

**РОЗРАХУНОК ДОПУСКІВ МЕТОДОМ РОЗМІРНОГО АНАЛІЗУ З
УРАХУВАННЯМ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ПОХИБКИ**

Розглянуто особливості застосування розмірного аналізу для розрахунку допусків, з урахуванням експлуатаційної похибки. Розмірний аналіз дозволяє забезпечити необхідну точність функціональних параметрів виробів і пов'язати між собою основні характеристики різних етапів життєвого циклу машини. Відомо, що найбільші відхилення від номінальних розмірів виникають зазвичай під час обробки та у процесі експлуатації деталі. Тому важливим є введення у розрахунки розмірного ланцюга значень сумарної похибки обробки та експлуатаційної похибки, що дозволить ще на етапі розрахунку допусків підвищити експлуатаційні показники виробу. Всі основні технологічні фактори, що впливають на формування сумарної похибки обробки пропонується виділити в ще одну групу операційних розмірів, що дозволяє вводити корекцію постійних систематичних похибок в операційний розмір налаштування. Запропоновано два основних методи зменшення експлуатаційних похибок: метод введення додаткової передавальної функції у вигляді матриць та метод введення додаткової складової ланки.

Ключові слова: розмірний аналіз, розрахунок допусків, сумарна похибка обробки, експлуатаційна похибка.

V. P. KVASNIKOV, M. O. BILAN
National Aviation University, Kyiv

**CALCULATION OF THE TOLERANCE BY METHOD OF THE ANALYSIS DIMENSIONAL WITH TAKING INTO
ACCOUNT THE OPERATIONAL ERRORS**

The paper presents the features of the application of the dimensional analysis for the calculation of the tolerances considering the operational error. Dimensional analysis can provide the required accuracy of the product functional parameters and tie together the main characteristics of the different stages of the life cycle of the machine. It is known that the largest deviation from the nominal size usually occur during processing and in service details. Therefore, the introduction to the calculations of the size of the total value chain of error handling and operational errors is important. It will at the stage of calculating tolerances to increase operational performance of the product. All major technological factors which influence the total error processing is proposed to allocate to another group of the operating size that allows to enter the permanent correction of systematic errors in the operating size setting. Proposed two basic techniques of reducing of the operational errors: input of additional transfer function in the form of the matrices and input of the additional component level.

Keywords: dimensional analysis, the calculation of tolerances, the total error of handling, operational error.

Вступ

Центральною техніко-економічною проблемою сучасного машино- та приладобудування є проблема точності. Насамперед вона полягає у розрахунку допусків численних геометричних і фізичних параметрів, які визначають експлуатаційні властивості та якість виробів. Одним з ключових методів створення якісних деталей, здатних безперебійно функціонувати протягом усього терміну експлуатації, є розмірний аналіз. Він дозволяє забезпечити необхідну точність функціональних параметрів виробів і пов'язати між собою основні характеристики різних етапів життєвого циклу машини.

Розмірний аналіз також є сполучною ланкою між конструкторськими і технологічними етапами підготовки виробництва до випуску нової продукції. Метод дозволяє ще до виготовлення дослідних зразків або застосування інших способів експериментальних перевірок розрахувати допуски геометричних параметрів і перевірити правильність їх призначення для забезпечення взаємозамінності і працездатності деталей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Незважаючи на досить добре розроблену теорію проведення розмірного аналізу та розрахунку допусків, є ряд задач які потребують подальшого розвитку. Зокрема, недостатньо розглянуто питання розрахунку допусків з урахуванням похибок, які виникають у процесі виготовлення деталей та під час їх подальшої експлуатації. Тому актуальним постає завдання розрахунку допусків шляхом розмірного аналізу з урахуванням усіх факторів, які можуть впливати на розмірні характеристики деталі та її якість.

Постановка задачі

Провести аналіз розрахунку допусків методом розмірного аналізу, з урахуванням експлуатаційної похибки.

Розв'язання задачі

При конструюванні механізмів, машин, приладів та інших виробів, проектуванні технологічних процесів та при виборі засобів і методів вимірювань виникає необхідність у проведенні розмірного аналізу, за допомогою якого досягається оптимальне співвідношення взаємопов'язаних розмірів і визначаються допуски операційних розмірів. Подібні геометричні розрахунки виконуються з використанням теорії розмірних ланцюгів [5].

