

УДК 658.512.4:658.562:629.7

doi: 10.32620/akt.2022.4.03

**І. В. БИЧКОВ, А. С. СЕЛЕЗНЬОВА, К. В. МАЙОРОВА,
Ю. А. ВОРОБІЙОВ, В. Т. СІКУЛЬСЬКИЙ**

*Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна*

ФОРМУВАННЯ ВИМОГ ДО ІНФОРМАЦІЙНОГО СУПРОВОДУ ВИРОБНИЦТВА АЕРОКОСМІЧНИХ ВИРОБІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЇХ ЯКОСТІ

Предметом вивчення в статті є інформаційний супровід виробництва авіакосмічних виробів на етапах його життєвого циклу. Метою є забезпечення необхідних параметрів якості аерокосмічних виробів, що передбачає надання на кожному етапі життєвого циклу відповідної інформації у зручному для сприйняття та повному за обсягом вигляді. Завдання: створення аналітичного еталону на прикладі деталей прецизійного та агрегатного виробництва. Використовуваними методами є: як основа для такої моделі використовується аналітичний еталон геометрії деталей, розроблений за допомогою CAD/CAM-систем, з подальшим розширенням переліку моделей для передачі необхідної інформації всім учасникам життєвого циклу виробу. Відповідно до аналізу встановлено суттєві обмеження креслярської документації для інформаційного супроводу об'єктів виробництва аерокосмічної галузі на етапі розвитку техніки. Зазначені характеристики якості деталі за ступенем відповідності її номінальним (еталонним) значенням форми та розмірів (макрогеометрії та мікрорельєфу); фізико-хімічних властивостей матеріалу та поверхневого шару, технологічної спадковості та промислової чистоти. Надано пропозицію інструментами CAD/CAM-систем на базі аналітичного еталона геометрії розробляти їх моделі. Встановлені три необхідні умови для коректної постановки задачі формоутворення щодо реалізації заходів управління якістю серійної продукції машинобудівних підприємств. При порушенні хоча б однієї з них, для відтворення коректності задачі, необхідно залучення додаткової евристичної інформації. Показано побудову аналітичного еталону та реалізацію контролю на прикладі фрези, що враховує мікрогеометрію крайок, з порівнянням еталонної моделі геометрії та портрета її геометрії. Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному: введено поняття крайки як поверхні, що сполучає робочі «лінії перетину двох поверхонь» деталі. Подання крайок у вигляді поверхонь, а не ліній, з одного боку, і виділення цих поверхонь із сукупності інших робочих поверхонь деталей створює інформаційну основу для розробки відповідних технологій їх виготовлення та супроводу цих елементів деталей під час експлуатації виробу.

Ключові слова: аерокосмічний виріб; життєвий цикл; аналітичний еталон; якість; крайки; поверхня.

Вступ

Досвід створення та експлуатації виробів авіаційно-космічної галузі показує, що їх якість багато в чому визначається характером взаємодії деталей у вузлах та агрегатах, умовами функціонування їх поверхневих шарів [1]. Знос третьових поверхонь, зародження втомних тріщин, змінання, корозійне і ерозійне руйнування, вириви окремих ділянок – процеси, що протікають на поверхні деталей і в деякому прилеглому до поверхні шарі. Надання поверхням деталей спеціальних властивостей сприяє суттєвому підвищенню показників якості машин і механізмів в цілому та в першу чергу показників надійності.

Якість поверхні – це комплексний показник, що характеризується фізико-хімічними властивостями і геометричними параметрами поверхневого

шару деталі (рис. 1) [2 – 4]. Під поверхневим шаром розуміється сама поверхня і деякий шар під нею, що відрізняється від матеріалу серцевини. Глибина цього шару різна залежно від умов експлуатації деталі: від одиниць до сотень мікрон.

Якість поверхневого шару деталі обумовлюється його властивостями і методами оброблення (механічної, електрофізичної, термічної тощо). У процесі механічної оброблення (різання лезвійним інструментом, шліфування, полірування) поверхневий шар деформується під впливом навантажень і температури, а також забруднюється домішками (частки абразиву, кисень, продукти зносу поверхні) та іншими включеннями [5].

Параметри поверхневого шару формуються на етапах проектування виробу, методи їх забезпечення в умовах конкретного виробництва розробляються на етапах технологічної підготовки виробництва і

реалізуються в процесі виробництва [6, 7]. Експлуатація виробу супроводжується змінами стану поверхневого шару деталей, але при цьому працездатність всього виробу повинна бути гарантовано забезпечена протягом заданого терміну експлуатації.



Рис. 1. Класифікація фізико-хімічних властивостей і геометричних параметрів якості поверхневого шару деталі

Центральне місце в процесі формоутворення деталей машин займає механічне оброблення, трудомісткість якої складає від 30 % до 60 % від трудомісткості виготовлення виробів. Кількість деталей, отриманих обробленням лезвійними та абразивними інструментами, оцінюється для авіаційних двигунів в 50 000 одиниць, а для літаків – до декількох сотень тисяч. Їх виготовлення пов'язано з використанням більше ста найменувань матеріалів. Все це визначає особливу увагу до механічної обробленні з питань якості.

Серед методів механічної обробленні домінуюче місце займає оброблення різанням. При цьому, з точки зору проблеми забезпечення якості необхідно оцінювати не тільки точність розмірів, форм, параметрів мікрорельєфу, але і участь при утворенні ліквідів на поверхнях деталей у вигляді мікрозадирків і мікрочастин як для металевих матеріалів, так і для неметалевих [8, 9].

Утворення ліквідів є неминучою складовою процесу різання. Ретельне очищення робочих порожнин машин від виробничих та експлуатаційних забруднень запобігає передчасному зношуванню поверхонь відповідальних деталей, вузлів і агрега-

тив, збільшує термін їх безвідмовної роботи, скорочує витрати на їх обслуговування і ремонт. Наявність металевих частинок сприяє окисленню мастила, утворенню смолистих речовин, які, у свою чергу, інтенсифікують процеси засмічення фільтрів, зменшення зазорів. Це призводить до підвищення тиску у лініях, вібрації машин, порушення щільності з'єднань та витоків рідини. Засмічення фільтрів призводить до кавітації в насосах, спінування та недостатній подачі робочих рідин. Описані явища супроводжується підвищенням температури, зниженням в'язкості, що призводить до зменшення товщини масляної плівки [10]. Звісно, такі взаємодіючі процеси в гідравлічних системах машин призводять до зниження їх показників якості.

Забезпечення високої якості об'єктів авіабудування домагаються багатостадійним удосконаленням технологічних процесів (ТП) за результатами виготовлення, випробування та експлуатації виробів. При цьому негативні впливи технологічної спадковості позначаються лише в процесі експлуатації, що значно збільшує терміни реалізації заходів щодо забезпечення необхідної якості нових виробів.

Тому завдання дослідження полягає у гарантії якості деталей шляхом технологічного забезпечення точності розмірів й форм, управління рельєфом та промисловою чистотою, як поверхневих шарів і крайок, так і навколишнього середовища.

1. Управління якістю продукції

Управління якістю продукції безпосередньо пов'язане з процесами, які організуються та протікають на довиробничій, виробничій та післявиробничій (експлуатаційній) стадіях існування виробу [11, 12]. Прийняття управлінських рішень виконується виходячи з інформації про фактичний стан процесу, який забезпечує очікувані результати. У машинобудуванні такі порівняння виконуються з еталонними характеристиками якості, які надають розробники виробу. Нормативну документацію, що регламентує значення параметрів або показників якості продукції (технічне завдання на її розробку, стандарти, технічні умови, креслення, умови поставання тощо), технічну документацію, що встановлює вимоги до процесів розробки, виробництва або експлуатації виробів, слід розглядати як програми управління якістю продукції.

Залежно від того, виконуються вимоги програми управління чи мають місце неприпустимі відхилення від них, управляючі дії направляються, відповідно, на збереження фактичного стану управляючого процесу чи коригування цього стану.

