

35. 軋延工輓軸承潤滑脂之磨潤性能研究

朱孝業¹、黃耀輝²、洪飛能³

¹崑山科技大學 機械工程系副教授

²崑山科技大學 機械工程系研究生

³德晏培林有限公司 總經理

摘要

一般24小時連續運轉且絕對不許因故停止的機械之軸承定額壽命為100,000小時以上，本研究係針對位於國內某知名鋼鐵廠連續運轉的軋延廠生產線中，由於工輓軸承損壞率極高，其工輓軸承平均軸承壽命約為6個月(4,320小時)左右，且該軸承與軸承用脂均購自國外，請購時間長達500天以上且供貨不穩定，待料情況嚴重。故本研究針對工輓軸承添加現用之RBG或合作產商之LE3752潤滑脂後進行實地量產運轉30天與45天測試，並於定期保養期間，進行油脂性能分析，並對該軸承與潤滑脂壽命進行理論計算。

經理論估算工輓軸承所用之的潤滑脂的壽命約為700小時(約為29天)，若考慮軸承溫昇，當軸承使用超過30天時，潤滑脂開始劣化的機率大增，導致軸承壽命由10萬小時大幅降低，建議該鋼鐵廠的工輓軸承潤滑脂換脂週期由現行的45天調整為30天為宜。

在實測方面，本研究成果獲得發明專利「一種判斷潤滑脂工作溫度之方法」(中華民國發明專利第I265282號)，以顏色轉換間接判定潤滑脂工作溫度，可以較具準確性的間接得知軸承運轉溫度，依照此法在實地量產運轉30日的軸承運轉溫度約介於130~140°C之間，實地運轉45日後的軸承運轉溫度約介於150~170°C之間。

關鍵字：工輓軸承、潤滑脂、軋延、軸承壽命、工作溫度

一、前言

國內某知名鋼鐵廠的軋延廠生產線，每天三班制廿四小時不停的產製中。軋延生產線之工輓軸承每45天定期換脂並檢視表面磨損的狀況，若發生嚴重磨損，則請購新品替換，但因該軸承係購自國外，請購時間長達500天以上且供貨不穩定，待料情況嚴重。然工輓兩側的滾子軸承(見圖1)磨耗或損壞率極高，平均軸承壽命約為6個月左右，因此若是發生的磨損情況較不嚴重的時候，則分別將內、外環磨損處予以研磨拋光後繼續使用。但是這種做法會擴大原有的軸承間隙，影響潤滑功能，也影響兩側油封的密閉性能，且工輓兩側之滾子軸承所處環境是會受到軋延油噴灑侵入油封的環境，且壓延油係

屬含水之乳化油，故當油封與軸承間間隙因舊品研磨拋光後繼續使用導致擴大，或是軸承內部所填入的潤滑脂抗水性或是附著性不佳時，潤滑脂便更易變質而失去應有潤滑效果，導致以舊品研磨拋光後繼續使用的軸承壽命會更加縮短！故若能以延長工輓兩側的滾子軸承的壽命，對於鋼鐵業者而言，是件非常值得一試的改善計畫。



(a) (b)
圖1 軋延滾子軸承(新品) (a)滾子與內環
(b)組立完成並塗抹潤滑脂的滾子軸承

早在1970年，Yardley和Crump[1]便針對以潤滑脂潤滑的滾動軸承整理其失效的模式。Horth等人[2]針對滾動軸承中的潤滑脂溫升特性進行探討，Popinceanu等人[3]研究6308滾珠軸承使用鈣基與鈉基潤滑脂對疲勞壽命的影響。Raadnui[4]提出藉由監測使用過的潤滑脂中的外來物與磨屑或是與新油相比的油脂特性大幅變化等的方式來了解滾動軸承的磨潤特性。雖然尚有許多滾動軸承及潤滑脂進行理論或實驗探討[5-7]，但目前尚無針對工輓軸承或潤滑脂損壞相關的研究。至於實務上的技術經驗，因為多屬工業技術機密，無法獲得詳細的技術資料，故一般僅知潤滑油脂的基本常識與軸承選配、負荷計算與壽命評估等的理論與經驗公式[8-11]。

本研究係針對工輓軸承與潤滑脂的磨潤性能進行理論分析與測試評估，並於定期換脂保養期間，將油品抽出進行磨潤性能之分析，以了解工輓軸承壽命不常的原因並提出延長工輓軸承壽命之方法，並分析現況的45天的換脂週期是否妥當。

