

## 汽車鋁圈疲勞最佳化分析

林育正, 陳奇劭

1. 某大輪圈廠
2. 瑞其科技有限公司

### 摘要

汽車輪圈通常使用重量較輕之鋁材, 但鋁材的強度以及疲勞壽命通常較鋼材低而市售鋁圈的造型往往又非常的多樣化, 這些都增加了結構上設計的難度。本文第一個部分先進行原始設計以及背面掏空之鋁圈間的比較。然而背面掏空之鋁圈其壽命只為 131 次, 不足法規之最低需求。由於疲勞壽命的不足, 遂藉由 TOSCA 進行拓樸最佳化的分析並成功的提升疲勞壽命至 363 萬次且同時降低整體重量 7.5%。第二個部分則進一步藉由 ISIGHT 結合 HyperMesh 之 Morph 功能進行形貌最佳化的設計, 再次將疲勞壽命提升到近千萬次的等級同時整體輕量化仍然維持約 7% 的水準。

**關鍵字:** 汽車鋁圈、疲勞分析、最佳化分析、拓樸最佳化、形貌最佳化

### 一、緒論

自 19 世紀末第一台內燃機汽車被發明以來, 汽車工業就一直被視為是工業發展的一大指標。隨著汽車工業技術的進步, 汽車輪圈無論是在結構的強度、疲勞壽命、甚至噪音的降低以及外型的设计上都有很大的演進。輕量化的發展無論是對能源的節省或者是對整體性能的提升更是現今設計的一大重點。使用鋁圈, 因為相對低的質量密度使相同體積下的輕量化可以實現, 但是對於進一步的掏料來降低整體質量往往對於結構的強度與壽命又是一大考驗。

### 二、原始模型分析

#### 2.1 原始模型與分析結果

原始鋁圈模型如圖 1, 其邊緣受夾持固定, 並施加力矩模擬轉向時之負載, 其中力矩需依照輪圈軸對稱的模式因此有三個方向。原始鋁圈模型分析應力雲圖如圖 2, 其最大應力為 76.0MPa, 由 Fe-safe 計算之疲勞壽命結果已超過億次。

#### 2.2 背面掏空模型與分析結果

在初始輕量化的設計上, 鋁圈正面因為外觀的問題不能變動, 而將背面的材料掏空。背面掏空的鋁圈模型如圖 3, 其應力分析結果如圖 4, 最大應力為 298.4MPa, 壽命只有 131 次左右, 如圖 5, 這樣的疲勞壽命遠低於法規需求, 勢必再經過改良。

### 三、TOSCA 拓樸最佳化設計

#### 3.1 拓樸最佳化之要求與限制

鋁圈拓樸最佳化之設定如下:

1. 最佳化範圍-鋁圈背面要掏空的部分。
2. 拘束條件-受彎矩負載之應力結果應小於 120MPa。
3. 目標條件-質量最小化
4. 製造工藝條件-除了正面造型不能變動以外, 每根肋條的外型必須是軸對稱的此外拔模方向也需要指定。

#### 3.2 拓樸最佳化設計之結果

拓樸最佳化鋁圈設計之應力雲圖如圖 6, 其最大應力為 107.0MPa, 由 Fe-safe 計算之疲勞壽命結果為 363 萬次, 如圖 7。此外 TOSCA 最佳化設計之輕量化減少了 1.15kg 為原始設計總重之 7.5%。

### 四、ISIGHT 形貌最佳化設計

#### 4.1 形貌最佳化之建立

形貌最佳化是藉由 ISIGHT 的最佳化運算引擎結合 HyperMesh 的變形(Morph)工具來實現。將已拓樸最佳化設計之鋁圈切割成為多個區間, 如圖 8。在設定這些區間變形之模式, 最後藉由 ISIGHT 的最佳化運算能力找出最佳的形狀結果。ISIGHT 的最佳化需求為重量最小化且壽命必須高於 500 萬次。

### 4.2 形貌最佳化設計之結果

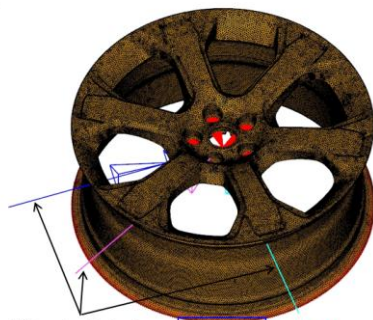
形貌最佳化後之鋁圈，其應力雲圖如圖 9，最大應力為 95.0MPa，Fe-safe 之疲勞分析結果如圖 10，壽命為 964 萬次，減輕重量達原始設計重量的 6.8%。

### 五、結論

TOSCA 拓樸最佳化可考慮對稱性與製程可行性，能很有效率地找出最佳的掏料設計，結合 Fe-safe 後能輕易地設計出通過彎矩疲勞法規之需求，其疲勞壽命從初始設計之 121 次提升到 363 萬次同時減少了 7.5% 的重量。在拓樸最佳化之基礎下，再實行 ISIGHT 的形貌最佳化，可進一步的提升成果。在本研究中，形貌最佳化設計之結果能夠使疲勞壽命達到驚人的千萬次等級，且輕量化仍然維持在近 7% 之水準。

