پنجمین کنفرانس ملی خلأ ایران
پژوهشکده علوم و صنایع غذایی
مشهد مقدس ۱۰ و ۱۱ اسفند ۹۰
Archive of SID

بررسی لقی‌ها و دقت‌ها در ساخت قطعات پمپ توربومولکول تولید کننده خلأ بالا- قسمت اول روش‌های بررسی لقی‌ها و دقت‌ها

سعید ربیعی گل خطمی[۱] ، علی فائزیان[۲] و سید یوسف احمدی بروغنی[۳]

[۱] کارشناس ارشد مکانیک-طراحی کاربردی، دانشگاه بیرجند
[۲] استادیار گروه مکانیک، پژوهشکده علوم و صنایع غذایی
[۳] استادیار دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه بیرجند، بیرجند

چکیده

در این مقاله به روش‌های بررسی خطای مجاز ساخت هر قطعه و لقی‌ها مجاز مونتاژ قطعات پمپ توربومولکول تولید کننده خلأ بالا پرداخته می‌شود. سپس روشهای مختلف مدل سازی خطای ساخت و لقی‌های قطعات معرفی شده و تئوری روش خطی‌سازی مستقیم و روش پیاده سازی ان بیان می‌شود.

Investigation on the Manufacturing and Assembling Tolerances of Turbomolecular High Vacuum's Pump – Part 1 The Tolerance Analysis Methods

S. Rabiee-Gol-Khatmi[1], A. Faezian[2], S. Y. Ahmadi-Brooghani[3]
[1] *M.Sc. Student of Mech. Eng. Dept., University of Birjand, Iran.*
[2] *Assistant Prof., Mech. Eng. Dept., Research Institute of Food Science & Tech., Iran.*
[3] *Assistant Prof., Mech. Eng. Dept., University of Birjand.*

Abstract

In this paper, the tolerances of turbomolecular high vacuum pump has been investigated. At first, the tolerance analysis methods are introduced. Then, the direct linear method is applied to analyze the manufacturing and assembling tolerances of parts of this pump.

مقدمه

امروزه پمپ‌های تولیدکننده خلأ از اهمیت بالایی در صنعت برخوردار می‌باشند. نمونه‌ای خاص از انواع این پمپ‌ها، پمپ تولیدکننده خلأ توربومولکولار می‌باشد که به علت سرعت دورانی بسیار بالای روتور آن (در حدود ۳۰۰۰۰ دور در دقیقه)، رعایت تلرانس‌های ساخت قطعات آن و مونتاژ آن‌ها، بسیار حائز اهمیت می‌باشد و در همین راستا، دستیابی به مقدار حداقل تلرانس‌های مورد نیاز در ساخت قطعات این مجموعه پمپ‌ها، به عنوان قسمتی از دانش فنی ساخت پمپ توربومولکولار تولیدکننده خلأ بالا مطرح می‌شود. در فرآیند طراحی مجموعه ماشین‌آلات، تشخیص مقادیر نیروهای وارد بر اجزای تشکیل دهنده آن ماشین و تغییر شکل‌های در حین کار آن، جزء لاینفک طراحی محسوب می‌شود. از اینرو در این مقاله روش‌های رایج تحلیل تلرانس و رعایت دقت‌های ساخت

www.SID.ir

Archive of SID

قطعات در مجموعه‌های دقیق (از جمله پمپ توربومولکول خلأ بالا) ارائه می‌گردد.

حال سوال این است که چه محدوده‌ای برای چه قطعه‌ای باید انتخاب گردد؟ برای پاسخ به این سئوال روش‌های متعددی ابداع شده‌اند که براساس شبیه‌سازی تولید و یا با استفاده از روش‌های جبری قبل از تولید قطعات، مقادیر تلرانس‌های آن‌ها را مشخص می‌کنند. از میان روش‌های مختلف شبیه‌سازی، روش شبیه‌سازی مونت کارلو و از میان روش‌های جبری، روش خطی‌سازی مستقیم[1]، بیشترین کاربرد را در تعیین تلرانس‌های قطعات دارند.

معرفی روش خطی‌سازی مستقیم

تحلیل تلرانسی مجموعه‌های مونتاژی روشی است که با ترکیب نیازهای مهندسی و قابلیت‌های ساخت در یک مدل مشترک، باعث ارتقاء و بهینه‌سازی مهندسی همزمان[2] می‌گردد. در این قسمت روش خطی سازی مستقیم برای تحلیل تلرانسی مجموعه‌های دو بعدی ارائه می‌گردد. برای انجام تحلیل تلرانسی از مباحث رایج در مهندسی از قبیل حلقه‌های برداری، مفصل‌های سینماتیکی، مختصات مرجع، تلرانس‌های ابعادی[3] و تلرانس‌های هندسی[4] استفاده می‌گردد.

