Nontraditional Machining Processes

非傳統加工法

(特殊/特種加工法 – 電加工法)

高雄應用科技大學 模具工程系

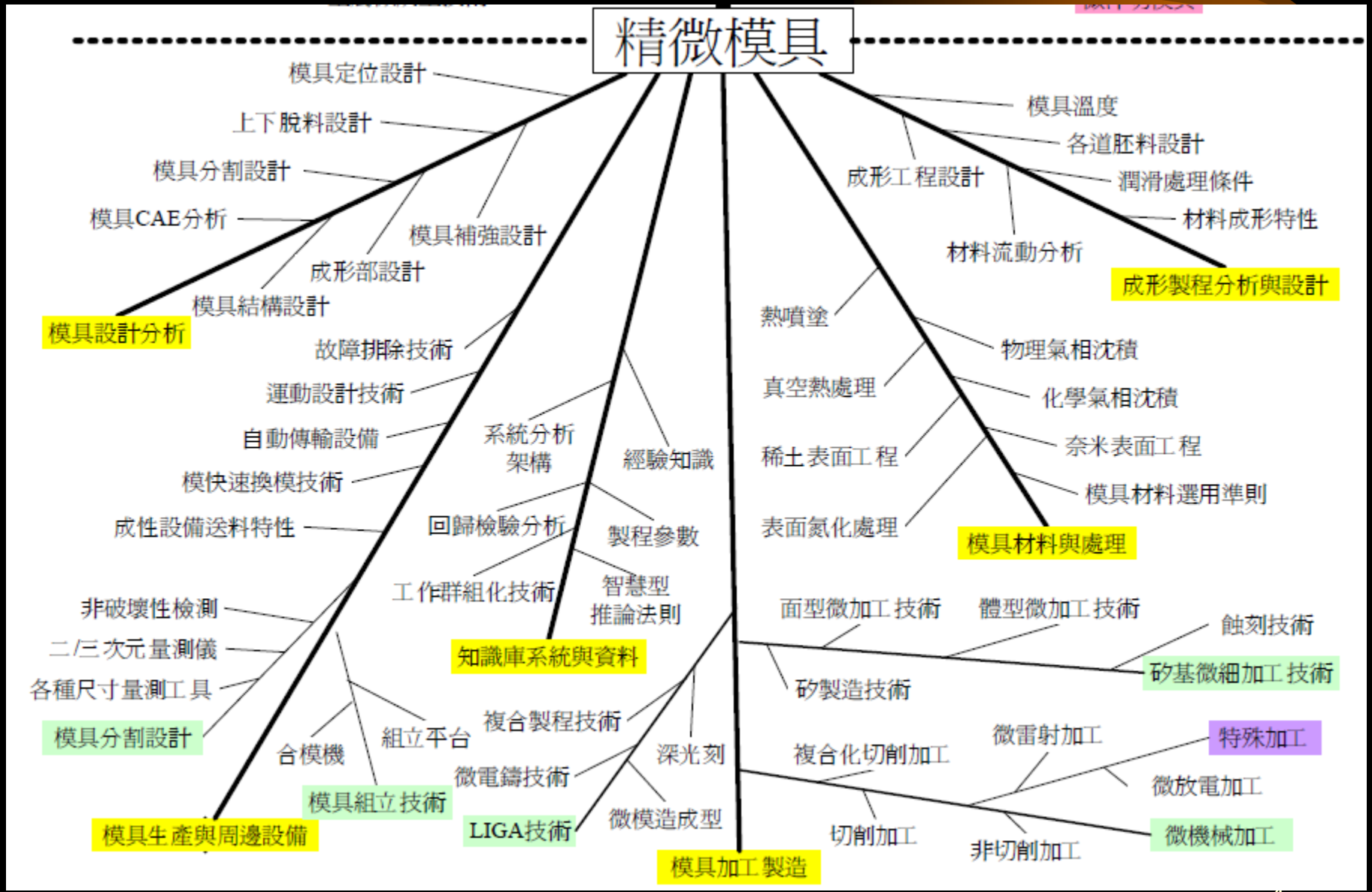
許文政

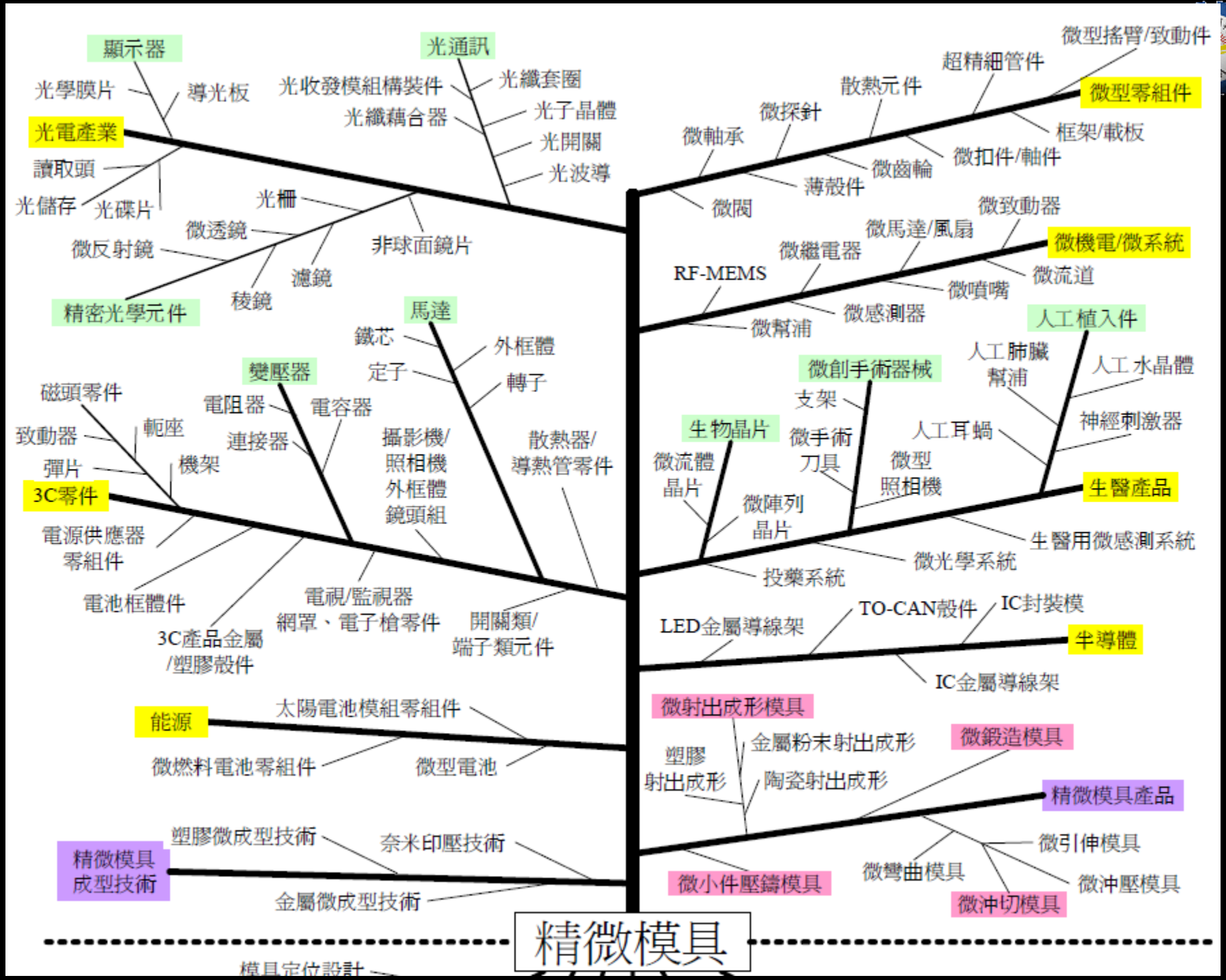
Albert W-J Hsue

albert.hsue@kuas.edu.tw

校內: MD715 (#5405), Lab: MD409 (#5457)

精密模具精微技術/產品關聯樹狀圖【1】




顯示器
光學膜片
導光板
光電產業
讀取頭
光儲存
光碟片
光通訊
光收發模組構裝件
光纖套圈
光纖耦合器
光子晶體
光開關
光波導
光柵
微透鏡
非球面鏡片
微反射鏡
濾鏡
稜鏡
精密光學元件
馬達
鐵芯
外框體
定子
轉子
變壓器
磁頭零件
電阻器
電容器
致動器
軛座
連接器
彈片
機架
3C零件
攝影機/
照相機
外框體
鏡頭組
散熱器/
導熱管零件
