

## 固定式局部義齒界面形狀優化

江建翰<sup>1</sup> Chien-Han Chang, 林啟倫<sup>1</sup> Chi-Lun Lin, 陳永崇<sup>2</sup> Yung-Chung Chen

<sup>1</sup>國立成功大學機械工程所 Dept. of Mechanical Engineering, National Cheng-Kung University

<sup>2</sup>國立成功大學口腔醫學科暨研究所 Institute of Oral Medicine, National Cheng-Kung University

### 摘要

全陶瓷材料取代金屬陶瓷用於局部義齒已有數十年時間，臨床上常以氧化鋁材料作為義齒的支架而燒附陶瓷於其上作為美觀之用，儘管氧化鋁擁有絕佳的機械性質以及生物相容性，但是在近幾年的臨床試驗中卻發現，燒附在外面的陶瓷層脆裂的機率極高，從材料的特性觀點來看，因為氧化鋁的熱傳導率遠低於金屬，因此在燒附的過程中，結構內外的溫度梯度導致殘留應力而使材料結構產生缺陷。

本研究透過結構優化演算法，針對不同材料的交界面範圍進行幾何形狀的設計，透過不同材料的指派，逐步地降低交界面周圍的最大主應力值。由模擬的結果顯示，透過此優化法不僅可降低傳統牙橋在製造過程中應力集中的問題，並且整體的最大主應力值也有下降，期望此優化法可提供局部義齒另一個設計的方向。

**關鍵字：**全陶瓷材料、交界面、最大主應力、有限元素法、結構優化法

### ABSTRACT

All-ceramic dental prostheses have gradually taken over the use of traditional metal-ceramic ones during the last few decades. Clinically, the substructure of the fixed dental prosthesis is made by zirconia material and is covered by veneering porcelain for esthetics. Although zirconia owns excellent mechanical property and biocompatibility, recent clinical trials reported that high chipping rate appeared in veneered porcelain layers. The temperature gradient in the material caused by the poor thermal conductivity of the zirconia may promote residual stress within dentures' structure and consequently develop flaws in its fabrication process.

The structural optimization was used to design the geometry at the material interfaces. The optimization algorithm iteratively reduced the interface stress by reassigning materials in the structure. The results showed that not only the stress concentration of optimized design was reduced but also the maximum principal stress was decreased during the fabrication process. The optimization protocol presented in this study shows the potential to help clinicians when designing porcelain-fused-to-zirconia fixed partial denture.

**Keywords:** all-ceramic material, interfaces, maximum principal stress, finite element method, structural optimization method

### 一、緒論

全陶瓷材料使用於固定式局部義齒已有數十年時間，儘管氧化鋁擁有極佳的斷裂強度和破壞韌性[1]，但是在近幾年的臨床試驗上，全陶瓷局部義齒的碎裂率卻反而比金屬局部義齒還要來的高[2, 3]。

就材料的物理性質而言，氧化鋁材料的熱傳導係數比金屬材料要低許多[4]，導致氧化鋁內心和外層燒附陶瓷層在製造過程降溫時引起的內外溫度差異，容易於幾何

較尖銳的部位產生應力集中導致裂紋產生[5]，因而在材料交界處產生缺陷，雖然不會即時的對局部義齒造成致命的影響，但是隨著使用時間的增加，表面的缺陷會逐漸地降低局部義齒的壽命。

本研究以結構優化法針對氧化鋁和陶瓷材料交界面範圍進行幾何形狀優化，以降低製造過程降溫時，溫度梯度所引起在局部義齒上產生的應力集中問題。

## 二、材料與方法

### 2.1 有限元素局部義齒模型

本研究採用三單位式固定式局部義齒橫截面為幾何模型如下圖 1，接著使用 Hypermesh 進行劃分，採用 0.15mm 大小的三角形網格，共產出 44115 個元素，最後匯入 ABAQUS 6.14 軟體進行有限元素分析模擬，並配合 Python 腳本進行結構優化。

材料設定上，採用非線性的材料係數模擬不同溫度時不同的熱材料參數，邊界條件設定為初始時局部義齒不受到任何的約束限制，在降溫過程中自由的膨脹收縮。

### 2.2 結構優化法

本研究以結構優化演算法進行材料介面層的形狀優化，採用雙向結構最佳化演算法 (Bi-directional Evolutionary Structural Optimization)，此優化法允許設計空間中的材料進行增減，透過有限元素邊界連續性的特點，將設計空間限縮到不同材料的邊界上，每次迭代時僅會針對不同材料交界的元素進行材料的置換。

