

**Тема уроку.** Приймання продукції. Поняття про неминучі погрішності при виготовленні деталей і складних виробів.

**Вивчення нового матеріалу.**

### Вплив похибок вимірювань на результати контролю

Очевидно, що якби для вимірювання застосовувалися деякі абсолютно точні вимірювальні засоби, причому в строго регламентованих умовах, що не призводять до появи навіть найменшої похибки вимірювання, то отримані результати відповідали б **дійсним розмірам** деталей.

Однак оскільки такі контрольні-вимірювальні засоби й умови вимірювання не ідеальні, в процесі вимірювання завжди виникає похибка, і дійсні розміри вимірюваних поверхонь деталі знає тільки Бог. З огляду на це дійсне значення розміру поверхні деталі заміняють **дійсним розміром**, під яким розуміють значення, яке знайдене дослідним шляхом і настільки близьке до дійсного, що приймається замість нього.

Іншим словами, при атестації контрольованого розміру похибка вимірювань призводить до того, що деталі привласнюється розмір, котрий і називається «дійсним», але вірогідність його залежить від похибки, що проявилася в момент вимірювань.

Важливість питання про ступінь наближення дійсного розміру до дійсного, тобто про точність вимірювань, очевидна, тому що при різному розумінні цього між замовником і виготовлювачем можуть виникати розбіжності з приводу дійсного розміру поверхні виготовленої деталі.

Виготовлювач продукції повинен враховувати похибку застосовуваних ним методів вимірювань і мати можливість відповідно до прийнятої форми контролю вибрати вимірювальні засоби, що можуть оцінити правильність застосовуваної технології виготовлення і контролювати стабільність продукції, одержуваної у процесі виробництва, а також робити розбраковування виготовленої продукції чи арбітражні перевірки при виникненні непорозумінь із споживачем або між виробництвом і ВТК (відділом технічного контролю).

Варто вибирати такі методи і засоби вимірювань, які, забезпечуючи потрібну точність контролю, не збільшують надмірно вартість продукції через складність і тривалість контролю чи невиправдане звуження допуску на виготовлення.

У залежності від стану і конструкції вимірювального засобу й умов проведення вимірювань їх, похибка проявляється у певній закономірності. Дійсні розміри оброблених деталей також підкоряються певним закономірностям, тобто мають певний закон розподілу. Отже, сполучення похибки вимірювання і дійсного розміру контрольованої деталі є подією випадковою і визначити результати неправильного розбраковування при певному сполученні можна тільки імовірнісним шляхом.

Розподіл похибки вимірювань звичайно приймається за нормальним законом (законом Гауса). Дослідження розподілу похибок вимірювань показали, що за строгим аналізом можна знайти відсутність математичного підтвердження абсолютно точного закону нормального розподілу. Але ці відхилення настільки незначні, що для практичних цілей можна безпомилково приймати нормальний закон.

У зв'язку з тим, що для похибки вимірювань приймається закон нормального розподілу, з симетричним характером, не тільки в таблицях, але й у позначеннях його параметрів використовується властивість симетричності. Так, за граничну похибку вимірювань приймається одnobічне відхилення симетричного розподілу. Граничною помилкою вимірювання можна було б прийняти величину розкиду випадкового розподілу. Але в теорії й практиці під поняттям «гранична похибка» розуміють одnobічне відхилення. Одnobічне відхилення характеризує граничну помилку вимірювань, що може проявитися при вимірюванні однієї деталі. У той же час, якщо визначити розкид розмірів усіх деталей, обмірюваних з цією похибкою, то розкид буде дорівнювати подвоєній величині похибки. Так, якщо похибка вимірювання складає  $\pm 2$  мкм, то у відношенні однієї деталі розмір може бути визначений з помилкою на цю величину (тобто більше чи менше на 2 мкм - одnobічне відхилення), а в партії можуть виявитися деталі, у яких розмір буде завищений на граничну величину + 2 мкм чи занижений на цю величину, тобто -2 мкм, і загальний розкид буде складати 4 мкм.

Для загальних розрахунків з визначення похибки вимірювань зручно зв'язувати її з контрольованим допуском, тобто приймати відносну величину вимірювань.

$$A_{мет} = \frac{\Delta_{мет}}{T},$$

де  $\Delta_{мет}$  – гранична похибка методу вимірювання;

$T$  - допуск контрольованого параметра.

