

物理發泡管材押出製程模頭設計

學生：張憲民

指導教授：吳建興

國立交通大學應用化學研究所

摘要

本文目的在建立一套供以使用物理發泡劑的一套管狀模頭設計及分析軟體。我們首先以數學模式直接預測含有溶解氣體但不發泡的膠料其剪切黏度 η ，再以計算流體力學建立其管狀模頭內的流動模式。接著利用 Sanchez-Lacombe equation 計算在任一壓力與溫度下，物理發泡劑溶解在膠料中的重量百分比。結果如我們所預期：熔膠的飽和壓力上升或是溫度的下降，都能使發泡劑溶解度上升。而模頭參數包括有起始溝深DEPTH、起始溝寬WCHAN、起始間隙GIBC、taper分段高度HBC、overlap數NOSEC、螺旋角 θ 以及軸心傾斜角 α ，第二步便配合直交表引入設計參數，在等溫情況下以流量均勻度及混合度為指標搜尋最佳模頭幾何形狀，並建立其變數分析表。由變數分析表可知吾人所選擇的七個變數的確可以完整涵蓋模頭內流動的變異。同時可看出不論溝道數為何，影響MD的前三名變數分別為DEPTH、WCHAN及GIBC；影響UNI最多的變數是WCHAN及NOSEC；影響 ΔP 最多的

變數是GIBC及ALFAR，且其貢獻度在4、5及6溝道時的變化都不大。由於在膠料發泡過程中，若模頭內部壓力(local die pressure)無法達到將氣體溶解在膠料內之臨界壓力 P_c 時，則膠料會產生預發泡(prefoaming)的現象。因此在模頭出口處(亦即模唇，die land)會將流道深度加以壓縮造成一個壓縮的導角(taper)，使得模頭內部各點壓力超過對應的臨界壓力。因此最後檢視其在加入模唇之後及非等溫狀況的表現，建立一套供以使用物理發泡劑的一套管狀模頭設計及分析軟體。



Flow Simulation and Optimal Design of Spiral die for Physical Foaming extrusion Process

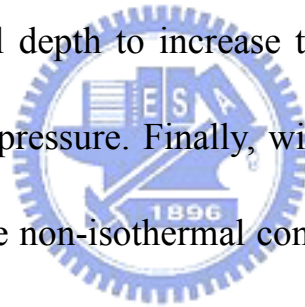
Student : Hsien-Min Chang Advisor : Professor Jiann-Shing Wu

**Institute of Applied Chemistry
National Chiao Tung University**

Abstract

The purpose of the present study is to establish an analytical program for spiral die with physical foaming agent. First, we predict the viscosity of melt polymer with foaming agent mathematically, and establish the flow model by fluid dynamics. Applying the Sanchez-Lacombe equation, we can calculate the weight percentage of foaming agent in melt polymer at any pressure and temperature. As predicted, more foaming agent can be dissolved into melt polymer at a high pressure or low temperature. The parameters of spiral die include DEPTH, WCHAN, GIBC, HBC, NOSEC, θ and α . Second, we use the Tguchi method to search several optimal sets of die geometric parameters by assessing the flow uniformity(UNI) and mixing degree(MD) isothermally and create ANOVA tables. From

ANOVA tables, we realize that the seven parameters can totally describe the flow situation in spiral die. At the same time, we find that whatever the number of channels is, the most relevant parameters with respect to MD are DEPTH, WCHAN and GIBC; with respect to UNI, WCHAN and NOSEC are the most relevant parameters; furthermore, with respect to pressure gradient, GIBC 及 ALFAR are the most relevant. During polymer foaming, if the local die pressure cannot reach the critical pressure, prefoaming occurs. Therefore, at the outlet of spiral die, we narrow down the channel depth to increase the local pressure, which is thus greater than critical pressure. Finally, with die lip being attached to spiral die, we examine the non-isothermal condition, so that an analytical program for spiral die with physical foaming agent can be established.



