

射出機導柱生產效率提昇之研究

李學賢¹、范光照²、黃光國³

¹ 震雄機械公司技術總監

² 台灣大學機械系教授

³ 台灣大學心理系教授

摘要

射出成型機之導柱一般為經過硬化與研磨的鋼質圓棒，其主要功能為導引模具之固定側（公模）與可動側（母模）能迅速確實地定位配合，故其必須具備高硬度、高強度、低磨耗等特性。本研究針對傳統導柱生產的四道主要工序提出改善，改善後生產平均成長率達 166.7%，使得生產的效率大為提升。

關鍵字：射出成型機，導柱，生產工序，生產效率

1. 前言

射出成型機是塑膠產品的主要生產設備，屬於一種熱塑性模具成形之加工方法，因容易自動化，生產能力高，所以其每年的成長率，一直超過其他型的成型機。目前射出成型機佔塑膠機械工業總生產金額的一半以上，以台灣區為例，2007 年塑膠射出成型機的出口總額即達台幣 329 億元[1]，可見其重要性。

射出成型機可依其成型材料的種類、射出裝置的構造、合模裝置的形式及配列方式做分類[2]。射出成型機的基本結構分為射出裝置、鎖模裝置及控制裝置三個單元[3]。鎖模裝置可分為肘節式、直壓式及肘節直壓混合式三種[4]，而一般射出成型機之大小均以鎖模壓力之噸數表示之，鎖模力必須大於模穴壓力乘上模穴面積。

在塑膠射出成型作業中鎖模力不均勻會導致成品出現毛邊或塑料由模穴漏出，因為對於塑膠射出精密度要求越來越高，塑膠射出機具有四支導柱，模板組裝不良則容易產生鎖模力不均勻，也就是四支導柱的拉力不一樣。

導柱一般為經過硬化與研磨的鋼質圓棒，如圖一所示，導引模具之固定側與可動側能迅速確實地定位配合，導柱為合模裝置中的組件，在此先針對合模裝置做簡介。合模裝置除了用以開閉模具外，最主要是用以對抗射出於模內之熔融材料的高壓力，以充分的強力閉鎖。以肘節式合模裝置為例，其以肘節接頭將油壓缸或電動機產生的力放大，使合模力增大。肘節機構中，力的放大率與速度因連桿位置而大有變化，在閉模行程的最初階段，力的放大率小而速度快，但

在接近閉模行程終了時，力的放大率大而速度慢。在肘節連桿將近完全伸直之前，發生很大約合模力，連桿若在未合模完成時就已 100% 伸直，則無合模壓力的產生。所以在肘節連桿 100% 伸直之前就必須閉合模子（閉合行程依機器大小不同），在連桿充份伸直時，相對拉張導柱，藉導柱伸長發生的彈性力來合模。如圖二所示為肘節連桿的行程與合模力的關係[2]。因此可見導柱在射出成型機中的重要性，它提供導引模具之固定側與可動側能迅速確實地定位配合，必須具備高硬度、高強度、低磨耗等特性。現有射出機導柱之生產主要有十道工序，茲描述如下。

1. 長度裁切
2. 粗製外徑：傳統車床車削外徑
3. 高週波硬化（天車吊掛直立式操作）
4. 低溫回火
5. 彎曲校正
6. 車端面修中心孔
7. 車牙及應力溝（天車吊掛式操作）
8. 精製外徑：圓筒磨床研磨至電鍍前尺寸（天車吊掛式單支操作）
9. 外徑鍍鉻（防銹及美觀）
10. 外徑及牙面拋光至成品需求精度（成品）

本文針對粗製外徑、高週波硬化、車牙及應力溝、精製外徑四道主要工序提出改善，歷經屢次改善並獲得較優的生產效益。在射出機導柱粗製外徑的工序方面，本研究使用冷拔外徑方式原理取代車床車削，另外在高週波硬化、車牙及應力溝與精製外徑的工序上，主要著重於改良鋼棒的運輸方式。

2. 粗製外徑工序的改善方式

傳統車床車削外徑其原理為利用馬達動力，驅動夾頭並帶動旋轉的工件與嵌入的車刀接觸，產生切削作用。車床的用途相當廣泛，常見於機械製造業或一般維修工廠金屬加工作業，用於完成金屬製品的端面處理、車錐體、平行車削、車圓柱體、螺紋及鑽孔作業等。

冷拔加工（抽拉加工）為塑性加工的一種，加工原理為材料通過圓錐狀眼模後，製成與眼模出口斷面形狀同斷面的棒及線[5]。通常抽製大徑的圓棒大於

25.4 公釐，其所需拉力極大，故均採用單抽法(一次一支用單眼模)。

參考三菱重工車削的選定基準與市售冷拔機的性能表[6, 7]列出表一，其說明車床切削外徑與冷拔外徑的一般加工條件，並且比較在生產相同直徑鋼棒的效率，由此可見冷拔加工的生產效率遠大於車床車削外徑，故改冷拔加工為粗製外徑的工序。