Відносну похибку вимірювання виражають звичайно або у відсотках, або у вигляді десяткового дроба.

Для визначення відносної похибки вимірювання граничну похибку відносять до всього поля контрольованого допуску  $T$ . Наприклад, при контролі виробу з допуском  $\pm 20$  мкм і граничною похибкою вимірювання, рівною

$\pm 4$  мкм, відносна похибка вимірювання буде дорівнювати

$$A_{мет} = \frac{4}{40} = 0,1, \quad \text{чи } 10\%.$$

При приймальному контролі, коли деталі розподіляють на придатні й браковані, похибка вимірювання впливає на остаточні результати тільки при контролі тих деталей, дійсні відхилення яких знаходяться близько до меж поля допуску, а кількість таких деталей визначається законом розподілу (розсіювання) при їхньому виготовленні. Найчастіше при виготовленні деталей у машинобудуванні розподіл їхніх похибок підкоряється законам Гауса (нормальний закон), Максвелла (закон істотно позитивних величин) і рівної ймовірності (закон прямокутника).

На підставі численних досліджень встановлено, що нормальний закон розподілу прийнятний при контролі лінійних розмірів, закон істотно позитивних величин характерний для розсіювання відхилень форми і розташування поверхонь, а закон рівної ймовірності може бути застосований при використанні розмірного інструмента, а також при точних вимірюваннях.

При аналізі зв'язку між законом розподілу похибок контрольованих параметрів і результатами розбраковування використовують статистичні характеристики і, насамперед, середньоквадратичне відхилення  $\sigma_{mex}$ , для чого його, як і похибку вимірювання, зв'язують з допуском  $T$  на

виготовлення деталі, тобто враховують величину  $\frac{T}{\sigma_{mex}}$ .

Оскільки, як було показано в розділі 2, при сталому технологічному процесі виготовлення частіше інших зустрічається закон Гауса, розглянемо взаємозв'язок похибки вимірювання і цього закону розподілу розмірів виготовлених деталей і вплив цього взаємозв'язку на результати розбраковування. Для цього припустимо, що центр групування похибок контрольованих деталей співпадає із серединою поля допуску, а криві розподілу похибок вимірювань розташовані по границях поля допуску на виготовлення (як було сказано вище, саме тут позначається вплив похибки вимірювань на результати розбраковування).

У розглянутих умовах для оцінки впливу похибки вимірювання на результати розбраковування необхідно установити зв'язок між похибкою вимірювання (коефіцієнтом точності методу вимірювання

$A_{мет}$ ), імовірністю неправильного прийняття бракованих деталей  $m$ , імовірністю бракування придатних деталей  $n$  та імовірнісною величиною виходу розміру за межі поля допуску  $C$  в неправильно прийнятих деталях. Цей зв'язок повинен бути встановлений для визначених співвідношень між контрольованим допуском  $T$  і технологічним розсіюванням  $\sigma_{mex}$ .

Поставлену задачу можна розглядати як одержання композиційного закону з двох законів нормального розподілу відхилень розмірів зі зміщеними центрами групування.

Отримана композиційна крива буде характеризувати розподіл (розсіювання) обмірюваних деталей, а дисперсія  $\sigma_{\text{комп}}^2$  нового закону розподілу дорівнює сумі дисперсій технологічного розсіювання  $\sigma_{\text{тех}}^2$  і похибки вимірювання  $\sigma_{\text{мет}}^2$ :

$$\sigma_{\text{комп}}^2 = \sigma_{\text{тех}}^2 + \sigma_{\text{мет}}^2.$$

Визначення ж вищевказаних показників  $m$ ,  $n$  і  $c$  повинно встановлюватися на основі розрахунків імовірності появи контрольованих деталей у визначених зонах розподілу. Наприклад, для того щоб деталь, яка має відхилення розміру, що виходять за межі поля допуску, була визнана придатною, необхідно, щоб у той момент, коли контролюється деталь з відхиленнями, що виходять за межі поля допуску на величину  $x$  (рис. 2), похибка вимірювання проявилася зі зворотним знаком і величиною, більшою, ніж це відхилення.



