

工具機高速主軸之性能測試與分析

郭慶祥、吳政憲

E-mail: 9015622@mail.dyu.edu.tw

摘要

高速切削已經逐漸成為機械加工的主流，要達成此一目標，工具機主軸的轉速勢必要提昇，但主軸高速運轉時，溫昇變形、迴轉精度及靜動剛性的問題，必須加以克服，才能提昇加工精度。但軸承在高速運轉下的動態負荷及溫昇乃是提高轉速的主要障礙，如何選擇適當的軸承配置和預壓量，以及提昇潤滑技術來減少軸承的發熱量，同時又能維持足夠的剛性，以抑制結構變形及顫振(chatter)，將是工具機主軸突破轉速限制的關鍵。由於主軸轉速提高，傳統的油脂潤滑(grease lubrication)方式已無法應用於高速主軸，取而代之的將是新式的潤滑方式，而其中油氣潤滑(oil-air lubrication)系統具備了油量控制精確、低消耗功率和低污染等優點，乃高速主軸較理想的潤滑方式。但是油氣潤滑系統採用每隔一段時間供給一定量潤滑液的方式，為了要達到軸承所需要的潤滑區域，必須精確地控制供油量，所以要在這種間歇式的供油條件下維持穩定的供油狀況並不容易。另外，軸承預壓量也是影響主軸動態性能的重要因素，預壓量會影響到主軸剛性，而造成的溫昇熱變形，也會使軸承預壓量再度改變，而這些因素都會影響主軸的動態迴轉精度。這些參數及特性之間的關係，是急需探討和研究的。綜觀以前的參考文獻可以發覺，以往的研究大多針對油氣潤滑軸承，或是簡易的測試用主軸進行分析，而且測試的結果並不完整，因此本研究將對商用的工具機油氣潤滑主軸，進行動態性能的測試與分析，探討供油參數及主軸受動態切削負荷下之溫昇熱變形，並改變軸承預壓量，分析預壓量與主軸靜動剛性、溫昇熱變形及迴轉精度之關係。除了進行實際的測試外，在本研究中亦利用有限元素的分析方法與實驗值比對，以建立完整分析技術，以供業界在設計主軸時的參考。

關鍵詞：油氣潤滑主軸、溫昇變形、動態迴轉精度、軸承預壓、靜剛性、動剛

目錄

第一章 緒論	1.1 前言	--P1
	1.2 文獻回顧	--P2
	1.3 研究目的及方法	--P6
	1.3.1 溫昇熱變形實驗分析	--P7
	1.3.2 主軸迴轉精度檢測	--P7
	1.3.3 主軸之靜動剛性測試與分析	--P8
	1.4 論文架構	--P9
第二章 油氣潤滑主軸系統之供油穩定性實驗	2.1 油氣潤滑主軸之潤滑原理	--P11
	2.2 影響供油穩定性之參數評估	--P14
	2.3 供油穩定性之實驗方法與步驟	--P16
	2.3.1 油氣輸送管對供油穩定性之實驗方法	--P17
	2.3.2 噴油時間間隔對供油穩定性之實驗方法	--P19
	2.3.3 空氣壓力對供油穩定性之實驗方法	--P20
	2.3.4 每次噴油量對供油穩定性之實驗方法	--P21
	2.3.5 潤滑油黏度對供油穩定性之實驗方法	--P21
	2.4 建立最佳供油參數	--P24
	2.4.1 油氣輸送管對供油穩定性之影響	--P24
	2.4.2 噴油時間間隔對供油穩定性之影響	--P25
	2.4.3 空氣壓力對供油穩定性之影響	--P27
	2.4.4 每次噴油量對供油穩定性之影響	--P29
	2.4.5 潤滑油黏度對供油穩定性之影響	--P30
第三章 主軸結構靜動剛性測試與分析	3.1 靜剛性測試與分析	--P34
	3.2 動剛性測試與分析	--P38
	3.3 靜剛性測試與分析結果與討論	--P40
	3.4 動剛性測試與分析結果與討論	--P50
第四章 主軸溫昇熱變形測試與分析	4.1 主軸溫昇熱變形測試與分析	--P56
	4.2 主軸溫昇熱變形測試與分析結果與討論	--P67
第五章 主軸迴轉精度檢測	5.1 主軸迴轉精度量測方法	--P78
	5.2 主軸迴轉精度檢測結果	--P83
第六章 結論與未來研究方向		--P91

