

技術資料

電子빔의 應用技術

金 東 義

Application of EB Technology

D.U. Kim

1. 서 론

電子빔(Electron-Beam : EB)의 歷史는 매우 오래 지마는 1950 年代에 이르러 原子爐의 爐材로서 耐熱金屬(refractory metal) 을 多量 使用하게 되면서부터 本格的인 研究가 始作되었다. 즉, 原子爐材로서 使用되는 金屬은 中性子の 吸收力이 적어야 하고 高融點이어야 한다. 주로 使用되어온 金屬으로는 Nb, Ta, Zr, V, Be, Mo, W 등의 合金이었다. 이들 金屬은 주로 U 核 燃料를 棒入(canning)하는 外皮材로 使用되었으며 최종적인 熔接에 거다란 애로를 느꼈으나 電子빔 熔接(electron beam welding : EBW)¹⁾ 이 성공되어 많은 利用면에 各광을 받게 되었다. 特히, Zircaloy²⁾-2를 眞空하에서 電子빔으로 熔接하여 美麗한 熔接部를 얻을 수 있었다.

電子빔은 여러 分野에 應用 즉 EB는 熔接, 熔解, 燒結, 加工, 分析 등에 널리 利用되고 있다. 電子빔의 原理는 加熱된 필라멘트에서 電子가 放出되어 加速場에 의하여 電子가 運動에너지를 얻어 電氣에너지가 機械的인 運動에너지로 變換된다. 運動에너지를 가진 電子는 다시 加工物體에 부딪쳐 熱에너지로 變換되며 物質을 녹이거나 昇溫시킨다. 필라멘트는 W 또는 Mo線 등을 使用하므로 高度의 眞空을 요하며 電子빔의 調節이 용이하므로 微細한 局部적인 部分까지 加工하거나 熔解가 可能하여 特殊 熔接 등에 널리 利用되어오고 있다. 또한 電子의 加速電壓이 수십 KV 以上이므로 W, Mo 등의 高温物質³⁾을 熔解할 수 있는 充分한 熱을 낼수 있다는 長點이 있어 現在까지 많은 發展을 거듭하여 왔으며 現在 工業的으로도 많은 利用이 可能하게 되었다.

2. 歷史

陰極管(cathode-ray tube)에 白金 anode를 附着시켜 製作한 電子빔(EB) 裝置를 利用하여 W.Crookes (1879)는 金屬을 熔解한 最初의 研究者인 셈이다.

19世紀⁴⁾ 末葉에 Crookes, Thomson, Pirani경 등에 의하여 陰極線 및 電子빔이 研究되었고, 金屬의 熔解에 EB 裝置를 利用한 것은 1970年의 Pirani에 의하여 本格的인 研究가 進行되었다.

M.Pirani는 電子빔(EB)을 利用하여 Ta 과 그 外의 金屬을 熔解하는데 많은 貢獻을 하였다. 그는 이에대한 美國特許를 얻었으며, vacuum-arc melting과 比較할때 高温金屬의 精製까지도 試圖하였다.