Рис.2 – Взаємодія похибки вимірювання і технологічного розсіювання розмірів

Спрощено це можна представити в такий спосіб. Якщо контрольована деталь має розмір, що виходить за межі поля допуску на величину  $+2$  мкм, то ця бракована деталь може бути визнана придатною тільки в тому випадку, якщо в момент вимірювання цієї деталі похибка вимірювання буде більшою, ніж  $2$  мкм, наприклад,  $3$  мкм.

На основі таких міркувань були отримані складні вирази для розрахунків імовірності значень  $m$ ,  $n$ , а обчислення їхні виконані за методом чисельного інтегрування, що запропонував проф. Б.А. Тайц.

При поверхневому розгляді може здатися, що вихід за межу поля допуску повинен дорівнювати повній величині похибки вимірювання. Якщо взяти граничний випадок контрольованого допуску й похибки вимірювання, то, дійсно, можна припустити, що такий факт може бути. Але при розрахунках з використанням теорії ймовірностей він виключається. Для того щоб мав місце вихід розмірів за межі поля допуску на всю величину похибки вимірювання, необхідно, щоб відбулися дві випадкові події, тобто при контролі деталі з граничним відхиленням контрольованого розміру похибка вимірювання мала б максимальну величину. Цілком природно, що збіг таких подій – явище малоімовірне.

Різниця у величинах  $c$  і  $\Delta_{\text{мет}}$  чітко видна на рис. 1.

На рис. 3, 4 представлені графіки (ГОСТ 8.051-81), розраховані за розглянутою методикою, що дозволяють визначити значення  $m$ ,  $n$  і  $c$  при розподілі контрольованих розмірів за нормальним законом.

Екстремальне значення вказує, що яким би не був поганим технологічний процес, похибка вимірювання не може призвести до неправильного бракування більшої кількості деталей, ніж це приведено в таблиці. Можна переконатись, що ці величини не такі уже й великі. Це дозволить при роботах, зв'язаних з нормуванням похибки вимірювання, при конструюванні вимірювальних засобів чи при виборі цих засобів з числа наявних прийняти граничну кількість неправильно забракованих деталей за вихідні дані.

Значення граничної кількості неправильно прийнятих і забракованих деталей може бути використано, наприклад, для оцінки похибки вимірювання прийнятим методом контролю. Так, при використанні контрольних автоматів повторним оглядом деталей більш точним методом можна встановити, що похибка вимірювання автомата не менша певної величини.

Екстремальне значення величини виходу за межі поля допуску у неправильно прийнятих деталях дозволяє в багатьох випадках вирішувати ряд практичних задач, пов'язаних з конструюванням і вибором вимірювальних засобів. Особливо це важливо для тих категорій працівників промисловості, що не зв'язані безпосередньо з вимірювальними засобами, але зв'язані з деталями, що контролюються. Типовими представниками таких працівників є конструктори, для яких дуже важливо знати, з якою вірогідністю будуть визначені розміри проєктованих деталей. У цьому випадку гранична кількість неправильно прийнятих деталей і граничний вихід розмірів деталей за межі поля допуску є для конструктора основними даними, за допомогою яких він оцінює правильність призначуваних ним допусків з урахуванням впливу похибки вимірювання на результати розбраковування.

У загальному випадку результати розбраковування в більшій мірі залежать від стану технологічного процесу, ніж від похибки вимірювання. Таким чином, для підвищення точності розмірів деталей, що виготовляються, більш доцільним є не підвищення точності вимірювання, а, насамперед, підвищення точності технологічного процесу. При цьому варто пам'ятати, що зменшиться не тільки кількість неправильно прийнятих і забракованих деталей, але і дійсний брак. Тому необхідно прагнути до того, щоб технологічний процес забезпечував виготовлення деталей у межах допуску, тоді в багатьох випадках відпаде потреба в приймальному контролі, а вимірювальні засоби будуть використовуватися тільки для аналізу стану технологічного процесу й спостереження за станом цього процесу в часі.