傳統以車床車削外徑的方法粗製射出機導柱的外徑，而本研究使用冷拔外徑方式原理取代車床車削，兩者加工條件及加工效率的比較如表一所示。冷拔外徑的工作流程有五個步驟：

1. 冷拔夾持段車削
2. 外徑打砂去殼
3. 冷拔外徑
4. 冷拔夾持段切除
5. 輓光軋直

2.1 冷拔鋼材之選用

通常導柱原材料是毛料依照導柱裁剪長度後，再進行調質硬度至 HRC 25 ~ 30 (受限於調質爐高度的限制，無法將整支原材料先調質硬度後再裁剪)，再利用傳統車床進行粗製外徑。但是傳統車床進行粗製外徑耗時冗長，若欲採用冷拔方式節省粗製外徑時間，則原材料必需選用非調質鋼。並希望在鋼棒的選用上考慮下列三點：

1. 機械的性質較 SCM440*QT、SCr440*QT 優異。
2. 價格比現在使用的 JFE880NH 鋼種便宜。
3. 希望拉拔加工後的硬度能控制在 HRC=30 的程度(現階段 JFE880NH 拉拔加工後的硬度為 HRC \geq 32)

考慮到棒鋼之化學性質，JFE800NH 棒鋼以直徑 135 公釐為分界線將化學性質分為兩類，如表二所示。JFE800NH 棒鋼之機械性質在強度方面高於 SCM440*QT，如表三所示。JFE800NH 與 JFE880NH 之化學成分與機械的性質，兩者機械性質差異不大且 JFE800NH 的價格比 JFE880NH 鋼種便宜，又可以省去調質的工序。基於上述的考量，在此選用 JFE800NH 棒鋼作為射出成型機導柱。

2.2 冷拔之尺寸變化

鋼棒冷拔前後的幾何尺寸關係如式(1)所示。式中 L 為拉前長度，L' 為拉後長度，D 為拉前直徑，D' 為拉後直徑。

$$\begin{aligned} L' &\cong L \times D^2 \div D'^2 \\ L &\cong L' \times D'^2 \div D^2 \end{aligned} \quad (1)$$

在此將式(1)應用在實例上，欲使用冷拔的製成將直徑為 85 公釐的鋼棒製作出三支長 2200 公釐且直徑為 80 公釐的導柱，在製作的過程中必須考慮夾模長

200 公釐與切割損 100 公釐，所以鋼棒拉後長度應為三根導柱的長度與夾模長、切割損之合，因此我們可以藉由式(1)計算出拉前長度如下：

$$\begin{aligned} L' &= 2200 \times 3 + 200 + 100 = 6900(\text{mm}) \\ L &\cong L' \times D'^2 \div D^2 \cong 6900 \times 80^2 \div 85^2 \cong 6112(\text{mm}) \end{aligned}$$

本研究中亦觀察實際冷拔鋼棒的尺寸變化，列出表四。將實際冷拔鋼棒後所得到的尺寸與式(1)計算所得之尺寸相減，將其差值以圖三表示。

2.3 冷拔與車削外徑的生產效率

觀察某公司七種射出機之導柱的實際生產效率，可得知採取冷拔的生產效率高於車削外徑的方式，如表五所示。

3. 運輸方式的改善方式

在高週波硬化、車牙及應力溝與精製外徑的工序上，主要針對鋼棒的運輸方式做改良，在精製外徑方面，改用連續拋光取代傳統圓筒研磨，如表六所示。

由於射出成型機之導柱的體積及重量皆非人力所能移動，故大部份之運輸都以天車吊掛，以一般經驗所需吊掛高度及行走距離分別為 2 米及 5 米。以額定荷重 5 噸為例，設定捲揚速度 1.7 米/分鐘，橫行速度 20 米/分鐘，可估算輸送每一支導柱至加工處所花費的時間為：

$$2 \div 1.7 + 5 \div 20 = 1.43 \text{ 分鐘}$$

為了提高效率，節省運輸所浪費的時間亦不失為重要的課題。圖四與圖五為高週波硬化改善前後的運輸情況。圖六與圖七為車牙及應力溝改善前後的運輸情況。圖八與圖九為精製外徑改善前後的運輸與生產情形。