Система управління якістю продукції повинна передбачати сукупність взаємопов'язаних організа-

ційних, технічних, економічних та соціальних заходів щодо забезпечення цілей управління якістю продукції. Система управління якістю продукції охоплює колективи людей, технологічні та матеріальні засоби [11, 12].

Системний підхід до питань управління науково-дослідними або проектно-конструкторськими організаціями, промисловими (виробничими), ремонтними або експлуатаційними підприємствами (об'єднаннями) вимагає розглядати систему управління якістю продукції як невід'ємну частину управління організаціями та підприємствами.

Ефективність використання продукції визначається факторами, які закладаються на різних етапах розробки, виготовлення та експлуатації виробу.

Забезпечення передбачуваного та стабільного рівня якості продукції на будь-якому машинобудівному підприємстві реалізується відповідно до стандартних правил, які описують виробничі та управлінські процеси, забезпечення внутрішнього обміну інформацією, відповідальність та повноваження персоналу у сфері його діяльності, забезпечення моніторингу операцій з точки зору якості кінцевого продукту на всіх етапах його життєвого циклу виробу (ЖЦВ) [13].

Практична реалізація заходів управління якістю серійної продукції машинобудівних підприємств призвела до необхідності виконання певних умов постановки задачі формоутворення:

1) вирішення задачі має бути варіативним, тобто мати варіанти реалізації в умовах заданого виробничого середовища;

2) необхідно реалізувати можливість аналізу варіантів з метою вибору одного з них для реалізації його в серійному виробництві, тобто необхідна єдність прийнятого рішення під час запуску серійного виробництва;

3) прийняті показники якості чи вихідні параметри виробу повинні мати безперервну залежність від вхідних даних для виключення варіантів з неприпустимо вузькою областю їх визначення, тобто, необхідно забезпечити вибір на користь надійних, гарантовано відтворюваних методів реалізації процесів.

Така постановка задачі вважається коректною. Задачі, у яких порушено хоча б одну із наведених умов, оцінюються як некоректно поставлені. Вирішені такі задачі можуть бути шляхом зміни їх постановки із залученням додаткової евристичної інформації.

Облік наведених вище вимог призводить до необхідності аналізу та вибору прийнятних підходів опису об'єктів виробництва та методів формоутворення.

Особливу увагу слід зосередити на варіантах вирішення завдань, які гарантовано забезпечують

необхідний результат. Надання пріоритету таким варіантам є ключем до забезпечення якості виробів.

Якість виробу визначається не тільки вибором методу, але і обов'язковим його застосуванням у всіх відповідних технологічних операціях, що в умовах багатосерійного виробництва не завжди вдається реалізувати.

Забезпечення безперервності та незалежності показників якості та вихідних параметрів від вхідних даних означає пріоритет варіантів, які здатні забезпечити стабільність показників якості при деяких флуктуаціях вхідних характеристик процесів формоутворення (рис. 2, крива 1, ділянка ΔX). Застосування методів, що забезпечують високі показники якості об'єкта виробництва, але у дуже вузькому діапазоні вхідних параметрів процесів формоутворення (рис. 2, крива 2, ділянка ΔX), може виявитися некоректним для серійного виробництва.

Незначне відхилення від заданого діапазону, що дуже можливе для умов серійного виробництва, може призвести до різкого зниження вихідних параметрів виробу.

Перевага при серійному виробництві віддається рішенням, описаним кривою 1, коли навіть деякі відхилення вхідних параметрів за межі рекомендованого інтервалу не призводять до різкого зниження показників якості виробів. Але варіант 2 може бути реалізований для серійного виробництва за умови проведення спеціальних заходів, які забезпечать відсутність відхилень вхідних значень параметрів від заданих. Все залежить від вартості цих заходів.

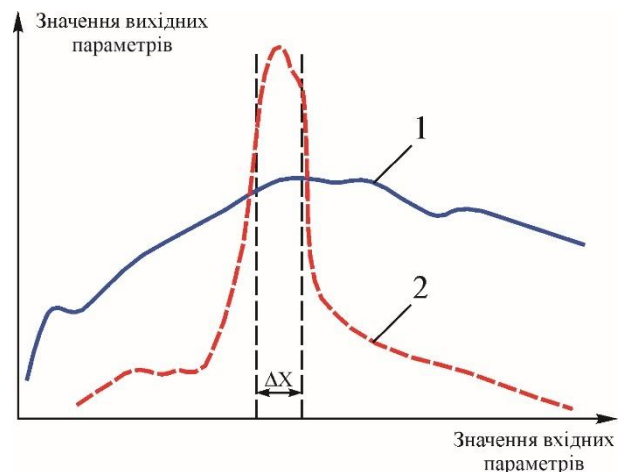


Рис. 2. Можливі варіанти зміни показників якості виробу від вхідних параметрів формоутворення

2. Характеристики якості деталі

Якість деталі визначається ступенем відповідності її номінальним (еталонним) значенням форми та розмірів (макрогеометрії та мікрорельєфу); фізи-

ко-хімічних властивостей матеріалу та поверхневого шару, промислової чистоти (ПЧ) (див. рис. 1).

2.1. Точність розмірів деталей.

Зростаюча складність конструкцій виробів об'єктів аерокосмічної галузі призвела до однозначності зв'язку якості із забезпеченням точності розмірів та форм окремих деталей конструкції. Точність формоутворення диктується умовами роботи деталі у виробі. Сучасні потужні й високошвидкісні машини не можуть ефективно функціонувати при недостатній точності виготовлення їх складових частин (деталей та складальних одиниць).

Поверхня, що обмежує деталь й відокремлює її від навколишнього середовища, називається реальною поверхнею. Ця поверхня утворюється в процесі її формоутворення і відрізняється від номінальної (еталонної) поверхні. Виготовлення реальної деталі потребує необхідності оцінки її відповідності стандарту. Виконання цієї процедури вимагає формування моделі геометрії реальної деталі або окремого її фрагмента, яка названа портретом. Відхилення портрета від реальної деталі відображає похибка формоутворення.

2.2. Забезпечення форми деталей.

Якість виробу залежить від правильності форми деталей, що проявляється при їх спільній роботі у складі вузлів та механізмів. У процесі складання в результаті контактних деформацій поверхонь, що з'єднуються, будуть зазнавати якісних змін. Ці деформації також можуть призвести до зміни взаємного положення окремих поверхонь деталей, що впливає на якість виробу в цілому. Прийнято розрізняти чотири види відхилень від заданої (еталонної) геометричної форми поверхні: макровідхилення, хвилястість, шорсткість і субшорсткість [2]. На рис. 3 надано класифікація змін висоти нерівностей H та відстаней між ними S , що відповідають різним видам відхилень від еталонної геометричної форми.

Нерівності на реальних поверхнях розрізняються масштабом й грають різну роль у процесі контактної взаємодії деталей [14]. Шорсткість поверхні значною мірою визначається структурою оброблюваного матеріалу та його напруженим станом. Хвилястість є наслідком коливань, що виникають у процесі оброблення. Макровідхилення викликані похибками внаслідок неточностей виготовлення верстата та інструменту, а також впливу пружних деформацій, що виникають під дією змінних сил різання.

2.3. Шорсткість й хвилястість поверхні.

Зміна шорсткості поверхні відбувається при терті і зношуванні внаслідок процесів пластичного деформування, втомного руйнування та, в деяких випадках, мікрорізання й глибинного виривання. Тому шорсткості приділяється велика увага.

