

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТОЧНОСТІ ЗБІРНОГО РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

Пасічник В. А., д.т.н., професор, Яковенко Д.В., магістрант

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

За допомогою теорії розмірних ланцюгів розв'язують чисельні конструкторські, технологічні та метрологічні задачі [1], зокрема, встановлення геометричних і кінематичних зав'язків між розмірами деталей; розрахунок номінальних значень, відхилень та допусків розмірів ланцюгів; розрахунок норм точності та розробка технічних умов на машини та її складові частини; аналіз правильності проставлених розмірів і відхилень на робочих кресленнях деталей; розрахунок міжопераційних розмірів, припусків і допусків, перерахунок конструкторських розмірів на технологічні операції (вибір варіанту базування); обґрунтування послідовності технологічних операцій при виготовленні та складанні виробів; обґрунтування і розрахунок необхідної точності пристроїв; вибір засобів і методів вимірювання, розрахунок точності вимірювань.

Ефективним засобом аналізу розмірних ланцюгів є розмірний аналіз, який у [2] було визначено як «цілісний аналіз, здатний описати кумулятивний ефект накопичення варіації (*Accumulation of Variation*), накопиченням помилок (*Accumulation of Error*), аналізу відповідності (*Stack-Up Analysis*), аналізу допустимих відхилень (*Tolerance Analysis*)». Накопичувальний ефект варіації починається з першого технологічного процесу виготовлення елемента, і продовжується протягом всього життєвого циклу, створюючи таким чином ланцюг накопичених варіацій. Аналіз допустимих відхилень є загальним терміном у галузі машинобудівного виробництва та спрямований на зменшення дефектів кінцевого виробу, а також на покращення якості виробу шляхом зменшення варіацій кінцевого виробу. Задача проведення аналізу допустимих відхилень полягає в прогнозуванні впливу зміни виробничих процесів на продуктивність виробництва та вартість кінцевого виробу [3].

Розрізняють різновиди розмірного аналізу: метод мінімуму-максимуму (*Worst-Case Method* [4]); ймовірнісний метод (*Statistical Tolerance Analysis Root Sum Square Method* [5]); метод статистичних випробувань (*Monte Carlo Method* [6]); метод векторної петлі (*Vector-Loop Tolerance Models* [7]); метод лінеаризацій (*Linearization Method* [8]). Основні переваги і недоліки означених методів, особливо в частині аналізу складних за формою об'єктів і збірок визначені у [9].

Постійне підвищення складності геометричних характеристик виробів збільшує вплив розмірного аналізу на процес конструювання та вибору технологічних операцій виготовлення виробів. Ігнорування чи неглибоке проведення розмірного аналізу призводить до виготовлення невідповідних за геометричними параметрами деталей. Невідповідність отриманої геометрії виробів ускладнює та підвищує вартість процесу складання збірки, що може

негативно вплинути на якість всього кінцевого продукту, що в свою чергу знижує його конкуренцію на ринку [10]. Для того, щоб аналізувати геометричні відхилення вже під час проектування деталей, розроблені інструменти CAT (*Computer-Aided Tolerancing*). Ці інструменти дозволяють вирішувати різні завдання у сфері управління геометричними варіаціями, таких як уточнення допустимих відхилень, розмірний аналіз, розмірний синтез. Для середовища проектування CATIA розроблена низка модулів розмірного аналізу, а саме: *Sigmetrix CETOL 6 Sigma*, *eM-TolMate*, *VSA-GDT & VSA-3D*, *3DCS*. Порівняльний аналіз цих модулів [9] показав значні переваги модулю 3DCS, який було використано для моделювання точності збірки різальних інструментів.