目 錄

中文摘要.....	i
英文摘要.....	iii
目錄.....	v
表目錄.....	vii
圖目錄.....	ix
第一章 緒論.....	1
1.1 發泡產品之簡介.....	1
1.2 文獻回顧.....	4
第二章 理論及研究方法之建立.....	8
2.1 系統假設.....	8
2.2 理論基礎.....	9
2.2.1 建立含發泡劑但不發泡的膠料其剪切黏度 η 之預測 模式.....	9
2.2.2 兩無限平行板間之流動.....	11
2.2.3 圓管之流動.....	14
2.2.4 計算含發泡劑但未發泡的熔膠的臨界壓力(P_c).....	15
2.3 數學模式.....	15
2.3.1 等溫情況.....	15

2.3.2 非等溫情況.....	22
2.4 田口法之搜尋.....	25
2.4.1 田口法之簡介.....	25
2.4.2 田口法在模頭最佳化設計上的應用.....	26
2.5 判斷模頭優劣之依據.....	27
第三章 結果與討論.....	29
3.1 田口法搜尋之結果.....	29
3.2 各參數對混合度、流量均勻度及最大壓降的影響比 例.....	31
3.3 含CO ₂ 但未發泡的膠料其臨界壓力與溫度、溶解度的 關係.....	33
3.4 加入模唇段.....	33
第四章 結論.....	38
Appendix A.....	99
Appendix B.....	101
參考文獻.....	102

表 目 錄

表 1	PP 與 LDPE 的黏度參數.....	40
表 2	PP、LDPE 與 CO ₂ 的特性參數.....	40
表 3	L18 直交表.....	41
表 4	配置起始水準之 L8 直交表.....	42
表 5	各因子之不同起始水準.....	42
表 6	各因子之上下限.....	43
表 7	LDPE 及 PP 之材料性質.....	43
表 8	PP 於 4 溝道時以混合度為指標搜尋之結果.....	44
表 9	PP 於 5 溝道時以混合度為指標搜尋之結果.....	44
表 10	PP 於 6 溝道時以混合度為指標搜尋之結果.....	45
表 11	PP 於 4 溝道時以流量均勻度為指標搜尋之結果.....	45
表 12	PP 於 5 溝道時以流量均勻度為指標搜尋之結果.....	46
表 13	PP 於 6 溝道時以流量均勻度為指標搜尋之結果.....	46
表 14	LDPE 於 4 溝道時以混合度為指標搜尋之結果.....	47
表 15	LDPE 於 5 溝道時以混合度為指標搜尋之結果.....	47
表 16	LDPE 於 6 溝道時以混合度為指標搜尋之結果.....	48
表 17	LDPE 於 4 溝道時以流量均勻度為指標搜尋之結果.....	48

表 18	LDPE 於 5 溝道時以流量均勻度為指標搜尋之結果.....	49
表 19	LDPE 於 6 溝道時以流量均勻度為指標搜尋之結果.....	49
表 20	PP 以混合度為指標搜尋之設計點.....	50
表 21	LDPE 以混合度為指標搜尋之設計點.....	50
表 22	PP 以流量均勻度為指標搜尋之設計點.....	51
表 23	LDPE 以流量均勻度為指標搜尋之設計點.....	51
表 24	最佳模頭幾何設計參數.....	52
表 25	以高起始水準計算熔膠為 PP 時之值.....	52
表 26	以高起始水準計算熔膠為 LDPE 時之值.....	53
表 27	PP 於 4 溝道時之變數分析表.....	53
表 28	PP 於 5 溝道時之變數分析表.....	54
表 29	PP 於 6 溝道時之變數分析表.....	54
表 30	LDPE 於 4 溝道時之變數分析表.....	55
表 31	LDPE 於 5 溝道時之變數分析表.....	55
表 32	LDPE 於 6 溝道時之變數分析表.....	56

圖 目 錄

圖 1	螺旋式軸心模頭.....	57
圖 2	鬆弛室和模唇之構造圖.....	58
圖 3	模頭之展開圖.....	58
圖 4	單元之構造圖.....	59
圖 5	子單元一之形狀.....	59
圖 6	子單元二、三之形狀.....	60
圖 7	子單元四之形狀.....	60
圖 8	各參數示意圖.....	61
圖 9	LDPE 在 4 溝道時各變數的貢獻度.....	62
圖 10	LDPE 在 5 溝道時各變數的貢獻度.....	62
圖 11	LDPE 在 6 溝道時各變數的貢獻度.....	63
圖 12	PP 在 4 溝道時各變數的貢獻度.....	63
圖 13	PP 在 5 溝道時各變數的貢獻度.....	64
圖 14	PP 在 6 溝道時各變數的貢獻度.....	64
圖 15	LDPE 熔膠中 CO ₂ 溶解度與飽和壓力關係.....	65
圖 16	PP 熔膠中 CO ₂ 溶解度與飽和壓力關係.....	65
圖 17	模唇參數示意圖.....	66

