

УДК 621.757:621.7.08

doi:10.20998/2413-4295.2021.01.04

**ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО ПРИПУСКУ НА ОБРОБЛЕННЯ ПОВЕРХОНЬ  
ЗАГОТОВКИ ЗА КРИТЕРІЄМ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПОШКОДЖУВАНOSTI****Я. М. КУСИЙ<sup>1\*</sup>, В. Г. ТОПІЛЬНИЦЬКИЙ<sup>2</sup>**<sup>1</sup>кафедра робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, УКРАЇНА<sup>2</sup>кафедра проектування та експлуатації машин, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, УКРАЇНА

\*e-mail: yaroslav.m.kusyi@lpnu.ua

**АНОТАЦІЯ** При забезпеченні машинобудівними виробами службового призначення реалізується множина причинно-спадкових взаємозв'язків як функцій відклику фізичних процесів і впливів навколишнього середовища, що призводять до еволюції якісних показників виробу: його життєвого циклу та формування умов для фізичного та морального зношування деталей і машин. Раціональне керування технологічним успадкуванням властивостей матеріалу деталей машин для забезпечення їх експлуатаційних характеристик і показників надійності у рамках синергетичного підходу служить методологічною основою проектування прогресивних технологічних процесів виготовлення виробів. Технологічне забезпечення регламентованих показників якості виробів реалізується обмеженою кількістю раціональних варіантів взаємодії виробу із технологічним середовищем при необхідній кількості стійких зв'язків. Вибір раціональних критеріїв оптимізації при вирішенні технологічних задач, зокрема, розрахунку припусків на механічне оброблення заготовок, на етапах конструкторської та технологічної підготовки виробництва дозволяє забезпечити необхідні вихідні параметри виробів і їх експлуатаційні характеристики при виготовленні та складанні і прогнозувати поведінку деталей і машин на стадії експлуатації їх життєвих циклів. Розроблено методику вибору раціонального припуску на оброблення поверхонь литої заготовки із врахуванням технологічного успадкування властивостей матеріалу. Проаналізовано традиційні методи визначення припуску на механічне оброблення виробів. Запропоновано технологічну пошкоджуваність як критерій оптимізації при вирішенні технологічних задач. Представлено метод LM–твердості, що застосовується для вибору припуску на оброблення функціональних поверхонь виробу. Описано технологічне забезпечення реалізації експериментальних досліджень. Раціональні значення припусків для оброблення плоскої заготовки із алюмінієвого сплаву на підставі результатів експериментальних досліджень складають 4–7 мм залежно від розташування концентраторів напружень. Намічено шляхи подальших досліджень.

**Ключові слова:** життєвий цикл виробу; технологічний процес; технологічне середовище; припуск; технологічне успадкування; гомогенність; технологічна пошкоджуваність; заготовка

**DETERMINATION OF THE RATIONAL ALLOWANCE FOR BLANK SURFACE  
TREATMENT BY THE CRITERION OF TECHNOLOGICAL DAMAGE****Y. KUSYI<sup>1</sup>, V. TOPILNYTSKYI<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Department of Robotics and Integrated Mechanical Engineering Technologies, Lviv Polytechnic National University, Lviv, UKRAINE<sup>2</sup>Department of Designing and Operation of Machines, Lviv Polytechnic National University, Lviv, UKRAINE

**ABSTRACT** The multiplicity of causal relationships as a functions of the response of the physical processes and the environmental influences are realized by means of providing of service functions of mechanical engineering products. This provides the evolution of quality indicators of the product in its Life Cycle and the formation of the conditions for physical and moral wear of products and machines. Rational management of technological inheritability of material properties of machine products to provide their operational characteristics and reliability indicators by means of the synergetic approach is a methodological basis for the design of advanced technological processes of products manufacturing. Technological providing of standart quality indicators of products is realized by a limited number of rational variants of relations between the product and the technological environment using necessary number of stable connections. The choice of rational optimization criteria to solve the technological problems, in particular, the calculation of allowances for workpieces machining, at the substages of design and technological preparation provide the necessary initial parameters of products and their operational characteristics during manufacturing and assembly. It also allows to predict the behavior of products and machines at the operation stage of their Life Cycles. A method of choosing a rational allowance for surfaces treatment of castings, taking into account the technological inheritability of material properties was studied. Traditional methods of the allowance determining during products machining are analyzed. Technological damageability as a criterion for optimization in solving technological problems is proposed. The LM–hardness method used to select the allowance for the treatment of functional surfaces of the product is presented. Technological providing of the experimental researches is described. Rational values of the allowances for processing of aluminium alloy flat workpiece are 4–7 mm as a result of experimental researches depending on an arrangement of stress concentrators. The directions of further researches are determined.