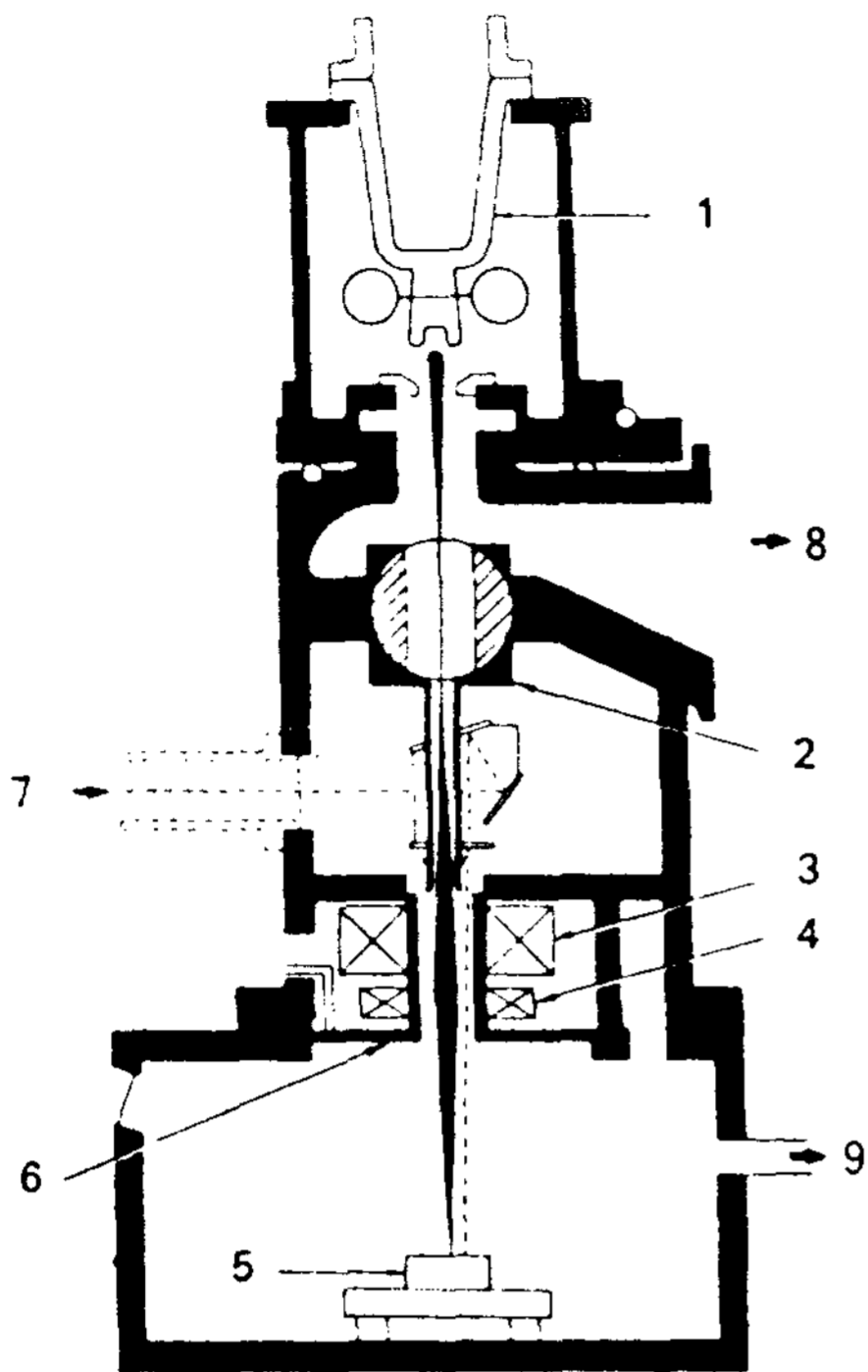
그 以後 Parson, Tiede, Hultgren 등에 의하여 改良되었으며, W-필라멘트를 陰極으로 使用하고 Ta도 가니를 陽極으로 하여 Fe, Co, V, Ti, Zr, Pt, Ir 등을 熔解하였다. 그러나 1940年代에는 眞空 system 未備로 많은 隘路를 겪었다.

1950年代에 들어 St.ohr氏에 의하여 15KV로서 電子를 加速시켜 電子빔을 얻었고, 電子빔 熔接(EBW)에 應用하였다.

現在까지 使用한 EB裝置의 構造는 大略다음과 같은 3段階로 區分된다. 즉, 加速電壓機, 필라멘트 加熱裝置, 포가싱용 Bias, 볼트(V) 調節裝置로 되어 있다. 이러한 裝置로 熔解또는 熔接에 利用한 結果 TIG 熔接보다 優秀하고, 깊이 / 폭의 比가 2배나 되며, 特히 眞空下에서 熔接하므로 耐熱金屬의 酸化, 汚染의 憂慮가 적은 것이 長點이다.

美國에서 15KV로 加速한 EB裝置는 그림1과 같으며, 주로 U 核 燃料 容器로 使用하는 Zircaloy-2를 眞空下에서 熔接하는데 使用되었다. 그 以後에 美國, 英國, 獨逸 등지에서 20KV, 30KV 로 加速하는 EB裝置들이 開發되었다. 特히 Aeg-Zeiss 社에서는

慶北大學校 工科大學



1. electron gun ; 2. column valve ; 3. magnetic lens ;
 4. deflection coil 5. workpiece ; 6. water-cooled heat shield ;
 7. optical viewing system. 8. 1st vacuum system
 9. 2nd vacuum system. (Hawker Siddeley Dynamics)

Fig. 1 EB Furnace.