روش خطی‌سازی مستقیم یک روش مناسب برای تلفیق با سیستم‌های طراحی به کمک رایانه[5] می‌باشد و با رشد و توسعه سیستم‌های طراحی به کمک رایانه روش خطی‌سازی مستقیم نیز رشد و کاربرد قابل ملاحظه‌ای در طراحی‌های صنعتی داشته است. این روش برای تخمین میزان انباشتگی تلرانس در مجموعه‌ها، از جبر ماتریسی و خطای ریشه مجموع مربعات استفاده می‌کند. سه منبع اصلی تغییرات در مشخصه‌های مونتاژی مجموعه‌های سینماتیکی با قطعات صلب که در مدل‌ها گنجانده می‌شوند عبارتند از: تغییرات ابعادی، تغییرات هندسی، تغییرات سینماتیکی [۱].

1-Direct Linearization Method (DLM)
2- Concurrent Engineering
3- Dimensional Tolerance
4- Geometric Form and Feature Tolerance
5- Computer Added Design (CAD)

روش خطی سازی مستقیم از لحاظ محاسباتی پیچیدگی بالایی ندارد؛ بنابراین این روش برای تکرار طراحی و بدست آوردن حالت بهینه تلرانس متغیرهای تولیدی و نیز محاسبه حساسیت و مقادیر انباشتگی تلرانس‌ها مناسب است. در روش خطی سازی مستقیم ممکن است اختصاص تلرانس به قطعات بدون تکرار تحلیل‌ها انجام شود. علاوه بر این، روش خطی سازی مستقیم نیازی به یک تابع صریح از متغیر مونتاژی مجموعه بر حسب متغیرهای تولیدی ندارد. روش‌های ماتریسی که در روش خطی سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد، ساخت و استخراج دستی معادلات ضمنی ریاضی را غیر لازم ساخته است.

مزایای روش خطی‌سازی مستقیم

روش خطی مستقیم نسبت به روش‌های سنتی تحلیل و تعیین تلرانس مجموعه‌های مونتاژی دارای مزایایی است که در ذیل به آن‌ها اشاره می‌شود [۱]:

- مجموعه‌ای از قواعد فراهم شده تا بر اساس آنها از اعتبار و صحت مجموعه حلقه‌های برداری اطمینان حاصل شود. حلقه‌ها فقط ابعاد کنترل شده‌ای را که در تغییر ابعاد بحرانی(مشخصه مونتاژی) سهیم می‌باشند شامل می‌شوند.
- مجموعه‌ای از حلقه‌های برداری به منظور مدلسازی معرفی خواهند شد که این بردارها به شناسایی ابعاد قابل تنظیم داخل مجموعه کمک می‌کنند. تغییرات این ابعاد، توسط تغییرات محدوده تلرانسی قطعات تولیدی مجموعه کنترل می‌شود.
- علاوه بر توضیح نحوه تغییرات در مشخصه مونتاژی (متغیر زاویه‌ای یا متغیر ابعادی)، گروه کاملی از نیازهای عملکردی مجموعه را برای طراح روشن می‌کند.
- در این روش، محاسبات جبری جهت بدست آوردن رابطه صریحی برای مشخصه مونتاژی[6] مجموعه، حذف گردیده

6 -Assembly Specification

www.SID.ir

Archive of SID

است. سیستم جدید کارآیی مناسبی روی معادلات ضمنی در مجموعه‌ها دارد و معادلات حلقه بصورت یکسانی در هر مرحله حل می‌گردند.

- در این روش به جای مشتق‌گیری از یک رابطه پیچیده، از عملیات ماتریسی استفاده می‌گردد. بدین ترتیب تمامی حساسیت های تلرانسی مورد نیاز مجموعه، از طریق عملیات ماتریسی معین می‌شوند.
- منابع تغییرات از قبیل تلرانس های ابعادی و فرم می‌توانند در مدل مجموعه‌ای برداری گنجانیده شوند.