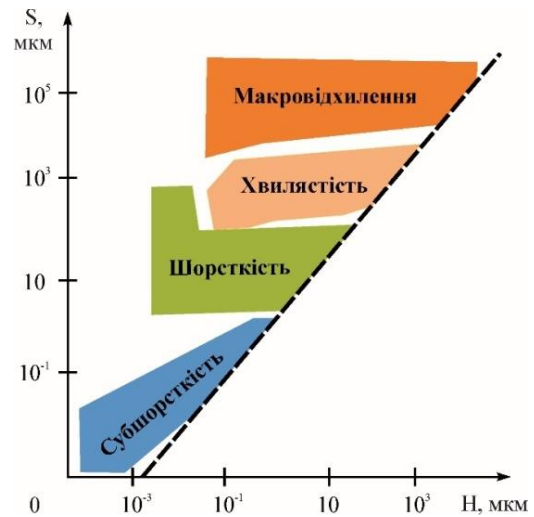


Рис. 3. Класифікація нерівностей на поверхні деталей [15]

Внаслідок хвилястості поверхні лише обмежена частина рельєфу бере участь у формуванні фактичної площі контакту. Нерівності, які лежать у западинах хвиль, не беруть участь у цьому процесі та утворюють неробочу частину профілю. Щоб виділити з усього профілю поверхні його робочу частину, у завданнях тертя і зносу вводиться уявлення про хвилястість.

2.4. Технологічна спадковість.

Фізико-хімічні та механічні властивості поверхневого шару, його дефектність й залишкові поверхневі напруження можуть значно відрізнитися від матеріалу основи. Кожен з показників якості поверхні має свою технологічну історію: одні виникають у ливарному виробництві, інші в прокатному, волочильному, ковальсько-пресовому, механічному, зварювальному, гальванічному. Таким чином, з'являється поняття про технологічну спадковість.

Технологічною спадковістю називають явище перенесення властивостей об'єктів від попередніх технологічних операцій до наступних. Термін є досить емним і дозволяє порівняно повно зв'язати вихідний стан заготовки з її станом у будь-який момент, аж до перетворення заготовки на деталь [16]. Так само існує аналогічне поняття експлуатаційної спадковості.

У ході механічної оброблення різанням успадковуються багато властивостей заготовок. Вихідні нерівності поверхні заготовки (макровідхилення, хвилястість й шорсткість) призводять до нерівномірності глибини різання, а отже, до змін сили різання й вимушених коливань інструменту щодо оброблюваної поверхні. Ці коливання впливають на формування нерівностей при остаточній обробці деталей. Відхилення заготовок від круглості у вигляді овальності частково переносяться на готові вироби. Тому

формування фізико-механічних властивостей поверхневого шару заготовки при лезвійному обробленні значною мірою визначається її вихідним станом.

Зона поверхні після механічної обробленні неоднорідна й складається з декількох шарів (рис. 4). Граничний шар 1 складається з адсорбованої плівки газів, вологи, адсорбуючих частинок й мастилоохолоджуючих технологічних засобів (МОТЗ). Шар 2 – деформований, сильно роздроблений метал з спотвореною решіткою кристалів і безвуглецевими ділянками під впливом високих температур при механічній обробці; в ньому знаходяться оксиди й нітриди, порожнечі надриви й тріщини. Шар 3 складається із зерен, сильно деформованих під дією тиску. Шар 4 – метал із вихідною структурою.

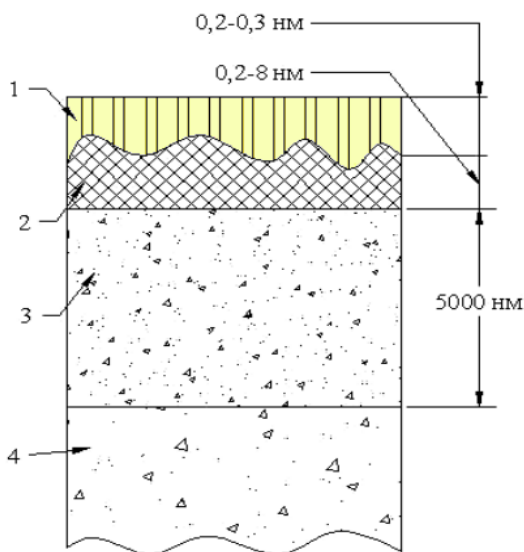


Рис. 4. Структура поверхневого шару після закінчення лезвійного оброблення

При фінішному обробленні (абразивними брусками, стрічками тощо) шар 1 не змінюється по товщині, а шари 2 і 3 зменшуються відповідно до меншого тиску й температури поверхні при оброблюванні.

Поверхневий шар залежно від зазначених вище обставин має товщину при точінні від 0,25 до 2,0 мм, при шліфуванні – від 12 до 75 мкм, при тонкому шліфуванні – від 2 до 25 мкм, при поліруванні – 0,2 мкм.

Технологічне успадкування проявляється завжди, як об'єктивна реальність фіксації пам'яті в металі про попередні технології обробленні матеріалів. Тому при формуванні ТП можуть створюватися «бар'єри», які перешкоджають передачі від'ємних властивостей у спадок. Такими бар'єрами, здатними відсікти багато негативних властивостей, можуть виступати технології термічної, лазерної та лазерно-плазмової обробленні поверхневого шару.

2.5. Промислова чистота поверхні.

Промислова чистота (ПЧ) – стан виробів, елементів виробів, технологічних середовищ (зон), технологічного обладнання, що характеризується присутністю забруднювача й враховується при конструктивно-технологічному забезпеченні якості продукції на всіх стадіях її ЖЦВ [17]. При цьому як забруднювач виступає будь-яка чужорідна (стороння) енергія або речовина (частки, рідини, гази, енергія у вигляді теплоти, статичної електрики, радіації тощо) в технологічному середовищі (зоні), що негативно впливають на надійність, безпеку, економічність продукції. Процес забруднення може бути представлений як процес проникнення забруднювача в технологічне середовище (зону) та процес генерації забруднювача в цьому середовищі.

Для оцінки норм ПЧ застосовується система гранично допустимих рівнів вмісту забруднювача в продукції, технологічному середовищі (зоні) на певній стадії ЖЦВ, відповідних класу ПЧ [18]. Клас промислової чистоти є кодованим позначенням відповідності продукції, технологічного середовища (зони) нормам ПЧ.

Методи лезвійного оброблення крім забезпечення високої точності розмірів деталей, є основним джерелом зміни геометрії країв інструменту та деталей, їх поверхонь та джерелом технологічних забруднень. При різанні завжди утворюються задирки на краях (рис. 5). Їх повне видалення лезвійним інструментом неможливе – його застосування веде до утворення вторинних задирок меншого розміру.



Рис. 5. Утворення задирок на краях заготовок

При попаданні в зазори третьових пар забруднюючих частинок відбувається відмова гідравлічних систем, пов'язана із заклинюванням розподільних та регулюючих пристроїв, а також підвищується знос відповідальних деталей, виникають труднощі при складанні й позиціонуванні, знижується втомна міцність тощо.

Частинки задирок або матеріалу інструменту, потрапляючи в гідравлічну або пневматичну систему, переносяться робочим середовищем по всій системі, пошкоджують або порушують роботу найбільш чутливих елементів: манжетних ущільнень, золотників, плунжерних пар, підшипників, зубчастих передач, деталей замків, клапанів тощо. Задирки викликають завихрення в потоці газу або рідини, порушуючи рівномірність потоку.

Крім того, забруднення робочої рідини знижує її змазуючі здібності. Засмічення фільтрів призводить до кавітації в насосі, спінювання та недостатньої подачі робочої рідини. Наявність металевих частинок сприяє окисленню мастила, утворенню смолистих речовин, які, сідаючи на поверхнях, інтенсифікують процес засмічення фільтрів, зарощування зазорів, що призводить до підвищення тиску в лінії, вібрації машини, зниження щільності з'єднань та витoku рідини. Все це супроводжується підвищенням температури, зниженням в'язкості та призводить до зменшення товщини масляної плівки.

Ретельне очищення робочих порожнин машин від виробничих та експлуатаційних забруднень запобігає передчасному зношуванню відповідальних поверхонь деталей, вузлів й агрегатів, різко збільшує термін їх безвідмовної роботи, скорочує витрати на обслуговування та ремонт машин. За статистикою до 50 % всіх відмов гідравлічних систем літаків, пов'язаних з виходом з ладу насосів, заклинюванням розподільних й регулюючих пристроїв, підвищеним зносом відповідальних деталей відбувається через технологічні забруднення [18].

