

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2022-272-2-91-98>

УДК 621.91

КЛАСИФІКАЦІЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН З ОБЛІКОМ ЯКОСТІ ЇХ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ

Харламов Ю.О., Романченко О.В., Міцик А.В.

CLASSIFICATION OF MACHINE PARTS TAKING INTO ACCOUNT THE QUALITY OF THEIR SURFACE LAYER

Kharlamov Y.O., Romanchenko O.V., Mitsyk A.V.

Скорочення трудомісткості та термінів конструкторської та технологічної підготовки виробництва є актуальним завданням машинобудування. Її розв'язання забезпечується шляхом комплексної автоматизації процесів проектування, а також використанням принципів уніфікації та типізації. Оперативно та обґрунтовано виконувати запозичення проектних рішень можна лише з використанням систем класифікації, що дозволяють описати об'єкти виробництва знеособленим кодом (незалежно від їхнього функціонального призначення). Розглянуто наявні підходи щодо оцінки ролі поверхонь при класифікації деталей машин в наявних системах автоматизації проектування технологічних процесів. У відомих підходах до технологічної класифікації деталей машин їх поверхні розглядаються з геометричної точки зору та не враховуються параметри якості поверхневого шару, за винятком шорсткості поверхонь. Для високоавантажених відповідальних поверхонь деталей доцільно використовувати інформаційні моделі поверхонь, які можуть бути охарактеризовані та описані відповідною сукупністю (множиною) ознак. Показано необхідність стандартизації технологічно керованих та метрологічно забезпечених параметрів, що мають основний вплив на експлуатаційні властивості деталей машин. Експлуатаційні властивості деталей машин, що визначають їхню надійність, залежать від системи параметрів якості їх робочих поверхонь: макровідхилення; хвилястості; шорсткості; субшорсткості; фізико-хімічних властивостей. Систематизована інформація про характер впливу на експлуатаційні властивості деталей машин та їх з'єднань основних параметрів якості поверхні. Запропоновано методику кодування поверхонь за їх функціональним призначенням або експлуатаційними властивостями двома розрядами, а поверхонь багатофункціонального призначення комплексом таких розрядів. За функціональним призначенням та необхідними експлуатаційними властивостями здійснюється вибір та перевірка призначення конструктивно-технологічних особливостей та параметрів стану поверхневого шару. Розроблено методику кодування типу поверхневого шару (ПШ), матеріалу ПШ за хімічним складом та параметрів якості ПШ.

Ключові слова: класифікація; кодування; параметри якості поверхневого шару; поверхня; типізація; уніфікація; експлуатаційні характеристики.

Вступ. Скорочення трудомісткості та термінів конструкторської та технологічної підготовки виробництва є актуальним завданням машинобудування. Її рішення забезпечується шляхом комплексної автоматизації процесів проектування (CAE/CAD/CAM), а також використання принципів уніфікації та типізації [1, 2]. Однак в наявних системах CAD/CAM недостатньо ефективно застосовують типові проектні рішення, які дозволяють зберігати й передавати знання у виробничих підрозділах [3]. Оперативно та обґрунтовано виконувати запозичення проектних рішень можна лише з використанням систем класифікації, що дозволяють описати об'єкти виробництва знеособленим кодом (незалежно від їхнього функціонального призначення). Для цього використовують класифікатор ЄСКД (К.ЄСКД) та технологічний класифікатор деталей машинобудування та приладобудування [4, 5]. Класифікатор ЄСКД охоплює широку номенклатуру деталей машин та приладів, розділену на шість класів. Основними завданнями К.ЄСКД є:

- створення баз даних широкої номенклатури деталей та автоматизований аналіз їх конструкторсько-технологічних ознак;
- групування деталей з конструкторсько-технологічної подібності для розробки типових та групових технологічних процесів з використанням ЕОМ;
- уніфікація та стандартизація деталей та технологічних процесів їх виготовлення;
- підвищення серійності та концентрації виробництва деталей;
- організація предметно-спеціалізованих виробничих підрозділів (дільниць, цехів, заводів);

– вибір раціонального технологічного обладнання та оснащення;

– експертний автоматизований пошук раніше розроблених типових та групових, технологічних процесів;

– автоматизація проектування деталей та технологічних процесів їх виготовлення.

Для впровадження К.ЄСКД у виробництво розробляються автоматизовані експертні системи кодування та класифікації деталей [2, 3].