二、前言研究方法

在研究方法上，經由現場溫度、負荷、轉速與工作環境的數據紀錄，並應用軸承藍圖所標示的尺寸與軸承磨潤性能與壽命的相關公式，分析計算軸承受力與壽命；並以原使用油脂(廠牌名稱：協同油脂RBG)與合作產商之潤滑脂LE3752實際應用於軋延軸承之工輓軸承前、後的油脂磨潤特性進行實地試

驗，以評估LE3752潤滑脂應用於軋延軸承的效果並建立軋延軸承理論計算與二種潤滑脂適用性評比，同時建立軋延廠業界相關軸承磨潤分析的可行模式。實務分析的項目包括：

1. 硬度(潤滑脂稠度)：以了解二種潤滑脂硬度的差異。
2. 含水量：藉由紅外線水份計測試潤滑脂於試驗前、後含水量的差異，以了解軸承受到外圍環境中軋延油侵入所導致的含水量變化。
3. 耐水沖洗測試：耐水試驗表示潤滑脂的耐水沖洗性，或潤滑脂受水影響發生稠度變化或乳化分離之傾向。由於工軋軸承會受到大量的軋延乳化油之噴灑，故本測試項目甚為重要。

三、結果與討論

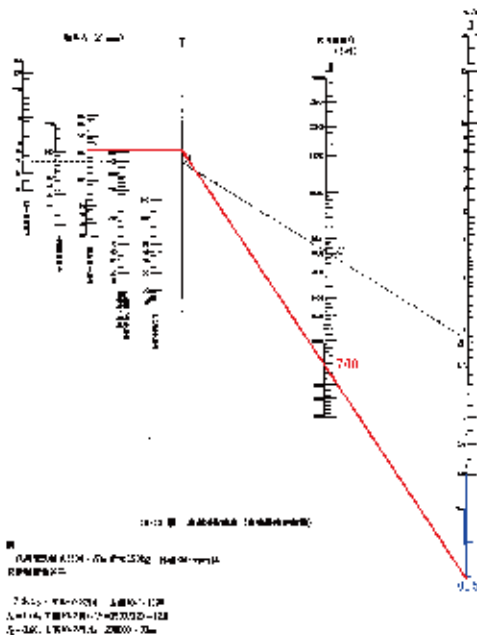
3.1 工軋軸承與潤滑脂壽命概算

由軋延廠所提供的資料得知工軋軸承內徑d為220 mm、軸承轉速為1061 rpm，由賴耿陽[11]所著第10章概算(A₀摘自[4]中的表10.2)：

$$n_0 = A_0/d = 120000/220 = 545.45$$

由圖2(取自[11]中圖10.12)概算潤滑脂的壽命約為700小時(約為29天)，此為使用溫度80°C以下的壽命，以上為假設尺寸係數f_s與荷重係數f_L均為1之推算，一般此二係數均小於1，亦即壽命會比29天略為低些。雖然以外插方式所求之結果不甚正確，但本研究尚會進行實測分析，以了解理論估算與實務上的分析之異同。

圖2 外插求潤滑脂壽命



3.2 硬度(針入度)測試

本研究係測試試驗前的潤滑脂的硬度，或稱之為稠度。係以針入度測試為之。以LE3752潤滑脂進行針入度測試，顯示其稠度為278。另軋延廠現況使用之RBG潤滑脂進行針入度測試，顯示稠度為301，故由NLGI稠度分類知LE3752潤滑脂是2號脂，而RBG潤滑脂則是介於1號與2號脂之間，在軋延軸承這類含水量高且受力較大的場合，稠度高一些較為適用，故知應用於軋延軸承這類含水量較高的場合，合作產商的LE3752潤滑脂要比RBG潤滑脂較為適用。

3.3 實地量產運轉試驗前、後的新、舊潤滑脂的含水量測試

本計畫所測試的含水量測試是以紅外線水份計來測定，其方式是以加熱乾燥試料並測定乾燥前後的重重量差異的方式來求得其含水量。圖3是LE3752與RBG潤滑脂實測30天之殘脂在140°C加熱溫度下之蒸發量比較，比較得知LE3752的蒸發量較大。

