작은 구멍을 加工하는 소위 非金屬材料의 放電加工으로 나눌 수 있다. 비금속의 放電加工은 導電성이 없어도 가공이 가능하지만, 加工速度는 매우 느린 반면 미세한 針狀電極을 사용해 칩끝과 같은 구멍을 가공하는 것에 한정되고, 일정한 形狀을 어느 精度를 기초로 가공한다는 기본개념이 存在하지 않으므로 이대로는 工業的인 의미가 없다. 現在까지 비금속의 放電加工으로서 알려지고 있는 것은 高電壓 高周波 放電法과 低電壓 電解液中放電法이다. 後者は NBS法이라 하며 제 2 차대전 中 National Bureau of Standard 에서 開發한 것이다.

세라믹스의 加工에서 現在 주목되고 있는 것은 導電성을 가진 세라믹스에 대해서 앞서 말한 金屬의 放電加工을 적용한 것이고, 그 중에서 알루미늄과 石英유리의 경우는 와이어放電電解加工을 실시하여 加工을 行한다.

또한 型彫放電加工이 가능한 세라믹스는 炭化物(carbide)로서 TiC, ZrC이고, 反應燒結 SiC는 比抵抗이 0.08~10Ωcm 정도의 것이 있으며 放電加工이 가능하다. 硼化物(Boride)에서는 TiB₂, ZrB₂이고, 窒化物(Nitride)에서는 TiN, ZrN이다.

5.4 레이저(Laser)加工

Laser光線은 單一波長의 位相을 모은 강한 빛이며, 人工的으로 만들어진 빛이다. 렌즈나 球面鏡 등의 光學界로 좁혀서 使用하는 경우에 焦點直徑을 작게 하는 것이 可能하고, 에너지

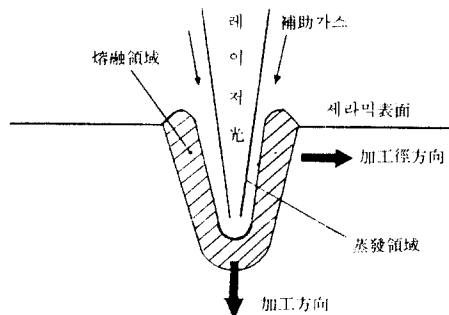


그림 16 레이저 加工의 斷面

密度가 높은 미세한 熱源을 만들 수가 있다. 레이저를 이용해서 실제로 實行되는 加工은 切斷, 구멍뚫기가 많으며, 레이저가 가공한 加工홈은 홈이 날 경우도 있고 그다지 精度가 좋은 것은 아니지만 加工速度가 빠른 것이 특징이다. 세라믹스의 레이저加工의 일반적인 特性은 첫째, 레이저光 照射部는 세라믹스材料의 沸點 정도 까지 상승한다. 加工部分은 증발에 의한 것이 飛散해서 용융 再凝固한 부분이 남는다. 이것을 模型的으로 나타낸 것이 그림 16이다. 따라서 熔接도 可能하다. 둘째, 溫度구배가 급한 경우는 熱應力에 의해 크랙을 發生하는 경우가 있다. 그러므로 豫熱 등이 有效한 경우도 있다. 셋째, 구멍뚫기 등을 실시한 後 용융部分에 대한 퇴색이나 용기가 發生하기 때문에 超音波加工으로 다듬질할 경우가 있다.

6. 接合工程

接合의 方法을 크게 나누면 有機接合, 無機接合法으로 나눌 수 있으며, 有機接合을 代表할 수가 있는 것은 有機接着劑이다.

有機接着劑에는 많은 종류가 있으며, 耐高溫性素材와 비슷한 高强度를 요하지 않는 제품에 적절히 선택하면, 간단한 조작으로 常溫使用의 세라믹스機能素子나 多孔體에 使用이 可能하며, 耐高溫性を 필요로 하는 경우에는 1300°C에서도 使用可能한 無機接着劑가 개발되어 있

다.