125KV(2.5 KW 容量)로 加速하는 EB 裝置를 만들어 電子顯微鏡에 利用하였으며, Zircaloy Reactor 部品들을 熔接하였다. 그 後 空氣中에서 使用하는 EB 裝置도 開發되었으나, 實用性이 없었다.

1957年 Smith氏에 依하여 50~250KW 容量의 大型 EB爐가 設計되었으며 5"徑의 金屬 ingot를 熔解하므로서 工業的 規模까지 開發시키게 되었다. 그림 2⁽⁶⁾는 LH(Leybolt Heraeus)사의 EB용해 모식도이다.

3. 應用

EB는 現在 많은 分野에 應用되고 있다. 即 EB加工, EB蒸發, EB Zone refining, 金屬粉末의 燒結, 分析, EB Tape Recording, EB 熔接 等に 利用되고 있다.

○ EB加工 : 1961年 Steigerwald에 依하여 EB로서 電子顯微鏡上으로 50 μ dia의 드릴孔을 加工하는데 成功하였다. 50 μ 는 0.05mm이므로 機械加工으로는 도저히 不可能한 工作을 EB로서 可能하게 되었으며, 精密機械製作에 利用될 展望이 밝다.

○ EB 蒸發 : 1934年 O'Brian과 Skinner는 refractory materials을 EB으로 蒸發시켜 thin film으로 蒸着시켰다. W 이나 Mo과 같은 高融點의 金屬을 EB로서 加熱하여 熔融시키고 高眞空下에서 蒸發⁽⁶⁾이 可能하

