

【目 錄】

| | 頁次 |
|------------------------|------|
| 中文摘要 | i |
| 英文摘要 | ii |
| 致 謝 | iii |
| 目 錄 | iv |
| 表 目 錄 | viii |
| 圖 目 錄 | x |
| | |
| 第一章 緒論 | |
| 1-1 前言 | 1 |
| 1-2 文獻回顧 | 2 |
| 1-3 研究方向 | 3 |
| | |
| 第二章 漸開線形正齒輪數學模式 | |
| 2-1 前言 | 5 |
| 2-2 齒條刀之數學模式 | 5 |
| 2-3 齒條刀與被創成齒面接觸線之共同法向量 | 9 |
| 2-4 嚙合方程式 | 10 |
| 2-5 正齒輪之數學模式 | 14 |
| 2-6 正齒輪之電腦輔助繪圖 | 16 |
| | |
| 第三章 粉末冶金製程簡介 | |
| 3-1 前言 | 18 |
| 3-2 粉末冶金製程簡介 | 18 |



| | |
|-----------------|----|
| 3-2-1 原料粉 | 20 |
| 3-2-2 成形 | 20 |
| 3-2-3 燒結 | 22 |
| 3-2-4 銅熔滲 | 23 |
| 3-2-5 再加壓、精整和整形 | 23 |
| 3-2-6 熱處理 | 24 |
| 3-2-7 二次加工 | 24 |
| 3-3 影響成品尺寸的因素 | 24 |

第四章 鐵基燒結件之熔滲處理

| | |
|----------------|----|
| 4-1 前言 | 26 |
| 4-2 熔滲製程 | 26 |
| 4-3 熔滲技術之優點 | 27 |
| 4-3-1 增加機械強度 | 27 |
| 4-3-2 增加成形品密度 | 27 |
| 4-3-3 改良燒結體之材質 | 28 |
| 4-3-4 多件體之結合 | 28 |
| 4-4 基本熔滲方式 | 28 |
| 4-5 熔滲劑的效率計算 | 28 |
| 4-6 結論 | 29 |



第五章 粉末冶金正齒輪之精度量測理論

| | |
|---------------|----|
| 5-1 前言 | 30 |
| 5-2 齒輪之精度 | 30 |
| 5-2-1 各國的精度規格 | 30 |

| | |
|--------------|----|
| 5-2-2 齒輪誤差種類 | 32 |
|--------------|----|

第六章 齒形變異之田口實驗

| | |
|--------------------|----|
| 6-1 實驗目的 | 36 |
| 6-2 實驗材料 | 36 |
| 6-3 實驗設備 | 37 |
| 6-3-1 成形模具 | 37 |
| 6-3-2 成形設備 | 39 |
| 6-3-3 燒結設備 | 40 |
| 6-3-4 量測設備 | 41 |
| 6-4 田口實驗計畫法 | 42 |
| 6-4-1 要因試驗與田口試驗 | 43 |
| 6-4-2 標準直交表 | 43 |
| 6-4-3 訊號雜音 (S/N) 比 | 44 |
| 6-4-4 控制因子分析 | 45 |
| 6-4-5 變異數分析 | 46 |
| 6-5 實驗方法與設計流程 | 48 |
| 6-5-1 選擇控制因子及直交表 | 48 |
| 6-5-2 執行實驗 | 52 |
| 6-5-3 銅熔滲實驗之參數 | 54 |

第七章 實驗結果與討論

| | |
|--------------|----|
| 7-1 齒形精度誤差 | 55 |
| 7-1-1 實驗結果分析 | 55 |
| 7-1-2 確認實驗 | 78 |

| | |
|-------------|----|
| 7-2 齒輪之機械性質 | 81 |
| 7-2-1 彎曲強度 | 81 |
| 7-2-2 密度測定 | 83 |
| 7-2-3 金相分析 | 85 |
| | |
| 第八章 結論與未來展望 | |
| | |
| 8-1 結論 | 91 |
| 8-2 未來展望 | 92 |
| | |
| 參考文獻 | 93 |