金屬質接着劑에는 납이 주로 사용되며, 超音波를 사용하여 플럭스(flux)에 의한 汚梁을 防止하여 유리나 세라믹스에 직접 납땀할 수 있는 납과 장치가 개발되고 있다.

다음은 金屬質接合 중에 금속과 세라믹스간의 接合을 中心으로 서술하고자 한다.

6.1 세라믹스의 接着 및 接合

從來의 세라믹스제품은 제품규격의 公差가 커서 거의 加工하지않고 사용하였으나, 半導體 세라믹등 精密하고 信賴性이 높은 제품이 요구되는 現時點에서는 세라믹스의 切削과 研摩技術은 물론, 성질이 전혀 다른 材料를 附着시킬 필요성이 높게 되었다.

복잡한 構造物을 작은 부분으로 分解 製造하고, 接合에 의하여 組立하여 接着部の 특성이 素材와 일치시키는 것이 가능하다면 설계의 幅을 확대할 수 있다. 金屬材料를 素材로 耐熱, 耐蝕, 耐磨減 등의 필요한 부분에 세라믹스를 사용할 수 있다면, 세라믹스의 脆性을 보완하여 有效하게 사용할 수 있다. 고로 接着部는 被接着金屬과 같은 정도의 強度를 갖는 것이 要望되고, 各種 機能材料에 있어서도 接着은 중요하며, 電子素子에서도 세라믹에 電極을 붙여 接續하는 것이 기본적으로 필요하다.

이상과 같이 세라믹스를 대상으로 하는 接着과 接合은 그 목적이 多分野에 걸쳐 있고, 關여할 成分과 形狀도 다양하기 때문에 구체적인 방법도 다양하다.

6.2 金屬化(Metallizing)

메탈라이징은 표면에 金屬薄膜을 붙여 거기에 금속과의 接合工程을 거쳐 세라믹을 金屬化시키는 기술이다.

보통은 메탈라이징층과 금속을 鎳노(Ag-Cu)로 接合시키기 때문에 메탈라이징층은 세라믹에 대하여 충분한 接着力을 갖는 동시에 接合溫度에도 견디어야 한다.

메탈라이징의 방법은 금속이 氣相에서 析出

하는 蒸着法, 溶液狀態 또는 熔融狀態에서 析出 혹은 固化하는 물질, 固相의 형태대로 固着하는 固相法 등으로 나뉘어 진다. 蒸着法의 경우, 세라믹스의 표면의 상태가 결과에 큰 영향을 미치므로 가급적 淸淨하게 유지해야 하며, 析出할 薄膜이 적으므로 표면의 凹凸은 평탄할 필요가 있다. 溶液相 또는 페이스트相으로 있는 것을 塗布하여 건조 후 구워서 붙이는 방법은 어떠한 형태의 표면에도 應用 可能하고, 塗布印刷에 의하여 간단히 線을 그을 수가 있으며, 加熱爐 이외에 특별한 장치가 필요치 않는 등의 이유로 인하여 應用範圍가 넓다. 金이나 銀 등의 貴金屬에 의한 세라믹基板 上的 電氣回路 제작, I.C패키지 등 알루미늄의 燒成과 電氣回路 제작을 동시에 행하는 Mo-Mn법 등 현재 電氣關係에 實用化 되고 있다. 또는 膜狀 혹은 板狀金屬을 직접 세라믹에 關하여 固着하여 메탈라이징하는 방법도 많이 試驗되고 있으며, 이 방법의 우수한 점은 메탈라이징층의 金屬純度가 높기 때문에 耐熱性, 耐蝕性의 特性

