

## 車輛煞車碟片熱固耦合與疲勞分析

李聲昀<sup>1</sup>, 謝寶賢<sup>1</sup>, 徐穎成<sup>2</sup>

1. 金屬工業研究發展中心

2. 瑞其科技有限公司

### 摘要

本文主要討論煞車碟片在煞車時，因其所受到的煞車負載，而產生的疲勞壽命問題，在煞車時，除了夾持力之外，也會因為摩擦的因素造成溫度上升的現象，故在分析時必須考慮熱固耦合分析，以計算因溫度上升以及熱膨脹，所造成的材料性質變化與熱應力，而疲勞壽命的結果除了受到夾持應力與熱應力的影響之外，因為溫度上升所造成的材料強度下降，也會重大的影響疲勞壽命，所以包含溫度變化的材料系數就非常重要，必須輸入到軟體中，才能較精確地預估疲勞壽命，本文使用Abaqus先求得結構的應力與溫度分布，再將計算完的odb檔導入Fe-safe中，以計算疲勞壽命的分布。

**關鍵字：**煞車碟片、熱應力、疲勞壽命、有限元素法

### 一、緒論

在不斷追求動力提昇的當下，對於煞車系統的強化也是相對重要的課題，加速愈快的車，減速也需愈敏捷，如此才能確保人車高速奔馳時的安全。車系統中煞車背板經常處於熱及壓力反覆作用狀態下，造成煞車背板因熱疲勞而產生面扭曲、波浪須經常更換，造成成本上升，嚴重者乘客的安全性也有可能受威脅。本研究利用電腦模擬分析與實際狀態比對獲得接近的分析模型，利用此模型替換不同材料以減少熱疲勞發生，增加煞車背板使用壽命。

## 二、熱固耦合分析

### 2.1 有限元素模型

煞車碟片的模型主要分三個部分，煞車背板、活塞板與來令片組如圖 1，其中煞車背板與活塞板，由於厚度較薄，以殼元素(S4R)來模擬，而來令片組則是用剛體平板來簡化，但是在分析過程中的接觸對，需要考慮到厚度，因此來令片依然使用一般的殼元素 S4R 來模擬，但對此部件施加剛體拘束(Rigid Body Constraint)，組合件的有限元素模型如圖 2。

### 2.2 邊界條件設定

在位移邊界條件的部分，由於煞車背板在定位孔處，有定位銷固定其部分的活動自由度，煞車背板只能朝厚度方向(Y 方向)移動，而不能左右移動(X、Z 方向)，為了

模擬此定位銷的自由度限制，在煞車背板上的定位孔處的節點上，施加 X、Z 方向自由度拘束，來令片組由於為剛體，在其參考點上施加全部自由度拘束。

在施力條件的部分，活塞會出力推動活塞板，使活塞板向前(-Y 方向)擠壓煞車背板，故在活塞板上施加均部壓力 9.32 MPa，以模擬活塞出力推動的狀況，本文假設煞車背板因摩擦，已經進入了高溫的狀態，故設定溫度為均佈的高溫，其值為攝氏 525 度。

模型中各部件的關係為接觸對，包括活塞板與煞車背板，以及煞車背板與來令片，均設定接觸對，總共有兩對接觸對，邊界條件與接觸設定分別如圖 3 與圖 4。

### 2.3 熱固耦合分析結果

由圖 5 可知，煞車背板的等效應力分布，在拘束端與幾何轉角處會有明顯的應力集中現象，應力最大值出現在幾何轉角處，其值為 301.5 MPa，已經有部分結構進入降伏狀態，具有局部的塑性變型。

由圖 6 可知，煞車背板的溫度分布，由於邊界條件的設定，故煞車背板的溫度為均佈的攝氏 525 度。

## 三、疲勞壽命分析

### 3.1 疲勞分析設定

在 Fe-safe 中的考慮溫度變化的疲勞分析設定方法，大致上與常溫狀態下的設定方法一致，但如果要考慮溫度的影響，必須

在材料參數的設定上，必須設定在不同溫度下的 SN 曲線範圍如圖 7 與圖 8，在分析的過程中 Fe-safe 會自動考量元素的溫度，並以歷程中溫度最高的狀態來計算，而不同的溫度又對應不同的 SN 資料，故便能計算出受溫度影響的疲勞壽命。

