



# 電磁接合技術於機械產業之應用

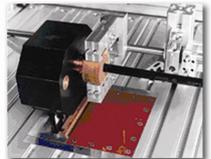
The Applications of Electromagnetic Joining Technology in Machinery Industry

許宏旭

金屬工業研究發展中心  
副工程師

林典永

金屬工業研究發展中心  
副工程師



## 關鍵詞

- 電磁脈衝銲接   Magnetic Pulse Welding
- 接合             Joint
- 線圈             Coil

## 摘要

電磁脈衝技術是一種較新穎的金屬加工方法，現今在國外已廣泛應用於銲接、成形、沖切及緊束等製程用途上。二十世紀初物理學家 Kaptilap 在進行脈衝磁場試驗時，發現形成脈衝磁場的金屬線圈，易發生脹大現象而脹破，此一發現為後人開啟了電磁脈衝技術的探討。而世界上第一台電磁脈衝成形機，由美國通用電力公司於 1958 年在第二屆日內瓦國際和平原子能會議上發表，當時並未立即應用於工業生產上，直至 1962 年，由美國的 Brower

和 Harrey 發明運用於工業生產的電磁成形機後，電磁脈衝技術才引起各工業國的高度重視。

Electromagnetic pulse technology is a novel metal processing method and has been widely applied in the applications of welding, forming, blanking and crimping processes. In the early 20th century, the physicist Kaptilap conducted pulse magnetic field experiment and discovered inflation and bursting were easily occurred in the metal coils that formed pulse magnetic field. The discovery initiated the study of electromagnetic pulse technology. The first global electromagnetic pulse forming machine was announced by General Electric Company at The Second International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy in 1958. However the machine was not immediately applied in the industrial production. Till 1962, American Brower and Harrey invented electromagnetic pulse forming machine for industrial production. Ever since electromagnetic pulse



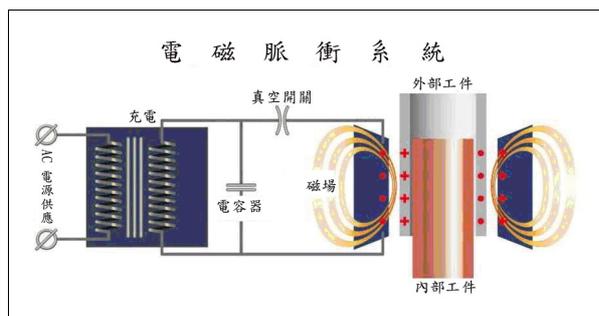
technology draws much attention from various industrialized countries.

## 前言

電磁脈衝銲接是使金屬在極短的時間內，受高強度的電磁力衝擊而發生塑性變形，因此，電磁脈衝銲接屬於高能量快速成形，且該技術具有能量可精確控制、工件安裝簡單，不損傷工件表面、殘餘應力低、銲接速度快及精度高等特點，現已廣泛運用於機械、汽車、電子、航太、軍事工業等領域。

電磁脈衝銲接是以物理學中的電磁感應定律為理論基礎，當電場發生變化時，其磁場亦會發生變化，此時如有導體處於變化的磁場時，在導體中會產生渦電流，渦電流會產生感應磁場，伴隨電場發生變化的磁場與渦電流產生的感應磁場方向相反，且同性磁極相對，所以會產生互相排斥的電磁力，會使工件表面受電磁壓力的作用而發生變形。

管與管的銲接是電磁脈衝技術的應用領域之一，可用於同種或異種金屬管件的銲接。檢視目前國內業者進行管與管的銲接，多採用傳統電弧銲接，傳統電弧銲接具有銲接速度慢、能量消耗大及煙塵污染嚴重等缺點，而運用電磁脈衝進行管與管的銲接時，其放電時間約 20 ~ 300  $\mu\text{sec}$ ，銲接速度快，無傳統電弧銲接所需的銲條及保護氣成本支



圖一 電磁脈衝系統基本原理示意圖

出，亦無弧光及煙塵的發生，是種乾淨清潔、低成本的銲接製程。金屬中心所使用的電磁脈衝設備，是國內現有且唯一的工業用設備，將運用於同種及異種金屬管件接合的技術研發，期能建立國內電磁脈衝銲接應用的能量，並提供國內業者在相關製程開發上的參考與協助。

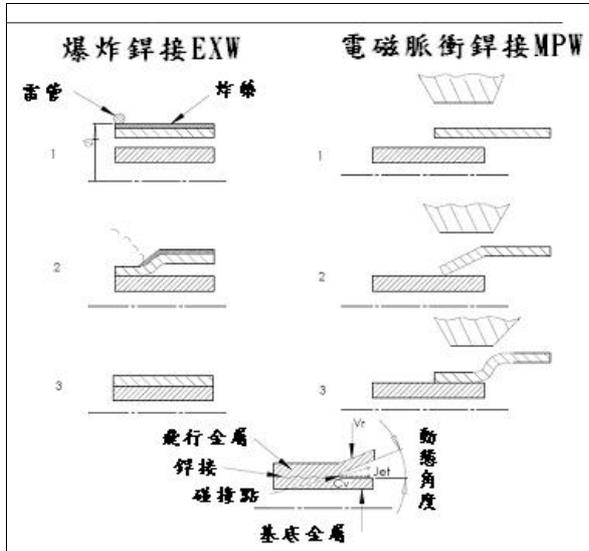
## 電磁脈衝銲接製程介紹

電磁脈衝製程係利用儲存於電容器之能量瞬間釋放所產生之電磁力，使導電性金屬工件變形的高速成形方法，其基本電路原理如圖一所示。當一瞬間高脈衝電流通過工作線圈時，於工作線圈中產生一隨時間變化的脈衝磁場，由於電磁感應之作用，使鄰近工件亦產生與線圈相斥之磁場，而當所產生之強大脈衝磁力，超過工件本身所能承受之降伏強度時，使工件產生永久變形[1]。因此，便可應用於具導電性材料之銲接、接合、沖切與成形等製程。