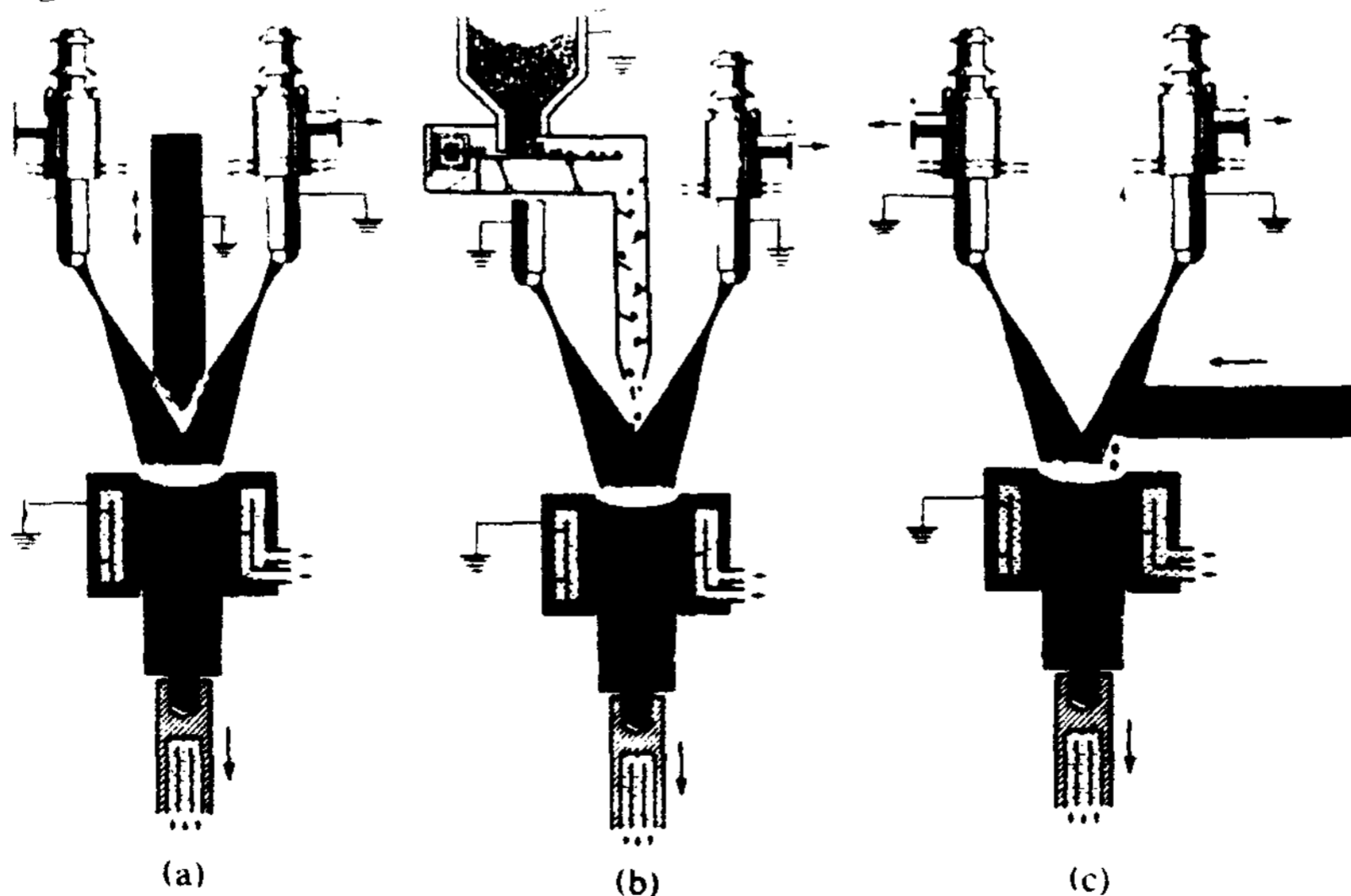


Fig. 2 EB Furnace for 3 different charging system. (L. Heraeus)

- (a) Drip melting of vertically fed consumable electrodes.
- (b) Bath melting of granulated material and scrap.
- (c) Drip melting of horizontally fed consumable electrodes.

다. 그러므로 thin film의 製作 等に 利用될 展望이다.

○ EB Zone Refining : 一般的으로 低融點 金屬 Al, Cu, Fe 等은 Kanthal 線이나 高周波爐를 利用하여 帶熔解를 하여 高純度를 얻을 수 있다. 그러나 高融點 金屬인 W, Mo은 一般的인 方法으로는 熔解할 수 없으므로 EB 裝置로서 熔解하여 精製할 수 있다. 또한 單結晶도 製作이 可能하다. 最近에는 半導體材料인 Ge, Si,를 floating-zone melting에 EB 裝置를 使用하고 있다. 또한 Baldock 等은 Be, semiconductor, compounds, thermoelectric device materials 를 製作하는데 EB를 利用하고 있다.

○ 金屬粉末의 燒結 : 1959年 Candidus 等에 依하여 EB를 利用하여 金屬粉末을 燒結하였다. 高眞空下에서 EB의 高温으로 순시간에 燒結하므로써 擴散層이 없어지며 脆弱한 金屬間化合物 等の 生成이 抑制되어 큰 效果를 期待할 수 있다.

○ 分析 : 1949年 Castaing 과 Guinier는 1 μ dia의 작은 部位를 分析할 수 있는 EB microprobe를 開發하여 金屬分野의 研究에 利用하였다. 即 擴散層의 깊이에 따른 不純物 濃度의 分析에 利用하며 非破壞에 依한 表面層의 分析 等に 利用이 可能하다.

○ EB Tape Recording : 1961年 Wehe는 情報를 高速으로 處理할 수 있는 EB裝置를 考案하였다. 即

寫眞原版, Electrofax 테이프나 Videographic 테이프에 情報를 담은 EB를 쪼이므로써 情報가 記錄된다.

○ 航空 : 最近에 들어 航空産業과 missile 分野의 發達로 Ti과 슈퍼알로이 (super alloy) 合金의 開發이 活潑해지고 있으며, 特히, turbine 部品의 研究가 進行되고 있다. 이들은 모두 高温金屬이며 매우 反應性이 높으므로 중전의 Vacuum arc melting (VAR), Vacuum induction melting(VIM), electro slag refining (ESR) process 들 보다는 EB를 利用한 高温과 眞空을 함께 얻을 수 있으므로 不純物의 除去가 可能하여 高淸淨度의 金屬을 얻을 수 있는 特徵을 가지고 있다.