У технології машинобудування за функціональним призначенням поверхні деталей машин заведено поділяти на чотири види: виконавчі (робочі), що забезпечують виконання деталлю свого службового призначення (передача руху, різання матеріалу, силове навантаження, герметизація та ін.); основні базуючі поверхні або основні бази, що визначають положення деталі щодо інших деталей; допоміжні бази, за допомогою яких визначається положення всіх інших деталей, що приєднуються до цієї деталі; вільні (сполучні), що не сполучаються з поверхнями інших деталей, за допомогою яких виконавчі та базові поверхні деталі об'єднуються у просторове тіло і деталей набуває відповідних конструктивних форм. Розрізняють також поверхні, що сполучаються (поверхні зіткнення і взаємодії двох або декількох деталей у з'єднанні) і вільні поверхні, які з поверхнями інших деталей не взаємодіють.

Аналогічний підхід використовується в модульній технології [6], в якій модулі поверхонь діляться на три класи: базуючі (МПБ), робочі (МНР), сполучні (МПС) та деталь є сукупністю базуючих, робочих та сполучних модулів поверхонь.

Розробляються технологічні класифікатори деталей і поверхонь стосовно різних методів одержання та обробки заготовок, у тому числі та підлягають обробці різанням [7]. Технологічний класифікатор оброблюваної деталі складається з базової та технологічної частин. Базова частина включає опис конструктивних особливостей оброблюваних поверхонь конкретного класу деталей, починаючи від гладкої простої форми та в міру її ускладнення до фасонної, що містить на оброблюваній поверхні різноманітні конструктивні елементи та їх поєднання, що створюють переривчатість у процесі різання. Технологічна частина містить докладні відомості про кількісні та якісні характеристики оброблюваних поверхонь деталі, у тому числі: розмірна характеристика; стан оброблюваної поверхні; ступінь точності; шорсткість; відхилення форми та розташування; матеріал; термічна обробка.

У всіх цих підходах до технологічної класифікації деталей машин їх поверхні розглядаються з геометричної точки зору і не враховуються параметри якості поверхневого шару, крім шорсткості поверхонь. Водночас відомо істотний вплив якості поверхневого шару на експлуатаційні властивості деталей [8, 9].

Метою статті є розробка методики класифікації та кодування інформації про деталі машин, що

враховує особливості стану та параметри якості поверхневих шарів.

Теоретичні основи класифікації деталей. Для розробки інформаційної моделі деталі (ІМД), яка є основною структурною одиницею бази даних про деталі, необхідно визначити основні конструктивно-технологічні характеристики. Деталь D у базі даних може бути охарактеризована і відповідно описана деякою сукупністю (множиною) ознак [3]:

$$D = \{P_1, \dots, P_i, \dots, P_n\},$$

де P_i – i -а ознака деталі; n – загальна кількість ознак деталі.

Кожен з n ознак може бути представлений двома частинами: найменуванням ознаки X_i та її числовим значенням x_i . При кодуванні певної ознаки якогось об'єкта виробництва використовують відповідну йому класифікаційну систему.

У процесі розробки ІМД вирішується завдання обґрунтування раціонального набору класифікаційних ознак, які є найбільш інформативними для конструкторського та технологічного проектування. Це завдання належить до класу завдань, пов'язаних з оцінкою необхідності та достатності деякої сукупності ознак, і вирішена шляхом накладання множини $Y = (y_1, \dots, y_i)$ конструкторських і технологічних параметрів об'єктів виробництва на безліч класифікаційних ознак $X = (x_1, \dots, x_i)$. Накладання множини Y на множину X математично можна представити за допомогою відображення множин [3].

У цьому випадку маємо багатозначне відображення v множини Y параметрів об'єктів виробництва у множину X класифікаційних ознак:

$$v: Y \rightarrow X.$$

Відображення v означає, що кожному елементу y_i множини Y зіставляється один або кілька елементів x_i множини X , які тією чи іншою мірою впливають на y_i .

При цьому образом $v(y_i)$ кожного параметра об'єкта виробництва $y_i \in Y$ за підмножиною X буде підмножина класифікаційних ознак $x_i \in X$, що зіставляються при відображенні v елементу y_i :

$$v(y_i) = \{x_i\} \in X,$$

де $\{x_i\}$ – підмножина класифікаційних ознак, що є найбільш інформативними для y_i .

Наступний крок відображення множин v полягає в об'єднанні образів всіх параметрів об'єкта ви-

робництва $(y_1, \dots, y_i) \in Y$, що дозволяє отримати набір найбільш інформативних класифікаційних ознак:

$$U_{n \in N} v(y_i) = \{x_i / \exists n(n \in N) \wedge x_i \in v(y_i)\},$$

де N – множина образів елементів $(y_1, \dots, y_i) \in Y$ при відображенні v ; n – елементи множини N .