由煞車背板的等效應力分布可知，有部分結構進入降伏狀態，且在受力與溫度變化的過程中，可能會有多軸應力的影響，因此選用應變疲勞法中，考慮多軸疲勞的演算法 BrownMiller 方法來解析問題，同時由於模型中應力最高的地方為幾何轉角處，即使有限元素模型有建立圓角，為了保守分析的考量，使用了 1.2 的應力集中因子作為應力的修正與加嚴，分析設定如圖 9

### 3.2 疲勞分析結果

由圖 10 可知，疲勞壽命的分布，在應力集中處，會有較低的疲勞壽命，去除掉約束端的結果，壽命最低的位置與應力最高值的位置相符，出現在幾何轉角處，其值約為 80 萬次。

## 四、結論

本文以熱固耦合結合疲勞分析技術，求解結構的熱疲勞問題，目前的 CAE 軟體技術，特別是 Abaqus 與 Fe-safe，不論是在多物理場耦合或是疲勞分析技術上，已經十分成熟，對於疲勞問題的分析，不再侷限於常溫下的問題，故對於此類型的多物理場所衍生的疲勞問題，能使用模擬的方式，預估其疲勞壽命，大大降低了研發的成本，對於提升產品的品質，提供了更容易且更有效率的解決方案。

## 五、圖片

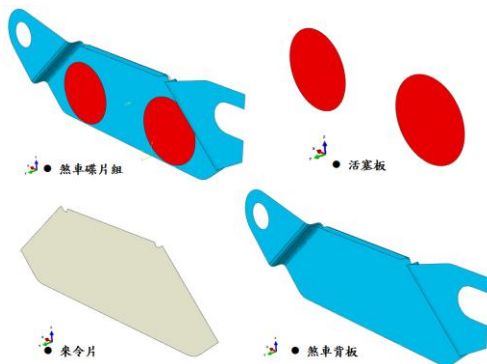


圖 1 煞車碟片各部件示意圖

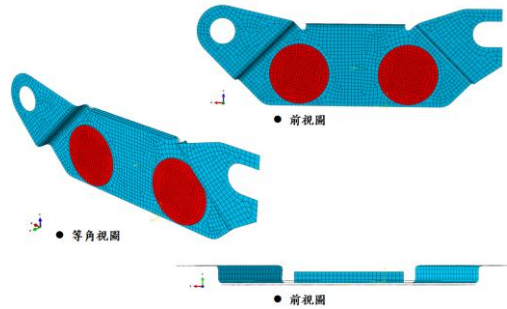


圖 2 煞車碟片有限元素模型

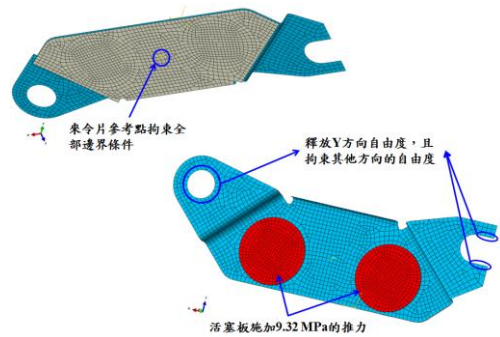


圖 3 分析邊界條件

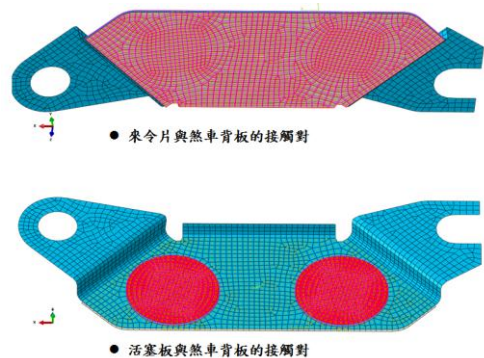


圖 4 接觸對設定