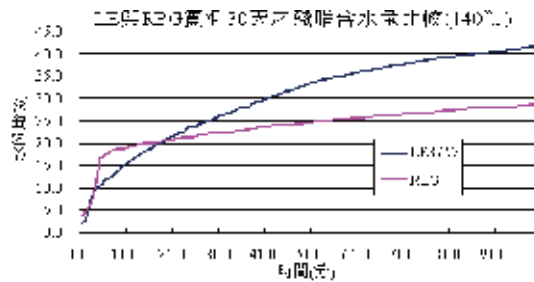


圖3 LE3752與RBG潤滑脂實測30天之殘脂在140°C加熱溫度下之蒸發量比較

3.4 實地量產運轉試驗前、後的新、舊潤滑脂的含水量測試

圖4與圖5分別是LE3752與RBG潤滑脂在不同加熱溫度(110、120、130、140、150與170°C)之紅外線水份測試結果，顯示LE3752油脂的色澤隨加熱溫度的升高而變紅褐色再變為黑紅褐色，而RBG油脂的色澤隨溫度升高而漸變黑褐色，俟溫度降回室溫後，其色澤仍維持紅外線烘烤變色後之油脂色澤，顯示受高熱後之油脂色澤會隨著不同的潤滑脂種類與設定溫度高低而變異。為確認上述說法，圖6為LE3752潤滑脂進行再現性測試並與第一次之色澤比較，顯示加熱後油脂所呈現之色澤與其加熱溫度高低有絕對之關係，且縱使潤滑脂的溫度由工作之高溫再降至室溫時，其因高溫而改變之色澤也仍繼續維持而不會變回原色，故可由試驗後的油脂顏色來估算軸承運轉時，潤滑脂所受到的溫度，我們稱這種方式為「以顏色轉換判定潤滑脂工作溫度的方法」，此方法已獲中華民國專利。

上述的溫度判定方法的最大功用在於以脂潤滑的軸承在運轉時，潤滑脂所處之使用溫度常無法直接以溫度感測器直接量得，但是軸承運轉溫度影響潤滑脂的壽命甚劇。許多實際場合無法量測潤滑脂的使用溫度，但是若藉由不同烘烤溫度下所做的紅外線水份測試結果得知許多油脂之色澤會在不同烘烤溫度下顯現不同的潤滑脂色澤，因此藉由將不同烘烤溫度下所做的紅外線水份測試之潤滑脂顏色與實地運轉後的軸承內部殘存潤滑脂色澤之比對，可間接得知軸承在運轉時，內部潤滑脂所處之環境溫度範圍的粗估。

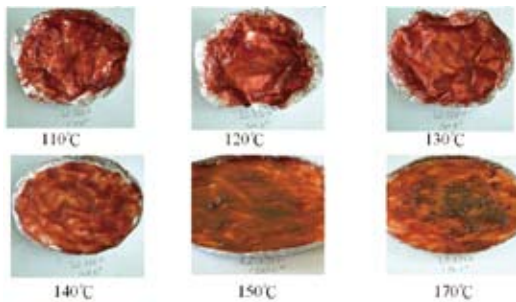


圖4 LE3752潤滑脂在不同加熱溫度之紅外線水份測試結果

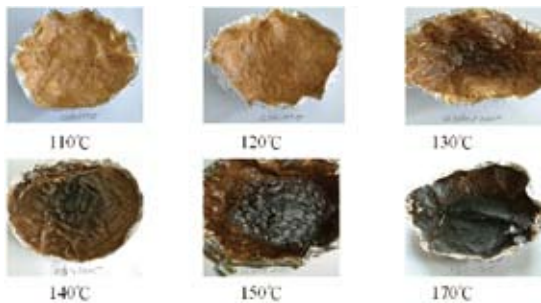


圖5 RBG潤滑脂在不同加熱溫度之紅外線水份測試結果

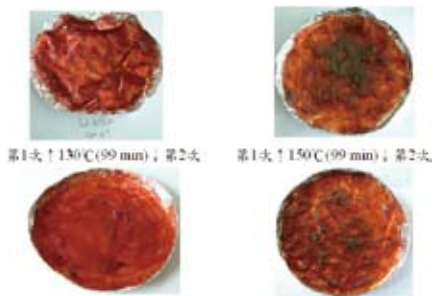


圖6 LE3752潤滑脂在130°C與150°C之2次紅外線水份測試結果比較

3.5 以LE3752潤滑脂與現用之RBG潤滑脂進行生產線實地量產運轉試驗

本計畫獲得軋延廠支持，分別在其軋延生產線中之工軋軋延用脂使用合作產商的LE3752與現用之RBG潤滑脂進行30日與45日之生產線實地運轉測試，當完成30日與45日之生產線實地運轉測試，主持人與合作產商人員於生產線實地運轉測試結束

後，進行拆卸保養換脂時，赴該軋延廠進行目視檢測並照相存證，並進行目視比較。

(a) LE3752潤滑脂進行30日之生產線實地運轉測試

當完成30日測試並進行拆卸保養換脂時，赴該軋延廠進行目視檢測，由圖7(a)確認軸承內之LE3752潤滑脂仍呈現原色澤(紅色)，由圖7(b)與(c)可看到軸承內部已有水份進入，經檢視外環軌道無明顯磨損痕跡(見圖7(d))。經以顏色轉換判定潤滑脂工作溫度的方法得知，比對LE3752(如圖8)與RBG(如圖9)的潤滑脂色澤，知軸承內部工作溫度約為130~140°C。