**Keywords:** Product Life Cycle; technological process; technological environment; allowance; technological inheritability; homogeneity; technological damageability; blank

**Вступ**

Розвиток машинобудівної галузі на сучасному етапі пов'язаний із розробленням нових і

удосконаленням існуючих технологій [1,2].  
Проектовані технології повинні базуватися на ефективних і енергоощадних методах механічного

оброблення, термічної обробки та нанесення покриттів, процесах поверхневого–пластичного деформування, комбінованих і суміщених методах оброблення заготовок. Прогнозування поведінки виробу на стадії його експлуатації розширює технологічні можливості використовуваних технологій та дозволяє ефективно впроваджувати сучасні технологічні процеси (ТП) у виробничу практику [2–5].

При забезпеченні машиною та її складовими елементами (складальними одиницями, деталями) свого службового призначення формується множина причинно–спадкових взаємозв'язків як функцій відклику фізичних процесів і впливів навколишнього середовища, що призводять до еволюції якісних показників виробу протягом етапів і стадій його життєвого циклу та формування умов для його фізичного та морального зношування [2,3].

Поряд із тим раціональне керування технологічним успадкуванням властивостей матеріалу деталей машин для забезпечення їх експлуатаційних характеристик і показників надійності в умовах самоорганізації структур служить методологічною основою проектування прогресивних технологічних процесів виготовлення виробів і складання машин [2,3,6].

На підставі синергетичного підходу за рахунок самоорганізації технологічних систем при виготовленні деталей і складання машин відбувається диференціація корисних (позитивних) і шкідливих (негативних) властивостей виробів згідно їх службового призначення, формуються технологічні бар'єри у ланцюгу відправка заготовка – готова деталь при технологічному успадкуванні негативних властивостей матеріалу і за допомогою сформованих бар'єрів – забезпечується технологічне успадкування нових корисних властивостей [6–8].

Однак відсутність раціонального критерію комплексної оцінки деградації матеріалу виробу при проектуванні ТП в умовах технологічного успадкування гальмує впровадження раціональних технологій у машинобудівну практику.

### Огляд літературних джерел

Службове призначення виробу забезпечується при раціональному балансі усіх етапів стадії створення життєвого циклу виробу на підставі основних груп факторів [1,2]. Однак, згідно принципу Бора [8] при самоорганізації технологічних систем формуються процеси деградації властивостей матеріалу та зниження важливих характеристик технічних об'єктів, що описують з єдиних синергетичних позицій [3] із встановленням обмеженої кількості лімітуючих експлуатаційних характеристик та показників надійності виробів.

Ресурс виробу поряд із дотриманням технічних вимог щодо якості, визначається динамікою зміни вихідних параметрів з позиції технологічного успадкування властивостей, яку визначають

діагностуванням [3], зокрема на етапі випробувань життєвого циклу виробу.

Початкова інформація про технологічне успадкування властивостей деталей встановлюється на підставі функціонального призначення спряжень і забезпечується структурою технологічних процесів їх механічного оброблення та складання машин [1,2].

З позиції технологічного успадкування властивостей номенклатура вихідних параметрів (числових показників технічних характеристик машини, що визначають її технічний стан і функціональні можливості) та їхні граничні значення забезпечують експлуатаційні параметри та показники надійності машини відповідно до її службового призначення. Деградація технічних характеристик деталей і машин є основним об'єктом аналізу та оцінки при забезпеченні експлуатаційної надійності виробів [2; 4; 5].