參考文獻

- [1]戴曙, "機床滾動軸承應用手冊", 機械工業出版社, 1993
- [2]MAURER, T.J. P.L. JEAKLE AND C. WILLNER, "SPINDLE LUBRICATING SYSTEM", U.S.PATENT:3,939, 944
- [3]AOYAMA, T. AND I. LNASAKI, "STUDY OF OIL-AIR LUBRICATION OF HIGH-SPEED BALL BEARING SYSTEM FOR MACHINE TOOL APPLICATION", NAMRCXV PROCEEDINGS 1987, PP.558-564
- [4]高志忠, "高速球軸承在油氣潤滑系統下之性能研究", 國立中正大學碩士論文, 1995
- [5]OPTIZ, H. AND R. NOPPEN, "A FINITE ELEMENT PROGRAM SYSTEM AND ITS APPLICATION FOR MACHINE TOOL STRUCTURAL ANALYSIS" MTDR, VOL.13,1972, PP55-60
- [6]BRYAN, J., "INTERNATIONAL STATUS OF THERMAL ERROR RESEARCH", ANNALS OF CIRP, VOL.39/2/ 1990
- [7]OKUSHIMA, K., "COMPENSATION OF THERMAL DISPLACEMENT BY COORDINATE SYSTEM CORRECTION", ANNALS OF THE CIRP, VOL. 24/1/1975, PP.327-331
- [8]WECK M. AND L. ZANGS, "COMPUTING THE THERMAL BEHAVIOR OF MACHINE TOOLS USING THE FINITE ELEMENT METHOD POSSIBILITIES AND LIMITATIONS", MTDR, VOL.16,1975, PP185-194
- [9]ARAMAKI ET.AL, "THE PERFORMANCE OF BALL BEARING WITH SILICON NITRIDE CERAMIC BALLS IN HIGH SPEED SPINDLE FOR MACHINE TOOLS" ASME, JOURNAL OF TRIBOLOGY, VOL.110,1988
- [10]NAKAMURA AND KAKION, "A PERFORMANCE EVALUATION OF PRELOAD SWITCHING SPINDLE" JOURNAL OF JAPAN

SOCIETY OF PRECISION ENGINEERING, VOL.60.NO.5, PP688-692, 1994 [11]王榮邦, "CNC工具機加工精度與熱誤差之研究", 國立台灣大學碩士論文, 1996 [12]孟令人, "高精度工具機熱變形補償控制技術", 國立台灣大學碩士論文, 1997 [13]NAKAGAWA, J., T. AOYAMA, I. INASAKI AND T. SHIMIZU, "STUDY OF HIGH SPEED SPINDLE FOR MACHINE TOOL WITH OIL-AIR LUBRICATION", 日本機械學會論文集 (C編) 53卷485號 (昭62-1) [14]MARTIN, D.L., A.N.TABENKIN AND F.G. PARSONS, "PRECISION SPINDLE AND BEARING ERROR ANALYSIS", INT. J. MACH. TOOLS MANUFACT. VOL. 35, NO.2, PP.187-193, 1995 [15]LEE, E.S. AND H.G. WI, "A COMPREHENSIVE TECHNIQUE FOR MEASURING THE THREE-DIMENSIONAL POSITIONING ACCURACY OF ROTATING OBJECT", INT J ADV MANUF TECHNOL 14, PP.330-335, 1998 [16]MARSH, E. AND GREJDA, R. "EXPERIENCES WITH THE MASTER AXIS METHOD FOR MEASURING SPINDLE ERROR MOTIONS", PRECISION ENGINEERING 24(2000) PP.50-57, 2000 [17]YANG, S., "A STUDY OF STATIC STIFFNESS OF MACHINE TOOL SPINDLE", INT. J. MACH. TOOLS DES. RES. VOL.21, NO.1, PP.23-40, 1981 [18]SOON, M.P. AND B.J. STONE, "THE STIFFNESS OF STATICALLY INDETERMINATE SPINDLE SYSTEMS WITH NONLINEAR BEARINGS", INT J ADV MANUF TECHNOL 14, PP.787-794, 1998 [19]FILIZ, H., " DEFORMATIONS AND PRESSURE DISTRIBUTION ON MACHINE TOOL SLIDEWAYS ", INT. J MACH. TOOLS MANUFACT. VOL. 37, NO. 3, PP.309-318, 1997 [20]FURUKAWA, S. AND N. MORONUKI, "CONTACT DEFORMATION OF A MACHINE TOOL SLIDEWAY AND IT -S EFFECT ON MACHINING ACCURACY", INTERNATIONAL JOURNAL OF JAPANESE SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS, 1987 [21]HASHIMOTO, M., E. MARUI AND S. KATO, "ESTIMATION OF CONTACT STIFFNESS AT INTERFACES IN MACHINE STRUCTURES BY A BEAM MODEL ON AN ELASTIC FOUNDATION", TRIBOLOGY INTERNATIONAL, 1994 [22]MASUKO, M. AND Y. ITO, "DISTRIBUTION OF CONTACT PRESSURE ON MACHINE TOOL SLIDEWAYS". PROCEEDINGS OF THE 10TH INT. MACHINE TOOL DESIGN AND RESEARCH CONFERENCE, MANCHESTER. MACMILLAN, PP. 641-650, 1969 [23]CHANG, C.N. AND W.R. WANG, "DYNAMIC ANALYSIS AND DESIGN OF A MACHINE TOOL SPINDLE-BEARING", JOURNAL OF VIBRATION AND ACOUSTICS, VOL.116, PP.280-285, 1994 [24]XU, M. AND J.R. BIRCHMEIER, "DYNAMIC STIFFNESS TESTING AND ITS APPLICATIONS IN MACHINE TOOLS", SOUND AND VIBRATION, PP.14-23, 1997 [25]"FAG SUPER PRECISION BEARINGS", PUBL. NO. AC 41 130/3 EA, JUNE, 1998 [26]HARRIS, A. "ROLLING BEARING ANALYSIS", JOHN WILEY & SONS, 2ND EDITION, 1982 [27]SHAW, C. AND F. MACKS, "ANALYSIS AND LUBRICATION OF BEARING", MCGRAW-HILL, 1ST EDITION, 1949 [28]何俊龍, "高精度車床熱誤差及補償研究", 國立中興大學碩士論文, 1998