При забезпеченні чистоти поверхонь деталей та робочих порожнин машин ресурс може бути збільшений у 2...3 рази. З цієї причини забезпечення чистоти крайок й поверхонь є пріоритетними для забезпечення заданих ресурсних характеристик виробів аерокосмічної галузі.

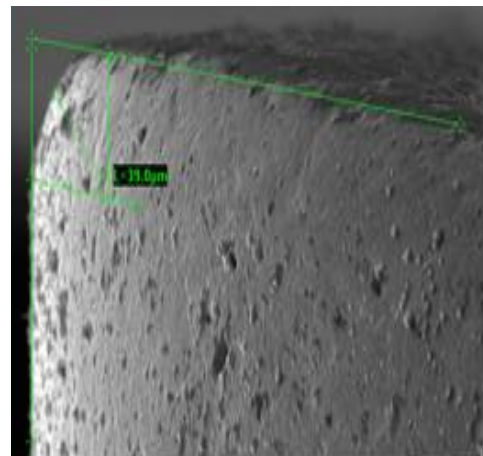
Методи аналізу ТП та конструкцій виробів нині засновані на описі обсягів і поверхонь як основних елементів об'єктів виробництва. Але деталі містять й такі елементи, як крайки, які традиційно визначаються як «лінії перетину двох поверхонь» [2].

Уявлення про крайку, як об'єкт, що входить у математичну модель деталі, виникає при моделюванні ТП обробленні деталей. Форма й точність виготовлення крайки, фізичні характеристики її матеріалу здатні значною мірою визначати ефективність функціонування деталей, вузлів або виробів в цілому при їх експлуатації.

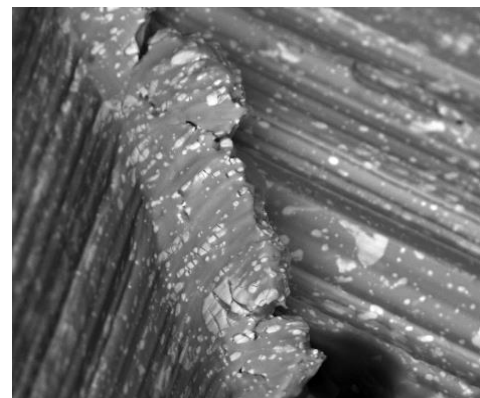
Наприклад, ріжучий інструмент не може бути якісним при порушенні геометрії та характеристик міцності ріжучої крайки. На рис. 6 (а) показана крайка інструменту правильної форми (з 400 кратним збільшенням). Рис. 6 (б) зі збільшенням в

1000 разів дає уявлення про край інструменту з задиркою, застосування якого не дозволяє отримати високу якість оброблюваної деталі.

Задирки, що утворюються при механічній обробці, є одним з різновидів виступаючих дефектів крайок. Задирка, утворена внаслідок оброблення різанням, є виступом на кромці, пов'язаною з обробленою поверхнею. Задирка включає весь матеріал, що знаходиться за межами теоретичного перетину двох поверхонь, що утворюють крайку. У деяких випадках задирки можуть бути розташовані всередині теоретичного перетину двох поверхонь. У цьому випадку крайка являє собою не лінію, а деяку поверхню (рис. 6).



а



б

Рис. 6. Крайки інструментів:
а – правильної геометрії; б – із задиркою

Якість функціонування гідравлічної системи значною мірою визначається точністю розмірів та форми крайки золотника, що регулює подачу робочої рідини. Якість процесу горіння в двигуні залежить від точності виготовлення та форми крайки паливної форсунки тощо. Тому крайки таких деталей пропонуються прийняти як основні елементи, поряд з поверхнями, при виконанні аналізу конструкцій і ТП їх виготовлення (рис. 7).

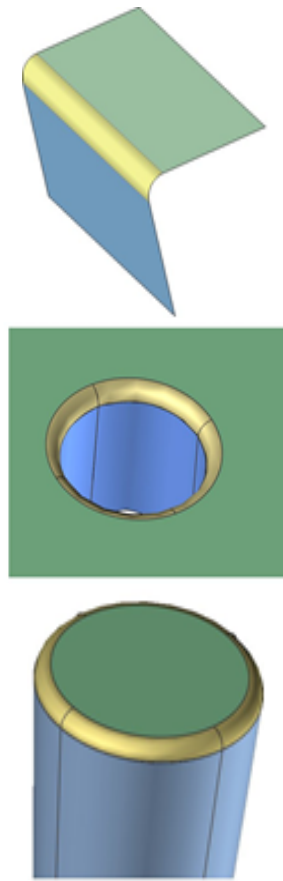


Рис. 7. Приклади крайок деталей

Складність процесу формування крайки полягає в тому, що вона є результатом перетину двох теоретичних поверхонь та повинна описуватися лінією. При перетині реальних поверхонь реальна крайка є не лінією, а перехідною поверхнею складної геометричної форми. Тому крайку можна визначити як поверхню, яка сполучає дві поверхні, що перетинаються і які є прилеглими до неї.

Розміри та мікрорельєф крайки залежить від методів формоутворення та можливостей обладнання, від послідовності виконання технологічних операцій.

Крім того, на кромці смутуються дефекти перетинаних поверхонь, які зумовлені крайовими ефектами при їх механічній обробці. Тому необхідно враховувати вплив якості поверхонь, що сполучаються.

Далеко не завжди є можливість забезпечити необхідну якість крайок лезвийним обробленням, що особливо актуально для деталей зі складними внутрішніми та зовнішніми поверхнями, наприклад, такими як корпус гідравлічного агрегату, лопатки турбін та компресорів.

Таким чином, крайкою є поверхня:

– що супроводжує краї поверхонь, що перетинаються;

– фізико-хімічні характеристики якої можуть суттєво відрізнятися від властивостей інших фрагментів деталі;

– значення допусків форми, точності розмірів і мікрорельєфу якої можуть бути значно меншими за допуски поверхонь, що сполучаються;

– є важливим елементом забезпечення ресурсу виробу.

Тому з конструкторсько-технологічного погляду деталь представляє собою сукупність поверхонь та крайок (рис. 8), які обумовлені застосуванням спеціальних ТП при їх формуванні.

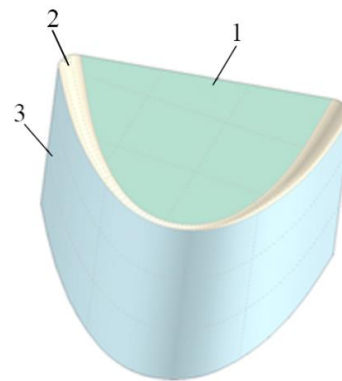


Рис. 8. Конструктивне та технологічне представлення деталі у вигляді поверхонь та крайок: 1, 3 – поверхні; 2 – крайка

За відсутності особливих вимог до крайок конструктор має можливість описати деталь тільки поверхнями, що значно спрощує ТП її виготовлення.

3. Формування параметрів якості деталей на етапах проектування та конструювання виробів

Конструювання виробів машинобудування останні два сторіччя виконується з використанням мови нарисної геометрії. Некоректність опису геометричної інформації кресленням викликає певні труднощі при вирішенні багатьох завдань в машинобудуванні.

Мова нарисної геометрії використовує плоскі проекції, як першоджерела для опису геометрії просторових об'єктів, що є причиною неоднозначності описів складнопрофільних об'єктів. У цьому випадку трьох плоских проекцій явно недостатньо, на кресленнях з'являється безліч додаткових видів та перерізів. Така модель не завжди задовольняє фахівців при виконанні технологічної підготовки виробництва, наприклад, розробників керуючих програми для виготовлення деталей на обладнанні з ЧПК або

об'ємного технологічного оснащення, коли дуже важлива геометрична форма об'єкта виробництва.

Необхідність виробництва складнопрофільних об'єктів, що виникла, наприклад, в аерокосмічній, автомобільній галузях, привели до формування апарату сплайнової геометрії. Бурхливий розвиток обчислювальної техніки дозволив реалізувати аналітичний метод побудови таких залежностей та закласти фундамент появи CAD-систем. Найбільш вдалим описом складних форм об'єктів виробництва виявилися сплайни NURBS (Non-uniform rational B-spline).