電源供應器
零組件
電池框體件
3C產品金屬
/塑膠殼件
電視/監視器
網罩、電子槍零件
開關類/
端子類元件
能源
太陽電池模組零組件
微燃料電池零組件
微型電池
精微模具
成型技術
塑膠微成型技術
奈米印壓技術
金屬微成型技術
微型搖臂/致動件
超精細管件
散熱元件
微型零組件
微探針
框架/載板
微軸承
微齒輪
微扣件/軸件
薄殼件
微閥
微致動器
微馬達/風扇
微機電/微系統
微繼電器
微流道
RF-MEMS
微噴嘴
微感測器
微幫浦
人工植入件
人工肺臟
幫浦
人工水晶體
微創手術器械
支架
神經刺激器
生物晶片
微手術
刀具
人工耳蝸
微型
照相機
微流體
晶片
生醫產品
微陣列
晶片
生醫用微感測系統
微光學系統
投藥系統
TO-CAN殼件
IC封裝模
LED金屬導線架
半導體
IC金屬導線架
微射出成形模具
金屬粉末射出成形
微鍛造模具
塑膠
射出成形
陶瓷射出成形
精微模具產品
微引伸模具
微彎曲模具
微沖壓模具
微小件壓鑄模具
微沖切模具
精微模具
模具定位設計