4. 工序改良後的導柱生產效率

本研究文針對粗製外徑、高週波硬化、車牙及應力溝、精製外徑工序提出改善，本研究所提出的改善後工序為(註：有★號處為改善的製程)：

1. 粗製外徑：外徑打砂去殼→冷拔夾持段車削→冷拔外徑→冷拔夾持段切除→輓光軋直★
2. 長度裁切
3. 高週波硬化(橫式自動化輸送)★
4. 低溫回火
5. 彎曲校正
6. 車端面修中心孔
7. 車牙及應力溝(後穿輸送式操作)★
8. 精製外徑：連續拋光機拋光至電鍍前尺寸(橫式自動化輸送)★
9. 外徑鍍鉻(防鏽及美觀)

10. 外徑及牙面拋光至成品需求精度(成品)

持續 56 個月每個月記錄某公司射出機之導柱的總體生產效率，從這些資料中統計出改善前到改善後的總體平均生產效率與成長率，如表七與圖十所示，可得知工序的改善得以有效的提高導柱之生產效率。

5. 結論

本研究持續 56 個月每個月記錄公司射出機之導柱的總體生產效率，從這些資料中統計出改善前到改善後的總體平均生產效率與成長率。由生產效率評估指數來比較，以 17 個月的觀察改善前生產平均效率為 0.9，以 18 個月的觀察改善中生產平均效率已進步至 1.5，最後以 21 個月的觀察改善後生產平均效率可提升到 2.4。總體而言，改善中生產平均成長率達 66.7%，改善後生產平均成長率亦達 166.7%。

本研究所提出的導柱生產工序改善方案雖屬傳統製程，但確可很明顯的提升了了生產效率，進而增加了公司的產業競爭力。

6. 參考文獻

1. 台灣區機械工業公會統計資料，access: <http://www.tami.org.tw/statistics.php>，June 2008
2. 張永彥，實用塑膠模具學第三版，全華科技圖書，台灣台北，第307-32 頁，1994年9月
3. D.V. Rosato, Injection Molding Handbook, Van Nostrand Reinhold, 1986
4. F. Johannaber, "Injection Molding Machines- a User's Guide", Hanser Publishers, Munich Vienna New York, 1994
5. 賴耿陽，"抽線、抽管塑性加工"，復漢出版社，1996年10月
6. "94~96 MITSUBISHI CARBIDE 切削工具"，MITSUBISHI MATERIALS CORPORATION 出版，1997
7. 諒德機械五金廠股份有限公司，www.taiwanpage.com.tw，2008
8. 三園機械股份有限公司，<http://www.sungyang.com/>，2008

7. 圖表彙整

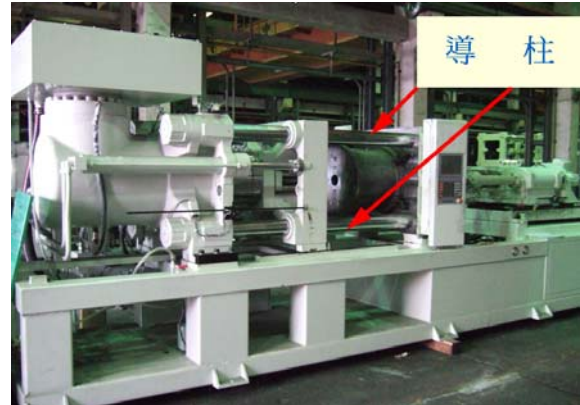


圖 1. 射出成型機及導柱。

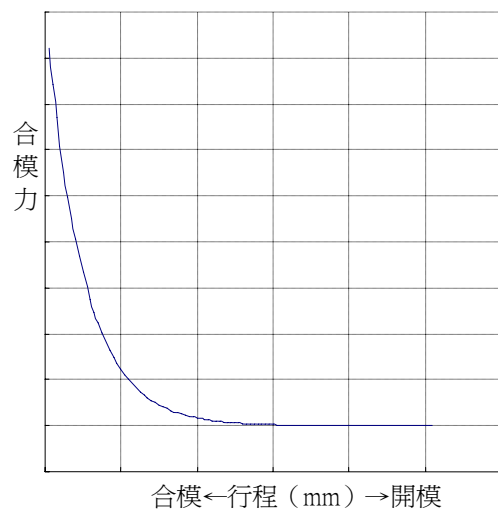


圖 2. 肘節連桿的行程與合模力的關係

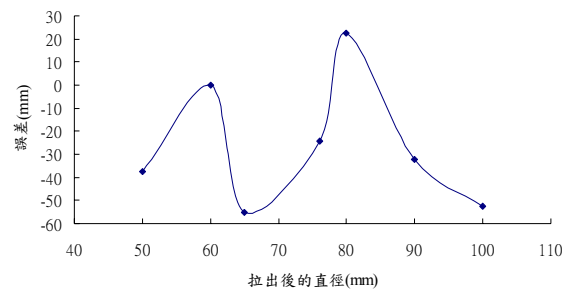


圖 3. 實際冷拔與理論計算的鋼棒長度差值



圖 4. 高週波硬化改善前運輸方式(天車單支吊掛式)