При використанні графіків, що містять результати розбраковування, можна вирішити ряд практичних проблем:

- а) за відомою похибкою вимірювання і станом технологічного процесу визначити кількість деталей, що будуть неправильно прийняті і неправильно забраковані, а також величину виходу за межі поля допуску в деталях, що неправильно прийняті у зв'язку з похибкою вимірювання;
- б) задаючись результатами розбраковування, тобто кількістю неправильно прийнятих чи неправильно забракованих деталей, чи величиною виходу розміру за межу поля допуску, встановлювати вимоги у відношенні похибки вимірювання (отже, і похибки приладу) і у відношенні точності технологічного процесу;
- в) при встановленні граничної похибки вимірювання за допомогою графіків можна встановити, в якій мірі доцільно переходити на більш точні методи вимірювання, і визначити наслідки такого переходу у відношенні результатів розбраковування;
- г) за допомогою графіків, що містять відомості про вихід за межі поля допуску, з'являється можливість оцінити, яку небезпеку представляють неправильно прийняті деталі, також звести виробничий допуск не на повну величину похибки вимірювання, а на імовірнісну величину виходу чи навіть на граничне її значення.

### **Основи вибору контрольно-вимірювальних засобів**

Питання вибору точності засобів вимірювання чи контролю має першорядне значення для забезпечення якості продукції. Це визначається впливом точності вимірювальних засобів на рішення метрологічної задачі "придатний – не придатний".

Дійсно, як правило, будь-яку метрологічну задачу можна вирішити за допомогою різних вимірювальних засобів, що мають і різну вартість, і різну точність вимірювання, внаслідок чого, отже, одержують неоднакові результати вимірювань – тут позначається відмінність точності результатів спостереження від точності вимірювання самих вимірювальних засобів, розходження методів використання вимірювальних засобів і додаткових пристосувань, застосовуваних у поєднанні з універсальними чи спеціалізованими засобами (стійками, штативами, важільними й без важільними передачами, елементами кріплення і базування, вимірювальними наконечниками та ін.).

Звідси, з одного боку, у них різний вплив на результат вимірювань, а з іншого боку, чим вище точність засобу вимірювання, тим воно, як правило, масивніше і дорожче, а також вище вимоги до умов його використання.

З огляду на важливість забезпечення точності і єдності вимірювань, у ГОСТ 8.051-81 наведена таблиця найбільших допустимих похибок вимірювання для різних розмірів у діапазоні 1 – 500 мм у залежності від квалітета точності на виготовлення [40, табл. 68]. Ці значення коливаються від 20 % (для грубих квалітетів) до 35 % табличного допуску розміру.

Точність застосовуваного вимірювального інструмента повинна відповідати точності вимірюваного параметра, причому з врахуванням того, що підвищення точності контролю ускладнює й здорожує контроль.

Тому литті, ковани і штамповані деталі низької точності найчастіше контролюють кронциркулем, нутроміром, лінійкою.

Деталі після грубої обробки (чорнове обточування і т.і.) контролюють штангенциркулем з відліком 0,1 мм. Тут не слід застосовувати точні інструменти, тому що вимірювальні поверхні їх швидко зношуються.

Продуктивність вимірювань повинна відповідати продуктивності технологічного процесу, для якого обраний вимірювальний засіб. Тому в одиничному й дрібносерійному виробництві найчастіше використовують універсальні вимірювальні засоби, а з підвищенням серійності зростає рентабельність застосування граничних калібрів, автоматизованих контрольно-вимірювальних засобів і автоматів.

Однак у всіх випадках похибка вимірювання за допомогою будь-якого контрольно-вимірювального засобу не повинна перевищувати величини, що дозволяє і виготовлювачу, і замовнику визнати обмірюваний розмір у якості дійсного. З огляду на те, що першорядним у процесі вибору вимірювальних засобів є забезпечення придатних деталей, запроваджений ГОСТ 8.051-81 «Похибки, що допускаються при вимірюваннях лінійних розмірів до 500 мм», принципове положення якого полягає в тому, що при встановленні приймальних меж, тобто значень розмірів, за якими приймають вироби, необхідно враховувати вплив похибки вимірювань.

Розглянемо коротенько основні складові похибки вимірювань (крім методичної похибки), враховані в ГОСТ 8.051-81.