(b) LE3752潤滑脂進行45日之生產線實地運轉測試

當完成45日測試並進行拆卸保養換脂時，赴該軋延廠進行目視檢測，由於某些因素使得拆卸工作是在已卸下靜置5日以上之後才進行，雖已放置許久，但從圖10(a)可看到軸承外環軌道的水分仍然極多，軸承滾子表面幾無殘脂且含水量多(圖10(b))，圖10(c)中可看到在外環面尚有少許LE3752潤滑脂殘留，由圖10(d)經擦拭乾淨後的中可看到軸承受力點有暗褐紅色的區域，應係高溫所導致的潤滑脂乾涸的痕跡，以顏色轉換判定測定潤滑脂工作溫度的方法得知，LE3752變成暗紅褐色(如圖11)，RBG在150~170°C高溫下會變成黑褐色(如圖12)，故知軸承內部工作溫度約為150~170°C。

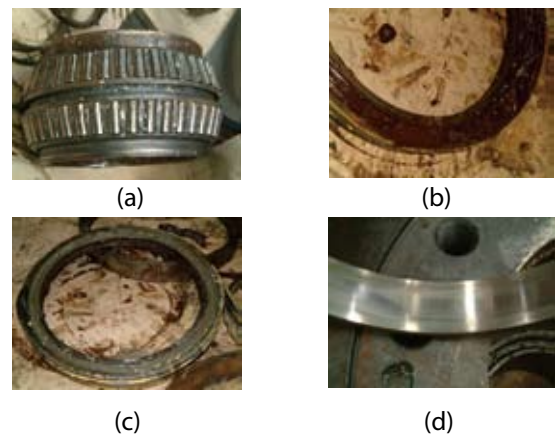


圖7 LE3752潤滑脂30日測試後拆卸目視檢測 (a)油封環間的潤滑脂 (b)軸承滾子 (c)軸承側蓋 (d)經擦拭乾淨後的軸承外環面。

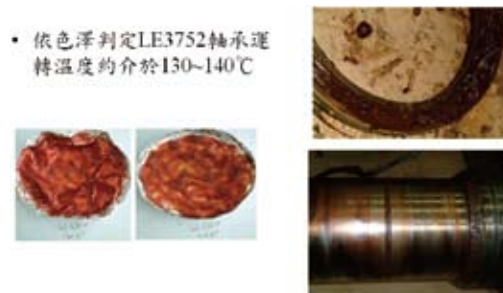


圖8 LE3752潤滑脂30日測試殘脂與加熱測試結果比較

• 依色澤判定RBG軸承運轉溫度約介於130~140°C



圖9 RBG潤滑脂30日測試殘脂與加熱測試結果比較



(a)



(b)



(c)



(d)

圖10 LE3752潤滑脂45日測試後拆卸目視檢測
(a)軸承外環軌道 (b)軸承滾子
(c)軸承外環軌道 (d)經擦拭乾淨後的軸承外環面。

• 依色澤判定LE3752軸承運轉溫度亦約介於150~170°C之間

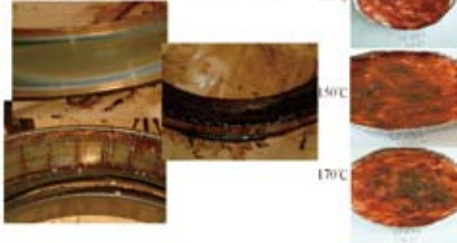


圖11 LE3752潤滑脂45日測試殘脂與加熱測試結果比較。

• 依色澤判定RBG軸承運轉溫度大約介於150~170°C之間



圖12 RBG潤滑脂45日測試殘脂與加熱測試結果比較。

3.6 溫度對潤滑脂壽命的影響之經驗分析

依照賴耿陽[11]所述，當軸承的使用溫度達80°C以上時，每增加10°C，潤滑脂壽命就成為原來

之2/3，由工軋軸承實地運轉30日與45日測試之估計軸承溫度分別約130~140°C與150~170°C，因此綜合此溫度效應與前一章節的推算，當軸承使用超過30天時，早已超過計算之一般潤滑脂應有壽命，故潤滑脂開始劣化的機率大增，因此導致溫度更加上升，產生惡性循環，更加速劣化。