На рис. 1. наведена найпоширеніша послідовність етапів проведення розмірного аналізу. Перший етап у побудові розмірного ланцюга полягає у визначенні параметрів замикаючої ланки, яка визначає ту

норму точності, яку необхідно забезпечити при складанні виробу для забезпечення необхідних експлуатаційних характеристик. Допустимі границі зміни замикаючої ланки та її допуску встановлюють виходячи з поставленого завдання (на підставі нормативів, розрахунків, експериментальних досліджень тощо). Наприклад, для розмірного ланцюга A : найменше значення – $A_{\Delta\min}$; найбільше значення – $A_{\Delta\max}$; допуск – $\delta_{A\Delta}$

$$\delta_{A\Delta} = A_{\Delta\max} - A_{\Delta\min} \quad (1)$$

При розрахунку розмірних ланцюгів необхідно прагнути встановлювати якомога більші значення допусків, однак при цьому має виконуватися наступна умова

$$\delta'_{\Delta} \leq \delta_{\Delta} \quad (2)$$

де δ'_{Δ} – розрахункове значення допуску замикаючої ланки;

δ_{Δ} – заданий допуск замикаючої ланки.

Номінальні розміри всіх ланок розмірної ланцюга розраховуються за формулою

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} \varepsilon_{A_i} A_i \quad (3)$$

де A_{Δ} – номінальний розмір замикаючої ланки розмірного ланцюга A ;

ε_{A_i} – передавальне відношення i -ої складової ланки розмірної ланцюга A ;

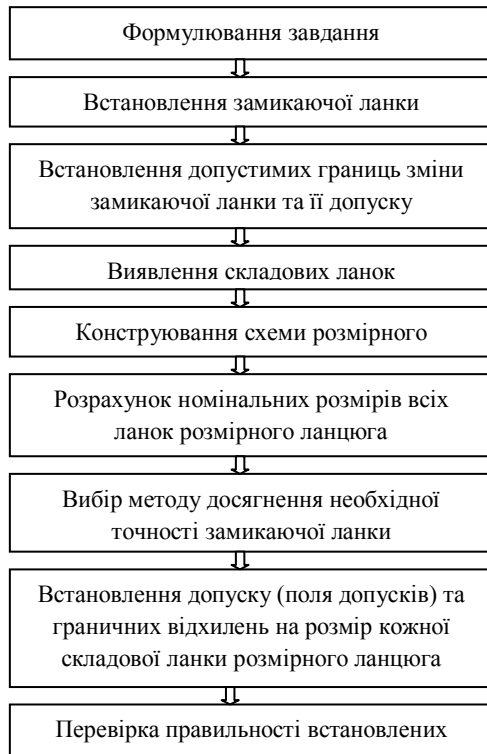


Рис. 1. Проведення розмірного аналізу

Встановлено, що будь-які зміни у розмірах складових ланок мають прямий вплив на розмір замикаючої ланки [8]. Збільшувачими називають такі ланки, із збільшенням яких величина замикаючої ланки збільшується; зменшувачими – ланки, із збільшенням яких величина замикаючої ланки зменшується. Тому, при поєднанні найбільш збільшувачої і найменше зменшувачої складових ланок замикаюча ланка матиме найбільше значення, а при поєднанні найменш збільшувачої і найбільш зменшувачої складових ланок – найменше значення [2].

Оскільки відомо, що похибка замикаючої ланки дорівнює сумі похибок складових ланок, то порядок процесу обробки складальної одиниці слід будувати таким чином, щоб розмірний ланцюг складався якомога з меншого числа розмірів.

Слід зазначити, що окрім вже описаної причини зміни розмірів складових ланок, існує цілий ряд інших факторів, які необхідно враховувати під час розрахунку допусків методом розмірного аналізу [3]. Відомо, що найбільші відхилення від номінальних розмірів виникають зазвичай під час обробки та у процесі експлуатації деталі. Тому важливим є введення у розрахунки розмірного ланцюга значень сумарної похибки обробки та експлуатаційної похибки, що дозволить

ще на етапі розрахунку допусків підвищити експлуатаційні показники виробу

$$A = \sum S \quad (4)$$

$$A_{\text{виг}} = \sum S + \sum \Delta_{\text{виг}} \quad (5)$$

$$A_{\text{факт}} = \sum S + \sum \Delta_{\text{виг}} + \sum I_{\text{екс}} \quad (6)$$

де A , $A_{\text{виг}}$, $A_{\text{факт}}$ – конструкторські розміри;

$\sum S$ – система ідеальних технологічних розмірів, що визначається схемами базування під час технологічних операцій в процесі обробки деталі;

$\sum \Delta_{\text{виг}}$ – елементарні похибки обробки;

$\sum I_{\text{екс}}$ – похибки, що з'являються при експлуатації деталі.