本優化程式定義了三個參數，分別是置換比、濾波半徑值、係數值。濾波半徑的功用為，因為交界面僅包含不同材料的交界元素，為了增加設計的變化性，因此透過給定一個半徑，增加優化的設計空間，而置換比則是用來決定每次迭代過程，設計空間內不同材料所佔有的比例，而係數值則用以調整權重函數對於目標元素影響力的大小。

本優化的目標函數為降低局部義齒加工時因為溫度梯度產生的殘留應力值，優化程式會透過提取有限元素分析結果檔中各元素的最大主應力值，透過權重函數計算，將設計空間內的元素進行排序並進行材料的指派，當模型的近五次總應變能和前五次的總應變能小於 0.1% 則判斷程式收斂，優化即完成，優化流程如圖 2 所示。

## 三、結果與討論

### 3.1 不同濾波半徑值優化的結果

越大的濾波半徑代表設計區間內所考慮的元素越多，在相同的係數值下半徑值越大，個別的元素權重會被過濾得更為平均，由下表 1 的結果能證明此現象，越大的濾波半徑其散熱鰭片式的分支長得越少，整體結

果也較為光滑，而由於靠近咬合面處的材料交界面的幾何形狀曲率變化極大的關係，在此處的殘留應力即使經過權重函數的濾波作用，各元素權重的影響差異仍然不大，因此形狀仍跟濾波半徑小的時候一樣。

### 3.2 不同濾波半徑對殘留應力的結果

由下圖 3、4、5 比較傳統局部義齒和優化過後的殘留應力結果發現，濾波半徑雖然會影響最終收斂的形狀，不過對於最大主應力值的影響不大，但是針對傳統局部義齒陶瓷層和氧化鋁層最大主應力值均有下降的趨勢，針對不同的半徑值其陶瓷層下降率分別為半徑 0.3 下降 6.7%、0.5 下降 37%、0.8 下降 19.4% 以及半徑 1 下降 21.7%，而氧化鋁層則分別為半徑 0.3 下降 18.89%、半徑 0.5 下降 24.02%、半徑 0.8 下降 15.87% 以及半徑 1 下降 21.91%。

雖然不同濾波半徑值的最大主應力值組別在優化過後均有下降的趨勢，但是在實際臨床使用上仍需考慮加工是否容易，因此在考慮半徑參數上以越大的半徑為主要考量，但是過大的濾波半徑對於複雜三維的幾何會造成計算成本的增加(圖 6)。

### 3.3 交界面層優化結果

本研究優化目標以降低氧化鋁和陶瓷交界面間的元素，圖 7 的圖表僅計算出交界面中的元素的平均最大主應力正值，可看出陶瓷層交界面的平均主應力隨著不同的濾波半徑皆有下降，反觀氧化鋁層隨著濾波半徑的降低，平均最大主應力是增加的趨勢，最大的原因可從表 7 的優化結果得知，散熱鰭片式的結構會在分支的交界引起殘留應力。

## 四、結論

從有限元素分析結果可以得知，優化前優化後的組別，不管是在陶瓷層或是氧化鋁層的最大主應力峰值均有下降的趨勢，但是從交界面間的平均最大主應力來看，濾波參數應在時間成本考量下盡量越大。

固定式局部義齒二維結構模擬已取得初步的成功，透過本研究的結構優化設計逐步的改善氧化鋁以及陶瓷交界面的形狀，未來將以實際固定式局部義齒模型進行優化，期望此優化法能改善目前臨床加工製造殘留應力導致缺陷的問題，提供局部義齒設

計上一個新的設計準則。

### 五、參考文獻

- [1] E. E. Daou, "The zirconia ceramic: strengths and weaknesses," The open dentistry journal, vol. 8, p. 33, 2014.
- [2] I. Sailer et al., "Prospective clinical study of zirconia posterior fixed partial dentures: 3-year follow-up," Quintessence International, vol. 37, no. 9, 2006.
- [3] M. Roediger, N. Gersdorff, A. Huels, and S. Rinke, "Prospective evaluation of zirconia posterior fixed partial dentures: four-year clinical results," International Journal of Prosthodontics, vol. 23, no. 2, 2010.
- [4] B. Henriques et al., "Influence of interlayer design on residual thermal stresses in trilayered and graded all-ceramic restorations," Mater Sci Eng C Mater Biol Appl, vol. 71, pp. 1037-1045, Feb 1 2017.
- [5] M. J. Tholey, M. V. Swain, and N. Thiel, "Thermal gradients and residual stresses in veneered Y-TZP frameworks," Dent Mater, vol. 27, no. 11, pp. 1102-10, Nov 2011.