圖 18	等溫清況下，熔膠為 LDPE 時，不同模唇長度的壓力變化....	67
圖 19	等溫清況下，熔膠為 PP 時，不同模唇長度的壓力變化.....	68
圖 20	等溫清況下，熔膠為 LDPE 時，不同內模半徑的壓力變化...	69
圖 21	等溫清況下，熔膠為 PP 時，不同內模半徑的壓力變化.....	70
圖 22	LDPE 中發泡劑重量百分比=1%時，溝道壓力與臨界壓力隨溝道的變化.....	71
圖 23	LDPE 中發泡劑重量百分比=1%時，溫度隨溝道的變化.....	72
圖 24	LDPE 中發泡劑重量百分比=2%時，溝道壓力與臨界壓力隨溝道的變化.....	73
圖 25	LDPE 中發泡劑重量百分比=2%時，溫度隨溝道的變化.....	74
圖 26	LDPE 中發泡劑重量百分比=3%時，溝道壓力與臨界壓力隨溝道的變化.....	75
圖 27	LDPE 中發泡劑重量百分比=3%時，溫度隨溝道的變化.....	76
圖 28	LDPE 中發泡劑重量百分比=4%時，溝道壓力與臨界壓力隨溝道的變化.....	77
圖 29	LDPE 中發泡劑重量百分比=4%時，溫度隨溝道的變化.....	78
圖 30	LDPE 中發泡劑重量百分比=5%時，溝道壓力與臨界壓力隨溝道的變化.....	79
圖 31	LDPE 中發泡劑重量百分比=5%時，溫度隨溝道的變化.....	80

圖 32	PP 中發泡劑重量百分比=1%時，溝道壓力與臨界壓力隨溝道的變化.....	81
圖 33	PP 中發泡劑重量百分比=1%時，溫度隨溝道的變化.....	82
圖 34	PP 中發泡劑重量百分比=2%時，溝道壓力與臨界壓力隨溝道的變化.....	83
圖 35	PP 中發泡劑重量百分比=2%時，溫度隨溝道的變化.....	84
圖 36	PP 中發泡劑重量百分比=3%時，溝道壓力與臨界壓力隨溝道的變化.....	85
圖 37	PP 中發泡劑重量百分比=3%時，溫度隨溝道的變化.....	86
圖 38	PP 中發泡劑重量百分比=4%時，溝道壓力與臨界壓力隨溝道的變化.....	87
圖 39	PP 中發泡劑重量百分比=4%時，溫度隨溝道的變化.....	88
圖 40	PP 中發泡劑重量百分比=5%時，溝道壓力與臨界壓力隨溝道的變化.....	89
圖 41	PP 中發泡劑重量百分比=5%時，溫度隨溝道的變化.....	90
圖 42	LDPE 進料溫度為 195°C 時，溝道壓力與臨界壓力隨溝道的變化.....	91
圖 43	LDPE 進料溫度為 195°C 時，溫度隨溝道的變化.....	92
圖 44	LDPE 進料溫度為 200°C 時，溝道壓力與臨界壓力隨溝道的變	

化.....	93
圖 45 LDPE 進料溫度為 200°C 時，溫度隨溝道的變化.....	94
圖 46 PP 進料溫度為 195°C 時，溝道壓力與臨界壓力隨溝道的變 化.....	95
圖 47 PP 進料溫度為 195°C 時，溫度隨溝道的變化.....	96
圖 48 PP 進料溫度為 200°C 時，溝道壓力與臨界壓力隨溝道的變 化.....	97
圖 49 PP 進料溫度為 200°C 時，溫度隨溝道的變化.....	98