У результаті з'являється можливість виконання розмірного аналізу, що забезпечує необхідну точність усіх функціональних розмірів протягом заданого терміну експлуатації виробу [4]. Відомо, що сумарна похибка обробки є функцією ряду незалежних один від одного факторів, в числі яких:

- похибка форми виробу, викликана недосконалістю технологічного обладнання;
- похибка, обумовлена нестабільністю технологічної системи;
- похибка установки, що складається з похибок базування, закріплення та пристосування;
- похибка, обумовлена розмірним зносом інструменту;
- похибка розмірного налаштування обладнання;
- похибка, що обумовлена тепловими деформаціями технологічної системи [7].

Всі основні технологічні фактори, що впливають на формування сумарної похибки обробки слід виділити в ще одну групу операційних розмірів. У загальному випадку сумарна похибка Δ_{Σ} складається з деякої сукупності складових похибок

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_{\text{сист}} + \Delta_{\text{вип}} \quad (7)$$

де $\Delta_{\text{сист}}$ – систематичні похибки в процесі обробки;

$\Delta_{\text{вип}}$ – випадкові похибки в процесі обробки.

Враховуючи систему формування сумарної похибки обробки, яка формує допуск операційного розміру, можна легко уявити розмірний ланцюг для кожного операційного розміру. У нього входять розмір налаштування S_n (з допуском рівним похибці налаштування), а також інші елементарні похибки, які необхідно враховувати при розрахунку технологічної системи. Постійні систематичні похибки мають номінал рівний їх величині, яка розраховується за відповідною залежністю [7]. При цьому допуск дорівнює похибці яка використовується у розрахунковій схемі. Для інших елементарних похибок рекомендується приймати номінальний розмір який дорівнює нулю, а в допуску враховувати їх величину з урахуванням похибки розрахунку. Це дозволяє вводити корекцію постійних систематичних похибок в операційний розмір налаштування. Слід зазначити, що для більш точного визначення похибок обробки необхідно складати просторові розмірні ланцюги, які включають в себе елементи технологічної системи [1]. Це пояснюється тим, що в розмірному аналізі беруть участь розміри, які визначають положення одних деталей щодо інших або відносне положення різних поверхонь однієї і тієї ж деталі. На практиці ж ці розміри не можна отримати ідеально точними, тому що при обробці завжди мають місце технологічні похибки [6].

Як вже зазначалося, при експлуатації розмірні зв'язки не залишаються постійними. На виріб будуть впливати зовнішні та внутрішні чинники, які призводять до втрати точності та появи експлуатаційних похибок. Цей вплив необхідно враховувати для комплексного забезпечення точності [1, 3]. Запропоновано два основних методи зменшення експлуатаційних похибок:

1. Метод введення додаткової передавальної функції у вигляді матриць;
2. Метод введення додаткової складової ланки.

Перший метод добре підходить для обчислення коефіцієнтів передавальних відносин. Рівняння ланцюга при цьому задається у вигляді добутку матриць

$$[R_1][M_1][R_{ek1}][M_{ek1}] \dots [R_i][M_i] \dots [R_n][M_n] \{0001^T\} = \{H\} \quad (8)$$

де $\{H\}$ – вектор-стовпець замикаючої ланки, $[R]$ – матриці сумарних поворотів, рівні твору матриць поворотів навколо відповідних осей, $[M]$ – матриці переміщень.

Для розрахунку допуску замикаючої ланки або при визначенні допусків складових розмірів рекомендується використовувати метод введення додаткової експлуатаційної ланки, який дозволяє врахувати зміну векторів розмірів і кутів у процесі експлуатації.

$$\bar{T}_{\Delta} = \sum_i^n \bar{T}_i + \sum_j^m \bar{T}_{ek} \quad \text{або} \quad \{T_{\Delta}\} = [A]\{T\} + [E]\{T_{ek}\} \quad (9)$$

де T , T_{ek} – відповідно допуски на конструкторські та експлуатаційні розміри;

$[A]$, $[E]$ – матриці коефіцієнтів передавальних відносин для відповідних типів розмірів.