Раціональний склад класифікаційних ознак X_1 (або область значень відображення v) визначимо так:

$$X_1 = \left\{ \left(U_{n \in N} v(y_i) \in X \right) \right\} \subseteq X_{\text{кл.}}$$

Відомі розробки систем класифікації та кодування деталей [3, 7, 10, 11]. У цих системах знеособлене кодове позначення формалізує конструктивно-геометричні характеристики деталей. Конструкторський код деталі визначає геометрію деталі (тіло обертання, корпусні, площинні та ін.), форму та структуру поверхонь (циліндричні, конічні, гладкі, східчасті та ін.). Технологічний код визначає такі характеристики, як габаритні розміри, точність, матеріал, заготовка та ін., а в ряді випадків і організаційно-планові характеристики (трудомісткість обробки, річна програма випуску та ін.).

Аналогічний підхід можна використовувати для розробки інформаційної моделі модуля поверхонь (ІММП), яка є основною структурною одиницею бази даних про модулі поверхонь МП, для яких необхідно визначити їх основні конструктивно-технологічні характеристики. Модуль поверхонь МП у базі даних може бути охарактеризований і відповідно описаний деякою сукупністю (множиною) ознак:

$$МП_q = \{P_{мп_1}, \dots, P_{мп_w}, \dots, P_{мп_l}\},$$

де $P_{мп_w}$ – w -а ознака деталі; $q = 1, 2, \dots, l$, l – загальна кількість ознак модуля поверхні.

Деталь D у базі даних може бути охарактеризована і відповідно описана деякою сукупністю (множиною) модулів поверхонь:

$$\left\{ \begin{array}{l} МПБ_1, \dots, МПБ_e, \dots, МПБ_l; МПР_1, \dots, МПР_y, \dots, МПР_u; \\ МПС_1, \dots, МПС_p, \dots, МПС_s \end{array} \right\}.$$

Тут $МПБ_e$, $МПР_y$, $МПС_p$ – модулі поверхонь деталей, відповідно, базуючи, робочі та сполучні; t , u , s – кількість модулів поверхонь деталі, відповідно, базуючих, робочих і сполучних.

Для високонавантажених відповідальних поверхонь деталей доцільно використовувати інформаційні моделі поверхонь, які можуть бути охарактери-

зовані і описані відповідно деякою сукупністю (множиною) ознак:

$$П = \{P_{п1}, \dots, P_{пj}, \dots, P_{пl}\},$$

де $P_{пj}$ – j -а ознака деталі; l – загальна кількість ознак деталі.

Доцільність класифікації конструктивно-технологічних особливостей та параметрів якості поверхневого шару деталей машин. Всі відмови та руйнування деталей машин відбуваються по одному з експлуатаційних показників (зносо- та корозійної стійкості, міцності та ін.) і починаються, як правило, з поверхні деталей. Всі експлуатаційні властивості та їх показники тісно взаємопов'язані з геометричними та фізико-механічними характеристиками поверхневих шарів [6].

За численними літературними даними [8, 9] експлуатаційні властивості деталей машин, що визначають їхню надійність, залежать від системи параметрів якості їх робочих поверхонь: макровідхилення; хвилястості; шорсткості; субшорсткості; фізико-хімічних властивостей (табл. 1). У найближчому майбутньому очікується стандартизація параметрів, що мають основний вплив на експлуатаційні властивості деталей машин, технологічно керованих та метрологічно забезпечених. У табл. 1 наведено інформацію про характер впливу на експлуатаційні властивості деталей машин та їх з'єднань основних параметрів якості поверхні: H_{max} – максимальне макровідхилення, мкм; H_p – висота згладжування макровідхилення; W_z – середня висота хвиль, мкм; W_p – висота згладжування хвилястості; Sm_w – середній крок хвиль, мм; Ra – середнє арифметичне відхилення профілю, мкм; Rz – висота нерівностей профілю по десяти точках; R_{max} – найбільша висота профілю; R_p – висота згладжування профілю шорсткості, мкм; t_p – відносна опорна довжина профілю, %; Sm – середній крок нерівностей профілю, мм; S – середній крок місцевих виступів профілю, мм; $R_{\text{max}'}$ – найбільша висота профілю субшорсткості; Sm' – середній крок нерівностей профілю субшорсткості; $\pm \sigma_{\text{зал}}$ – залишкові напруження, МПа; $h_{\sigma 0}$ – глибина залягання залишкових напружень, мм; $H_{\mu 0}$ – поверхнева мікротвердість; h_{μ} – товщина поверхневого шару; ε – пружна деформація кристалічної ґрати; l_3 – розмір, форма і розподіл зерен по шару та їх кристалографічна орієнтація; ρ_D – щільність дислокацій.