此原理一般常用於管件成形，所需之成形壓力可藉由工作線圈的設計而形成均勻電磁壓力。電磁脈衝銲接中工件所受磁場力的大小與放電電流有直接關係，放電回路分析及放電電流確定與電磁成形過程分析計算密切相關。

電磁脈衝銲接(MPW)是利用線圈產生一極高速的脈衝磁力，作用於工件上使其達到銲接或結合之目的，其原理非常相似於爆炸銲接；而爆炸銲接(EXW)係利用炸藥所產生之爆炸力，以高速之震波衝擊工件本身，使其該物體得以進行結合或成形。前者藉由控制系統所產生之脈衝磁力大小，施於工件上使其變形，後者則是計算炸藥之劑量，使其產生之爆炸力，而施加於工件上達成所需之目標。圖二為爆炸銲接與電磁脈衝銲接之比較。

當進行兩管件之銲接或結合時，利用集磁器(Shaper)將線圈(Coil)所產生之強大磁力聚集於一小



圖二 爆炸銲接及電磁脈衝銲接之比較

區域內，而該區域則是兩管件欲進行銲接之重疊區域。將大面積所產生之磁力能量，注入於小區域的銲接範圍內，使其轉變為高能量之磁力作用場，因而將兩管件銲接或結合起來，如圖三中所示。欲進行電磁脈衝銲接之工件，可為同質材料，亦可為異種材料。而此製程之最大優勢，則為可進行異種材料之接合，如此便能突破傳統電弧銲接無法進行異材接合之限制。

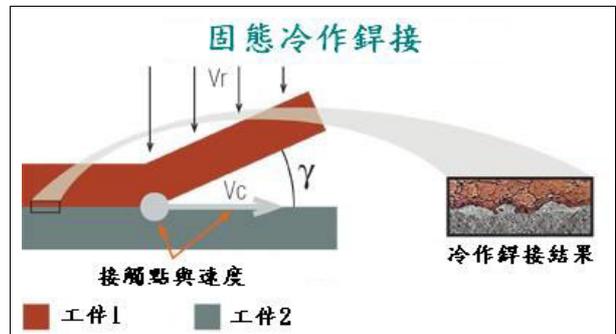
由理論探討可知(由 Pulsar 所提供之技術資料)，當兩材料結合點之銲接速度介於  $2.0\text{km/s} \leq V_c \leq 2.3\text{km/s}$ 、結合點處之銲接夾角  $\gamma$  介於  $9^\circ \leq \gamma \leq 12^\circ$ ，其所產生之強大電磁脈衝作用力便能將兩材料相

互銲接，如圖四中所示。除上述條件外，其餘的條件僅能達到緊密接合(crimping)，而無法達到銲接效果。

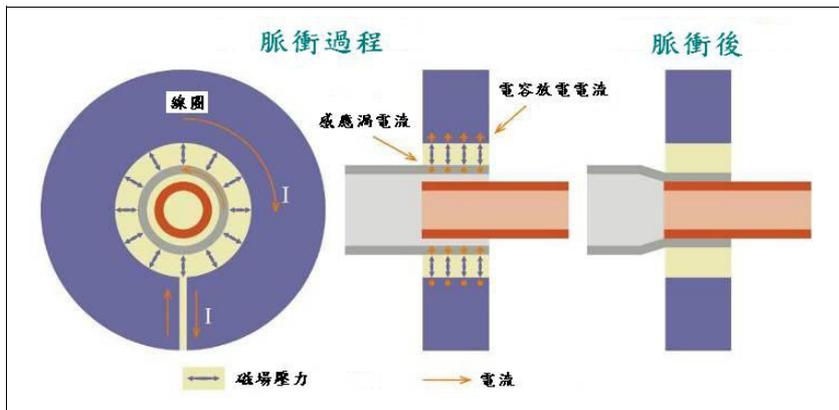
觀察二工件之銲接介面處，可發現其接合面是以一類似震波傳遞方式進行銲接，且其波形傳遞之速度亦非常地快，是以一冷作銲接方式作接合，如圖五中所示。

電磁脈衝銲接(MPW)製程是屬於固相接合製程，相較於一般傳統電弧銲接(SMAW、GMAW、GTAW、PAW)及高能量密度熔銲(LBW 及 EBW)的熔融接合有很大的差異，因 MPW 是固相機械接合，所以沒有銲接冶金及可銲性的材料問題。因此電磁脈衝銲接製程具有以下的優點：

1. 不須銲條、不須保護氣體。
2. 銲接入熱量很低，類似於爆炸銲接。
3. 適合於異種金屬材質接合，銲道強度高於較弱的母材。



圖四 銲接速度及銲接夾角示意圖



圖三 電磁脈衝銲接製程示意圖



更完整的內容

請參考【機械工業雜誌】321期・98年12月號

每期220元・一年12期2200元

劃撥帳號：07188562 工業技術研究院機械所

訂書專線：03-591-9342

傳真訂購：03-582-2011