1-1. 非傳統加工法分類

- 一般熟知之非傳統加工程序如圖之示意圖所示，可分為5種技術群：

A. 機械能技術 (Mechanical Processes)

B. 電能加工技術(Electrical Processes)

C. 熱能加工技術 (Thermal Processes)

D. 化學能加工技術(Chemical Processes)

E. 快速成型技術 (Rapid Prototyping/ Tooling)

A. *機械能技術* (Mechanical Processes)

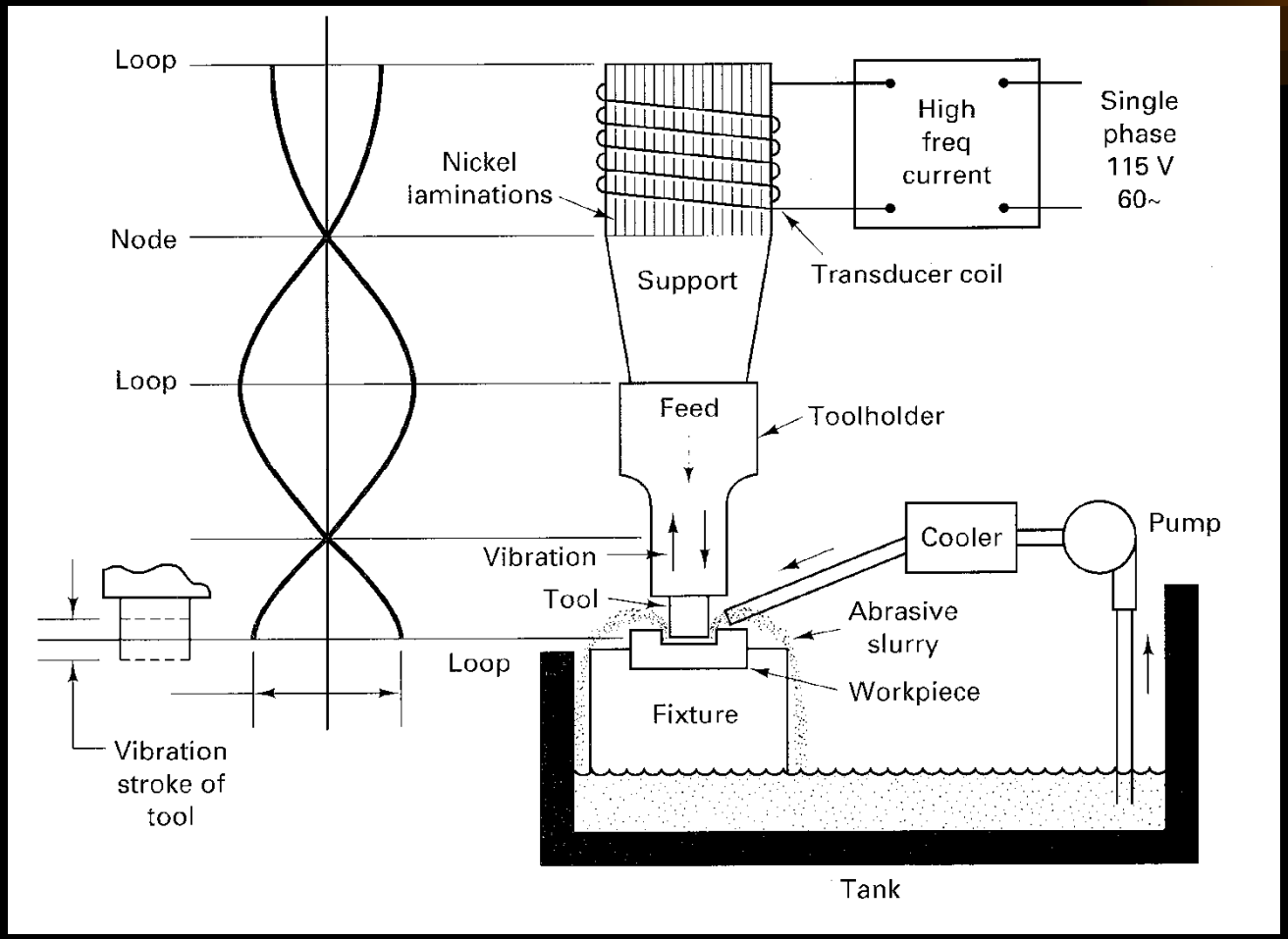
Def: 利用高速的粒子或流體以動能沖蝕(erosion)材料方式, 去除部分材料, 達成型之目的。

機械能技術分類:

- 超音波加工(ultrasonic machining, USM)
- 磨粒噴射加工(abrasive jet machining, AJM)
- 磨粒流動加工(abrasive flow machining, AFM)
- 水刀加工(water jet machining, WJM)

原理與應用實例附錄

App1、機械能加工技術



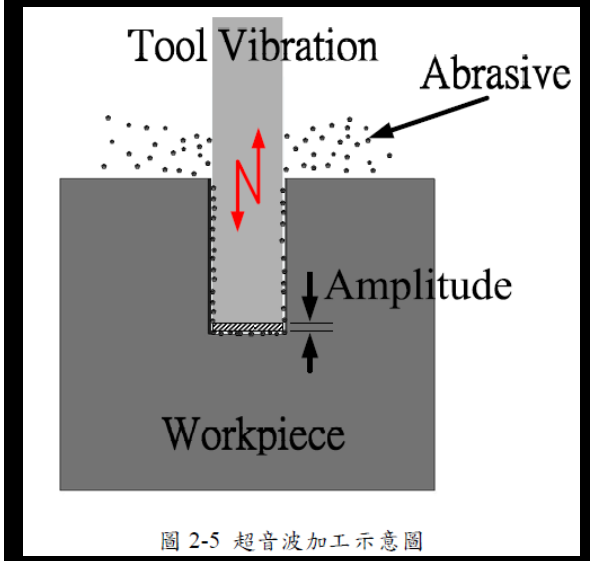
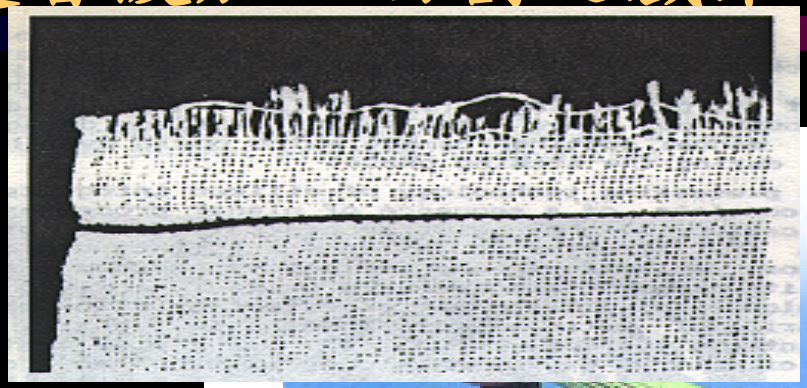