Численні значення параметрів якості поверхневого шару деталей машин на стадії проектування відповідно до їх функціонального призначення визначають розрахунково-аналітичним, експерименталь-

ним та дослідно-статистичним методами. Дуже важливими факторами є статистичні дані з експлуатації прототипів проєктованих вузлів або машин, а також досвід конструкторів. Вибір параметрів якості робочих поверхонь деталей машин здійснюють у кілька етапів: 1) виявлення умов функціонування деталі (навантаження, швидкість, температура, навколишнє середовище та ін.) та аналіз відповідності їх технічним умовам на виріб; 2) визначення експлуатаційних властивостей деталей машин і їх з'єднань, що лімітують надійність і точність вузлів і машин в цілому, наприклад, допустиме зношування деталей, що сполучаються; 3) пошук відповідних залежностей або табличних даних, що характеризують кількісний взаємозв'язок між даними експлуатаційними влас-

твостями та параметрами якості робочих поверхонь; 4) вибір параметрів якості робочих поверхонь деталей, що забезпечують необхідні значення експлуатаційних властивостей у межах їх зміни.

Виконання цих завдань супроводжується розв'язання різних задач: 1) вибір основного матеріалу, точності розмірів та параметрів стану поверхневого шару (у разі попередньо вибраних конструктивних розмірів деталі); 2) визначення розмірів, їх точності та параметрів стану поверхневого шару (у разі заданого матеріалу деталі); 3) визначення точності розмірів та параметрів стану поверхневого шару (у разі відомих розмірів та матеріалу деталі); 4) визначення параметрів стану поверхневого шару (у разі відомих розмірів, їх точності та матеріалу деталі).

Таблиця 1

Параметри якості поверхневого шару, що визначають експлуатаційні властивості деталей машин та їх з'єднань

Експлуатаційні властивості	H_{\max}	H_p	W_z	W_p	Sm_w	Ra, Rz	R_{\max}	R_p	t_p	Sm
Контактна жорсткість при навантаженні:										
	першому	-	*	-	*	-	-	*	+	+
повторному	*	-	*	-	-	-	-	*	+	+
Коефіцієнт тертя	+	+	+	*	-	+	+	*	*	-
Зносостійкість	-	*	-	*	+	-	-	*	+	+
Герметичність з'єднань	-	*	-	*	-	-	-	*	+	*
Міцність посадок	-	*	-	*	-	-	-	*	+	-
Міцність деталей	0	0	0	0	0	-	-	*	-	+
Втомна міцність	0	0	0	0	0	-	*	+	-	+
Корозійна стійкість	0	0	-	-	+	*	-	-	+	+
Поверхнева теплопровідність	*	*	*	*	-	*	-	*	*	-
Термостійкість	0	0	0	0	0	-	-	-	+	+

Продовження табл. 1

Експлуатаційні властивості	S	R_{\max}'	Sm'	$\pm\sigma_{\text{зал.}}$	$h_{\sigma 0}$	$H_{\mu 0}$	h_{μ}	ε	l_3	ρ_D
Контактна жорсткість при навантаженні:										
	першому	0	0	0	+	0	+	0	*	*
повторному	0	0	0	-	0	-	0	*	*	*
Коефіцієнт тертя	-	+	-	-	0	+	0	+	-	-
Зносостійкість	+	-	+	*	0	+	0	+	*	*
Герметичність з'єднань	-	-	-	-	0	-	0	0	0	0
Міцність посадок	0	-	0	-	0	-	0	0	0	0
Міцність деталей	0	0	0	+	+	+	+	+	*	*
Втомна міцність	0	0	+	*	+	+	+	+	*	*
Корозійна стійкість	+	*	+	*	+	+	+	*	+	*
Поверхнева теплопровідність	-	*	-	-	-	-	-	-	+	-
Термостійкість	0	0	0	-	0	-	0	-	*	*

Примітка. Позначення «+» і «-» показують, що збільшення та зменшення цих параметрів викликає відповідно поліпшення або погіршення даної експлуатаційної властивості; «*» – параметр надає основний вплив на дану експлуатаційну властивість; «0» – параметр не впливає на цю експлуатаційну властивість.

Вирішення цих завдань часто пов'язане з подоланням низки розбіжностей та обмежень. Так, наприклад, необхідні фізико-механічні властивості поверхневого шару деталі не можуть бути досягнуті при заданому її основному матеріалі, відсутності відповідних марок сталей, відсутності технологічних можливостей досягнення вибраних точності розмірів та параметрів якості поверхневого шару та ін. Для високонавантажених відповідальних деталей і пар часто необхідно проведення оригінальних теоретичних та експериментальних досліджень для визначення впливу різних параметрів якості поверхневого шару на ті чи інші експлуатаційні властивості.

Технологічне забезпечення необхідних параметрів якості поверхневого шару деталей машин досягається можливостями інженерії поверхні та різноманіття механічних та інших методів розмірної та зміцнювальної обробки. Таким чином, досягнення високої якості машин, і насамперед їх надійності, потребує вирішення складних завдань забезпечення відповідних параметрів якості поверхневих шарів у процесі конструкторської та технологічної підготовки виробництва.

