

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОЧНОСТІ АВТОМАТИЧНОГО СКЛАДАННЯ ВИРОБІВ

Точність автоматичного складання забезпечується причинно-наслідковими зв'язками формування виникаючих похибок. Підвищення точності складання досягається зменшенням похибок деталей, складального обладнання та оснащення, управління складанням, а також вибором способів складання. Всі ці похибки класифікуються та записуються матричними рівняннями, що підлягатимуть математичній обробці.

Ключові слова: точність; похибка; причинно-наслідкові зв'язки; способи складання.

Постановка проблеми. Точність є одним з основних показників якості виробів, який істотно впливає на інші показники. Ступінь наближення вказаних характеристик характеризується похибкою складання. Необхідна точність встановлюється, виходячи зі службового призначення виробу. Точність при складанні належить як до точності конструкції складального з'єднання, виробу в цілому, так і складального устаткування та оснащення, що повинно бути оптимальним. При цьому точність виробу є функцією точності складових деталей, їх з'єднань і складальних одиниць. Тому забезпечення точності автоматичного складання виробів – актуальне та важливе завдання, що має загально-технічне та наукове значення й є необхідним для виробництва.

Аналіз літературних джерел. На сьогодні відома чисельна технічна література з автоматичного складання виробів [1–4]. Більшість випускалась досить давно і матеріал значно застарів. Крім того, автоматичне складання виробів має свої специфічні особливості, а саме: матеріал входить в складання виробів і через них у кінцевий розділ технології приладо- і машинобудування, автоматизація виробничих процесів, складальне виробництво, пакування виробів тощо. Сучасні публікації, в основному, обмежуються статтями, матеріалами конференцій, симпозиумами [5]. Приємним було видання колективної роботи [5].

Постановка завдання. Метою статті є дослідження механізму забезпечення точності автоматичного складання на сучасному виробничому обладнанні.

Викладення основного матеріалу. Автоматичне складання виробів виконується технологічною складальною системою, яка знаходиться під впливом численних чинників. У ній діють різні сили і моменти, виділяється тепло, відбувається зношування поверхонь, що труться, виникають різні деформації та залишкові напруги, зменшується міцність втомленості тощо, що призводить до якісної зміни як складаного виробу, так і складального устаткування з оснащенням, зокрема зміни розмірів, форми, взаємного розташування поверхонь, фізико-механічних властивостей. Всі ці чинники намагаються порушити процес складання, змінити закони відносного руху деталей і складальних інструментів, що і викликає появу похибок складання.

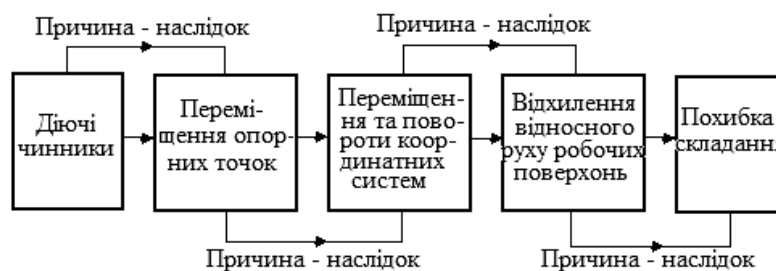


Рис. 1. Схема причинно-наслідкових зв'язків механізму формування точності автоматичного складання виробів

Схема причинно-наслідкових зв'язків формування похибок складання (рис. 1) показує, що первинні чинники впливають побічно або безпосередньо на утворення геометричних похибок складання. Силкові і температурні дії породжують пружні переміщення, вібрації, зношування, залишкові деформації всіх елементів технологічної складальної системи і це призводить до відхилень фактичної траєкторії відносного руху складаних деталей і складального інструменту.