#### *1. Похибки, що залежать від засобів вимірювань*

Будь-який засіб вимірювання має нормовану точність. Похибка засобу вимірювання, що виникає при використанні його в нормальних умовах (тобто коли впливаючі величини знаходяться в межах нормальної області значень) називають основною. Якщо ж значення величини, що впливає, виходить за ці межі, з'являється додаткова похибка.

Узагальненою характеристикою засобів вимірювання є клас точності вимірювального засобу, що визначається межами основної й додаткової похибок.

Наприклад, мікрометр гладенький за ГОСТ 6507-78 з межами вимірювання 0-25 мм 1-го класу точності має основну похибку  $\pm 0,002$  мм, а такий само мікрометр 2-го класу точності -  $\pm 0,004$  мм.

#### *2. Похибки, що залежать від установчих мір*

Похибки, що залежать від кінцевих мір довжини, виникають через неточності їхнього виготовлення, включаючи вимірювання чи атестацію, а також через похибки від притирання.

#### *3. Похибки, що залежать від вимірювального зусилля*

Вимірювальне зусилля забезпечує замикання елементів вимірювального ланцюга, що включає як елементи вимірювального засобу, так і об'єкт вимірювання, і викликає їхні пружні деформації.

При виборі вимірювального зусилля відлікової голівки необхідно прагнути до того, щоб вимірювальне зусилля було мінімальним, за яким забезпечується обмеження в заданих межах випадкової складової похибки вимірювання.

Однак, при цьому не треба забувати, що надмірно мале вимірювальне зусилля не забезпечує надійного силового замикання вимірювального ланцюга "прилад – деталь".

#### *4. Похибки, що зумовлені температурними деформаціями*

Через те, що при вимірюванні, як правило, мають у своєму розпорядженні дуже обмежену інформацію про фактори, що впливають на температурні деформації, і в той же час потрібно

визначати тільки граничні значення очікуваної похибки вимірювання, використовується поняття «температурний режим».

Температурний режим є умовна, виражена в градусах Цельсія, різниця температур об'єкта вимірювання і вимірювального засобу, що при визначених "ідеальних" умовах викликає ту ж неточність, як і весь комплекс реально існуючих причин. Ці умови зводяться до того, що прилад і деталь мають постійну за обсягом температуру, а коефіцієнт лінійного розширення матеріалів, з яких вони виготовлені, дорівнює  $11,6 \cdot 10^{-6}$  1/град.

Якщо зазначені ідеальні умови дотримані, то температурний режим у  $n$  градусів означає, що допускається така ж різниця температур вимірювального засобу й об'єкта вимірювання і відповідна різниця їхніх деформацій по лінії вимірювання. Якщо зусилля не дотримані, то різниця температур повинна бути менше на таку величину, що компенсувала б додаткове джерело неточності.

Таким чином, температурний режим не повинен розумітися як відхилення температури середовища від 20 °С, що допускається, чи коливання її у процесі вимірювань.

#### 5. Специфічні похибки при вимірюванні внутрішніх розмірів

Особливість вимірювань цих розмірів полягає в тому, що вимірювальні засоби мають з деталлю, як правило, точковий контакт і потрібно переміщати деталь чи наконечник приладу для пошуку мінімуму розміру в осьовій площині вимірюваного циліндра й максимуму в площині, перпендикулярній осі. На точність переміщення й фіксації максимальних і мінімальних відхилень великий вплив має стан поверхні (шорсткість).

#### б. Похибки, що залежать від оператора (суб'єктивні похибки)

Можливі чотири види суб'єктивних похибок: присутності, відлічування, дії, професійні.

Суб'єктивна похибка присутності виявляється у виді впливу тепловипромінювання оператора на температуру навколишнього середовища.

До суб'єктивних похибок дії відносяться похибки, внесені оператором при настроюванні приладу, підготовці об'єкта вимірювання чи настановчих мір і т. ін.

До суб'єктивних похибок дії відносяться похибки від притирання кінцевих мір. Ці похибки ввійшли в похибки від настановчих мір.

Суб'єктивні похибки дії виникають при переміщенні приладу щодо деталі чи деталі щодо елементів приладу при вимірюванні внутрішніх розмірів.