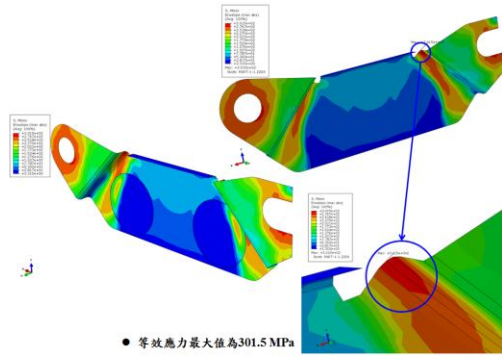


圖 5 等效應力分布

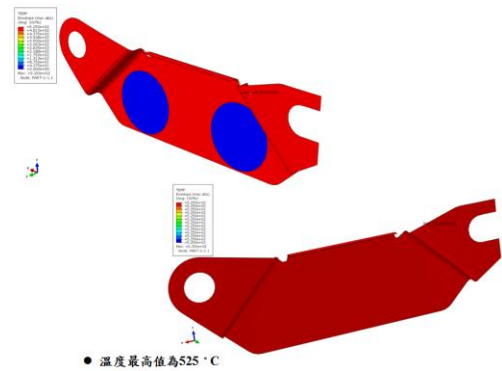


圖 6 溫度分布

Analysis Settings		Loading Settings			
Group Parameters					
Manage Groups...					
	Subgroup	Surface Finish	Material	Algorithm	In-plane
PART-1-1_PAD_1_MESH	Surface	Kt 1.2	SS400-Temp	BrownMiller-Morrow	
PART-1-1_PAD_2_MESH	Surface	Kt 1.2	SS400-Temp	BrownMiller-Morrow	
PART-1-1_PLATE_MESH	Surface	Kt 1.2	SS400-Temp	BrownMiller-Morrow	
PART-1-1_SURFACE_MESH **	Surface			Do not analyse	
Default	Surface	Kt 1.2	SS400-Temp	BrownMiller-Morrow	

圖 9 求解方式設定

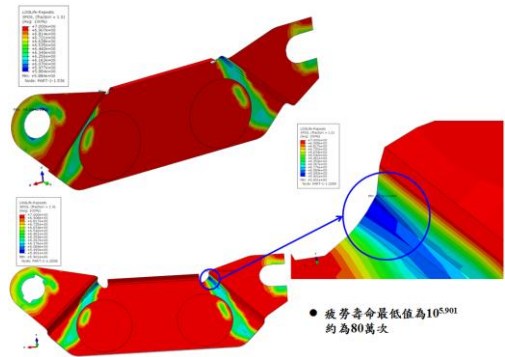


圖 10 疲勞壽命分布

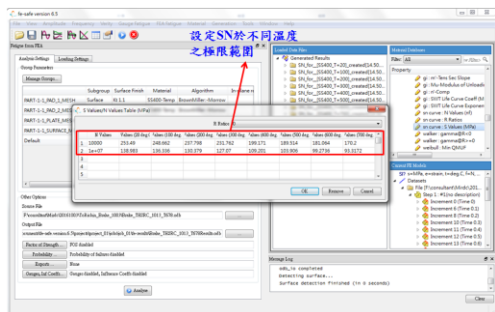


圖 7 設定 SN 於不同溫度之極限範圍

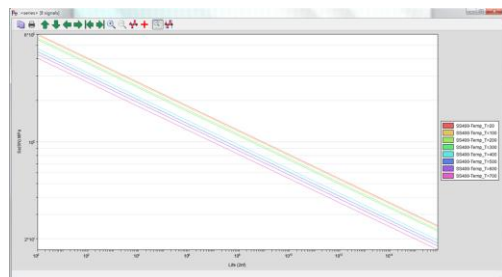


圖 8 各溫度範圍之 SN 曲線