Загальні закони організації та розвитку систем підлягають системному функціонально–морфологічно–інформаційному аналізу, на підставі дослідження взаємозв'язків і взаємовпливів функціонального, морфологічного та інформаційного опису [6; 7; 9].

Функціональний опис системи задається вісьмома важливими параметрами [10]:

$$S_F = \{T, x, C, W, y, Y, \varphi, \eta\}, \quad (1)$$

де  $T$  – множина періодів часу;  $x$  – множина миттєвих значень вхідних (початкових) впливів;  $C = \{c: T \rightarrow x\}$  – множина допустимих вхідних впливів;  $W$  – множина станів;  $y$  – множина миттєвих значень вихідних (кінцевих) впливів;  $Y = \{u: T \rightarrow y\}$  – множина вихідних величин;  $\eta = \{T \times T \times T \times c \rightarrow W\}$  – перехідна функція стану;  $T \times W \rightarrow y$  – вихідне відображення;  $c$  – відрізок вхідного впливу;  $u$  – відрізок в вихідної величини.

При охопленні широкого діапазону властивостей системи при застосуванні залежності (1) виникають складнощі у її інтерпретації та практичному застосуванні при необхідності забезпечення параметрів, процесів та ієрархії технічної системи за допомогою її функціонального опису [9,10].

Загальна ефективність системи визначається вектором функціоналом [9]:

$$E = \{E_s\}, \quad (2)$$

$$E_s = E_s(\psi_s) = E_s(F_1^{(1)}, F_2^{(1)}, \dots, F_n^{(1)}) = E_s(\{F_i^{(1)}\}), \quad i = \overline{1, n}; s = \overline{1, N}, \quad (3)$$

де  $\psi_s, F_i$  – відповідно множини функцій системи та процесів, що їх реалізують.

Раціональний шлях формування функціонального опису полягає у застосуванні багаторівневої ієрархії інформаційного забезпечення [6,7], при якій опис вищого рівня забезпечуватиметься

узагальненими та факторизованими змінними нижчого рівня. Ієрархія створюється порівневою факторизацією процесів  $\{F_i\}$  за допомогою узагальнених параметрів  $\{Q_j\}$ , що є функціоналами  $\{F_i\}$  при кількості параметрів значно меншій числа змінних [9].

Процеси першого рівня  $\{F_i^{(1)}\}$  (процеси взаємодії із середовищем), що отримують на виході системи, описуються параметрами системи першого рівня  $\{Q_j^{(1)}\}$  при  $j = \overline{1, m}$ , активними протидіючими параметрами середовища  $\{b_k\}$  при  $k = \overline{1, K}$ , нейтральними (випадковими) параметрами середовища  $\{c_l\}$  при  $l = \overline{1, L}$ , сприятливими параметрами середовища  $\{d_p\}$  при  $p = \overline{1, P}$  [9].

Варіації ефективності системи відносно параметрів середовища та відповідні похідні визначають за формулами [9; 10]:

$$\begin{aligned} \delta \tilde{E}_s(b_k) < 0, \frac{\partial \tilde{E}_s}{\partial b_k} < 0, k = \overline{1, K}; \\ \delta \tilde{E}_s(c_l) < 0, \frac{\partial \tilde{E}_s}{\partial c_l} = 0, l = \overline{1, L}; \\ \delta \tilde{E}_s(d_p) < 0, \frac{\partial \tilde{E}_s}{\partial d_{pl}} > 0, p = \overline{1, P}, \end{aligned} \quad (4)$$

де знак  $\sim$  означає усереднення.

Формується наступна ієрархія опису з позиції технологічного успадкування властивостей [2,9]: ефективність (кінцева множина функціоналів) – параметри першого рівня (функціонали) – процеси другого рівня (функції) – параметри другого рівня (функціонали) тощо.