منابع ایجاد تغییر در مجموعه‌ها

سه منبع مهم ایجاد تغییرات وجود دارد که باید در مورد مجموعه‌های مکانیکی مد نظر قرار گیرند [۲]:

- تغییرات ابعادی (طول و زاویه)
- تغییرات هندسی شکل[1](تختی-دایره بودن و...) و ویژگی-ها[2] (موقعیت, مدور بودن, زاویه دار بودن و ..)
- تغییرات سینماتیکی (تنظیمات کوچک بین اجزاء در حال تماس)

معادلات حاکم

خطای مجاز[3] تولید قطعات به شکل متغیرهای برادری {dx} و لقی مجاز[4] مونتاژ قطعات به شکل متغیرهای برادری {dU} بیان می‌شود. همچنین ماتریس ضرایب متناظر آنها به ترتیب با [A] و [B] و معادله (۱) معادله حاکم بر جمع خطای مجاز تولید و لقی مجاز مونتاژ قطعات تعریف می‌شود. براساس معادله (۱) جمع برداری خطای مجاز ساخت و لقی مجاز مونتاژ {dh} باید صفر شود. برای توضیح بیشتر در باره متغیرهای برداری و ماتریس ضرایب آنها به مرجع [۳] مراجعه شود.

$$[A]\{dx\}+[B]\{dU\}=\{dh\}=\{0\} \qquad (۱)$$

برای سهولت در بکارگیری رابطه (۱)، ابتدا این معادله در ماتریس معکوس ماتریس [B] ضرب می‌شود. در نتیجه بردار متغیرهای مونتاژی (یا لقی مجاز) بصورت معادله (۲) بدست می‌آید.

$$\{dU\}=-[B]^{-1}[A]\{dx\} \qquad (۲)$$

برای پمپ توربومولکول که قطعات آن دارای تقارن محوری می‌باشند بسط معادله برداری (۱) به شکل سه معادله (۳)، (٤) و (۵) بیان می‌شود.

$$dh_x = [\frac{\partial h_x}{\partial x_i}]dx_i + [\frac{\partial h_x}{\partial u_j}]du_j = 0 \qquad (۳)$$

$$dh_y = [\frac{\partial h_y}{\partial x_i}]dy_i + [\frac{\partial h_y}{\partial u_j}]du_j = 0 \qquad (٤)$$

$$dh_\theta = [\frac{\partial h_\theta}{\partial x_i}]dx_i + [\frac{\partial h_\theta}{\partial u_j}]du_j = 0 \qquad (۵)$$

در روش خطی سازی مستق نسبی $\frac{\partial h_i}{\partial x_j}$ ثابت در نظر گرفته می-شود.

نتیجه‌گیری و جمع بندی

با توجه به موارد فوق پس از استخراج اندازه‌های تقریبی و جنس فرضی، تحلیل نیرویی صورت می‌پذیرفت. چنانچه نتایج مطلوب نبود می‌توان با تغییر جنس و تغییر عمر محصول، در نهایت به یک قطعه طراحی‌شده یا یک ماشین طراحی شده دست یافت. اما نتیجه کلی این طراحی، امروزه به عنوان یک مقدمه در یک طراحی پیشرفته پذیرفته شده است.

روش‌های تحلیل تلرانسی بر پایه فرض صلب بودن قطعات مجموعه شکل گرفته‌اند. در شرایط کنونی و با بکارگیری نرم

---

[1] - Form
[2] - Features
[3] Tolerance
[4] Clearance

www.SID.ir

Archive of SID

افزارهای تحلیلی، امکان بررسی تغییر شکل‌ها و واکنش مجموعه‌ها در شرایط کارکرد ماشین وجود دارد و به راحتی می‌توان با ترکیب نتایج تحلیل تلرانس در دو حالت صلب و غیر صلب، نتایج دقیق-تری را در تلرانس‌گذاری مجموعه‌ها بدست آورد.

مراجع

[۱] K.W.Chase,"Tolerance Analysis of 2-D and 3-D Assemblies", *Department of Mechanical Engineering Brigham Young University*, **www.adcats.com**, 1999.

[۲] K.W.Chase,"Basic tools for tolerance analysis of mechanical assemblies", *Department of mechanical engineering Brigham Young university*,1999,**pp.1-7**.

[۳] سعید ربیعی، " تحلیل پوسته یک پمپ توربومولکول خلأ بالا به روش اجزاء محدود جهت بدست آوردن تلرانس‌های ساخت "، *پایان‌نامه کارشناسی ارشد مکانیک*، **دانشگاه بیرجند**، تابستان ۱۳۹۰.

www.SID.ir