圖 5. 高週波硬化改善後運輸方式(橫式自動化輸送)



圖 6. 車牙及應力溝改善前運輸方式(天車單支吊掛式)



圖 7. 車牙及應力溝改善後運輸方式(後穿輸送式)



圖 8. 精製外徑改善前運輸方式(天車單支吊掛式、圓筒研磨)



圖 9. 精製外徑改善後運輸方式(橫式自動化輸送、連續拋光)

表 1. 車床切削外徑與冷拔外徑的比較表

項目	車床切削外徑	冷拔外徑
一般加工條件	切削速度 150-250(m/min) ，進給 0.1-0.5(mm/rev)	成品直徑 40-100(mm) ，最高拉伸速度 8-20(m/min)
生產直徑 100 厘米鋼棒的效率	進給速度若為： 0.3mm/rev 則加工效率 = 0.3mm × 500rpm = 150mm/min = 0.15m/min	8m/min

表 2. 棒鋼尺寸與化學性質之關係

規格名	C	Si	Mn	P	S	Cr	V
JFE800	0.43~	0.15~	1.15~	0.03	0.03	0.1~	0.09~
Spec.	0.49	0.35	1.40	以下	以下	0.2	0.15
φ 135 以下	0.44~	同	1.15~	同	同	同	同
	0.46	上	1.30	上	上	上	上
φ 135 以下	0.46~	同	1.30~	同	同	同	同
	0.48	上	1.40	上	上	上	上

表 3. 棒鋼之機械性質

規格名		Y.P N/mm ²	T.S N/mm ²	E1	HB
JFE800	Spec.	500 以上	800 以上	15% 以上	229~ 290
JFE800	實績值 (Ø100)	555~580	880~900	19~20	240~ 260
	實績值 (Ø150)	535~560	850~880	18~20	235~ 260
SCM440 *QT	實績值 (Ø100)	675	850	20	258
	實績值 (Ø150)	645	805	20	247

表 4. 實際冷拔鋼棒的尺寸對照

拉前尺寸	拉出尺寸
$\phi 53 \times 5000$	$\phi 50 \times 5660$
$\phi 63 \times 5299$	$\phi 60 \times 5842$
$\phi 68 \times 5610$	$\phi 65 \times 6200$
$\phi 79 \times 6334$	$\phi 76 \times 6870$
$\phi 83 \times 4900$	$\phi 80 \times 5250$
$\phi 92 \times 5480$	$\phi 90 \times 5760$
$\phi 102 \times 6250$	$\phi 100 \times 6557$

表 5. 冷拔與粗車外徑之生產效率比較

名稱	導柱外型尺寸	冷拔數量/日	粗車數量/ 每台車床每 日
SM50	50*1520	135	33
SM90	60*1615	129	26
SM120	70*1920	111	19
SM140	76*1978	105	17
SM180	85*2395	88	12
SM210	90*2540	84	11
SM250	100*2825	72	5

表 6. 工序改善的方式

工序別	高週波硬化	車牙及應力 溝	精製外徑
改善前運 輸方式	天車單支吊 掛式	天車單支吊 掛式	天車單支吊 掛式
改善後運 輸方式	橫式自動化 輸送	後穿輸送式	橫式自動化 輸送
工藝改變	無	無	連續拋光取 代圓筒研磨

表 7. 改善生產工序之生產平均效率與成長率

2003.08 ~ 2004.12 改善前生產平均效率	0.9
2005.01 ~ 2006.06 改善中生產平均效率	1.5
2006.07 ~ 2008.03 改善後生產平均效率	2.4
改善中生產平均成長率	66.7%
改善後生產平均成長率	166.7%

Case Study on the Production Efficiency Improvement of Injection Machine Guide Rod

Chuck Lee¹, Fan Kuang-Chao² and Kwang-Kuo Huang³
¹ Chen Hsong Machinery Taiwan Co. Ltd,

² Department of Mechanical Engineering,
National Taiwan University

³ Department of Psychology,
National Taiwan University

Abstract

The guide rod of injection machine is normally processed by hardening and grinding of a steel cylinder. Its main function is to guide the upper mold rapidly positioning in contact with the lower mold. It must possess the features of high hardness, high strength and low friction. This study aims at the improvement of traditional process of guide rod by four proposed processes. The production efficiency has been increased by 166.67%. It can significantly improve the production efficiency.

Keywords: injection machine, guide rod, production process, production efficiency