Все більш широко в машинобудуванні використовуються деталі з поверхневим зміцненням. Проте розробка технологічних процесів (ТП) виготовлення таких деталей утруднена обмеженістю відомостей про особливості їхньої обробки. Наявні системи автоматизованого проектування технологічних процесів виготовлення деталей машин не враховують конструктивно-технологічні особливості будови поверхневих шарів та параметри їхньої якості, за винятком окремих параметрів шорсткості. Це потребує відповідного доопрацювання наявних систем проектування ТП, класифікації та кодування деталей.

Класифікація та кодування деталей машин з урахуванням будови та властивостей поверхневого шару. Конструкторсько-технологічна класифікація деталей машин широко використовується при технологічній підготовці виробництва для аналізу та групування номенклатури деталей за конструкторсько-технологічними ознаками з подальшою розробкою типових групових технологічних процесів. На основі конструкторсько-технологічної класифікації кожна деталь описується класифікаційним кодом. Система кодування повинна забезпечувати однозначність присвоєного кожній деталі певного кодового позначення та можливість розширення множини деталей, що підлягають кодуванню без порушення системи кодування.

Відомо багато технологічних класифікаторів деталей машинобудування. Характеристика класів деталей за класифікатором ЄСКД [4] наведено у табл. 2.

Деталі машин відрізняються широким розмаїттям конструктивно та технологічно складних поверхонь, обробка яких потребує тривалої та трудомісткої технологічної підготовки. Особливо це стосується деталей зі сплавів, що важко обробляються, деталей із захисними й функціональними покриттями та

модифікованими поверхневими шарами, обробка яких має специфічні особливості [12 – 14].

Таблиця 2

Характеристика деталей за класами класифікатора ЄСКД

Клас деталей	Характеристика деталей
71	Тіла обертання типу кілець, дисків, шківів, втулок, склянок, кришок, валів, осей, шпинделів та інші
72	Тіла обертання з елементами зубчастого зачеплення та інші
73	Не тіла обертання, корпусні, опорні, місткісні та інші
74	Не тіла обертання, площинні, важільні, вантажні, тягові, вигнуті з листів, смуг, стрічок, аеродинамічні та інші
75	Тіла обертання та (або) не тіла обертання; кулачкові, карданні, арматури, санітарно-технічні, пружини, ручки, ущільнювальні та інші

Технологічні класифікатори оброблюваних деталей зазвичай складаються з базової та технологічної частин. Базова частина включає опис розмірних характеристик деталі, її матеріалу, конструктивних особливостей оброблюваних поверхонь конкретного класу деталей, починаючи від гладкої простої форми та в міру її ускладнення до фасонної, що містить на оброблюваній поверхні різноманітні конструктивні елементи та їх поєднання, які створюють переривчастість у процесі різання та ін. Технологічна частина містить докладні відомості про кількісні та якісні характеристики оброблюваних поверхонь деталі, у тому числі: розмірна характеристика; стан оброблюваної поверхні (заготовки); ступінь точності; шорсткість; відхилення форми та розташування; матеріал; термічна обробка.

Аналіз конструкцій деталей на технологічність повинен включати перевірку відповідності будови та параметрів якості поверхневих шарів їхньому функціональному призначенню. Умови роботи технічних поверхонь дуже різноманітні та розвиток фундаментальних наук про поверхню твердого тіла стимулював розробку поверхневих шарів із різноманітними експлуатаційними властивостями. Кодування поверхні за її функціональним призначенням або експлуатаційними властивостями виконується двома розрядами (табл. 3), а у разі багатофункціонального призначення комплексом таких розрядів. За функціональним призначенням та необхідними експлуатаційними властивостями здійснюють вибір та перевірку призначення конструктивно-технологічних особливостей та параметрів стану поверхневого шару. Для цього необхідне використання та створення відповідних баз даних.

Методи інженерії поверхні дозволяють створювати різні конструкції поверхневих шарів із різних матеріалів. Їхнє кодування виконується однією цифрою за даними табл. 4 та 5.

Таблиця 3

Кодування поверхонь за їх необхідними експлуатаційними властивостями

Код	Необхідна експлуатаційна властивість поверхні
00	Контактна жорсткість
01	Зносостійкість
02	Антифрикційність
03	Фрикційність
04	Герметичність з'єднань
05	Міцність посадок
06	Міцність деталей
07	Втомна міцність
08	Корозійна стійкість
09	Поверхнева теплопровідність (термічний опір)
10	Термостійкість (жаростійкість)
11	Антиадгезійність
12	Термобар'єрні властивості
13	Діелектричні властивості
14	Електропровідність
15	Інтенсифікація теплообміну
16	Ущільнюваність з'єднань
17	Відновлення розмірів та властивостей поверхні
18	Радіаційна стійкість
19	Підвищення адгезійних властивостей сухих поверхонь
20	Антипригарні властивості
21	Самовідновлюваність
22	Супергідрофобність
23	Контрольована змочуваність
24	Зниження гідроопору
25	Протиобростаючі властивості
26	Працездатність в умовах вакууму
27	Сенсорні властивості
28	Оптичні властивості
29	Багатофункціональні властивості
30	Інші властивості та функції

Кожен із параметрів геометрії поверхні та фізико-хімічного стану поверхневого шару кодується однією цифрою за даними табл. 6 та 7.