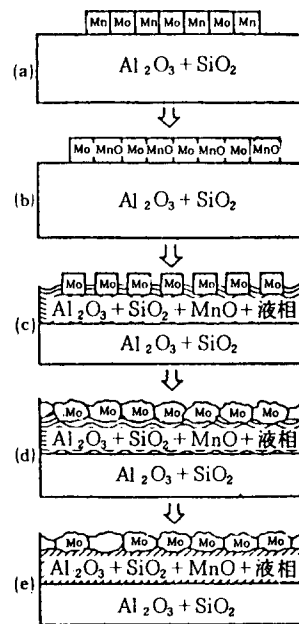
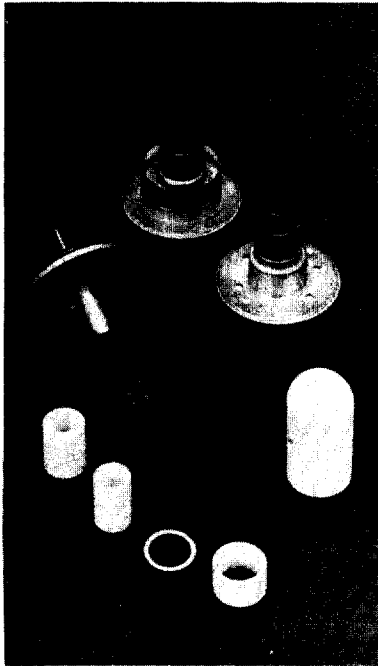
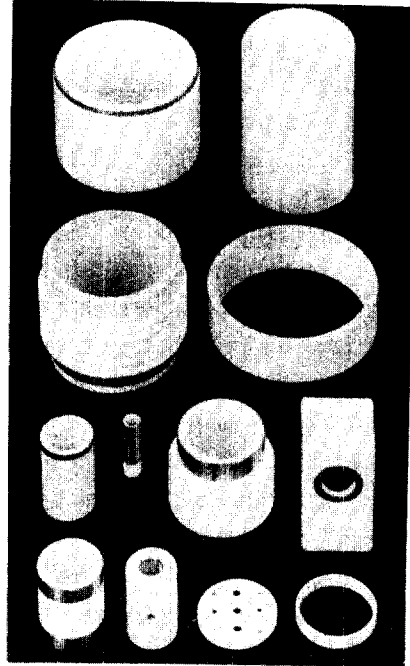


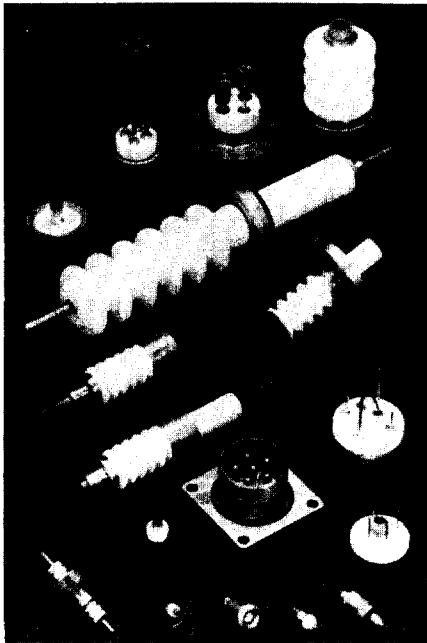
그림 17 Mo-Mn法에 의한 metallizing機構



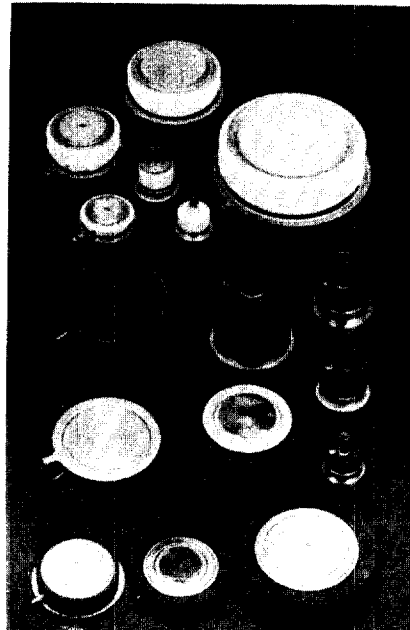
(a) 電子 レンジ用 magnetron



(b) 眞空 switch



(c) Feedthrough terminals



(d) SCR 容器

그림 18 세라믹接合(seal)의 應用例

이 있는 것이다.