3.7 溫度對潤滑脂壽命的影響之經驗分析

對工軋軸承用脂而言，因所處環境會受含大量水分的軋延油侵入之影響，因此潤滑脂越耐水沖洗越不易產生潤滑脂流失狀況。因45天實測後殘脂量過低無法取樣，因此使用LE3752與RBG的新脂與30天實測後殘脂進行耐水沖洗測試。表1為潤滑脂的耐水沖洗測試結果，由表知合作產商之LE3752潤滑脂不論是新脂或是30天實測後殘脂的耐水沖洗測試結果均優於RBG潤滑脂的耐水沖洗測試結果，顯示LE3752潤滑比RBG潤滑脂更適用於軋延軸承這類會受大量水分侵入的工作環境。

表1 潤滑脂的耐水沖洗測試結果

	種類	沖洗前重(g)	沖洗後重(g)	油脂損失量(g)	沖洗損失率
新脂	LE3752	4.040	2.142	1.898	46.98%
	RBG	4.051	1.679	2.372	58.55%
30天測試殘脂	LE3752	4.033	3.157	0.876	21.73%
	RBG	4.035	2.991	1.045	25.89%

3.8 改善效益評估

主持人於研究完成後至該鋼鐵廠成果報告，初步已獲該廠廠長共識，準備調整油脂的換脂週期至30~35天，經合作產商之後續的追蹤得知，該廠目前已將換油週期由原來之45天調整成35天。

初估本案改善效益為至少812萬元至數億元之譜，其分析如下：

減少工軋軸承購買費用：一顆工軋軸承約95,000元，一條生產線需4顆，以定額壽命100,000小時之一半與目前平均壽命4320小時計，故可節省約440萬元。

減少因工軋軸承損壞停工損失：以換脂一次需時12小時計，一小時停工損失約31萬元，每次工軋軸承損壞更換損失372萬元，此尚僅一次停工更換，並未計入多次停工與待料期！

經詢問合作產商知工軋軸承採購期長達500天，若須軸承待料導致停產，此重大損失更高達上億元的損失！

四、結論

利用以顏色轉換判定測定潤滑脂工作溫度的方法估計實地運轉30日的軸承工作溫度約介於130~140°C之間，實地運轉45日測試後的軸承工作溫度約介於150~170°C之間。

經估算工軋軸承的潤滑脂的壽命約為29天，若考慮軸承溫昇，當軸承使用超過30天時，早已超過一般潤滑脂應有壽命，故潤滑脂開始劣化的機率大增，目前該廠的工軋軸承潤滑脂的換脂週期為45日，建議換脂週期由45天調整為30天為宜。

合作產商之LE3752潤滑脂的耐水沖洗測試結果均優於競爭對手潤滑脂的耐水沖洗測試結果，顯示LE3752較適用於軋延軸承這類會受大量水分侵入的工作環境。

初估本案改善效益為812萬元至數億元。

9. 賴耿陽，潤滑油及潤滑，復漢出版社，台北，2001
10. 潤滑油脂產品及其應用(下冊)，中國石油股份有限公司出版，台北，2000
11. 賴耿陽，滾動軸承的選擇與使用，復漢出版社，台北，2001

參考文獻

1. Yardley E.D. and Crump W.J.J., Some failures of grease- lubricated rolling- element bearings, Use of Grease as an Engineering Component, Symp by Tribology Group of Inst Mech Eng, 1970, London, pp. 63-73.
2. Horth A.C.; Norton J.H.; Pattenden W.C., Temperature rise characteristics of greases in rolling element bearings, Lubric Eng, v 27, n 11, 1971, 380-385.
3. Popinceanu N.G.; Gafitanu M.D. and Hostiuc L., Effect of grease type on rolling bearing fatigue life, Wear, v 18, n 1, 1971, 71-75.
4. S. Raadnui, Used grease analysis for rolling element bearing condition monitoring, Proceedings of the 5th International Conference on Quality, Reliability, and Maintenance, QRM 2004, 2004, 97-99.
5. Mullett, G. W., "Grease lubrication of rolling bearings," Tribology(London),v6,n1,1973,21-28.
6. Muennich, H. C. and Gloeckner, H. J. R., Elastohydrodynamic lubrication of grease-lubricated rolling bearings, Preprints - Tribology Conference, 1978, 78-LC-4A-1, 5p
7. Cann, P.M., Doner, J.P.; Webster, M.N. and Wikstrom, V., Grease degradation in rolling element bearings, Tribology Transactions, v 44, n 3, 2001, 399-404.
8. 趙鵬程，軸承的使用與故障對策，全華科技圖書股份有限公司，台北，1999