Зовнішні характеристики системи визначаються верхнім рівнем ієрархії, тому часто обмежуються описами виду  $\{E_i\}$ ,  $\{\psi_s\}$ ,  $\{Q^{(i)}\}$ ,  $\{b_k\}$ ,  $\{c_l\}$ ,  $\{d_p\}$ . Число рівнів ієрархії визначається регламентованою точністю вихідних параметрів [9,10].

За умови  $E=E(Q^{(i)})$ ,  $Q^{(i)}=Q^{(i)}(b, c, d)$  залежність (1) трансформується у вираз:

$$S_F = \{Q^{(1)}(t), Q^{(2)}(t), \dots, Q^{(r)}(t)\}. \quad (5)$$

Поточний стан системи залежить від попереднього і визначається процесами успадкування властивостей, що описується диференційними рівняннями виду [9,10]:

$$\begin{aligned} \varphi^{(r)} [O^{(r)}(t), O^{(r)}(t-\tau); \frac{dO^{(r)}(t-\tau)}{dt}, \dots, \\ \frac{d^i O^{(r)}(t-\tau)}{dt^i}, \dots, \frac{d^n O^{(r)}(t-\tau)}{dt^n}, \dots], \quad (6) \\ \int_{t_i}^t O^{(r)}(\xi) dG_1^{(r)}(\xi, t), \dots, \int_{t_k}^t O^{(r)}(\xi) dG_k^{(r)}(\xi, t) \end{aligned}$$

де  $\varphi^{(r)}$ ,  $G_k^{(r)}$  – деякі функції;  $S_F = \{O^{(1)}(t), O^{(2)}(t), \dots, O^{(r)}(t)\}$  – функціональний опис системи;  $O^{(1)} = O^{(1)}(b, c, d, \dots)$  – виходи системи;  $(b, c, d, \dots)$  – її входи.

Морфологічний опис системи задається чотирма важливими параметрами [10]:

$$S_M = \{\Sigma, V, \sigma, K\}, \quad (7)$$

де  $\Sigma = [\Sigma_i]$  – множина елементів і їх властивостей;  $V = [V_j]$  – множина зв'язків;  $\sigma$  – структура;  $K$  – композиція.

Функціональний і морфологічний описи формуються відповідно до ієрархічного принципу шляхом декомпозиції підсистем, які повинні співпадати [6,9,11].

Функціональний опис  $\alpha$ -го рівня та морфологічний опис  $\chi$ -го рівня представляють залежностями [9]:

$$\begin{aligned} \alpha S_F = \{ \alpha T, \alpha x, \alpha C, \alpha W, \alpha y, \\ \alpha Y, \alpha \phi, \alpha \eta \} = \bigcup_i \alpha_{i+1} S_{F_i}, \end{aligned} \quad (8)$$

$$\chi S_M = \{ \chi \Sigma, \chi V, \chi \sigma, \chi K \} = \bigcup_i \chi_{i+1} S_{M_i}. \quad (9)$$

Функціональні процеси у системі безпосередньо пов'язані із інформаційними, при цьому джерелом інформації для її функціонування є внутрішній ресурс і середовище, а носієм – речовина (морфологічна інформація) та енергія. Внутрішня енергія характеризує еволюцію, цілі та діяльність системи [6,7,9].

З позиції адитивності інформації  $I$  для множини  $R_0, N$  незалежних рівно імовірних реалізацій системи  $R_0 \in [R_{01}; R_{0N}]$  функціональна залежність [7]:

$$I \left( \prod_{i=1}^N R_{0i} \right) = I(R_{01}) + \dots + I(R_{0N}), \quad (10)$$

має єдиний розв'язок [6,7]:

$$I = K \ell n(R_0), \quad (11)$$

де  $K = \log_b(e)$  – константа; індекс  $b$  описує індивідуальні особливості частин або підсистем [6];  $b=2$  при вираженні інформації в бітах [6,9].

Кількісною характеристикою при еволюції інформаційних потоків служить інформація на один символ  $i$  [6,7]:

$$i = -K \sum_{j=1}^k p_j \cdot \ell n(p_j), \quad (12)$$

де  $p_j$  – імовірність  $j$ -того стану системи із  $k$  можливих.