При використанні додаткової експлуатаційної ланки необхідно визначити її величину і напрям, які залежать від її типу. Для цих ланок номінальний розмір зручно приймати рівним нулю, а в допуску задавати весь діапазон можливого варіювання. Наприклад, особливістю ланки зношування сполучених поверхонь є те, що вона змінюється від нуля до деякого U_{max} . Тому можна прийняти номінал цього розміру рівним нулю, а допуск – U_{max} , куди входять наступні складові:

U_I – мінімальний лінійний або кутовий знос за деякий часовий проміжок;

U_{II} – коливання величини лінійної або кутової ланки зносу, обумовлене зміною форми зношених

поверхонь і яке визначається типом сполучення і характером його зношування;

U_{III} – коливання лінійного або кутового розміру, обумовлене похибкою розрахункової схеми (за рахунок мінімальних і максимальних значень параметрів) [4].

Особливістю ланок, що описують контактні деформації, є розходження величини і характеру деформацій при першому і повторних навантаженнях. Тому для цих ланок можна прийняти номінал рівний величині контактних деформацій при першому навантаженні, коли саме й відбуваються пластичні деформації, а допуск розміру – рівним величині повторних контактних деформацій [5].

Перевіряють правильність встановлених допусків за формулами:

а) при методі повної взаємозамінності

$$\delta'_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} \delta_i \quad (10)$$

де δ'_{Δ} – розрахункове значення допуску замикальної ланки; δ_i – допуск i -ої складової ланки;

б) при методі неповної взаємозамінності

$$\delta'_i = t_{\Delta} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \gamma_i^2 \delta_i^2} \quad (11)$$

де t_{Δ} – коефіцієнт ризику, який при нормальному законі розподілу відхилень і рівно ймовірнісному їх виході за обидві межі поля допуску замикальної ланки; γ_i – відносне середнє квадратичне відхилення (коефіцієнт відносного розсіювання) i -ої ланки; значення γ_i приймають залежно від передбачуваного закону розподілу ланки:

$\gamma = \frac{1}{3}$ – при нормальному законі розсіювання розмірів;

$\gamma = \frac{1}{\sqrt{6}}$ – якщо розсіювання розмірів близько до законом трикутника;

$\gamma = \frac{1}{\sqrt{3}}$ – якщо нічого невідомо щодо характеру кривої розсіювання ланки.

При проектних розрахунках звичайно припускають, що розсіювання розмірів відповідає закону нормального розподілу. У цьому випадку, формула (8) приймає наступний вигляд

$$\delta'_{\Delta} = \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \delta_i^2} \quad (12)$$

Таким чином, для перевірки правильності вибору допусків на складові ланки розмірних ланцюгів можуть бути використані формули (10), (11) або (12). Вибір конкретної формули залежить від допустимого відсотка ризику P , характеру взаємозв'язку різних розмірних ланцюгів в одному виробі і від інших факторів [8].

Висновки

Розрахунок допусків шляхом розмірного аналізу слід проводити з урахуванням багатьох факторів, які впливають на якість деталей. Використання розмірного аналізу сприяє забезпеченню заданої точності та забезпеченню необхідної працездатності деталей, а також удосконаленню проектованої технології виготовлення, зборки і умов їх подальшої експлуатації. Визначивши та виділивши в окрему групу розміри технологічної та експлуатаційної похибок, можна досягти значного підвищення якості деталей і, насамперед, забезпечивши їх необхідною точністю.

Література

1. Анухин В. И. Допуски и посадки. Выбор и расчет, указание на чертежах: учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп / Анухин В. И. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001. – 219 с.
2. Бутенко В. И. Технологическое обеспечение конкурентоспособности изделий авиационного машиностроения (авторский курс) / Бутенко В. И. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2011. – 295 с.
3. Дунаев, П. Ф. Расчет допусков размеров / П. Ф. Дунаев, О.П. Леликов. – М.: Машиностроение, 2001. – 304 с.
4. Ильицкий, В. Б. Модель обеспечения качества сборочных единиц на основе анализа размерных связей / В. Б. Ильицкий, Е. А. Польский, Д. М. Филькин // СПРАВОЧНИК. Инженерный журнал. М.: Машиностроение, №4(157). 2010 – С. 51-56.
5. Мухин В. С. Расчет технологических размеров: учеб. пособие / Мухин В. С. – Уфа: УГАТУ, 2004. – 205с.

6. Польский, Е. А. Модель комплексного анализа размерных связей для обеспечения точности сборочных соединений / Е. А. Польский, Д. М. Филькин // Известия ОрелГТУ. Серия «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии». ОрелГТУ, Орел. №5/277 (576). 2009. С. 59-66.