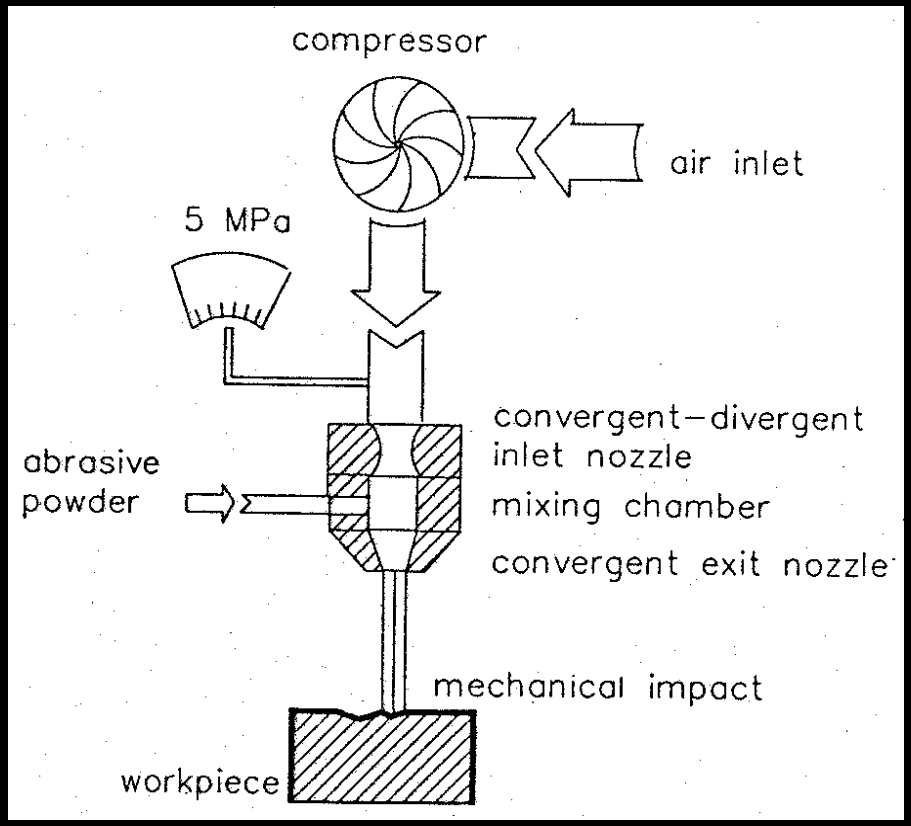
圖 2-5 超音波加工示意圖

超音波加工USM原理示意圖

超音波加工切割之纖維布



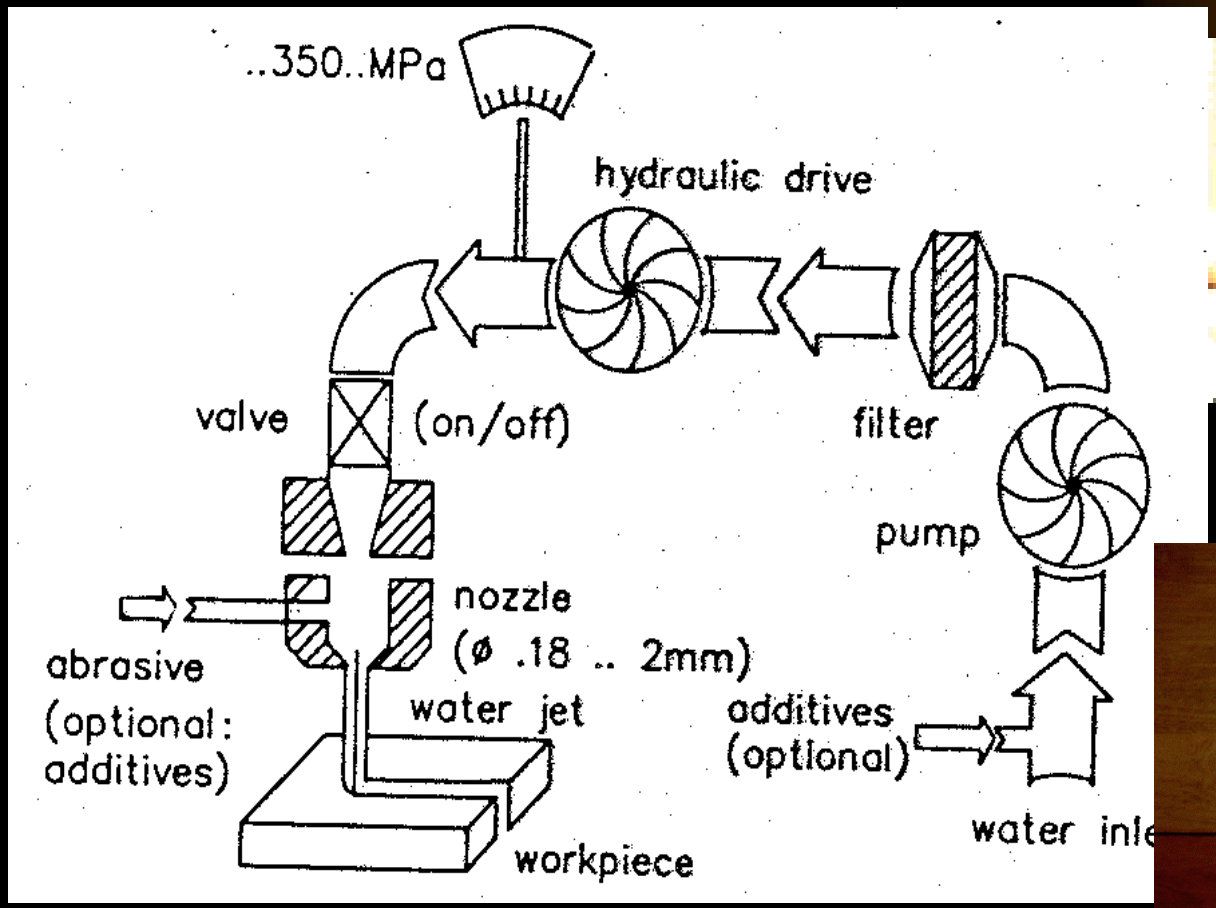
磨粒噴射加工示意



磨粒噴射加工原理

玻璃噴砂加工效果

水刀加工設備示意圖



水刀噴射加工示意

B. 電能加工技術 (Electrical Processes)

Def:在高速流動的電解液中藉由陽極電解將導電材料去除的加工法，有時結合化學能做反向之增添加工。

1 Electrochemical Machining (ECM) 電化學加工
2 Electrochemical Grinding (ECG) 電化學研磨
3 Electrochemical Discharge Machining (ECDG)
4 Electrochemical Deburring 化學去毛邊 電化學放電研磨
5 Electrochemical Honing 電化學搪磨