Пружні переміщення елементів складальної системи є результатом переміщень і поворотів деталей через взаємний вплив контактних та власних деформацій. Це наслідок діючих складальних сил, моментів і жорсткості конструкції. Пружні деформації деталей підпорядковуються закону Гука і розглядаються як одні зі складових пружних переміщень. На величину таких переміщень впливає жорсткість. Теплові переміщення визначаються теплостійкістю складальної системи, а нерівномірність нагріву викликає

теплові деформації елементів системи. Вібрації в технологічній складальній системі порушують задане відносне положення її елементів, що викликає похибки відносного руху складаних деталей і складального інструменту. У складальній системі виникають вільні, вимушені і автоколивання. Зношування деталей складальної системи супроводжується поступовою зміною їх розмірів і форм, що також призводить до відхилення відносного положення і руху всіх її елементів. При цьому технологічна складальна система втрачає свою точність і збільшує похибку автоматичного складання виробів. Особливу увагу слід приділяти деформації деталей внаслідок перерозподілу залишкових напружень. При взаємному урівноваженні залишкових напружень їх наявність не виявляється, але порушення такої рівноваги призводить до їх перерозподілу і деформацій деталей, складальних з'єднань. Характер і рівень цих напружень залежить не лише від силового складального поля, але й форми деталей, їх напружень після виготовлення, методів складання тощо.

Схема причинно-наслідкових зв'язків механізму формування точності автоматичного складання (утворення складальних похибок) показує, що діючі при автоматичному складанні чинники викликають певні переміщення опорних точок в складальній системі, що призводять до додаткових переміщень і поворотів рухомих систем координат. Це, в свою чергу, викликає відхилення відносного руху складальних поверхонь (базуючих, спряжуваних та ін.), що зрештою викликає появу похибок автоматичного складання виробів.

Встановлення оптимальної точності складання виробів є досить складним техніко-економічним завданням. Призначена точність складання повинна, перш за все, забезпечити всі експлуатаційні і економічні показники роботи виробу з врахуванням його складання. Для спряжуваних розмірів поверхонь деталей вибір точності значною мірою визначається типом посадки. Оптимальна точність забезпечує найбільшу довговічність, добру зносостійкість, контактну жорсткість, вібростійкість, герметичність і інші експлуатаційні показники якості виробів. Така точність може бути розрахована за допомогою розмірних ланцюгів.

Всі способи підвищення точності складання виробів можна згрупувати за такими напрямками: підвищення точності складаних деталей, технологічної складальної системи, подавлення діючих збурюючих чинників і ефективне управління ходом автоматичного складального процесу. Підвищення якості складаних деталей досягається за рахунок правильного підбору матеріалу, оптимізації їх форми, зменшення сумарної похибки виготовлення, тобто систематичних і випадкових похибок, що викликані численними діючими чинниками. Підвищення якості технологічної складальної системи здійснюється за рахунок підвищенням її жорсткості, геометричної точності, зносо-, вібро- й теплостійкості. Жорсткість складальної системи підвищується при скороченні кількості стиків і ланок розмірних і кінематичних ланцюгів, створенням попереднього натягу, введенням додаткових опор тощо. Підвищення геометричної точності здійснюється усуненням або зведенням до мінімуму невизначеності базування складаних деталей, вузлів і правильним силовим замиканням, а також підвищенням точності установки змінних елементів складальної системи. Підвищення вібростійкості досягається збільшенням жорсткості конструкції змінних елементів системи, що пов'язане також зі зменшенням амплітуди коливань. Вібростійкість підвищується також при забезпеченні визначеності базування змінних елементів. Підвищення зносостійкості складальної системи забезпечує збільшення зносостійкості змінних її елементів, використанням високоякісних матеріалів, накладних направляючих, підвищенням вібростійкості. Придушення діючих чинників пов'язане з усуненням причин, що їх викликають. Так зменшення пружних переміщень досягається за рахунок зменшення діючих сил і моментів при складанні, нерівноваженості частин системи, що обертаються, тощо. Зменшення вібрації забезпечує застосування віброопор, віброгасників, підбір режимів складання, балансування. Зниження зношувань дають зменшення вібрацій, оптимальні режими складання, стабілізація силового поля, застосування зносостійких покриттів, змащувально-охолоджуючих рідин. Якість управління процесом автоматичного складання обумовлена точністю одержуваної інформації, визначення необхідної поправки і швидкістю внесення цієї поправки. Найбільше розповсюдження одержало управління за вихідними даними, в якому компенсація похибки автоматичного складання виконується періодично у момент її наближення до межі поля допуску. З метою ефективного управління складальним процесом технологічна система оснащується різними датчиками, сигнали яких порівнюються із заданими. При їх відмінності в систему вводяться відповідні поправки в ті параметри, які знаходяться у функціональному зв'язку з контрольованою величиною. Таке управління дозволяє компенсувати складальну похибку в момент її виникнення. Застосовується також управління за вхідними даними, тобто програмі, що дозволяє компенсувати геометричну неточність складального устаткування та оснащення. Підвищує точність складання також правильно проведена статична і динамічна настройка технологічної складальної системи. Завданням статичної настройки є забезпечення заданого відносного положення і траєкторії руху складаних деталей, складального інструменту в системі без робочих навантажень. Динамічна настройка забезпечує те саме завдання, але вже при робочих навантаженнях.

