

模流分析與射出成型控制參數的優化

學生：羅壬成

指導教授：洪錫源

國立交通大學工學院精密與自動化工程學程 碩士班

摘 要

塑膠射出成型為產業界最主要的製造方法，過去影響塑件射出成型品質的控制參數選定與模具的設計，主要依賴經驗累積與及無數次試誤。本論文探討 CAE 模流分析的利用，以模擬及數值解析方式，配合田口實驗設計法去尋求射出成型製程條件與模具設計的優化。從塑膠射出成型件常見的缺陷、分析其成因並尋出對策。對於成型製造過程中的入料、充填、保壓、壓縮、冷卻、脫模各階段裏的控制因子及實驗參數如流道設計、塑膠材料、熔膠溫度、充填時間、充填壓力等影響，利用模流分析的方法多維考慮，在品質獲得保證的情況下，以射出成型澆注口壓力最低與產品零件翹曲、變形尺寸最小等，為評估選擇的指標。為增加優化效率，採用田口實驗設計法規劃控制因子與配置 $L8(2^7)$ 直交表來迅速求出製程條件的最優化參數組合。本論文的方法經無線通訊產品的外殼成型實例驗證，可以改進以往師徒經驗傳承及試誤的舊程序，滿足目前日新月異的工業界對產品的品質、速度、精確性的要求。

Application of CAE Analysis for Process Optimization in Injection Molding Process

Student : Roger Jen-Chang Luo

Advisors : Shane Y. Hong

**M.S. Program of Automation and Precision Engineering
College of Engineering
National Chiao Tung University**

ABSTRACT

This thesis applies Computer Aided Engineering (CAE) analysis tool and data analysis methods to simulate the injection molding process, in hope to improve the mold design and modeling process control parameters. The common defects occurred on molded plastic products were first examined, and their causes investigated, which lead to the understanding of important factors in the mold design and process parameters for control in order to ensure the product quality. The challenge of this thesis is then on how to find the best values of those design and process parameters. Taguchi experiment design method was adopted to form an L8 (2^7) orthogonal array of the control factors such as runner design, plastic material, injection time, plastic temperature, tooling temperature, and injection pressure. Injection molding analysis software was then applied to evaluate the plastic flow within the mold to ensure the molding quality. With injection pressure and warpage size of case reduction is (are) the target goal, the best design parameter set was finally determined using Taguchi principles. Using the Access Point Shell, a plastic product for wireless communication as example, this thesis demonstrates that the efficiency of the new method far exceeds the traditional try-and-error process used in current injection molding industry.

誌 謝

感謝身邊曾經鼓勵、幫助、指導我的師長、長官、朋友們，受到您們的鼓勵讓本人不敢怠惰，隨時警惕自己，一定要專心並堅持自己對學問與研究成果的追求；故所謂『天之將降大任於斯人也，必先苦其心志，勞其筋骨，空乏其身，增益其所不能也』；這就是我學習與人生努力奮鬥的座右銘。

首先，誠摯感謝我的指導教授洪錫源博士，在我於研究所求學與做論文期間，對我熱心與耐心的指導與淳淳教誨。針對論文研究問題由深入淺出與協助佐證許多相關參考、文獻資料，能夠正確的進入主題核心，導正錯誤的觀念，指導並糾正許多研究進行方向與時程進度的督導，讓本研究能夠按部就班，逐項完成本文作業的進行，並順利進行完成。在他細心指導與專業薰陶下，讓我受益匪淺，除獲得專業知識外，更加瞭解求學問與得真知的歷程與真實意義，使我得以順利完成此篇論文，再次感謝洪博士的『恩同再造』之情。

感謝我的母親及家人們的關心，隨時給我鼓勵，並讓我對家無後顧之憂，我能夠專心一致的做論文，得以全力以赴。非常感謝她們的支持與照顧，這個成果與榮耀也是屬於她們的。

還有很多同事及親朋好友，由於你（妳）們的關懷與支持，使我順利完成研究所的求學過程，實難一一列名，只能感激在心中，永遠銘記於肺腑。非常感謝陳仁浩主任、周長彬教授、徐瑞坤教授們，給予本論文的建議與指導，使本文更臻於完整，有助於爾後之研究工作，謝謝他們。

目 錄

中文摘要	I
英文摘要	II
誌謝	III
目錄	IV
圖目錄	VII
表目錄	IX
第一章 緒論	1
1.1 前言	1
1.2 文獻回顧	1
1.3 研究目的與動機	4
1.4 研究的方法	5
1.5 研究步驟	6
1.6 本文架構	6
第二章 塑膠射出成型方法與塑膠材料特性	7
2.1 塑膠射出成型的方法與原理	7
2.2 塑膠材料的基本物性	9
2.3 塑膠的成型特性—黏度	10
2.4 塑膠高分子流變學	11
2.5 塑膠射出成型之流變學探討	13
2.6 本章小結論	15
第三章 塑膠射出成型件產生翹曲、變形等缺陷	16
3.1 塑膠射出成型件常見的缺陷	16