7. Походун А. И. Экспериментальные методы исследований. Погрешности и неопределенности измерений: учеб. пособие. / Походун А. И. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2006. – 112 с.

8. Стовпюк Ф. С. Технология изделий из древесины. Расчёт допусков: учеб. пособие по курсовому и дипломному проектированию / Стовпюк Ф. С. – Л.: ЛТА, 1986. – 80 с.

References

1. Anukhin V. I. Limits and fits . Selection and calculation, reference to the drawings: a tutorial. 2nd ed., Revised and / Anukhin VI – St. Petersburg.: Publisher SPbGTU 2001. – 219 p.

2. Butenko V. I. Technological competitiveness aircraft industry products (author's course) / V. Butenko - Taganrog: Publisher Tsure 2011. – 295.

3. Dounaev, P. F. Calculation dimensional tolerances / PF Dounaev, OP Lelikov. – М.: Mechanical Engineering, 2001. – 304.

4. Ilitsky, V. B. Model for quality assurance assembly units based on the analysis of dimensional relations / V. B. Ilitsky, E. A. Polskij, D. M. Filkin // DIRECTORY. Engineering Journal. Mashinostroyeniye, № 4 (157). 2010. P. 51-56.

5. Mukhin VS Calculation technological dimensions: studies. Benefit / VS Mukhin - Ufa USATU 2004. – 205 p.

6. Polish, EA Model comprehensive analysis of dimensional relationships to ensure the accuracy of assembly joints / EA Polskij, DM Filkin // News OrelGTU. Series "Fundamental and applied problems of engineering and technology." OrelGTU, Eagle. Number 5/277 (576). 2009. P. 59-66.

7. Pokhodun AI experimental research methods. Errors and measurement uncertainty: Textbook. allowance. / Pokhodun AI - St. Petersburg: St. Petersburg State University of Information Technologies, 2006. – 112 p.

8. Stovpyuk FS Technology of wood products. Calculation of tolerance: studies. manual on course and degree design / Stovpyuk FS - L.: LTA, 1986. – 80 p.

Рецензія/Peer review : 4.2.2014 р. Надрукована/Printed : 26.3.2014 р.

УДК 621.512.011.79

Г.М. КЛЕЦОВ

Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса

СКОРОЧЕННЯ ТЕРМІНІВ ПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВА ШТАМПІВ ЗА РАХУНОК АВТОМАТИЧНОЇ ПЕРЕДАЧІ АПРІОРНОЇ І МІЖСИСТЕМНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Розглядається зниження терміну підготовки виробництва за рахунок автоматичної передачі апріорної і міжсистемної інформації на базі стандартизованих штамп – напівфабрикатів.

Ключеві слова: підготовки виробництва, автоматична передача апріорної інформації, штамп – напівфабрикату

G. KLESCHEV

Odesa state academy of the technical adjusting and quality, Odesa

REDUCTION OF TERMS OF PREPRODUCTION OF STAMPS IS FOR ACCOUNT OF AUTOMATIC A PRIORI AND INTERSYSTEM INFORMATION TRANSFER

The decline of preproduction is examined after рохунок of automatic a priori and intersystem information transfer on the base of standardized stamp – ready-to-cook foods

Keywords : preproduction, automatic a priori infomation transfer, stamp – ready-to-cook foods

Вступ

У виробничому процесі холодне листове штампування (ХЛШ) один з найбільш прогресивних і розповсюджених конструкторсько- технологічних процесів, що дозволяє виготовляти з листового матеріалу найрізноманітніші за формою та розмірами деталі в короткий термін з мінімальними витратами та відходами. Такі галузі виробництва, як авіабудувельна, автобудувельна, сільськогосподарська, електротехнічна, приладобудувна та інші, є найбільшими споживачами виробів, які одержують холодним листовим штампуванням [1,3].

Проблема

В той же час, у зв'язку з відсутністю фахівців з наочної області, змінився попит ринку від індивідуалізації виробничих процесів на підвищений інтерес до комп'ютерних систем, за допомогою яких можливо забезпечувати серійне безлюдне та ефективне управління виробництвом [2]. Але трудоемкість та термін виробництва штампів дуже великий, а термін проектування і виготовлення штампів у партії «в ручну» займає до 2 років.

Мета досліджень

Скорочення терміну і трудових витрат підготовки виробництва та виготовлення штампів холодної листової штамповки