【表目錄】

| | 頁次 |
|---------------------------------------|----|
| 表 2.1 正齒輪之主要設計參數 (台灣保來得公司提供) | 16 |
| 表 5.1 國際上常用的三個齒輪精度等級之概略比較 | 31 |
| 表 5.2 JIS 齒形誤差、導程誤差及齒間偏差容許值 | 35 |
| 表 5.3 JIS B 1702-1976 規定之單一及累積節距誤差容許值 | 35 |
| 表 6.1 實驗原料粉之調和及特性 | 37 |
| 表 6.2 齒輪模具之齒形設計參數 (台灣保來得公司提供) | 38 |
| 表 6.3 直交表： $L_4(2^3)$ | 44 |
| 表 6.4 輔助表 | 45 |
| 表 6.5 變異數分析表 | 47 |
| 表 6.6 控制因子水準表 | 50 |
| 表 6.7 組合法與虛擬因子之配置 | 51 |
| 表 6.8 實驗待測齒輪之實際生胚密度 | 54 |
| 表 6.9 實驗中之製程固定參數 | 54 |
| 表 7.1(a) 左齒面之齒形誤差數據表 | 65 |
| 表 7.1(b) 右齒面之齒形誤差數據表 | 66 |
| 表 7.2(a) 左齒面之齒形誤差 S/N 比 | 68 |
| 表 7.2(b) 右齒面之齒形誤差 S/N 比 | 69 |
| 表 7.3 左齒面齒形誤差之主效果輔助表 (I) | 70 |
| 表 7.4 左齒面齒形誤差之主效果輔助表 (II) | 70 |
| 表 7.5 右齒面齒形誤差之主效果輔助表 (I) | 72 |
| 表 7.6 右齒面齒形誤差之主效果輔助表 (II) | 72 |
| 表 7.7 最佳組合之因子及其水準表 | 73 |

| | | |
|--------|----------------------|----|
| 表 7.8 | 左齒面齒形誤差之變異數分析表 (I) | 75 |
| 表 7.9 | 左齒面齒形誤差之變異數分析表 (II) | 76 |
| 表 7.10 | 左齒面齒形誤差之變異數分析表 (III) | 76 |
| 表 7.11 | 右齒面齒形誤差之變異數分析表 (I) | 77 |
| 表 7.12 | 右齒面齒形誤差之變異數分析表 (II) | 77 |
| 表 7.13 | 預測與確認實驗 | 80 |
| 表 7.14 | A、B 粉末製成齒輪之彎曲強度 | 82 |
| 表 7.15 | A 粉末製成齒輪之密度 | 84 |



【圖目錄】

| | 頁次 |
|-----------------------------------|----|
| 圖 2.1 齒條刀與被滾製齒輪之相對運動關係示意圖 | 6 |
| 圖 2.2 齒條刀之法向剖面圖 | 7 |
| 圖 2.3 平行軸齒輪組之共軛運動關係示意圖 | 11 |
| 圖 2.4 齒條刀與被切製齒輪之機構運動關係圖 | 13 |
| 圖 2.5 CCJ030F 標準齒形之電腦繪圖 | 17 |
| 圖 2.6 CCJ030F 正齒輪之電腦繪圖 | 17 |
| 圖 3.1 粉末冶金基本製造流程 | 19 |
| 圖 3.2 成形步驟示意圖 (摘錄自粉末冶金技術手冊[8]) | 21 |
| 圖 3.3 簡易模具組裝示意圖 (摘錄自製造程序[9]) | 22 |
| 圖 3.4 製程參數與尺寸精度關係圖 | 25 |
| 圖 5.1 齒輪精度的三個量測方向 | 31 |
| 圖 5.2 齒形誤差量測實例 | 32 |
| 圖 5.3 粉末冶金正齒輪導程誤差量測實例 | 34 |
| 圖 5.4 節距誤差量測實例 | 34 |
| 圖 6.1 CCJ030F 齒輪之成形模具組 | 38 |
| 圖 6.2 100 噸氣壓式粉末成形機 (日本 Tamagawa) | 39 |
| 圖 6.3 浮動模式加壓及其退模示意圖 | 40 |
| 圖 6.4 輸送帶式連續燒結爐 (日本山崎公司) | 40 |
| 圖 6.5 TTi-300E—CNC 齒輪精度量測儀 | 41 |
| 圖 6.6 萬能試驗機 | 42 |
| 圖 6.7 田口式參數設計流程 | 49 |
| 圖 6.8 銅熔滲製程影響齒形變異因素之魚骨圖 | 50 |
| 圖 6.9(a) 實驗齒輪之成形品 | 53 |