3.2 射出成型品質缺陷的成因	17
3.3 翹曲、變形的現象	18
3.4 翹曲的原因	19
3.5 減少收縮不均（內應力）的方法	20
3.6 翹曲、變形分析	20
3.7 結語	21
第四章 射出成型條件的參數控制	22
4.1 引言	22
4.2 成型的控制參數	24
4.3 本章結語	29
第五章 CAE 模流分析技術的應用	30
5.1 引言	30
5.2 CAE 模流分析的操作步驟	30
5.3 CAE 模流分析的電腦軟體與硬體之介紹	31
5.4 CAE 模流分析的應用實例	32
5.5 初步模擬分析	44
5.6 結語	53
第六章 多維變量的射出成型製程改善	54
6.1 引言	54
6.2 田口實驗設計法的介紹	54
6.3 應用實驗設計法進行參數的優化研究	55
6.4 參數設計(Parameter design)	59
6.5 製程控制參數組別與模流分析結果	62
6.6 最終(優)製程參數與分析結果的討論	68
6.7 結語	70



第七章 結論與建議	71
7.1 結論	71
7.2 建議	72
八. 參考文獻	74



圖 目 錄

圖 2.1 射出成型機結構	8
圖 2.2 聚合物熔體的剪切黏度-應力曲線	12
圖 2.3 無限平板之剪切流動平衡	14
圖 3.1 射出成型件常見的缺陷	16
圖 3.2 翹曲變形量分析	21
圖 4.1 塑膠射出成型流程	22
圖 4.2 射出成型製程過程與射出壓力、時間的變化關係	23
圖 5.1 無線通訊產品橋接器(Access Point)外殼	32
圖 5.2 橋接器產品厚度分佈設計圖	33
圖 5.3 橋接器網格模型圖	33
圖 5.4 ABS 材料的黏度、PVT 關係、比熱、熱傳導係數特性	35
圖 5.5 用以設定射出成型加工條件的圖表	39
圖 5.6 成型模具流道設計說明	40
圖 5.7 橋接器射出成型模穴充填模擬啟動前	41
圖 5.8 橋接器模穴充填模擬至 25~30% 時	41
圖 5.9 橋接器模穴充填模擬至 40~60% 時	42
圖 5.10 橋接器模穴充填模擬至 75~80% 時	42
圖 5.11 橋接器模穴充填模擬至 90~95% 時	43
圖 5.12 橋接器模穴充填模擬即將充填完成時	43
圖 5.13 成型中熔接線的形成	44
圖 5.14 成型充填的溫度分佈：(a)中心溫度，(b)平均溫度，(c)容積溫度	45
圖 5.15 成型充填剪切率分佈	46
圖 5.16 成型充填壓力分佈	46
圖 5.17 成型充填剪切應力分佈	47
圖 5.18 保壓溫度分佈：(a)中心溫度，(b)平均溫度	47

圖 5.19 成型充填壓力分佈	48
圖 5.20 成型充填體積收縮率分佈	48
圖 5.21 成型充填冷卻水路的配置	49
圖 5.22 成型充填模溫分佈	50
圖 5.23 成型充填模溫差分佈	50
圖 5.24 成型充填 X 方向位移量分佈	51
圖 5.25 成型充填 Y 方向位移量分佈	52
圖 5.26 成型充填 Z 方向位移量分佈	52
圖 5.27 成型充填 Z 方向熱位移量分佈	53
圖 6.1 塑料充填模具流道位置設計的兩個選擇	60



表 目 錄

表 3.1 射出成型件常見的缺陷及成因	18
表 4.1 射出成型加工條件	23
表 4.2 射出成型控制參數要因分析	24
表 4.3 塑膠射出成型加工流程	25
表 6.1 初步、微調、最終製程條件量化標準	58
表 6.2 田口實驗計劃組別(L8 (2 ⁷))直交表比值	59
表 6.3 PA-757 塑料物性	61
表 6.4 PA-746 塑料物性	61
表 6.5 初步製程條件控制參數組別與製程數據	63
表 6.6 初步製程條件分析	64
表 6.7 微調製程條件控制參數組別與製程數據	65
表 6.8 微調製程條件分析	66
表 6.9 最終製程條件控制參數組別與製程數據	67
表 6.10 最終製程條件分析	68