Для позначення геометричних моделей об'єктів розробники систем та, відповідно, їх користувачі застосовують найрізноманітніші терміни (майстер-модель, математична модель, електронний макет, віртуальна деталь, цифровий двійник тощо), але термін аналітичний еталон (АЕ) краще за інших передає сенс та значення моделі, що математично описує геометрію деталі, представлену об'єднанням елементарних об'ємів, поверхонь, ліній та точок і розроблену засобами та інструментами CAD-систем [19, 20].

Це досить лаконічне формулювання передає також математичний спосіб опису геометрії об'єкта виробництва і статус цієї моделі (еталон) по відношенню до інших описів, що застосовуються при супроводі виробу на всіх стадіях його життєвого циклу. Такої стислості та ємності автори не виявили в інших, більш застосовуваних термінах, що зумовило його використання у подальшому (рис. 9).

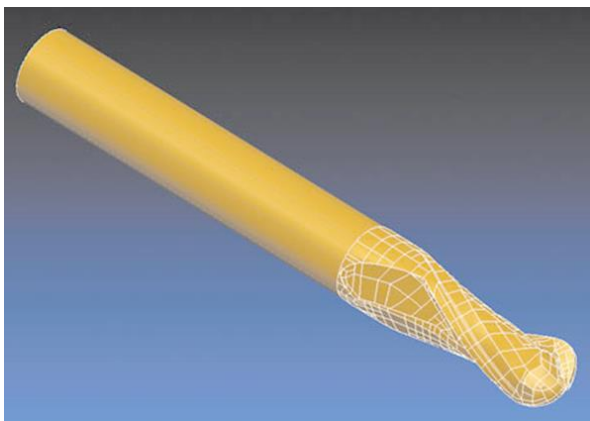


Рис. 9. Аналітичний еталон геометрії фрези

Об'єкти будь-якого ступеня складності, розроблені з використанням сплайнового апарату геометрії, мають однозначний її опис. Цим та багатьом іншими позитивними властивостями можна пояснити широке використання CAD/CAM-систем машинобудівними підприємствами. Але, незважаючи на переваги цих систем, основним документом у процесі виконання технічної підготовки виробництва

(ТПВ) та безпосередньо у виробництві залишається креслення [21]. Після розробки конструкторами аналітичного еталону геометрії (АЕ_Г) починається розробка креслення по ЄСКД, який за всіма існуючими стандартами підприємства є першоджерелом технічної інформації, тобто еталоном [22].

Таким чином, наявність двох різних видів опису об'єктів виробництва: креслення та АЕ_Г – вказує на некоректність постановки прямої задачі формоутворення – порушення єдності рішення. Тому при вирішенні цієї задачі в умовах машинобудівних підприємств необхідно мати одне джерело інформації про об'єкт виробництва [23].

АЕ_Г коректно та повно визначає геометрію деталі (виробу) або її окремих фрагментів. Його застосування дозволить змінити процес конструювання. Більше того, такий підхід значно спрощує алгоритми формотворних процесів та контроль їх виконання. Але сам факт побудови АЕ_Г не вніс вирішальних змін у систему ТПВ. Однією з причин є відсутність стандартів й механізмів передачі характеристик, що описують якість та точність поверхневого шару деталі за допомогою АЕ_Г.

Креслення в цьому аспекті має перевагу, оскільки воно історично є джерелом необхідної технологічної інформації.

4. Аналітичний еталон деталі

АЕ_Г деталі описує сплайновою геометрією поверхню та деякі характеристики, наприклад, масу, об'єм, координати центру ваги тощо. Але він не відображає характеристик якості поверхонь деталі, фізичних властивостей матеріалу деталі. Тому для опису деталі як об'єкта виробництва доцільно використовувати поняття аналітичний еталон деталі (АЕ_Д), який має містити такі типи моделей:

- еталонну модель геометрії поверхні та допусків макровідхилень (ЕМ_Г);
- еталонну модель геометрії крайок деталі та допусків їх відхилень (ЕМ_{КР});
- еталонні моделі мікрорельєфу поверхні деталі (шорсткість, хвилястість) та її крайок (ЕМ_{МІКР});
- еталонні моделі властивостей (щільність матеріалу, твердість, тип покриття; зносостійкість тощо) деталі, її поверхонь та крайок (ЕМ_В);
- еталонні моделі ПЧ поверхні та крайок деталі (ЕМ_{ПЧ}).

Моделі покриття, твердості поверхні, шорсткості та допусків будуються на базі ЕМ_Г, яка створюється конструктором за допомогою топологічних операцій CAD-системи з окремих об'ємів (Solid) або поверхонь (Surface).

Наприклад, зображена на рис. 10 деталь, утворена вісьма поверхнями: 1, 7 – площина; 2, 6 – пове-

рхня циліндра; 3, 5 – плоске кільце; 4 – поверхня циліндра з отворами від перетину її циліндричною поверхнею отвору 8.

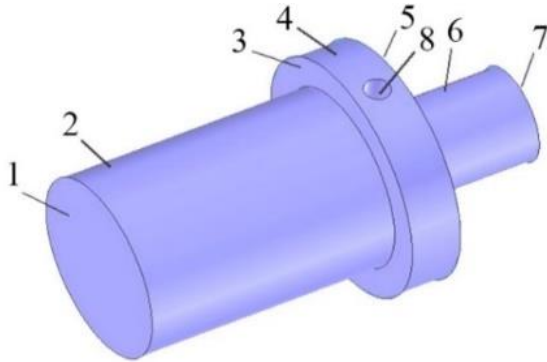


Рис. 10. Зображення еталонної моделі геометрії деталі

Використання CAD-систем дозволяє для наведених типів моделей передбачити можливість нанесення на різні поверхні деталі умовних кольорів та

фактур. Наведене на рис. 11 дає уявлення про можливість передачі таким чином технологічної інформації.

На етапі конструювання виробу після побудови ЕМГ деталі розробники кожному атрибуту поверхні надають свої значення, відповідно до прийнятого на підприємстві стандарту. Це забезпечить однозначне сприйняття інформації всіма учасниками ЖЦВ.

Таблиці градації кольорів відповідно до значень моделювання параметрів формується один раз відповідно до стандартів підприємства.

Трудомісткість внесення інформації при формуванні моделей незначна в порівнянні з часом побудови ЕМГ.

Застосування наведених вище підходів дозволяє реалізувати використання на робочих місцях виробничих підрозділів АЕД замість креслень.

Скорочення трудомісткості залежить від кратності застосування АЕД у процесі супроводу процесів виготовлення та експлуатації виробу.

