

## 第五章 討論

### 5-1 顯微組織及微硬度變化

點銲過程中，由於電阻熱使得試片接合面上產生熔融現象，銲件接合面上熔融狀態經過了孕核期、快速成長期及成長穩定期，最後銲核會成長完成。凝固後在熔融部位形成等軸晶和柱狀晶的重熔凝固組織。因電極帽、冷卻水和母材迅速帶走熔接熱，所以在銲核區外層形成柱狀晶，而中心部位的等軸晶則是因熱散失較慢所形成。因純鋁沒有明顯的固液共存區，故在金相圖上幾乎看不到部份熔融區，而熱影響區部分則呈現晶粒粗大現象。因鋁合金 1050-O 散熱性非常好，故銲核區的微觀組織大多為柱狀晶，而熱影響區上晶粒粗大的現象也分佈比較廣。且在銲核區域附近的微硬度值會因製程參數的不同而有所變化。

#### 一、通電時間對微硬度的影響

由實驗結果 4-1 得知，微硬度隨著通電時間增加而下降。原因是因為熱量的發展模式為  $Q=I^2RT$  (I：熔接電流，R：板材電阻，T：通電時間)，由於通電時間的增加，接合面上的熔接熱量也增加，因而對銲核附近的組織產生退火現象，消除了點銲件銲核附近區域的殘留應力，而減少了銲點的硬度。

## 二、電極加壓力對微硬度的影響

由實驗結果 4-1 得知，微硬度隨著電極加壓力增加而增加。主要原因電極加壓力加大時，板材間的電阻值降低，而使得接合面上的熔接熱大量減少，鐳核附近區域所產生類似退火的現象相對減緩。

## 三、熔接電流對微硬度的影響

由實驗結果 4-1 得知，微硬度隨著熔接電流增加而下降。原因是熔接電流增加，在鐳核附近區域產生大量的熔接熱，消除了鐳件上的殘留應力。

## 5-2 製程參數對鐳核尺寸的影響

由實驗結果 4-3 中，通電時間與鐳核尺寸之間的關係可得知，適當的通電時間可使得鐳核穩定成長，鐳核尺寸在通電時間 5cycles 至 7cycles 間，成長速度較快，屬於快速成長期，這個時期內的成長情形決定了鐳核的形狀。而在通電時間到 10cycles 時，鐳核已成長到極限。若通電時間再持續加長，鐳核厚度會因板厚上的限制而無法再成長。

由實驗結果 4-3 中，電極加壓力與鐳核尺寸之間的關係可得知，在不同通電時間內，電極加壓力 60kgf 和 100kgf 的鐳核尺寸最

為適當，皆在理想鐸核尺寸的範圍內。電極加壓力的大小適當能使得鐸核穩定成長，但如果電極加壓力過大，則會造成鐸件表面的凹痕過大，會阻礙鐸核在厚度方向上的成長。同時也會造成板材翹曲，而使得鐸核直徑無法向外延伸。

由實驗結果 4-3 中，熔接電流與鐸核尺寸之間的關係可得知，在適當的鐸接條件下，鐸核尺寸會隨著熔接電流的增加而增加。熔接電流的大小直接影響了接合面上的電阻熱及鐸核的成長情形，且因為鋁合金的高散熱性及高傳導性，使得熔接電流大於一般鋼材點鐸的熔接電流。本研究所使用實驗試片的最大板厚為 1.2mm，如欲增加板厚來進行點鐸時，熔接電流勢必要再往上增加，且通電時間要加長，才能有足夠電阻熱來熔融接合面。因此，在進行大板厚材料電阻點鐸時，熔接電流的大小是必須要慎重考量的。

## 一、臨界電極加壓力對鐸核厚度的影響

由圖 4-17(a)顯示，在電極加壓力 60kgf，不同熔接電流條件下，鐸核厚度隨通電時間變化之情形。可看出鐸核厚度的曲線有較大變動。可能的原因為電極加壓接近臨界最小值，加壓力較不穩定，且鐸核厚度的成長方向與電極加壓力施力方向相反，故可能造成厚度成長曲線呈現不穩定的變動。

## 二、板材厚度對通電時間的影響

由實驗結果 4-3 中，板材與通電時間之關係可得知，通電時間隨著板材厚度增加而增加。可能原因為板材厚度愈厚，材料電阻值愈高，散熱現象愈緩慢，必須有足夠的通電時間，使熱能傳至表面，讓電極帽和冷卻水帶走熱量。

### 5-3 點銲件破壞模式探討<sup>[7,49]</sup>

為了說明銲件受拉剪力破壞後之破壞模式，可由圖 5-1 鋁合金 1050 點銲件破壞型式示意圖得知，銲件的主要破壞型式有兩種，一為圖 5-1(a) Shear failure 所示。另一為圖 5-2(b) Button failure 所示。兩者的破壞點起源可能皆為熱影響區，破壞裂紋的成長方向會依銲件內部的應力分佈情形而定。以下就點銲件內部應力的分佈情形來分析探討點銲件可能發生的破壞模式。