Таблиця 4

Кодування типу поверхневого шару (ПШ)

Код	Тип поверхневого шару
0	ПШ основного матеріалу у стані попередньої обробки
1	Модифікований ПШ основного матеріалу (ОМ)
2	Дискретно модифікований ПШ ОМ
3	Суцільне одношарове покриття
4	Суцільне покриття з підшаром
5	Суцільне композиційне покриття
6	Суцільне градієнтне покриття
7	Суцільне багатшарове покриття
8	Дискретне покриття
9	Комбінований ПШ (поєднання покриттів із модифікуванням ПШ)

Таблиця 5

Кодування матеріалу поверхневого шару (ПШ) за хімічним складом

Код	Матеріал поверхневого шару (ПШ)
0	Основний матеріал (відповідно до табл.)
1	Покриття з Fe, Ni, Cr, Al, Ti та сплавів на їх основі
2	Покриття із самофлюсованих сплавів систем Ni – Cr – B – Si – C та Fe – Cr – B – Si – C
3	Покриття з Cu, Pb, Cd, Sn, бронзи, бабітів
4	Покриття з Al, Zn
5	Покриття з оксидів Al ₂ O ₃ , ZrO ₂ , TiO ₂ , Cr ₂ O ₃ , SiO ₂ , CaO, Y ₂ O ₃ , MgO, Fe ₂ O ₃
6	Покриття з карбідів вольфраму в суміші з Co, самофлюсуючимися сплавами, інтерметалідами Al, Ti, Ni
7	Покриття з карбідів хрому і титану в суміші зі самофлюсуючимися сплавами, інтерметалідами Al, Ni, Ti та нікельхромистими сплавами
8	Покриття з тугоплавких металів W, Mo, Nb, Ta в чистому виді та в суміші зі самофлюсуючимися сплавами
9	Покриття з керметів на основі сумішей BN – Al – NiCr, Mg – ZrO ₂ – NiCr, MgO – ZrO ₂ з Al та Ni, графіту з Al, Al ₂ O ₃ , Ni, алюмінієм нікелю, ZrO ₂ з алюмінієм нікелю

Таблиця 6

Кодування параметрів геометрії поверхні

Код	H_{\max} , мкм	W_z , мкм	Sm_w , мм	Ra , мкм	R_p , мкм	Sm , мм	S , мм
0	400...500	50...60	12...15	25...40	100...125	10...12,5	3,5...5
1	300...400	40...50	9...12	16...25	85...100	8...10	2,75...3,5
2	250...300	30...40	6,5...9	12...16	60...80	6...8	2...2,75
3	200...250	20...30	4,5...6,5	8...12	50...60	4...6	1,25...2
4	150...200	15...20	3...4,5	5...8	40...50	2,5...4	0,75...1,25
5	100...150	10...15	2...3	2,5...5	30...40	1,25...2,5	0,5...0,75
6	50...100	5...10	1,2...2	1,6...2,5	20...30	0,5...1,25	0,25...0,5
7	20...50	3...5	0,4...1,2	0,8...1,6	10...20	0,2...0,5	0,032...0,25
8	10...20	1,5...3	0,2...0,4	0,1...0,8	5...10	0,032...0,2	0,016...0,032
9	3...10	0,08...1,5	0,08...0,2	0,01...0,1	0,032...5	0,0006...0,032	0,002...0,016

Таблиця 7

Кодування параметрів фізико-хімічного стану поверхневого шару

Код	$\pm\sigma_{\text{зал.}}$, МПа	h_{σ} , мм	u_n , %	h_n , мм
0	500...600	1,5...2,0	65...80	2,5...4
1	450...500	1...1,5	55...65	1,5...2,5
2	400...450	0,75...1,0	45...55	1...1,5
3	350...400	0,5...0,75	35...45	0,5...1
4	300...350	0,4...0,5	25...35	0,25...0,5
5	250...300	0,3...0,4	20...25	0,15...0,25
6	200...250	0,2...0,3	15...20	0,05...0,15
7	150...200	0,1...0,2	10...15	0,02...0,05
8	100...150	0,01...0,1	5...10	0,01...0,02
9	60...100	0,005...0,01	0...5	0,005...0,01