(1) 金屬과 세라믹스의 接合

일반적으로 固體와 固體의 界面接合의 強度는 다음의 因子로 결정된다.

- (가) 接合面의 실제면적의 크기
- (나) 界面의 結合力
- (다) 接合에 의하여 發生한 뒤틀림
- (라) 金屬 또는 세라믹 自身の 強度

이중 실제의 接合面積은 接合面의 粗度에 따라 변하며, 界面은 어느정도 凹凸이 있는 쪽이 接合強度가 강하게 되지만 過渡하게 거칠은 界面은 金屬과의 젖음성(wetting), 界面에서의 뒤틀림이 불균일하게 되고 強度가 低下된다. 따라서 界面의 結合力은 金屬과 세라믹스와의 젖음성과 界面의 反應精度에 따라 변한다. 세라믹과 金屬의 界面에 작용하는 힘은 반데르-바알스結合과 化學結合 등도 있지만, 兩者의 界面反應에 의하는 것이 더크게 영향을 미친다. 실제로 金屬과 세라믹스간의 接合反應의 경우, 上記 反應 이외에 界面에 유리성분이 金屬粒界에 擴散하여 있기도 하고, 세라믹이나 金屬과 溶解折出하는 과정도 고려해야 한다. 일반적으로 유리가 金屬界面을 적시기(wetting) 위해서는 金屬粒子的 表面에 적당한 酸化膜이 존재하는 경우에 가능하며, 두 종류 이상의 反應이 平行하게 진행하는 것도 있다.

(2) 耐熱金屬粉末 燒結法

몰리브덴(Mo)나 텅스텐(W)은 알루미늄 세라믹스와 熱膨脹係數가 비슷하고, 燒結性도 類似하기 때문에 兩者의 結合이 좋으며, 대표적인 Mo-Mn법은 더욱 信賴性이 높은 眞空氣密

室法으로 알려져 있다. 이 방법은 粒徑 $3\mu\text{m}$ 이하의 Mo粒자에 Mn을 15~20% 함유시켰기 때문에 이것을 有機바인더와 함께 혼합하여 페이스트상으로하고, 분무, 스크린인쇄 등에 의하여 세라믹표면에 塗布하여 적당히 加濕된 수소가스 중에서 $1300\sim 1500^{\circ}\text{C}$ 의 온도로 燒結하여 세라믹스표면을 金屬化한다. 수소가스는 Mo을 金屬상태로 維持하기 위하여 필요하고, 小量의 水分은 高溫에서 Mn이나 극히 일부의 Mo을 酸化시키기 위해 필요하다. 반응모델은 그림 17과 같다.

(3) 活性金屬法

사파이어나 다이아몬드는 熱傳導率이 좋고 파워트랜지스터의 放熱板으로 우수하지만, 前述한 Mo-Mn에서는 不純物이 적은 單結晶이나 알루미늄 세라믹스에서도 高純度로 되면 거의 接合強度가 얻어지지 않는다. Ti나 Zr와 같은 活性金屬은 酸素에 대하여 親和力이 강하며 單結晶이나 高純度알루미늄에 대해서도 密着性이 좋다. 그러나 活性金屬은 封止爐 속의 酸素와도 쉽게 結合하고, 活性도 잘되기 때문에 爐의 脫가스를 충분히 하는 것이 좋으며, 高眞空장치 및 高純度가스의 技術進步와 함께 實用化되게 되었다. Ti, Zr은 金屬상태나 水素化合物 形態로서 사용하는 것은 비교적 最融點이기 때문에 보통은 Ag, Ni, Cu 등과 共融合金狀態로 사용하고 950°C 전후에서 封着시킨다.

그림 18은 세라믹接合의 應用例이다(다음 號에는 蒸着工程, 形狀化工程 및 單結晶工程등의 技術을 마지막으로 連載될 豫程이다).