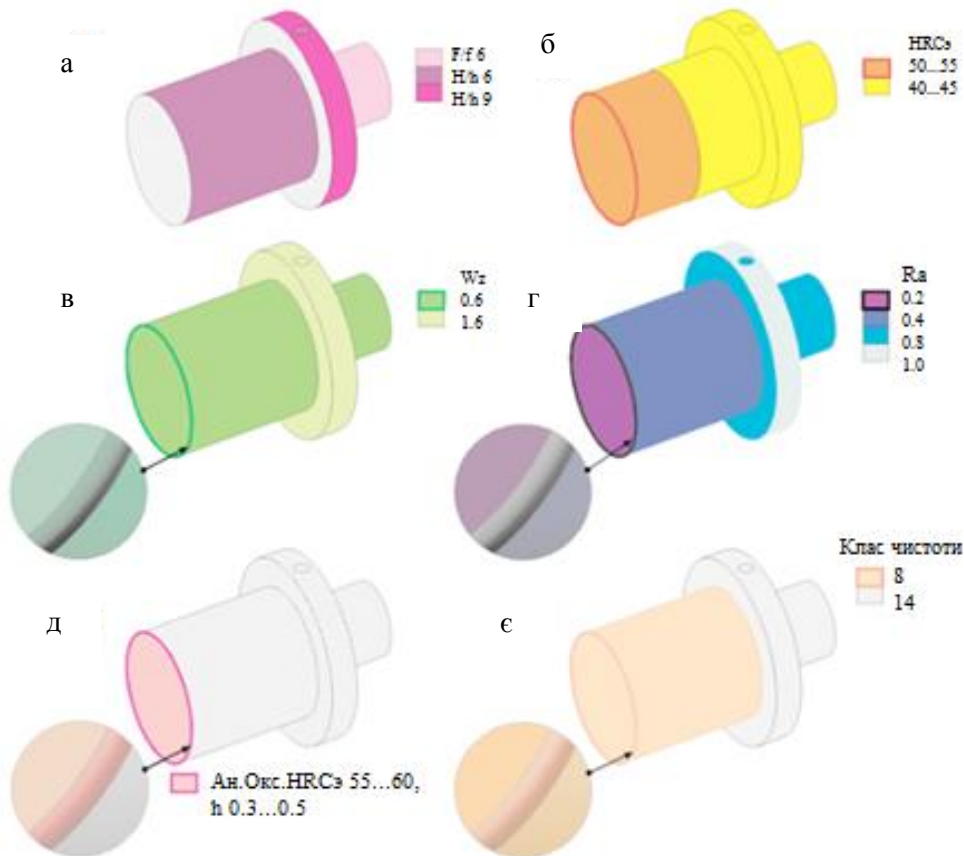


Рис. 11. Формування аналітичного зразка деталі на основі геометрії еталонної моделі:
а – еталонна модель геометрії ЕМГ та допустимих відхилень поверхонь та крайок;
б – модель твердості поверхонь та крайок; в – модель хвилястості поверхонь та крайок;
г – модель шорсткості поверхонь і крайок; д – модель покриттів поверхонь та крайок;
е – модель ПЧ поверхонь та крайок

Якщо кількість користувачів АЕД буде на кілька порядків більше кількості їх розробників, то проблема трудомісткості формування таких моделей, нехай навіть й високої, перестане бути актуальною, оскільки інформація буде однозначно сприйнята всіма учасниками ЖЦВ, що гарантує позитивний ефект, в тому числі й економічний.

5. Аналітичний портрет деталі

Після виготовлення деталі необхідно оцінити рівень її відповідності еталону – реалізація контролю. Для виконання цієї процедури необхідно мати дві моделі: модель еталону й модель деталі. Остання має описувати реальну деталь, тобто є її портретом.

Формування портрета геометрії деталі (ПГД) багато в чому визначається вибором мови її опису.

Якщо для еталона ЕМГ вибрано мову аналітичної геометрії, то і портрет деталі ПГД також повинен бути описаний цією мовою.

Таким чином, ПГД є аналітична модель, побудована за результатами вимірювань, що описує форму та розміри реальної деталі або її фрагмента в системі координат АЕД.

Для реалізації процедур контролю деталі її портрет повинен містити такі моделі:

- портрет геометрії поверхонь (ПГ_п);
- портрет геометрії країв (ПГ_{кр});
- портрети геометрії мікрорельєфу деталі (шорсткість, хвилястість) та її крайок (ПГ_{мікр});
- портрети властивостей (щільність матеріалу, твердість, тип покриттів; зносостійкість тощо) деталі, її поверхонь та крайок (ПВ);
- портрети ПЧ поверхні та крайок деталі (ППЧ).

Портрети формуються лише для параметрів, які піддаються подальшому контролю. Якщо якісь параметри виробу не контролюються, то відповідні вимірювання не проводяться й портрети не формуються. На рис. 12 наведено приклад портрету геометрії фрези (ПГ_ф), створений за результатами вимірювань реально фізично існуючої фрези.

Результати порівняння еталонної моделі геометрії фрези та її портрета геометрії представлені на рис. 13.

Відхилення від еталона відображаються в графічному вигляді за допомогою колірної палітри. Відхилення в «плюс» будуть зазначені теплими кольорами – від насиченого жовтого до червоного, а відхилення в «мінус» – холодними – від блідого зеленого до насиченого синього.

Висновки

Показано, що формування вимог до інформаційного супроводу виробництва аерокосмічних ви-

робів для забезпечення їх якості можливо лише комплексним підходом з урахуванням геометрії, властивостей та функціонування деталей.

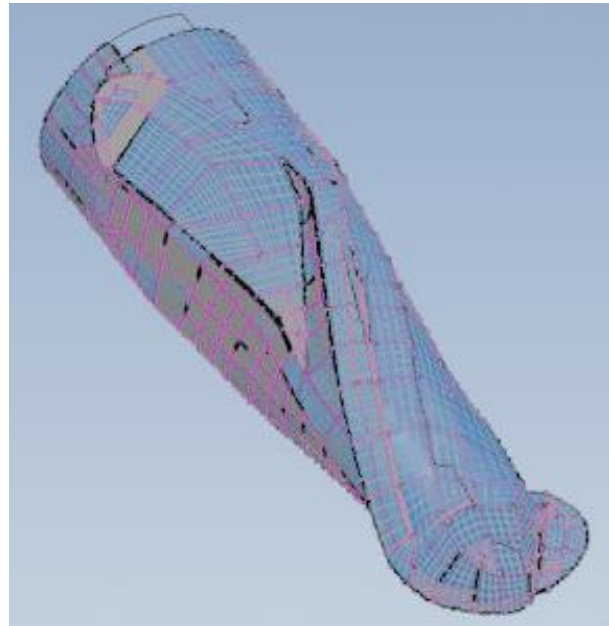


Рис. 12. Портрет геометрії фрези ПГ_ф

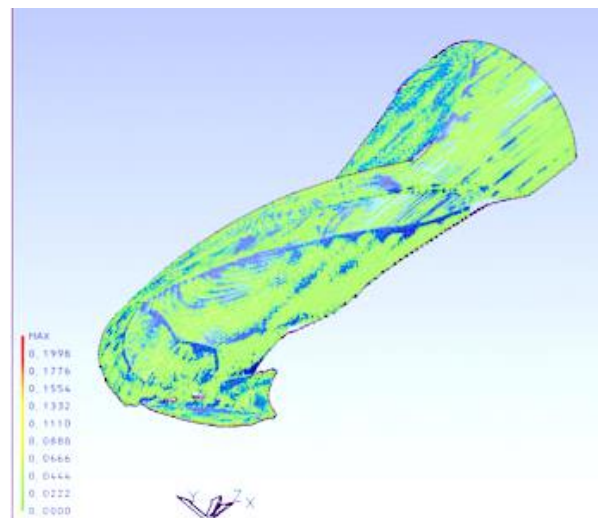


Рис. 13. Порівняння еталонної моделі геометрії та портрета геометрії фрези

Встановлено, що практична реалізація заходів управління якістю серійної продукції машинобудівних підприємств можлива при виконанні трьох умов постановки задачі формування. При порушенні хоча б однієї з них, задача вважається некоректною. Вирішення таких задач можливо лише із залученням додаткової евристичної інформації.

Зазначені характеристики якості деталі за ступенем відповідності її номінальним (еталонним) значенням форми та розмірів (макрогеометрії та

мікрорельєфу); фізико-хімічних властивостей матеріалу та поверхневого шару, технологічної спадковості та ПЧ.

Показано побудову аналітичного еталону на прикладі циліндричної деталі, яка містить наступні моделі:

- еталонну модель геометрії поверхні та допусків макровідхилень (EM_{Γ});
- еталонну модель геометрії крайок деталі та допусків їх відхилень ($EM_{\text{КР}}$);
- еталонні моделі мікрорельєфу поверхні деталі (шорсткість, хвилястість) та її крайок ($EM_{\text{Мікр}}$);
- еталонні моделі властивостей (щільність матеріалу, твердість, тип покриття; зносостійкість тощо) деталі, її поверхонь та крайок ($EM_{\text{В}}$);
- еталонні моделі ПЧ поверхні та крайок деталі ($EM_{\text{ПЧ}}$).