Сумарна інформація, що характеризує перехід з одного стану системи в інший за умови

безпосереднього взаємозв'язку між невизначеністю стану об'єкта та його фізичними властивостями [6,7]:

$$I = -k \cdot \sum_{j=1}^k p_i \cdot \log_b(p_i). \quad (13)$$

Встановлено [7,9], що частина підсистем  $q_j = q^{(var)} \in (j=1 \dots m)$  відповідає нестійким модам, а інша –  $q_j = q^{(s)} \in (j=m+1 \dots k)$  – підпорядковується стійким.

При переведенні систем внаслідок самоорганізації у стан  $q^{(s)}$  вплив флуктуацій та оптимізаційних критеріїв приводить до їх еволюції, причому величина флуктуації параметра порядку має вирішальне значення на характер функціонування систем [6,7].

В самоорганізованих системах керування їх адаптивністю та надійністю здійснюється умовами формування та величинами флуктуацій за рахунок зміни кількості підсистем [7,11]. При адитивності величини повного виходу для підпорядкованим стійким модам інформаційних підсистем, що підпорядковується стійким модам з фіксованим параметром порядку, отримаємо [7]:

$$q^{(s)} = q_d^{(s)} + q_r^{(s)}, \quad (14)$$

де  $q_d^{(s)}$ ,  $q_r^{(s)}$  – відповідно чітко визначений детермінований і флуктуючий (з розсіяними характеристиками) входи.

Загальна величина виходу описується залежністю [7]:

$$q_{\Sigma} = \sum_s q^{(s)} = \sum_{j=m+1}^k q_j, \quad (15)$$

Відповідно до граничної центральної теореми для взаємно незалежних випадкових змінних повний вихід системи (15) збільшується пропорційно числу підсистем  $s$  або реалізуючих їх характеристик і критеріїв, флуктуації зростають лише як  $\sqrt{s}$  (в реальних процесах пригнічення розсіювання характеристик відбувається ще інтенсивніше).

Поблизу точки виникнення нестійкості за рахунок істотної відмінності стійкі моди підлаштовуються під нестійкі і можуть бути виключені, що приводить упорядкування за рахунок значного зменшення ступенів вільності [6,7].

Встановлено [6,11,12], що перетворення підведеної ззовні до системи енергії на мікроскопічному рівні внаслідок еволюції призводить до впорядкованості на макроскопічному рівні.

Згідно синергетичного підходу технологічне забезпечення регламентованих показників якості виробів відповідно до необхідних експлуатаційних характеристик і показників надійності реалізується

обмеженою кількістю раціональних варіантів взаємодій виробу із технологічним середовищем при необхідній кількості стійких зв'язків в інформаційно-технологічній системі підготовки виробництва виробів на етапах і стадіях його життєвого циклу [3,8].

Поряд з тим вибір раціональних критеріїв оптимізації при вирішенні технологічних задач, зокрема, розрахунку припусків на механічне оброблення заготовок, на етапах конструкторської та технологічної підготовки виробництва дозволяє забезпечити необхідні вихідні параметри виробів і їх експлуатаційні характеристики при виготовленні та складанні і прогнозувати поведінку деталей і машин на стадії експлуатації їх життєвих циклів.

### Мета дослідження

Мета дослідження полягає у розробленні методики вибору раціонального припуску на оброблення поверхонь литої заготовки із врахуванням технологічної спадковості властивостей матеріалу.

### Виклад основного матеріалу

#### Методи визначення припуску на механічне оброблення виробів

Якість кінцевої деталі визначається мінімальною кількістю матеріалу, який видаляють в процесі обробки різанням. Для заготовок, отриманих литвом і обробкою тиском, шар матеріалу, який дозволяє забезпечити бажану точність розмірів і якість поверхневих шарів виробів, визначається як припуск на механічну обробку [13,14].

Факторами, що необхідно враховувати при проектуванні литих заготовок, є усадка матеріалу, поверхневі забруднення, жолоблення та відхилення форми і взаємного розташування поверхонь [13].