對於不同的零件設計皆可依此設計之流程，先以 TOSCA 設計出主要的結構形狀再藉由 ISIGHT 進一步的提升整個產品的疲勞壽命。

### 六、圖片



彎矩疲勞受力：  
4105 N-M  
施加各方向以模擬循環負載

圖 1 原始鋁圈模型

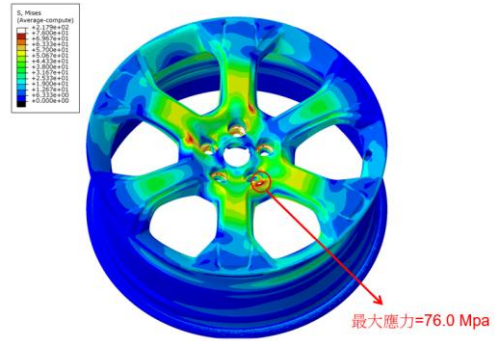


圖 2 原始鋁圈模型之應力雲圖



圖 3 背面掏空之鋁圈模型

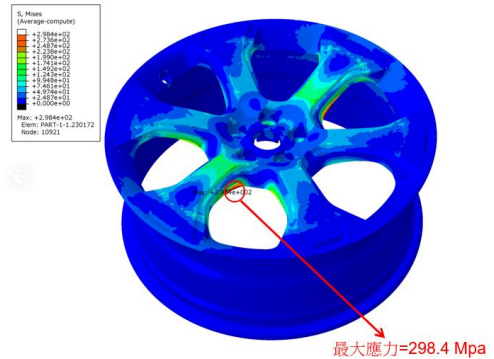


圖 4 背面掏空鋁圈之應力雲圖

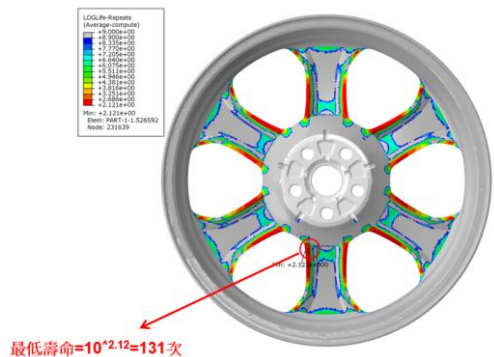


圖 5 背面掏空鋁圈之疲勞壽命

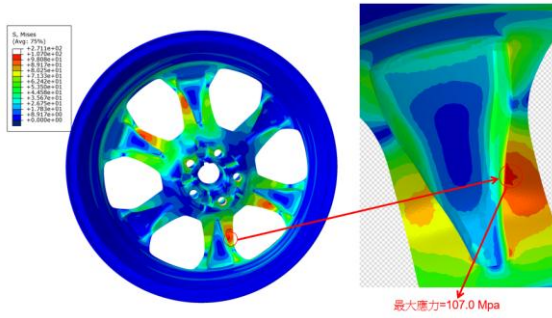


圖 6 拓樸最佳化設計之應力雲圖



圖 9 形貌最佳化設計之應力雲圖

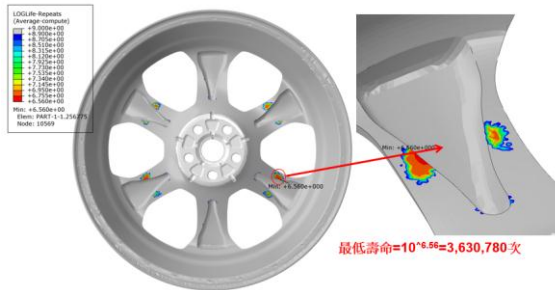


圖 7 拓樸最佳化設計之疲勞壽命

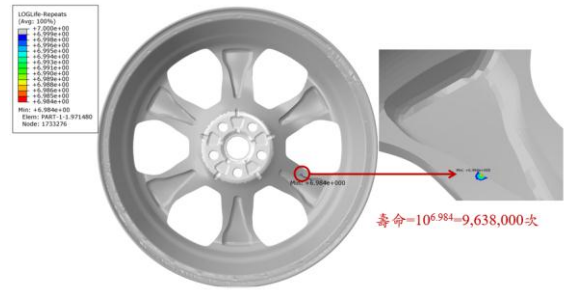


圖 10 形貌最佳化設計之疲勞壽命

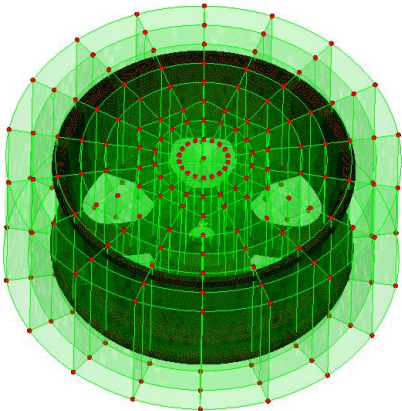


圖 8 形貌最佳化設計之變形空間切割