不純物이 存在하므로써 crack nucleation sites 들이 減少하여 low cycle fatigue(LCF)의 壽命이 增加하는 長點이 있다. 값이 싼 Ti 스크랩을 處理하는 데 있어 高温精鍊이 特히 必要하므로 더욱 EB process 는 脚光을 받고 있다.

그림 3은 EB CHR process 이며 水冷銅 도가니의 고체/액체 界面에는 高密度 介在物이, 上部에는 熔湯의 低密度 介在物이 浮上分離過程을 描寫하고 있다. 그림 3은 2MW級의 Johnson Metals Corps社의 EB爐의 斷面이다.

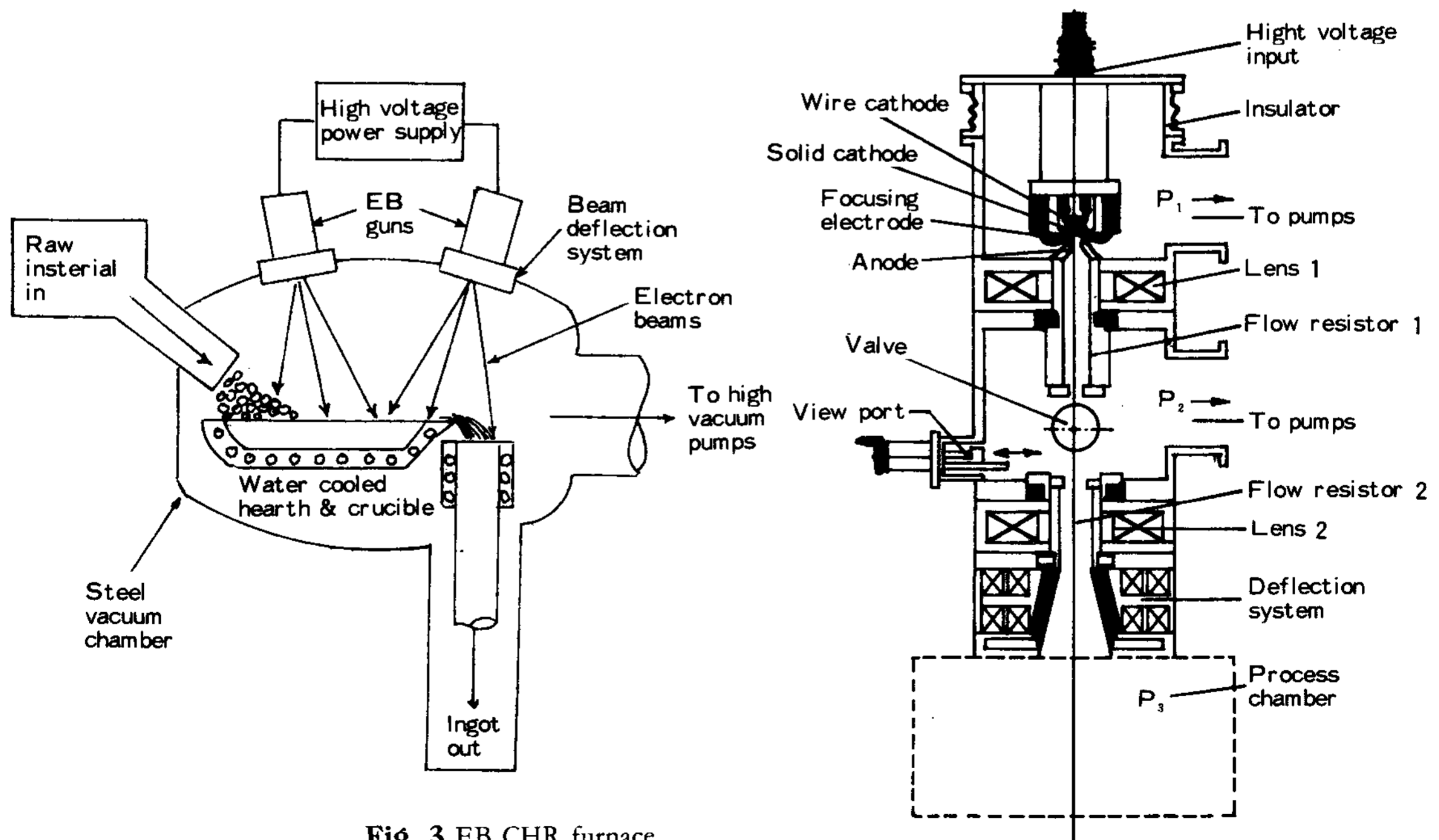


Fig. 3 EB CHR furnace.