Припуск на механічне оброблення функціональної поверхні деталі повинен компенсувати суму трьох параметрів: похибок оброблення на окремих технологічних переходах, кількості матеріалу, який необхідно видалити для досягнення регламентованої якості поверхні, і помилки позиціонування на металорізальному верстаті [14].

Припуск на оброблення поверхонь деталі може бути призначений згідно відповідних довідкових таблиць, ГОСТів або на основі розрахунково-аналітичного методу визначення припусків. Граничні значення припусків коректуються на етапі розмірного аналізу технологічного процесу механічного оброблення виробу [15].

Розрахунково-аналітичний метод визначення припусків на оброблення (РАМВП), розроблений проф. В.М. Кованом, базується на аналізі факторів, що впливають на припуски попереднього та виконаного переходів технологічного процесу оброблення поверхні. Значення припуску

визначається методом диференційованого розрахунку по елементах, що складають припуск. РАМВП передбачає розрахунок припусків згідно всіх послідовно виконуваних технологічних переходів оброблення даної поверхні деталі (проміжні припуски), їх сумування для визначення загального припуску на оброблення поверхні та розрахунок проміжних розмірів, що визначають положення поверхні, та розмірів заготовки [15].

Значення мінімального припуску при обробленні деталей машин визначають за формулами [15]:

а) для циліндричних поверхонь (двосторонній припуск)

$$2z_{\min i} = 2 \cdot \left( R_{Z_{i-1}} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right), \quad (16)$$

б) для плоских поверхонь (односторонній припуск)

$$2z_{\min i} = R_{Z_{i-1}} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i, \quad (17)$$

в) для плоских поверхонь (двосторонній припуск)

$$2z_{\min i} = 2 \cdot \left( R_{Z_{i-1}} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i \right), \quad (18)$$

де  $R_{Z_{i-1}}$  – шорсткість, досягнута на попередньому переході, мкм (мм);  $T_{i-1}$  – глибина дефектного шару, який отриманий на попередньому переході, мкм (мм);  $\rho_{i-1}$  – просторове відхилення заготовки, отримане на попередньому переході, мкм, (мм);  $\varepsilon_i$  – похибка встановлення на даному переході, мкм (мм).

У формулах (16)–(18) враховуються спадкові властивості оброблюваного матеріалу на мікроскопічному (геометричні та фізико-механічні параметри якості поверхневого шару) і макроскопічному (відхилення форми і взаємного розташування поверхонь) рівнях досліджень.

Метою розмірного аналізу технологічного процесу механічного оброблення виробу є визначення граничних значень припуску на механічне оброблення, відправні розміри заготовки та міжопераційні розміри для коректного заповнення технологічної документації [15].

Для запропонованих методів розрахунку припусків не враховуються процеси деградації структури оброблюваного матеріалу при еволюції технологічних дефектів за умови неоптимального маршруту оброблення визначеної функціональної поверхні виробу.

#### Технологічна пошкоджуваність матеріалу як критерій оптимізації при вирішенні технологічних задач

У загальному випадку, пошкоджуваність – це процес різко вираженої та нерівномірної зміни геометричного стану поверхонь тертя, структури і властивостей поверхневих шарів. Пошкодження – результат пошкоджуваності, що проявляється у зміні макрогеометричних характеристик, структури,

властивостей і напруженого стану поверхневих шарів деталі [16].

З іншої сторони, із аналізу життєвого циклу виробу випливає, що технологічні пошкодження є результатом його експлуатації внаслідок «переродження» технологічних дефектів, утворених на стадії створення виробу.

Процеси еволюції пошкоджень від стадії створення виробу до стадії його експлуатації життєвого циклу є багатомасштабними та багатостадійними. Вони розвиваються одночасно на субмікроскопічному, мікроскопічному та макроскопічному рівнях, що означає суміщення різних видів моделей. Багатостадійність процесів вимагає нових підходів і методик для вирішення технологічних завдань залежно від умов експлуатації виробу [17].

Тому пошкодження – результат пошкоджуваності, що проявляється у зміні макрогеометричних характеристик, структури, властивостей і напруженого стану поверхневих шарів виробу при його експлуатації внаслідок еволюції дефектів, сформованих на стадії створення виробу [16].