Вибір варіантів можливих контрольно-вимірювальних засобів здійснюють за нормативним документом РД 50-98-86 [43 чи 46], розробленим на засадах положень ГОСТ 8.051-81.

### **Обов'язки служб підприємства у виборі контрольно-вимірювальних засобів**

У виборі вимірювальних засобів повинні брати участь конструкторська, технологічна і метрологічна служби в межах виконуваних ними службових обов'язків.

Конструкторська служба бере участь у виборі вимірювальних засобів тільки правильним призначенням допустимих відхилень на розмір деталі.

Це означає, що з урахуванням впливу похибок вимірювання варто вибрати такий квалітет чи вид посадки, при якому граничні можливі значення розміру задовольняли би вимогам конструктора. Такий підхід необхідний у зв'язку з тим, що тільки конструктор повною мірою може дати відповідь на питання про можливість відхилення розмірів визначеної групи деталей від розмірів, зазначених на кресленні.

Якщо перехід на більш точний квалітет чи інший вид посадки виявляється неможливим, наприклад, у зв'язку з великою жорсткістю вимог, а, отже, з невиправданим подорожчанням виробництва, конструктор повинен прийняти рішення про введення так званого *виробничого допуску* (див. далі).

Технологічна служба повинна забезпечити технічні вимоги до деталей із застосуванням найбільш економічного техпроцесу, а для цього повинна знати імовірність дійсного і помилкового браку і враховувати при цьому криву розподілу, допустимі похибки і графіки, наведені в ГОСТ 8.051: у разі потреби технолог повинен змістити настроювання, тобто центр групування, змінити технологічний процес, зменшуючи поле розсіювання, підвищити вимоги до точності вимірювання й контролю.

Особливості прояву інтересів конструктора й технолога при оцінці параметрів  $m_1$ ,  $n_1$ ,  $c_1$  описані вище в розділі 7.2.

Метрологічна служба бере участь у виборі конкретних вимірювальних засобів з урахуванням умов вимірювання. Ця служба зобов'язана встановити, в якій мірі умови вимірювань, зазначені в РД 50-98-86, відповідають реально існуючим, а також врахувати специфічні особливості виробництва (застосовність вимірювальних засобів, їх наявність і т.і.). Якщо метролог знайде, що рекомендовані умови вимірювання не можуть бути створені на існуючому виробництві, то він зобов'язаний оцінити ступінь впливу неминучих умов і визначити можливі граничні похибки при існуючих умовах, а також їхню допустимість з погляду виконання вимог ГОСТ 8.051-81.

При незадовільних результатах варто вибрати інший вимірювальний засіб, при використанні якого в існуючих умовах вимірювання (з урахуванням методичної похибки) будуть задовольнятися вимоги ГОСТ 8.051-81, чи спроектувати нову методику виконання вимірювання. Особливу увагу варто звернути на обмежену можливість зміни граничної похибки за рахунок зміни окремих її складових, оскільки, як правило, при розробці варіантів використання вимірювальних засобів за РД 50-98-86 забезпечувався приблизно однаковий вплив домінуючих складових похибки вимірювання.

#### **Призначення приймальних меж при контролі готової продукції**

Оскільки похибки застосовуваних методів вимірювань впливають на остаточні розміри виготовлених деталей, варто вживати спеціальні заходи, що забезпечували б випуск якісних деталей, і в той же час не створювали б додаткових труднощів виробництва. Одним з розповсюджених прийомів є встановлення приймальних меж допустимих відхилень, що використовуються при розсортуванні виготовлених деталей.

**Приймальні межі**, тобто значення розмірів за якими здійснюється приймання виробів, встановлюють з врахуванням впливу допустимих похибок вимірювань. У такий спосіб при призначенні допуску на виготовлення враховують не тільки службове призначення деталі й можливості технологічного процесу обробки, але і можливі похибки вимірювання. Ризик споживача буде цілком усунутий, однак здорово постраждає виготовлювач, тому що значна частка придатної продукції буде визнана браком.

Для врегулювання впливу похибок вимірювань ГОСТ 8.051-81 встановлює два можливих варіанти призначення приймальних меж.

#### **Скласти конспекту . Опрацювати матеріал за підручником**

Мельникова В.Г. Основи стандартизації, допуски, посадки і технічні вимірювання.