Висновки. Використання запропонованих принципів додаткової конструкторсько-технологічної класифікації деталей машин дозволяє: 1) присвоювати кодові позначення типовим поверхням з урахуванням їх функціонального призначення за умовами роботи в процесі експлуатації машини та вибору оптимальних конструктивно-технологічних рішень; 2) виконувати аналіз конструкцій деталей на технологічність щодо забезпечення їх надійності та попередження їх фізичних відмов, що розвиваються у поверхневих шарах; 3) систематизувати досвід створення та застосування поверхнево – зміцнених деталей машин; 4) розподіляти деталі за типами, видами, функціональним призначенням та параметрами якості поверхневих шарів для розробки типових та групових технологічних процесів їх виготовлення; 5) стимулювати розробку та застосування технологій поверхневого зміцнення деталей; 6) удосконалити систему автоматизованого проєктування технологічних процесів.

Література

- Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. 434 с.
- Акулович Л.М., Шелег В.К. Основы автоматизированного проектирования технологических процессов в машиностроении. М.: Новое знание, 2012. 488 с.
- Епифанов В.В., Афанасьев А.Н. Автоматизированная система кодирования и классификации объектов производства. *Автоматизация процессов управления*. № 3 (49). 2017. С. 49 – 55.
- Классификатор ЕСКД. Классы 71, 72, 73, 74, 75. Иллюстрированный определитель деталей. М.: Изд-во стандартов, 1988. 401 с.
- Технологический классификатор деталей машиностроения и приборостроения. М.: Изд-во стандартов, 1988. 256 с.
- Суслов А.Г. Наукоёмкие технологии в машиностроении / А.Г. Суслов, Б.М. Базров, В.Ф. Безъязычный и др.; под ред. А.Г. Суслова. М.: Машиностроение, 2012. 528 с.
- Кудряшов Е.А., Алтухов А.Ю., Лунин Д.Ю. Технологический классификатор деталей и поверхностей, подлежащих обработке резанием. *Обработка металлов*. 2009. № 45. С. 3-8.
- Инженерия поверхности деталей / Колл. авт.; под ред. А.Г. Суслова. М.: Машиностроение, 2008. 320 с.
- Суслов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. М.: Машиностроение, 2000. 320 с.
- Конструкторско-технологическая классификация деталей как исходная база технологии их изготовления / Ю.Н. Вивденко, А.А. Ляшков, С.А. Резин, Б.В. Кусик. *Омский научный вестник*. 2007. № 2. С. 106 – 108.
- Ширялкин А.Ф., Угасин А.Н. Разработка методики классификации и кодирования информации о детали для технической подготовки и управления производством в авиастроении. *Вестник Ульяновского государственного технического университета*. 2012. № 2. С. 24 – 31.
- Формирование газотермических покрытий при производстве деталей / С.А. Клименко, Л.Г. Полонский, М.Ю. Харламов, Ю.А. Харламов, П.А. Витязь, В.С. Ивашко, М.Л. Хейфец, С.А. Чижик; под общ. ред. Ю.А. Харламова и М.Л. Хейфеца; Нац. Акад. наук Беларуси, Отд. Физ.-техн. Наук, Нац. акад. наук Украины, Ин-т сверхтвёрдых материалов им. В.Н. Бакуля. Минск: Беларуская навука, 2020. 416 с.
- Харламов Ю.О., Клименко С.А., Будаг'янец М.А., Полонский Л.Г. Обработка деталей при обновлении и закреплении: Навчальний посібник. Луганськ: Вид-во СХУ ім. В. Даля, 2007. 500 с.
- Кожуро Л.М., Мрочек Ж.А., Хейфец М.Л. и др. Минск: Дизайн ПРО. 1997. 208 с.

References

- Norenkov I.P. *Osnovy avtomatizirovannogo proektirovaniya*. M.: MG TU im. N. Je Baumana, 2009. 434 s.
- Akulovich L.M., Sheleg V.K. *Osnovy avtomatizirovannogo proektirovaniya tehnologicheskikh processov v mashinostroenii*. M.: Novoe znanie, 2012. 488 s.
- Epifanov V.V., Afanas'ev A.N. *Avtomatizirovannaja sistema kodirovaniya i klassifikacii ob#ektov proizvodstva. Avtomatizacija processov upravlenija*. № 3 (49). 2017. S. 49 – 55.
- Klassifikator ESKD. Klassy 71, 72, 73, 74, 75. *Illjustrirovannyj opredelitel' detalej*. M.: Izd-vo standartov, 1988. 401 s.
- Tehnologicheskij klassifikator detalej mashinostroenija i priborostroenija. M.: Izd-vo standartov, 1988. 256 s.
- Suslov A.G. *Naukoemkie tehnologii v mashinostroenii / A.G. Suslov, B.M. Bazrov, V.F. Bez'jazychnyj i dr.; pod red. A.G. Suslova*. M.: Mashinostroenie, 2012. 528 s.
- Kudrjashov E.A., Altuhov A.Ju., Lunin D.Ju. *Tehnologicheskij klassifikator detalej i poverhnostej, podlezhashih obrabotke rezaniem. Obrabotka metallov*. 2009. № 45. S. 3-8.
- Inzhenerija poverhnosti detalej / Koll. avt.; pod red. A.G. Suslova. M.: Mashinostroenie, 2008. 320 s.