6 Shaped Tube Electrolytic Machining (STEM)
7 Mechanical Principles Applications 成型管電解加工
8 Electrochemical Mechanical Polishing (ECMP)
9 Electropolishing (EP) 電解拋光 電化學機械拋光

第一種: 電化學加工 – ECM Process

3.1 Electrochemical Machining (ECM)

- 加工機構

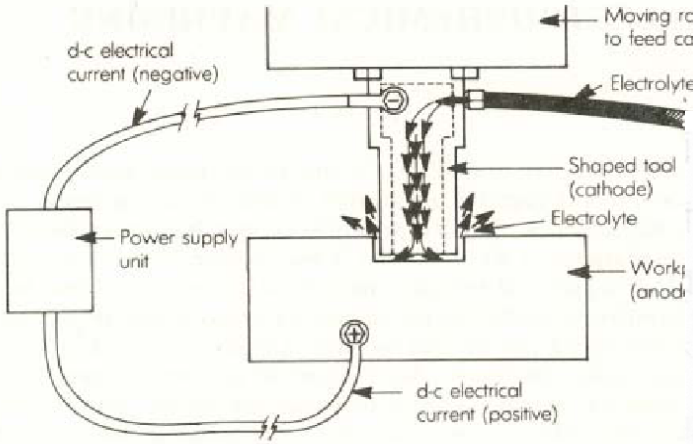


Figure 3-1. The ECM cell. (*Courtesy, SME Tool & Manufacturing E Handbook, 4th ed.*)

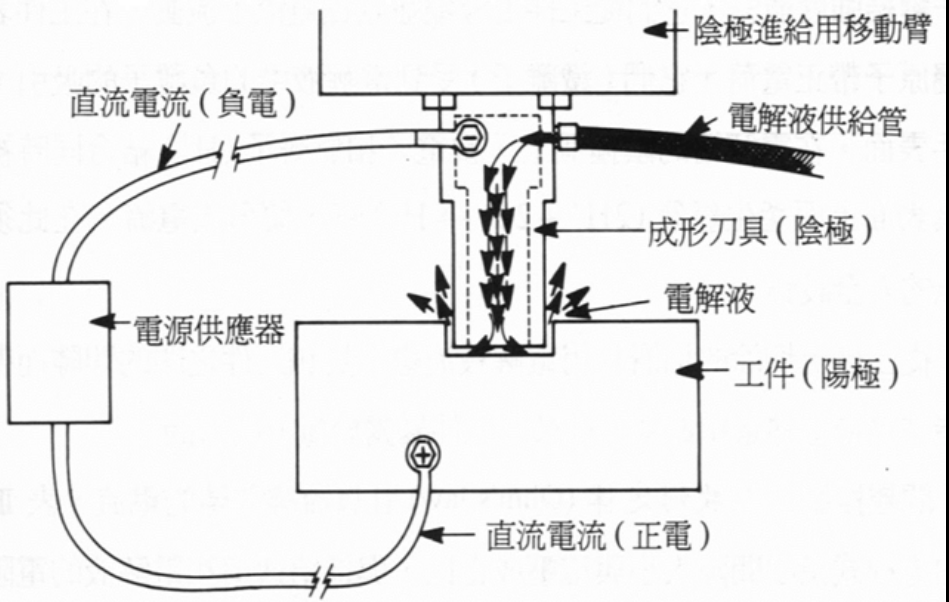
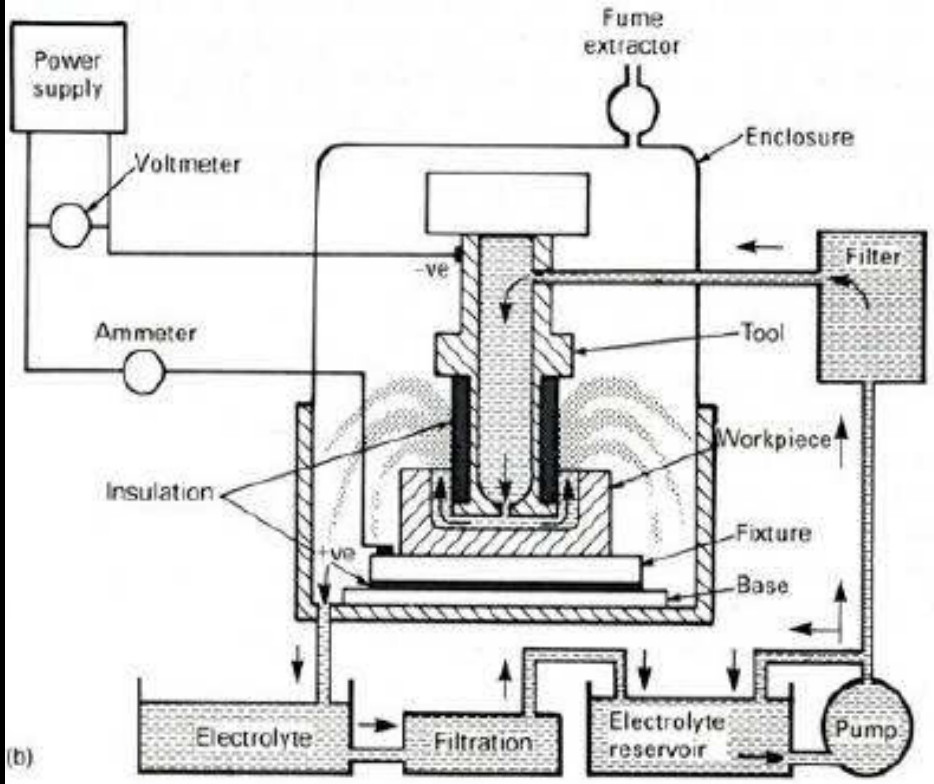