Технологічний складальний процес повинен бути, в першу чергу, стабільним, тобто забезпечувати постійність в часі всіх точнісних характеристик. Оцінку стабільності складального процесу здійснюють у різний час його роботи, заміряють одержані точності характеристики складаних виробів і порівнюють

між собою. Порівняння вибірових середніх проводиться за допомогою критерію Стюдента, а порівняння вибірових середніх квадратичних відхилень – за допомогою критерію Фішера [5]. При неістотній розбіжності між ними вважається, що центр розсіювання розмірів не зміщується, а величина середньоквадратичного відхилення не змінюється в часі і складальний процес є стабільним.

Всі ці вимоги забезпечуються застосуванням при автоматичному складанні виробів нових високоефективних складальних технологій нового покоління, основними ознаками яких є якісно нова сукупність властивостей складаних виробів і новий ступінь їх корисності. Особливостями таких технологій є наукоємність, висока інформаційність і комп'ютеризація, високий рівень енергозабезпечення, оптимальність технологій, нові способи автоматичного складання і виробництва в цілому, високий ступінь автоматизації всіх рівнів, стійкість і надійність, відкритість до подальшого розвитку, екологічна чистота. Складальні технології забезпечуються висококваліфікованими кадрами, прогресивними складальними системами і спеціальними технологічними середовищами.

Відомо п'ять методів забезпечення точності складання: повної, неповної взаємозамінності, групового складання, регулювання і компенсації. Як метод складання розуміється певний комплекс заходів і робіт з забезпечення необхідної точності складального з'єднання. Різні вимоги до точності виробу, різні властивості їх характеристик отримання і вимірювання вимагають диференційованого підходу до організації таких методів, різної складності робіт їх забезпечення. Три перші методи мають широке розповсюдження при автоматичному складанні виробів, особливо перший, інші більш характерні для ручного неавтоматизованого складання. За допомогою цих методів забезпечується необхідна посадка складального з'єднання. У більшості випадків – це забезпечення посадок із зазором, натягом і перехідних.

Точність автоматичного складання виробів визначається величиною похибок, що призводять до відхилення фактичного положення деталей в складальному вузлі від заданого. Основними джерелами похибок, що виникають, є відхилення параметрів і властивостей складаних деталей, неточності виконання складальних з'єднань, регулювальних і припасувальних робіт, ослаблення кріпильних деталей, порушення регулювання в процесі роботи, явища зношування, нестабільність енергетичних параметрів тощо. Забезпечення точності складання є однією з проблем автоматичного складання, її недооцінка приводить до створення ненадійних складальних виробів і неефективного складального устаткування і оснащення. Відомі різні класифікації похибок, проте найважливішою класифікаційною ознакою є фізична величина, що характеризує похибку, або розмірність цієї величини. До основного виду похибок належать *геометричні*, що визначаються допустимими відхиленнями та геометричними розрахунками і можуть бути скалярними або векторними похибками. Залежно від параметра відхилення кожен категорію підрозділяють на похибки з лінійною розмірністю (похибки посадок), відхилення в мікро- і макрогеометрії та похибки, що мають кутові розмірності. Векторні похибки можуть бути лінійними і кутовими, наприклад, перекося осей та ексцентриситети.

Основною ознакою, за якою класифікуються похибки, що виникають, є місце їх виникнення в автоматичній складальній системі. За їх проявом складальні похибки бувають постійними, періодичними або функціональними і випадковими. Необхідно розрізняти лінійні і кутові похибки. Похибки складаних деталей обумовлюються якістю їх виготовлення, а також розмірами допусків, посадок і центрувальних елементів (фаски тощо), які при автоматичному спряженні частково компенсують похибки, що виникають при механічній обробці та їх завантаженні, автоматичному складанні. Це, в основному, похибки розмірів, всіх видів поверхонь, їх взаємного розташування, орієнтуючих елементів і прояву властивостей, які використовуються при автоматичному складанні. За характером прояву вони є випадковими.