9. Suslov A.G. Kachestvo poverhnostnogo sloja detalej mashin. M.: Mashinostroenie, 2000. 320 s.
10. Konstruktorsko-tehnologicheskaja klassifikacija detalej kak ishodnaja baza tehnologij ih izgotovlenija / Ju.N. Vivdenko, A.A. Ljashkov, S.A. Rezin, B.V. KusiK. Omskij nauchnyj vestnik. 2007. № 2. S. 106 – 108.
11. Shirjalkin A.F., Ugasin A.N. Razrabotka metodiki klassifikacii i kodirovanija informacii o detali dlja tehnicheckoj podgotovki i upravlenija proizvodstvom v aviastroenii. Vestnik Ul'janovskogo gosudarstvennogo tehnicheckogo universiteta. 2012. № 2. S. 24 – 31.
12. Formirovanie gazotermicheskikh pokrytij pri proizvodstve detalej / S.A. Klimenko, L.G. Polonskij, M.Ju. Harlamov, Ju.A. Harlamov, P.A. Vitjaz', V.S. Ivashko, M.L. Hejfec, S.A. Chizhik; pod obshh. red. Ju.A. Harlamova i M.L. Hejfec; Nac. Akad. nauk Belarusi, Otd. Fiz.-tehn. Nauk, Nac. akad. nauk Ukrainy, In-t sverhtverdyh materialov im. V.N. Bakulja. Minsk: Belaruskaja navuka, 2020. 416 s.
13. Harlamov Ju.O., Klymenko S.A., Budag'janc M.A., Polons'kyj L.G. Obrobka detalej pry vidnovlenni i zmicnenni: Navchal'nyj posibnyk. Lugans'k: Vyd-vo SNU im. V. Dalja, 2007. 500 s.
14. Kozhuro L.M., Mrochek Zh.A., Hejfec M.L. i dr. Minsk: Dizajn PRO. 1997. 208 s.

Kharlamov Y., Romanchenko O., Mitsyk A. Classification of machine parts taking into account the quality of their surface layer

Reducing the labor input and terms of product design and manufacturing engineering process planning is an urgent task of mechanical engineering. Its solution is provided by complex automation of design processes, as well as by using the principles of unification and typification. It is possible to quickly and reasonably borrow design solutions only using classification systems that allow describing production objects with an anonymous code (regardless of their functional purpose). Existing approaches to assessing the role of surfaces in the classification of machine parts in existing systems for automation of manufacturing engineering process planning are considered. In the well-known approaches to the technological classification of machine parts, their surfaces are considered from a geometric point of view and the quality parameters of the surface layer are not taken into account, with the exception of surface roughness. For highly loaded critical surfaces

of parts, it is advisable to use information models of surfaces that can be characterized and, accordingly, described by a set (set) of features. The necessity of standardization of technologically controlled and metrologically secured parameters of surface layers, which have a major impact on the performance properties of machine parts, is shown. Operating abilities of machine parts, which determine their reliability, depends on the system of quality parameters of their working surfaces: macro deviations; waviness; roughness; subroughness; physical and chemical properties. Systematized information about the nature of the influence on the operational properties of machine parts and their connections of the main parameters of surface layer quality. A technique is proposed for coding of surfaces according to their functional purpose or operational properties with two digits, and for multifunctional surfaces by a complex of such digits. According to the functional purpose and the required operational properties, the selection and verification of the purpose of design and technological features and state parameters of the surface layer is carried out. Techniques have been developed for coding the type of surface layer (SL), LS material by chemical composition, and SL quality parameters.

Key words: classification; coding; surface layer quality parameters; surface; typing; unification; performance properties.

Харламов Юрій Олександрович – д.т.н., проф., професор кафедри машинобудування та прикладної механіки, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Северодонецьк)

yuriy.kharlamov@gmail.com

Романченко Олексій Володимирович – к.т.н., доц., доцент кафедри машинобудування та прикладної механіки, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Северодонецьк)

alexvromanenko@gmail.com

Міцик Андрій Володимирович – к.т.н., доц., доцент кафедри машинобудування та прикладної механіки, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Северодонецьк) an.mitsyk@gmail.com

Стаття подана 27.01.2022 р.