由實驗結果 4-4 中，製程參數與拉剪強度間之關係可得知，當通電時間過短時，銲件受力破壞的型式大多為剪力破壞。可能原因為通電時間過短，銲核成長的時間不夠，所形成的銲核較小。而使得銲核外圍邊界至板材表面的距離變大，此時單片板材所承受之拉應力增加到某一程度會高於銲核之內部強度，而由銲核內部產生破壞；點銲件受拉剪力之應力分佈情形，如圖 5-2(a) 所示。另外，在板材搭疊邊緣處會產生的應力集中現象，而可能為圖 5-2(b) 拉剪應

力與應力集中所示。且由圖 5-2(c)鐸核附近區域微硬度分佈示意圖得知，熱影響區的微硬度值最低。綜合上述可得，裂紋的成長方向由熱影響區(裂紋起始處)往鐸核內部(熔融區)方向延伸，當鐸件持續受力，裂紋繼續成長且通過熔融區，進而產生界面破壞，此即為 Shear failure。

而當通電時間較長時，鐸件受力破壞的型式大多為鈕扣型破壞。可能原因為通電時間長，兩板材接合面上的熔接熱過多，由於電極帽及母材本身來不及帶走多餘的熱量，因而產生較大的鐸核。鐸核較大時，使得鐸核外圍邊界至板材表面的距離變小，此時單片板材所能承受之拉應力小於鐸核的內部強度，加上板材搭疊處所產生的應力集中，又熱影響區(裂紋起始處)的微硬度最低。綜合上述可得，裂紋會朝著板材表面方向移動，最後在板材表面產生破壞，此即為 Button failure。

影響鐸件破壞型式的原因，除了上述的通電時間外，電極加壓力及熔接電流等也是可能的原因之一。例如，當電極加壓力過大時，會使得熔融區無法擴張，鐸核難以成長，最後形成過小的鐸核。且在點鐸件受拉剪力作用時，可能會因鐸核過小而產生剪力破壞。又當熔接電流過大時，會因熔接熱過多而產生較大鐸核。且在點鐸件受拉剪力作用時，點鐸件可能會因鐸核過大而產生鈕扣型破壞。

因此本研究的三種製程參數皆有可能影響點銲件的破壞模式。

#### 5-4 製程參數與拉剪強度之韋伯解析探討

最佳製程參數的決定，必須先經由拉剪強度來取出最佳製程參數可能分佈的範圍，再經由金相顯微組織觀察銲核大小來進一步確認最佳製程參數的落點，最後再經由韋伯解析所測預的最小壽命來決定相對最佳製程參數。故決定最佳製程參數的三大指標，分別為拉剪強度值、銲核尺寸及韋伯解析之最小壽命。

##### 一、不同通電時間之拉剪強度最小壽命

由韋伯分析結果可知通電時間在 7cycles 和 16cycles 時，最小壽命均很低(小於 6kgf)，即表示銲件開始受拉剪力試驗之初，銲件即有受拉剪力破壞的可能，銲件穩定性不高，且由各通電時間的最小壽命可得知，在理想點銲接條件下，通電時間增加，拉剪強度的最小壽命有降低的趨勢。原因為通電時間過長(16cycles)，搭接板材接合面上的熔接熱有足夠的時間透過板材本身和電極帽做熱傳導，使得用來形成理想銲核的熔接熱變少，最後產生不良的銲核。經拉剪試驗結果顯示，通電時間 16cycles 的銲件，其拉剪強度值的分佈較為分散，而所能預測到的最小壽命也較低。且通電時間過短(7cycles)的銲件，也會產生過小的銲核，銲件的拉剪強度分佈也較

分散，因此所得的最小壽命也較低。

拉剪強度在不同通電時間的韋伯分析結果說明了當通電時間過低或過高時，會影響到銲核的成長，使得拉剪強度的可靠度降低，且最小壽命也相對變小。

## 二、不同電極加壓力之拉剪強度最小壽命

在考慮位置參數的情況下，電極加壓力 100kgf 的最小壽命 84kgf，為四者中最高的。且表特徵壽命的尺度參數為 10，為四者中最小的。由於在最小壽命的前提下，電極加壓力為變數的拉剪強度失效時間會變短，能更準確預測材料受拉剪力可能破壞的範圍，而在這材料接近破壞的時間裏，拉剪強度間的變動會變大，銲點的拉剪強度處於不穩定狀態，因此產生了相當高的故障率，而造成  $m$  值變小，由原本的  $m=32.1$  變成  $m=2.55$ 。而就電極加壓力 190kgf 而言，在尚未考慮最小壽命時的  $m$  值為 7.6，而預測最小壽命後的  $m$  值為 7.02，其間  $m$  值的變化很小。原因為電極加壓力 190kgf 非製程相對最佳條件，因此所能預測的最小壽命很小(6kgf)，故兩者韋伯模數之間的變化不大。