Наведено реалізацію контролю на прикладі фрези з порівнянням еталонної моделі геометрії та портрета її геометрії. Відхилення від еталона можливо відстежити за допомогою колірної палітри.

Подальші дослідження мають бути з реалізації адитивних технологій виробництва аерокосмічних виробів та контролю якості при їх постійному інформаційному супроводі.

Література

1. ISO/IEC/IEEE 26531:2015. *Systems and software engineering – Content management for product life-cycle, user and service management documentation* [Text]. – IEEE, 2015. – 49 p. DOI: 10.1109/IEEESTD.2015.7106441.
2. ASME B46.1-2019. *Surface Texture (Surface Roughness, Waviness, and Lay)* [Text]. – N. Y.: American Society of Mechanical Engineers (ASME), 2019. – 144 p.
3. Суслов, А. Г. *Инженерия поверхности деталей* [Текст] / А. Г. Суслов, В. Ф. Безъязычный, Ю. В. Панфилов и др. – М.: Машиностроение, 2008. – 320 с.
4. Суслов, А. Г. *Качество поверхностного слоя деталей машин* [Текст] / А. Г. Суслов. – М.: Машиностроение, 2000. – 320 с.
5. *Developments in Surface Contamination and Cleaning* [Text] / Edited by Rajiv Kohli and K. L. Mittal. – India: MPS Limited, Chennai, 2017. – 196 p.
6. *Convergence technology of vehicle parts surface finishing* [Text] / V. Sikulskiy, K. Maiorova, Iu. Vorobiov, P. Fomichev, S. Myronova // XIV International Scientific Conference “Transport problems 2022”, Katowice – Silesia, 29 June – 1 July 2022. – Katowice, 2022. – P. 637-646.
7. *Implementation of reengineering technology to reduce the terms of the technical preparation of manufacturing of aviation technology assemblies* [Text] / V. Sikulskiy, K. Maiorova, Iu. Vorobiov, M. Boiko, O. Komisarov // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2022. – Vol. 3, No. 1(117). – P. 25–32. DOI: 10.15587/1729-4061.2022.258550.
8. Дзюба, В. О. *Технологічні методи забезпечення параметрів якості поверхонь тіл обертання та їх профілометричний контроль* [Текст] / В. О. Дзюба, П. О. Марущак. – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2021. – 170 с.
9. *Forming the geometric accuracy and roughness of holes when drilling aircraft structures made from polymeric composite materials* [Text] / K. Maiorova, Iu. Vorobiov, O. Andreev, B. Lupkin, V. Sikulskiy // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2022. – Vol. 2, No. 1(116). – P. 71–80. DOI: 10.15587/1729-4061.2022.254555.
10. Yang, S. *Surface Quality and Finishing Technology* [Text] / S. Yang, W. Li // *Surface Finishing Theory and New Technology*. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2018. – P. 1-64. DOI: 10.1007/978-3-662-54133-3_1.
11. AS/EN 9100D. *Quality Management Systems – Requirements for Aviation, Space, and Defense Organizations* [Text]. – SAE International, 2016. – 54 p.
12. DСТV EN ISO 9001:2018 *Системи управління якістю. Вимоги (EN ISO 9001:2015, IDT; ISO 9001:2015, IDT)* [Текст]. – Введ. 2018-12-05. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016.
13. Бычков, И. В. *Жизненный цикл изделия и его информационное сопровождение* [Текст] / И. В. Бычков, С. И. Планковский, А. А. Романов // *Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами*. – 2014. – Т. 18, № 1(62). – С. 149-155.
14. *Основы трибологии (трение, износ, смазка)* [Текст] / А. В. Чичинадзе, Э. Д. Браун, Н. А. Буше и др.; под общ. ред. А. В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2001. – 664 с.
15. Wang, Q. Jane. *Encyclopedia of Tribology* [Text] / Q. Jane Wang, Yip-Wah Chung. – NY, Springer, 2013. – 4139 p. DOI: 10.1007/978-0-387-92897-5.
16. Швець, А. І. *Технологічна спадковість при виготовленні деталей машин* [Текст] / А. І. Швець // *X Міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій»*, Тернопіль, 24-25 листопада, 2021 р. – 2021. – С. 61.
17. Петухов, С. В. *Справочник мастера машиностроительного производства* [Текст] / С. В. Петухов. – 2 изд. – М.: Инфра-Инженерия, 2019. – 352 с.
18. Захаров, А. С. *Авиационное гидравлическое оборудование* [Текст] / А. С. Захаров, В. И. Сабельников. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. – 406 с.

19. ISO 1101:2004. *Geometrical product specifications (GPS) – Geometrical tolerancing – tolerances of form, orientation, location and run-out* [Electronic resource]. – Available at: <https://www.iso.org/ru/standard/1147.html> – 10.02.2022.

20. ISO 1101:2017. *Geometrical product specifications (GPS) – Geometrical tolerancing – tolerances of form, orientation, location and run-out* [Electronic resource]. – Available at: <https://www.iso.org/ru/standard/66777.html> – 12.03.2022.

21. Розробка алгоритмів процесів формоутворення на етапі технологічної підготовки виробництва авіаційної техніки [Текст] / В. Т. Сікульський, К. В. Майорова, І. В. Бичков, М. М. Бойко, О. Л. Комісаров // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – 2022. – № 2(178). – С. 64–73. DOI: 10.32620/akt.2022.02.08.

22. ДСТУ ГОСТ 2.601:2006. *Експлуатаційні документи* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://nncprz.ho.ua/document/biblio_01/ESKD.pdf. – 12.03.2022.

23. Бичков, И. В. *Корректная постановка задач формообразования для оборудования с ЧПУ* [Текст] / И. В. Бичков // *Технологические системы*. – 2011. – № 55(2). – С. 22–28.

References

1. ISO/IEC/IEEE 26531:2015. *Systems and software engineering – Content management for product life-cycle, user and service management documentation*. IEEE Publ., 2015. 49 p. DOI: 10.1109/IEEESTD.2015.7106441.

2. ASME B46.1-2019. *Surface Texture (Surface Roughness, Waviness, and Lay)*. N. Y., American Society of Mechanical Engineers (ASME) Publ., 2019. 144 p.

3. Suslov, A. G., Bezjazychnyj, V. F., Panfilov, V., Ju. et al. *Inzhenerija poverhnosti detail* [Part surface engineering]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2008. 320 p.

4. Suslov, A. G. *Kachestvo poverhnostnogo sloja detalej mashin* [The quality of the surface layer of machine parts]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2000. 320 p.

5. Kohli, Rajiv., Mittal, K. L. *Developments in Surface Contamination and Cleaning*. India, MPS Limited, Chennai, 2017. 196 p.

6. Sikulskiy, V., Maiorova, K., Vorobiov, Iu., Fomichev, P., Myronova, S. Convergence technology of vehicle parts surface finishing. *XIV International Scientific Conference “Transport problems 2022”, Katowice – Silesia, 29 June – 1 July 2022*, Katowice, 2022, pp. 637-646.

7. Sikulskiy, V., Maiorova, K., Vorobiov, Iu., Boiko, M., Komisarov, O. Implementation of reengineering technology to reduce the terms of the technical preparation of manufacturing of aviation technology assemblies. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2022, vol. 3, no. 1(117), pp. 25-32. DOI: 10.15587/1729-4061.2022.258550.

8. Dzjuba, V. O., Marushhak, P. O. *Tekhnolohichni metody zabezpechennya parametriv yakosti poverkhon' til obertannya ta yikh profilometrychnyy kontrol'* [Technological methods of ensuring quality parameters of rotating bodies surfaces and their profilometric control]. Ternopil', FOP Polyanytsya V. A. Publ., 2021. 170 c.

9. Maiorova, K., Vorobiov, Iu., Andreev, O., Lupkin, B., Sikulskiy, V. Forming the geometric accuracy and roughness of holes when drilling aircraft structures made from polymeric composite materials. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2022, vol. 2, no. 1(116), pp. 71-80. DOI: 10.15587/1729-4061.2022.254555.