圖 3-1　ECM 電解槽（節錄自 *SME & Manufacturing Eugineers Handbook*，4 版）

Principle of ECM

Electrochemical Machining ECM（電化學加工技術）



The physical principle of electrochemical machining (ECM) is based on high-speed anode dissolution of metals and alloys under the electrolysis current of high density in the flowing electrolyte at small interelectrode gaps. Thus according to Faraday's law, weight of the material removed from the workpiece is proportional to current density and processing time.

$$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^{-}$$

$$2H_2O + 2e^{-} \rightarrow H_2 \uparrow + 2OH^{-}$$

$$Fe + 2H_2O \rightarrow Fe(OH)_2 \downarrow + H_2 \uparrow$$ （墨綠色絮狀物）

$$4Fe(OH)_2 + 2H_2O + O_2 \rightarrow 4Fe(OH)_3 \downarrow$$ （黃褐色沉澱物）

加工原理

- 使電極工具(陰極)進給接近被加工物(陽極)，通以高密度電流(200 A/cm^2)，工具及被加工物間充以高速流動之電解液，經過電解及化學反應的過程達到加工去除之目的; 以Fe爲工件NaCl爲電解液爲例之加工反應過程如下:

$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e$

$2Na^{+} + 2H_2O + 2e \rightarrow 2NaOH + H_2 \uparrow$ (逸出)

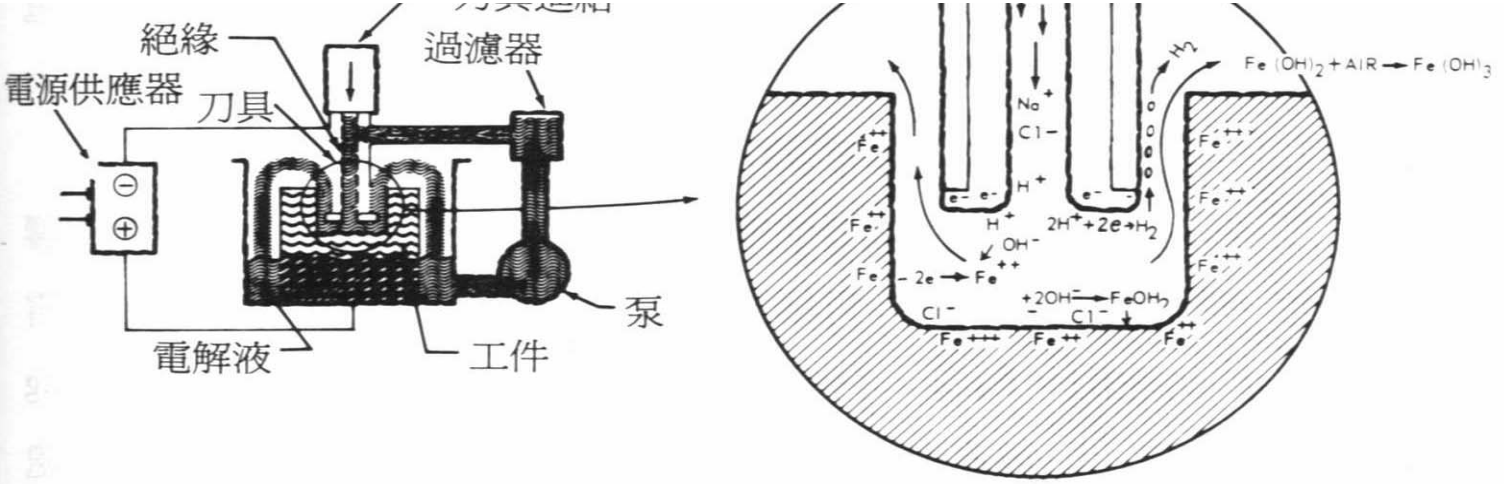
$Fe^{2+} + 2Cl^{-} \rightarrow FeCl_2$

$FeCl_2 + 2NaOH \rightarrow 2Na^{+} + 2Cl^{-} + Fe(OH)_2$

$Fe(OH)_2 + 2H_2O + O_2 \rightarrow 4Fe(OH)_3 \downarrow$ (加工屑沉澱)