以上結果說明了，電極加壓力 100kgf 的最小壽命為 84kgf，遠較其他三者來得高，且失效時間分佈較短。因此是四者電極加壓力中，最能有效預測材料失效的製程參數值。當在理想銲接條件下，

電極加壓力逐漸增加時，最小壽命有愈來愈小的趨勢。原因是電極加壓過大，易使鐳核成長受限，影響鐳件拉剪強度值，使得拉剪強度變動較大，最小壽命相對變低，需加大通電時間或減低電極加壓力，以增加其可靠度。



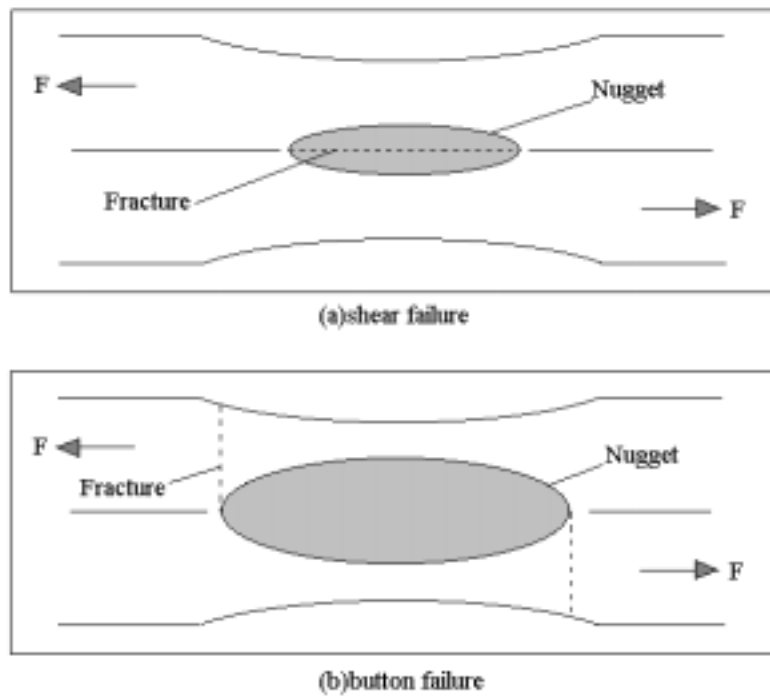


圖 5-1 鋁合金 1050 點銲件破壞型式示意圖

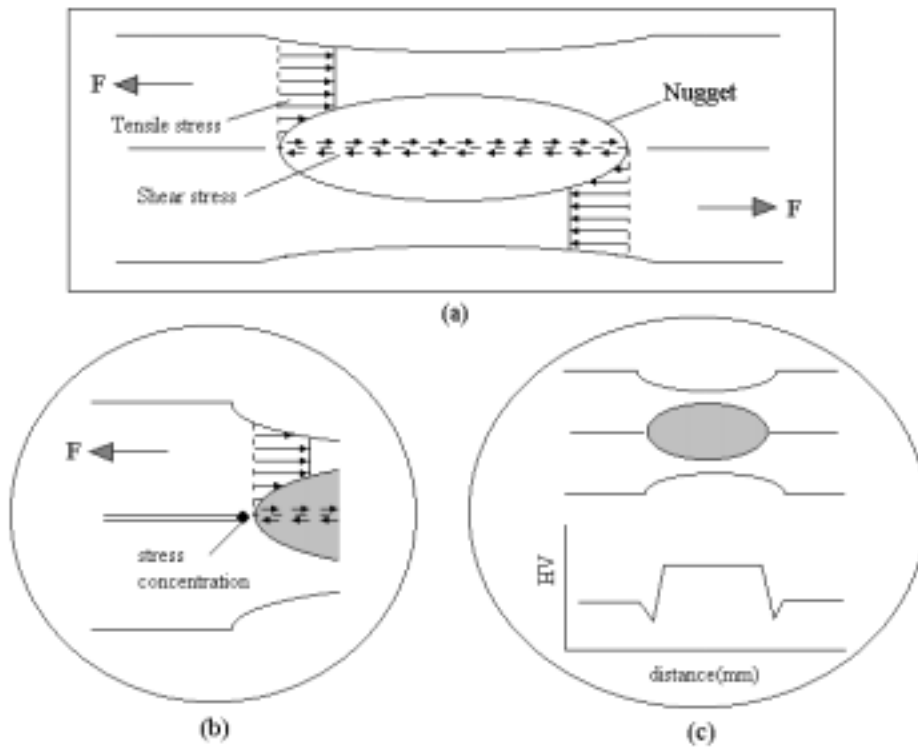


圖 5-2 鋁合金 1050 點銲件受拉剪力破壞之應力分佈圖  
 (a)點銲件受力時，銲件內部應力的分佈情況(b)拉剪應力與應力集中(c)銲核附近區域微硬度分佈示意圖