Створення та підготовку моделі до аналізу в модулі 3DCS слід розбити на такі етапи: побудова твердотілої моделі; визначення послідовності складання; визначення геометричних допусків; побудова вимірювань. Модуль 3DCS ґрунтується на теорії представлення допустимих відхилень топологічно та технологічно пов'язаних поверхонь (*Topologically and Technologically Related Surfaces – TTRS*), що описує та класифікує поверхні та визначає їх алгебраїчний запис. Модель ґрунтується на послідовних зв'язках між елементарними поверхнями. Елементарні поверхні або об'єднання декількох реальних поверхонь об'єкта класифікуються за ступенями їх інваріантності. Під інваріантністю розуміють такі переміщення та обертання, при яких геометрія залишається незмінною. Існує 7 класів інваріантності: сферичний, плоский, циліндричний, гвинтовий, обертальний, призматичний та комбінований. Геометрія кожного з класів пов'язана та описується за допомогою мінімального зв'язаного геометричного елемента (*Minimal Reference Geometric Element – MRGE*), який є комбінацією простих геометричних об'єктів, таких як площина, лінія та точка. Використання MRGE дозволяє спростити розташування досліджуваного об'єкта в евклідовому просторі деталі, що розглядається. Для описання геометрії поверхні реального об'єкта за допомогою 7 класів інваріантності нам доступні 28 різних комбінацій простих геометричних об'єктів, які й є TTRS.

Основні етапи підготовки варіаційної моделі можна розбити на наступні пункти: створення схематичного зображення збірки; визначення комплекту баз (*DRF – Datum Reference Frame*) для кожної поверхні, компонентів збірки та збірки; перетворення поверхонь; створення збірки; виведення рівняння функціональних вимог, які відповідатимуть вимогам точності.

Для проведення аналізу впливу допусків та граничних відхилень в середовищі модуля 3DCS було обрано збірну кінцеву фрезу ASX400R504S32 [11], в якій необхідно дослідити зовнішній діаметр, повне радіальне та торцеве биття. За результатами дослідження, при умові використання запропонованого у [9] дерева побудови та кінематичних рухів, які описують процес складання та використовуючи запропоновані допуски та відхилення на компоненти збірки, отримано такі результати: за умови дотримання всіх допусків й вимог щодо точності окремих елементів деталей, діаметр фрези буде мати відхилення в

діапазоні ± 0.3 мм, повне радіальне биття складатиме 0.01 мм, повне торцеве биття складатиме 0.02 мм.

Аналіз чутливості показав, що найбільший вплив на зміну величини зовнішнього діаметра фрези має позиційний допуск внутрішнього отвору гвинта позиційної пластини; найбільший вплив на зміну повного торцевого та радіального биття мають допуски та відхилення притискного гвинта різальної пластини. Аналіз чутливості також показав, допуски та відхилення яких компонентів можна оптимізувати для забезпечення характеристик точності.

Література:

1. Балакшин, Б.С. Основы технологии машиностроения [Текст] / Б.С. Балакшин. М.: Машиностроение, 1969. 358 с.
2. Gerth RJ, Hancock WM. Computer aided tolerance analysis for improved process control Computers and Industrial Engineering. 38: p. 1-19.
3. J. Gao, W. K. Chase and P. S. Magleby. A New Monte Carlo Simulation Method for Tolerance Analysis of Kinematically Constrained Assemblies, Brigham Young University, Utah.
4. R. B. Fischer. Mechanical Tolerance Stackup and Analysis. Second edition, United States of America: CRC Press, 2011
5. C.-Y. Lin, W.-H. Huang, M.-C. Jeng and J.-L. Doong. Study of an assembly tolerance allocation model based on Monte Carlo simulation. Materials Processing Technology, No 70, pp. 1-8, 1995.
6. K. G. Swift, R. M, J. D. Booker and R. Batchelor. Tolerances in Assembly Stack Design, International Congress and Exposition, Detroit, 1999.
7. Charles G. Glancy. A second-order method for assembly tolerance analysis. ASME Design Engineering Technical Conferences, September 12-15, 1999, Las Vegas, Nevada.
8. Gao, J., K. W. Chase and S. P. Magleby. Comparison of Assembly Tolerance Analysis by the Direct Linearization Method and Modified Monte Carlo Simulation Methods, Proc. of the ASME Design Engineering Tech. Conf., 1995, pp. 353-360.
9. Яковенко Д.В. Комп'ютерне моделювання забезпечення точності збірного різального інструменту. Дис. маг., К., КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018, 92 с.
10. M. Yu, Y. Yan, J. Hao and W. Guoxin. A Nonlinear Tolerance Analysis Using Worst-Case and Matlab, Advanced Materials Research, pp. 1-7, 2011.
11. Вращающийся инструмент Mitsubishi. Каталог 2014 [Електронний ресурс]. Режим доступу - URL: http://www.mitsubishicarbide.com/EU/ru/product/pdf/c_n_other/c006r_k.pdf (дата звернення: 15.12.18)