| | | |
|-----------|-------------------------|----|
| 圖 6.9(b) | 實驗齒輪之燒結品 | 53 |
| 圖 6.9(c) | 實驗齒輪經銅熔滲之燒結品 | 53 |
| 圖 7.1(a) | 直交組合 1 之齒形精度量測圖 (成形) | 56 |
| 圖 7.1(b) | 直交組合 1 之齒形精度量測圖 (銅熔滲) | 56 |
| 圖 7.2(a) | 直交組合 2 之齒形精度量測圖 (成形) | 57 |
| 圖 7.2(b) | 直交組合 2 之齒形精度量測圖 (銅熔滲) | 57 |
| 圖 7.3(a) | 直交組合 3 之齒形精度量測圖 (成形) | 58 |
| 圖 7.3(b) | 直交組合 3 之齒形精度量測圖 (銅熔滲) | 58 |
| 圖 7.4(a) | 直交組合 4 之齒形精度量測圖 (成形) | 59 |
| 圖 7.4(b) | 直交組合 4 之齒形精度量測圖 (銅熔滲) | 59 |
| 圖 7.5(a) | 直交組合 5 之齒形精度量測圖 (成形) | 60 |
| 圖 7.5(b) | 直交組合 5 之齒形精度量測圖 (銅熔滲) | 60 |
| 圖 7.6(a) | 直交組合 6 之齒形精度量測圖 (成形) | 61 |
| 圖 7.6(b) | 直交組合 6 之齒形精度量測圖 (銅熔滲) | 61 |
| 圖 7.7(a) | 直交組合 7 之齒形精度量測圖 (成形) | 62 |
| 圖 7.7(b) | 直交組合 7 之齒形精度量測圖 (銅熔滲) | 62 |
| 圖 7.8(a) | 直交組合 8 之齒形精度量測圖 (成形) | 63 |
| 圖 7.8(b) | 直交組合 8 之齒形精度量測圖 (銅熔滲) | 63 |
| 圖 7.9(a) | 直交組合 9 之齒形精度量測圖 (成形) | 64 |
| 圖 7.9(b) | 直交組合 9 之齒形精度量測圖 (銅熔滲) | 64 |
| 圖 7.10 | 左齒面齒形誤差之主效果圖 | 71 |
| 圖 7.11(a) | 確認實驗之齒形精度量測圖 (成形) | 79 |
| 圖 7.11(b) | 確認實驗之齒形精度量測圖 (銅熔滲) | 80 |
| 圖 7.12 | A、B 粉末製成齒輪之彎曲強度與銅含量之關係圖 | 83 |
| 圖 7.13 | A 粉末製成齒輪在不同生胚密度下之密度變化圖 | 85 |

| | | |
|-----------|--------------------------|----|
| 圖 7.14(a) | A 粉末製成齒輪經燒結後之金相圖 (齒輪芯部) | 86 |
| 圖 7.14(b) | A 粉末製成齒輪經銅熔滲後之金相圖 (齒輪芯部) | 86 |
| 圖 7.15(a) | A 粉末製成齒輪經燒結後之金相圖 (齒部) | 87 |
| 圖 7.15(b) | A 粉末製成齒輪經銅熔滲後之金相圖 (齒部) | 87 |
| 圖 7.16(a) | B 粉末製成齒輪經燒結後之金相圖 (齒輪芯部) | 88 |
| 圖 7.16(b) | B 粉末製成齒輪經銅熔滲後之金相圖 (齒輪芯部) | 88 |
| 圖 7.17(a) | B 粉末製成齒輪經燒結後之金相圖 (齒部) | 89 |
| 圖 7.17(b) | B 粉末製成齒輪經銅熔滲後之金相圖 (齒部) | 89 |