(a) 2 MW furnace for Ti refining

(b) Electron beam gun. (A. Johnson Metals Corp.)

○ 熱處理 : 1955年 Ogilvie와 Brinson은 眞空狀態에서 金屬試片을 EB gun으로 調査한 結果 1100℃까지 正確한 溫度範圍로 加熱하는 實驗을 하였다.

EB의 調節이 微細하므로 또한 溫度의 調節이 微細하므로 特殊한 部分에 局部的인 熱處理 等に 利用될 수 있다.

○ 特性 : 1961年 Gray 등은 비닐축합물 즉, 솜, 가죽, 고무, 人工纖維 等に EB를 照射하면 物質의 機械的 및 物理的 性質이 變함을 發見하였다.

4. 綜合

一般的으로 熔融點이 높은 W, Mo 등의 高溫金屬은 空氣中에서 酸化나 化學反應이 빠르게 일어난다. 그러나 眞空이나 調節된 霧圍氣 中에서 使用하면 熔融點 附近 까지 使用이 可能하다.

EB裝置는 高眞空, 高溫을 얻을 수 있다는 點에서 이들 高融點金屬의 熔解나 精製⁸⁾가 可能하다. 그러므로 將來에 EB裝置를 利用하여 이들 高融點金屬(W, Mo, Ta, Nb, Zr, V, Be, etc)등의 熔解 等に 利用될 展望이 크다. 特히, 最近에 들어 韓國에도 航空産業과 米사일分野에 많은 投資를 하고 있는 實情이므로 EB의 利用이 점차 增加될 것이며, 이들 高溫金屬의 眞空鑄造에도 關心을 가져야 할 時期가

다가온 것 같다.

5. 참고문헌

1. Bakish R and S.S. White, "Handbook of Electron Beam Welding" John Wiley & Sons, Inc, New York (1982)
2. Bangert L and Hennemann K ; Metall 14(1960) (H7) 704
3. Aschoff W.A. and E.F. Baroch ; J. of Metals 3 (1962) 205
4. Meleka A.H ; "Electron - beam Welding", McGraw-Hill" London , p11
5. Bakish R ; "Electron Beam Technology", John Wiley & Sons inc, New York, p111
6. Schiller S, Heisig U and Panzer S ; "Electron Beam Technology" John Willey & Sons , New York, p136
7. Entrekin CH and Clarkson D.S. Metal Progress, June (1986) 35.
8. Smith H.R., C. Hunt, and C. W Hanks ; J. of Metals Feb(1959) 112.
9. ASM ; "Electron Beam Welding" ASM, Metals Park (1968).

第 9 卷 1 號 揭載予定主要記事

< 論 文 >

- 개량차분법에 의한 주강품 및 대형인코트의 응고해석과 수축공 예 홍준표, 이영철, 김종원
- C/V 흑연의 형성에 미치는 공정요소의 영향 예병준
- 급속 응고한 Al-Pb 편정합금의 조직과 성질 (I. 급속응고조직의 특성)..... 김명호, 배차현, 이호인
- 주철의 열적성질에 미치는 흑연형상 및 첨가요소(Mn, Ni)의 영향 노무근, 권혁무
- Cu-Zn-Al 형상기억합금에서 기계적 성질에 미치는 결정형상의 영향에 관한연구 (구조조직과 재결정처리에 따른 기계적 성질과 형상기억능의 변화) 황승준, 이진형, 홍종휘

< 技術資料 >

- 鑄鋼工場에 있어서 Electro Slag 押湯加熱法の 利用効果 李泳勳, 崔昌鈺