Похибки складального обладнання та оснащення найбільш чисельні і, в основному, утворені геометричними, кінематичними, динамічними, зношувальними похибками, похибками налашки, перерозподілом залишкових напруг, похибками установки окремих вузлів, агрегатів, модулів, порушеннями режимів складання та температурними похибками. Вони можуть бути постійними, функціональними або випадковими [6, 7].

Похибки деталей можна описати матричним рівнянням:

$$\begin{pmatrix} \Delta x_1^2 & k_{x_1}^2 \\ \Delta y_1^2 & k_{y_1}^2 \\ \Delta z_1^2 & k_{z_1}^2 \\ \Delta \varphi_{x_1}^2 & k_{\varphi_{x_1}}^2 \\ \Delta \varphi_{y_1}^2 & k_{\varphi_{y_1}}^2 \\ \Delta \varphi_{z_1}^2 & k_{\varphi_{z_1}}^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11}^2 & a_{12}^2 & a_{13}^2 & a_{14}^2 & a_{15}^2 & a_{16}^2 \\ a_{21}^2 & a_{22}^2 & a_{23}^2 & a_{24}^2 & a_{25}^2 & a_{26}^2 \\ a_{31}^2 & a_{32}^2 & a_{33}^2 & a_{34}^2 & a_{35}^2 & a_{36}^2 \\ a_{41}^2 & a_{42}^2 & a_{43}^2 & a_{44}^2 & a_{45}^2 & a_{46}^2 \\ a_{51}^2 & a_{52}^2 & a_{53}^2 & a_{54}^2 & a_{55}^2 & a_{56}^2 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \Delta_{11}^2 & k_{11}^2 \\ \Delta_{12}^2 & k_{12}^2 \\ \Delta_{13}^2 & k_{13}^2 \\ \Delta_{14}^2 & k_{14}^2 \\ \Delta_{15}^2 & k_{15}^2 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

де k_{11}, \dots, k_{15} – коефіцієнти відносного розсіювання складових похибок; a_{11}, \dots, a_{56} – коефіцієнти приведення; $k_{x_1}, k_{y_1}, \dots, k_{\varphi_{z_1}}$ – коефіцієнти відносного розсіювання результуючих похибок; $\Delta_{11}, \dots, \Delta_{15}$ – складові похибки. У більшості випадків, якщо розподіл похибок підпорядковується закону Гауса, $k = 1$, а

$a = 0$. При інших законах розподілу та прийнятому відсотку ризику необхідні значення можна знаходити за таблицями [6].

Висновки. Точність автоматичного складання забезпечується причинно-наслідковими зв'язками формування похибок, що виникають. Підвищення точності складання досягається зменшенням похибок деталей, складального обладнання та оснащення, управління складанням, а також вибором способів складання. Всі ці похибки класифікуються та записуються матричними рівняннями, що підлягатимуть математичній обробці.

Список використаної літератури:

1. Автоматизация дискретного производства / *Б.Е. Бонев* и др. ; под ред. *Е.И. Семенова, Л.И. Волчкевича*. – М. : Машиностроение ; София : Техника, 1987. – 376 с.
2. Научные основы автоматической сборки / *М.С. Лебедевский* и др. – Л. : Машиностроение, 1985. – 316 с.
3. Машиностроение. Энциклопедия. Технология сборки в машиностроении. Т. III–5 / Под общ. ред. *Ю.М. Соломенцева*. – М. : Машиностроение, 2001. – 640 с.
4. Конструкторско-технологическая информатика – 2000 : труды конгресса. В 2-х т. / IV Междунар. конгресс. – М. : Станкин, 2000.
5. Технология автоматической сборки / *А.Г. Холодкова, М.Г. Кристаль* и др. ; под ред. *А.Г. Холодковой*. – М. : Машиностроение, 2010. – 560 с.
6. *Корн Г.* Справочник по математике для научных работников и инженеров / *Г.Корн, Т.Корн*. – М. : Наука, 1986. – 720 с.
7. Точность производства в машиностроении и приборостроении / под ред. *А.Н. Гаврилова*. – М. : Машиностроение, 1973. – 567 с.

ГРИГОР'ЄВА Наталія Сергіївна – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри комп'ютерного проектування верстатів та технології машинобудування Луцького національного технічного університету.

Наукові інтереси:

- технологія машинобудування;
- технологія гнучкого модульного виробництва;
- автоматизація складання виробів.

Стаття надійшла до редакції 07.08.2015