★ ECM加工間隙之自調(self-adjusting)特性 — 平衡加工間隙

- 當工具進給速率大於工件材料去除率，加工間隙變小，電阻降低電流增大，材料去除量隨電流成正比增加；相對的，此時工具進給速率相對慢於材料去除率，電阻因而增大電流減小而減緩了材料的去除; 此一加工間隙隨加工時間而逐漸趨一定值，稱爲平衡加工間隙。



ECM 加工程序圖解說明

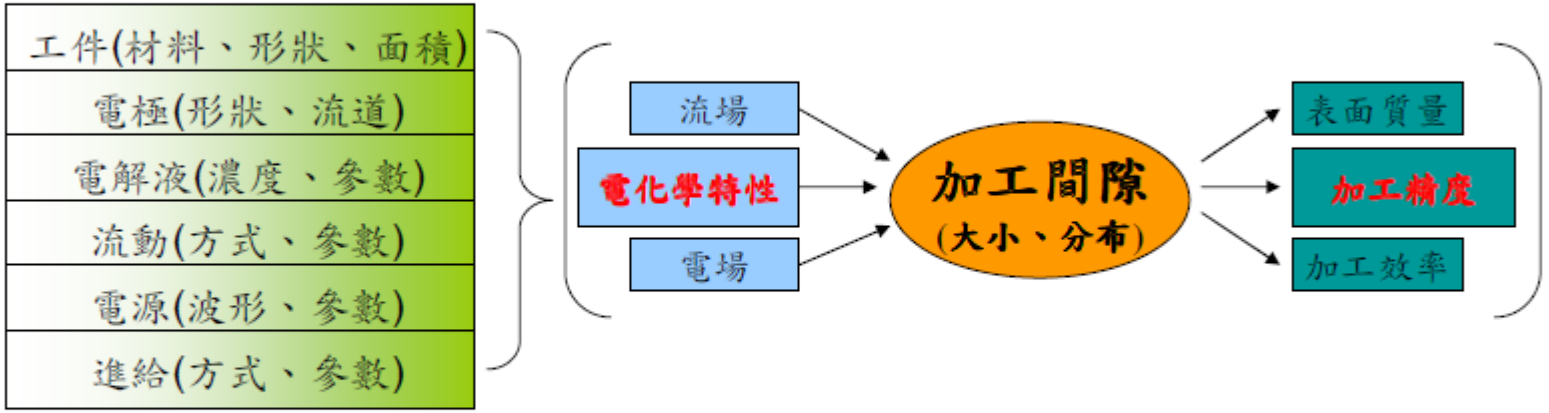
★ECM加工中電解液應具備那些機能及特性

- 使工具和工件間流通電解電流，工具電極(陰極)不發生電著現象，以高電流效率電解溶出工件(陽極)
- 電導度高，黏度低，能迅速帶走加工發生的熱及除去加工間隙中工件電解後之生成物
- 腐蝕性少，無毒性，價廉而容易購得
- 目前最常用的電解液是氯化鈉水溶液，其次是硝酸鈉

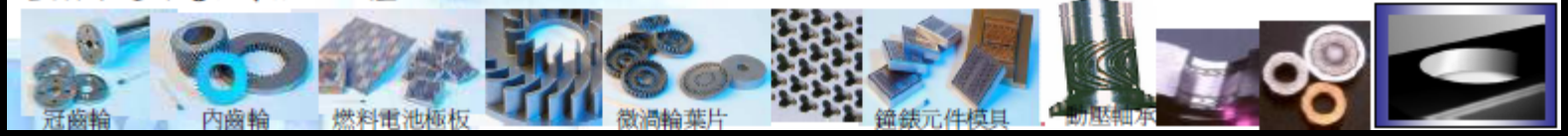
★ECM爲何難以加工有尖銳內角之工件

- 工具電極上每一點的形狀皆影響其電場強度，通常電極四周的點電場強度及電流密度會較高，若電極形狀有尖銳角，該處形成更高密度電流，加工工件時造成內角過度切削的現象，因此以ECM做凹穴成形加工時，工件應設計爲圓弧內角爲宜。

•精微電化學加工法為非傳統加工方法中的一種，一般稱為Micro Electrochemical Machining簡稱μECM，亦稱Electrochemical Micro-Machining，簡稱EMM。
•μECM是利用電化學反應來移除金屬表面，其金屬移除加工範圍僅達數微米至厘米之間。