10. Yang, S., Li, W. *Surface Quality and Finishing Technology*. *Surface Finishing Theory and New Technology*, Springer, Berlin, Heidelberg, 2018, pp. 1-64. DOI: 10.1007/978-3-662-54133-3_1.

11. AS/EN 9100D. *Quality Management Systems – Requirements for Aviation, Space, and Defense Organizations*. SAE International Publ., 2016. 54 p.

12. DSTU EN ISO 9001:2018 (EN ISO 9001:2015, IDT) *Systemy upravlinnya yakystyu. Vymohy* [Quality management systems. Requirements] (EN ISO 9001:2015, IDT; ISO 9001:2015, IDT). Kyiv, DP «UkrNDNCz» Publ., 2016.

13. Bychkov, I. V., Plankovsky, S. I., Romanov, A. A. *Zhiznennyi tsykl izdeliya i ego informatsionnoe soprovozhdenie* [Product life cycle and its information support]. *Avtomatizatsiya i upravlenie tekhnologicheskimi protsessami i proizvodstvami – Automation and control of technological processes and production*, 2014, vol. 18, no. 1(62), pp. 149-155. (In Russian).

14. Chichinadze, A. V., Braun, E. D., Bushe, N. A. et al. *Osnovy tribologii (trenie, iznos, mazka)* [Fundamentals of tribology (friction, wear, lubrication)]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2001. 664 p. (In Russian).

15. Wang, Q. Jane., Chung, Yip-Wah. *Encyclopedia of Tribology*. NY, Springer Publ., 2013. 4139 p. DOI: 10.1007/978-0-387-92897-5.

16. Shvets', A. I. *Tekhnolohichna spadkovist' pry vyhotovlenni detaley mashyn* [Technological heredity in the manufacture of machine parts]. *X Mizhnar. nauk.-prakt. konf. molodykh uchenykh ta studentiv «Aktual'ni zadachi suchasnykh tekhnolohiy» – X International science and practice conf. young scientists and students*

materials "Current tasks of modern technologies", Ternopil', 24-25 lystopada, 2021, pp. 61.

17. Petukhov, S. V. *Spravochnik mastera mashinostroitel'nogo proizvodstva* [Handbook of the master of mechanical engineering production]. Moscow, Infra-Inzheneriya Publ., 2019. 352 p. (In Russian).

18. Zakharov, A. S., Sabel'nikov, V. I. *Aviatsionnoe gidravlicheskie oborudovanie* [Aviation hydraulic equipment]. Novosibirsk, Izd-vo NGTU Publ., 2017. 406 p.

19. *ISO 1101:2004. Geometrical product specifications (GPS) – Geometrical tolerancing – tolerances of form, orientation, location and run-out*. Available at: <https://www.iso.org/ru/standard/1147.html> (accessed 10.02.2022)

20. *ISO 1101:2017. Geometrical product specifications (GPS) – Geometrical tolerancing – tolerances of form, orientation, location and run-out*. Available at: <https://www.iso.org/ru/standard/66777.html>. (accessed 12.03.2022)

21. Sikul's'kyi, V. T., Mayorova, K. V., Bychkov, I. V., Boyko, M. M., Komisarov, O. L. *Rozrobka alhorytmiv protsesiv formoutvorenniya na etapi tekhnolohichnoyi pidhotovky vyrobnytstva aviatsiynoyi tekhniki* [Development of shaping process algorithms at the stage of technological preparation of the production of the aircraft]. *Aviaciynno-kosmicna tehnika i tehnologia – Aerospace technic and technology*, 2022, vol. 2(178), pp. 64-73. DOI: 10.32620/akt.2022.2.08.

22. *DSTU GOST 2.601:2006. Ekspluatatsiyni dokumenty* [Operational documents]. Available at: http://nmc pz.ho.ua/document/biblio_01/ESKD.pdf (accessed 12.03.2022). (In Russian).

23. Bychkov, I. V. *Korrektnaja postanovka zadach formoobrazovaniya dlja oborudovaniya s ChPU* [Correct formulation of shaping tasks for CNC equipment]. *Tehnologicheskie sistemy – Technological systems*, 2011, no. 55(2), pp. 22-28. (In Russian).

Надійшла до редакції 22.05.2022, розглянута на редколегії 27.07.2022

REQUIREMENTS DEVELOPMENT FOR THE INFORMATION SUPPORT MANUFACTURING OF AEROSPACE PRODUCTS TO ENSURE THEIR QUALITY

*Igor Bychkov, Anna Seleznyova, Kateryna Maiorova,
Iurii Vorobiov, Valeriy Sikul'skiy*

The aim of this study is informational support of the aerospace object production at the stages of their lifecycle. The purpose is to provide the necessary parameters of the aerospace products quality, which involves providing relevant information at each stage of the lifecycle in an easy-to-understand and complete form. The task is to create the analytical standard using the example of parts of precision and unit production. The model is based on the analytical standard of parts geometry developed using CAD/CAM-systems with the subsequent expansion of the models list to transfer the necessary information to all participants of the product lifecycle. According to the analysis, significant limitations of drawing documentation for informational support of aerospace industry objects at the stage of technology development are identified. The quality characteristics of the part are grouped according to the compliance degree with its nominal (reference) value of shape and dimensions (macrogeometry and microrelief), physical and chemical properties of the material and the surface layer, technological heredity and industrial purity. It is proposed to develop their models with the CAD/CAM-systems tools based on the analytical sample of geometry. Three necessary conditions for the correct formulation of the shaping problem regarding the implementation of quality management of serial products of machine-building enterprises are established. If at least one of them is violated, it is necessary to attract additional heuristic information to reproduce the correctness of the problem. The analytical standard creation and control implementation of an example of a mill that considers the geometry of the edges are shown, as well as a comparison of the reference geometry and geometry portrait. The scientific novelty of the obtained results consists of the concept introduction of an edge as a surface that connects the working "lines of two surfaces intersection" of a part. The representation of edges in the form of surfaces, not lines, on the one hand, and the selection of these surfaces from the totality of other working surfaces of the parts, on the other hand, creates an informational basis for developing the appropriate manufacturing technologies and maintenance of these parts elements during the product operation.

Keywords: aerospace product; lifecycle; analytical standard; quality; edges; surface.

Бичков Ігор Валерійович – д-р техн. наук, старш. наук. співроб., проф. каф. технології виробництва літальних апаратів, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

Селезньова Анна Сергіївна – старш. викл. каф. технології виробництва літальних апаратів, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

Майорова Катерина Володимирівна – канд. техн. наук, доц., зав. каф. технології виробництва літальних апаратів, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

Воробйов Юрій Анатолійович – д-р техн. наук, доц., проф. каф. технології виробництва літальних апаратів, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

Сікульський Валерій Терентійович – д-р техн. наук, доц., проф. каф. технології виробництва літальних апаратів, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

Ihor Bychkov – Doctor of Technical Science, Senior Researcher, Professor at the Aircraft Manufacturing Department, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, Ukraine, e-mail: i.bychkov@khai.edu, ORCID: 0000-0003-2436-4215.

Anna Seleznova – Senior Lecturer at the Aircraft Manufacturing Department, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, Ukraine, e-mail: a.seleznova@khai.edu, ORCID: 0000-0002-6523-222X.

Kateryna Maiorova – PhD, Associate Professor, Head of the Aircraft Manufacturing Department, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, Ukraine, e-mail: kate.majorova@ukr.net, ORCID: 0000-0003-3949-0791.

Iurii Vorobyov – Doctor of Technical Science, Associate Professor, Professor at the Aircraft Manufacturing Department, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, Ukraine, e-mail: yu.vorobyov@khai.edu, ORCID: 0000-0001-6401-7790.

Valeriy Sikulskiy – Doctor of Technical Science, Associate Professor, Professor at the Aircraft Manufacturing Department, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, Ukraine, e-mail: v.sikulskiy@khai.edu, ORCID: 0000-0002-5944-4728.