### 六、圖片



圖 1:未優化前模型

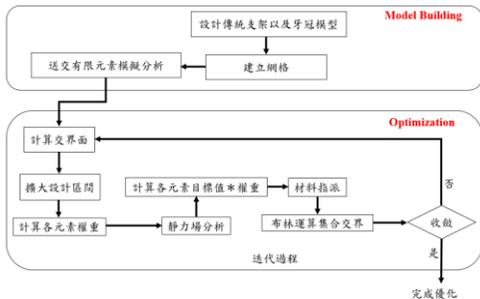


圖 2:優化程序流程圖

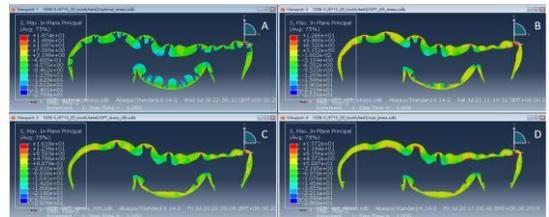


圖 3:不同半徑對陶瓷層最大主應力結果(A)半徑 0.3 (B)半徑 0.5 (C)半徑 0.8 (D)半徑 1.0

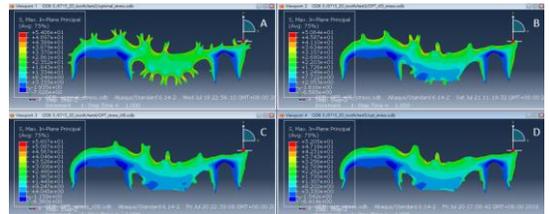


圖 4:不同半徑對氧化鋯層最大主應力結果(A)半徑 0.3 (B)半徑 0.5 (C)半徑 0.8 (D)半徑 1.0

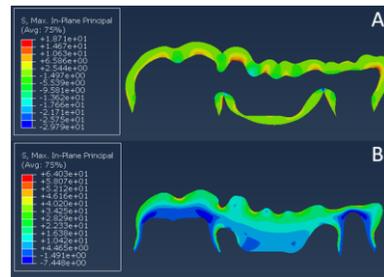


圖 5:傳統局部義齒殘留應力(A)陶瓷層(B)氧化鋯層

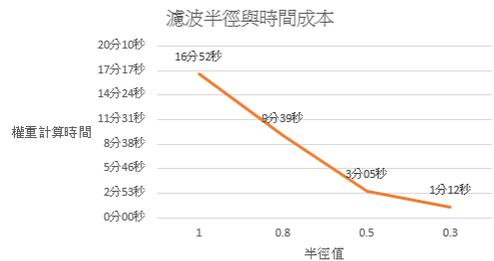


圖 6:不同濾波半徑權重計算與時間成本圖

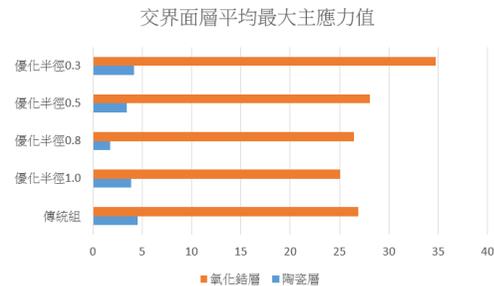


圖 7:交界面平均最大主應力圖

七、表格

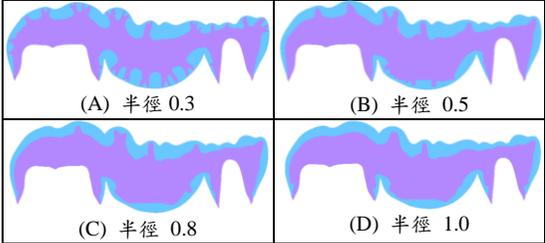


表 1:不同優化半徑差異