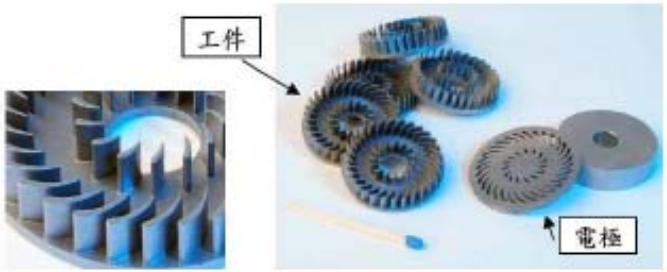
各類可運用電化學加工之產品



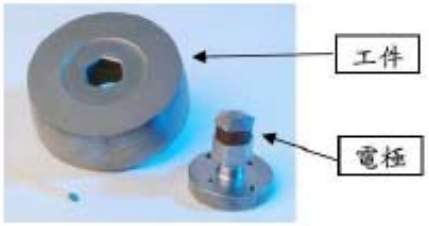
附錄一、電化學加工 應用

Stationary Fixture
ECM Machining

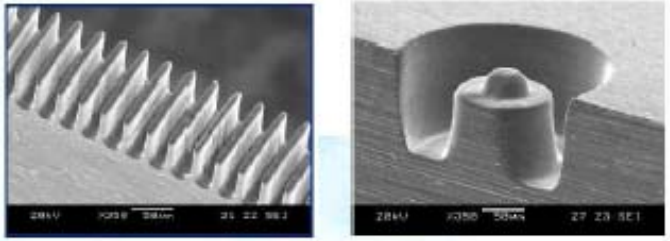
ECM Sinking



ECM Broaching



Wire ECM

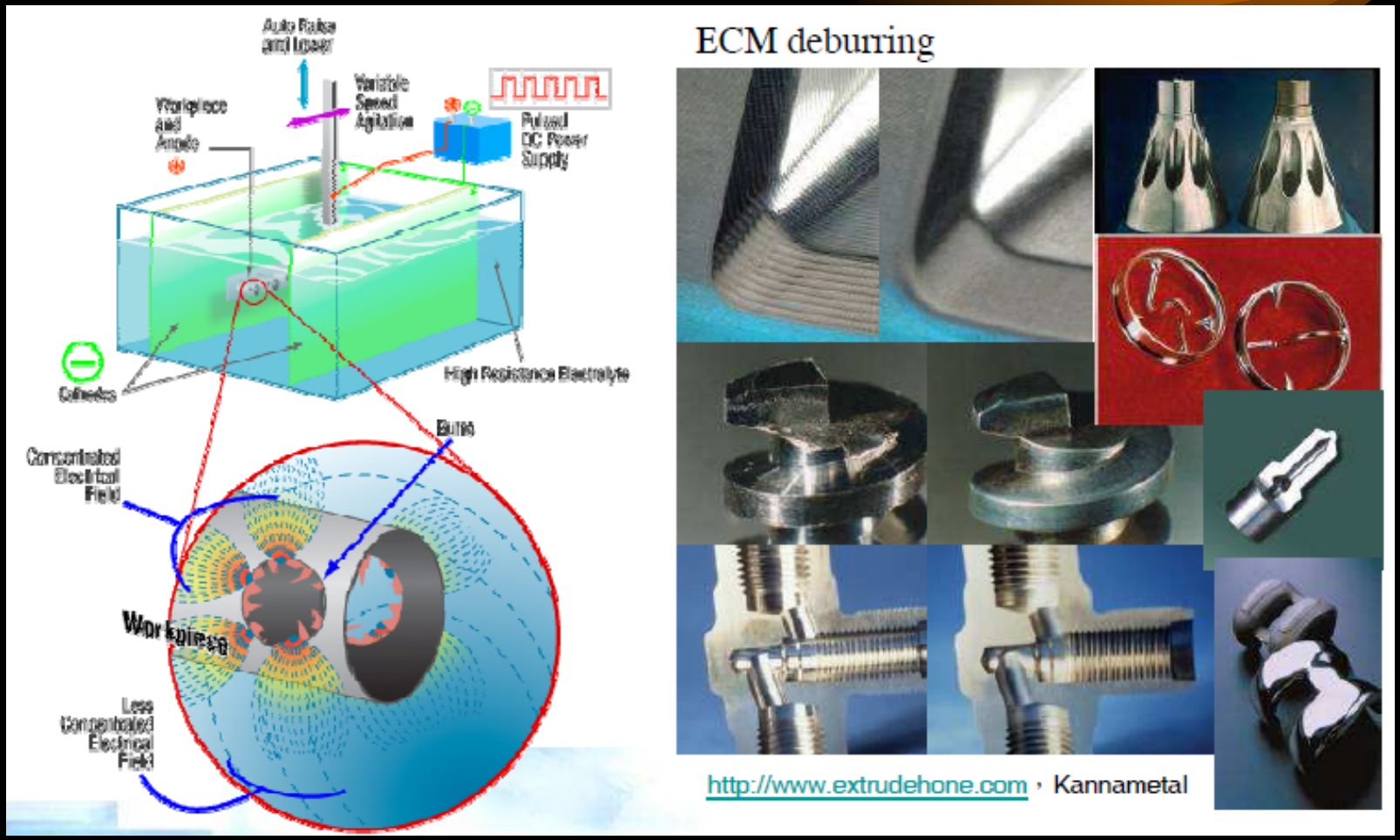


ECM Milling

Http://www.pemtec.de/，PEMTec SNC
Http://prema.snu.ac.kr/，PREMA
Http://www.microecm.com/，μECM

- 沖鍛模具工業相關：

航太工業相關：渦輪葉片、冷卻孔、葉輪、發動機構件


Auto Raise and Lower
Variable Speed Agitation
Workpiece and Anode
Pulsed DC Power Supply
Cathodes
High Resistance Electrolyte
Burrs
Concentrated Electrical Field
Workpiece
Less Concentrated Electrical Field
ECM deburring
http://www.extrudehone.com · Kannametal

- **Micromechanics/micro-system technique, Micro fluidic, Micro tools, Microelectronics**
  - Micro gear pumps, Micro sensor housings, Micro valves,
  - punching tools, injection moldings
- **Medicine and dental technique**
  - chirurgical Instruments
- **Automobile industry**
  - Injection systems (injection nozzles)
  - Hybrid drives
  - Fuel cell
- **Aviation and aerospace industry**
  - turbines, cooling cannels
- **Engineering industry**
  - spinneret
- **Tooling- and tool-making**
  - Tools and moldings
  - Stamps
  - Electrodes