Поряд з тим, для виявлення причини виходу виробу з ладу внаслідок його пошкодження необхідно проаналізувати весь технологічний ланцюг від заготовки до кінцевої деталі для її виконавчих поверхонь відповідно до технологічного успадковування властивостей [2,3].

Згідно положень механіки пошкоджуваного середовища [12]:

$$\tilde{M} = \frac{M}{1 - D_M}, \quad (19)$$

де  $M$ ,  $\tilde{M}$  – відповідно значення істинної та ефективної властивості матеріалу;  $D_M$  – кінетика накопичення пошкоджень (пошкоджуваність) для заданої властивості матеріалу.

Встановлено, що основними домінуючими параметрами вичерпання ресурсу матеріалу є процеси накопичення пошкоджень, пов'язані з розпушуванням матеріалу, що призводить до деградації його модуля пружності та інших фізико-механічних властивостей для двох видів руйнування: на відрив –  $E$  та зріз –  $G$ . Параметром оцінки деградації матеріалу для різних експлуатаційних умов є пошкоджуваність матеріалу при осьовому навантаженні –  $D_\sigma$  та при зсуві –  $D_\tau$  [16,18]:

$$D_\sigma = 1 - \sqrt{\frac{\tilde{E}_i}{E_0}}, \quad (20)$$

$$D_\tau = 1 - \sqrt{\frac{\tilde{G}_i}{G_0}}. \quad (21)$$

Застосування залежностей (20), (21) в інженерній практиці вимагає спеціального обладнання та кваліфікованого персоналу при проведенні експериментальних досліджень, тому є складно реалізованим на машинобудівному підприємстві [16].

При вирішенні прикладних завдань застосовують метод ЛМ–твердості, розроблений під керівництвом академіка А.О. Лебедева. За параметр пошкоджуваності для методу ЛМ–твердості прийнято не абсолютне значення, а ступінь розсіювання характеристик механічних властивостей матеріалу на зруйнованих зразках після напрацювання при різних рівнях напружень. Даний метод найпростіше реалізувати, використовуючи як механічну характеристику твердість, значення якої застосовують для непрямої оцінки властивостей матеріалів [19–21].

Параметром, що інтегрально характеризує стан матеріалу під час опрацювання результатів вимірювань твердості, є гомогенність, яка оцінюється за коефіцієнтом Вейбулла ( $m$ ) [20]:

$$m = \frac{d(n)}{2.30259 \cdot S(\lg(H))}, \quad (22)$$

де  $d(n)$  – параметр, що визначається кількістю вимірювань  $n$ ;

$$S(\lg(H)) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (\lg(H_i) - \overline{\lg(H)})^2}, \quad (23)$$

$$\overline{\lg(H)} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \lg(H_i). \quad (24)$$

Оцінку деградації властивостей матеріалу виробу можна здійснювати також за коефіцієнтом варіації [20]:

$$v = \frac{1}{\overline{H}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (H_i - \overline{H})^2}}, \quad (25)$$

де  $\overline{H}$  – середнє значення твердості.

Для оцінки фактичної пошкодженості матеріалу внаслідок еволюції технологічних дефектів у технологічні пошкодження після напрацювання авторами [19,21] запропоновано параметр  $\Delta m$ , а для оцінки інтенсивності зростання пошкодженості – характеристику  $\delta$ :

$$\Delta m = \frac{m_n - m_{nm}}{m_n}, \quad (26)$$

$$\delta = \frac{m_n - m_{nm}}{m_{nm}}, \quad (27)$$

де  $m_n, m_{nm}$  – значення коефіцієнтів гомогенності Вейбулла ( $m$ ), виміряні відповідно для початкового і поточного стану матеріалу виробу.

При виготовленні виробу за відомим розподілом коефіцієнта гомогенності Вейбулла ( $m$ ) доцільно оцінювати деградацію структури матеріалу за його технологічною пошкоджуваністю  $D$  [2,22,23]:

$$D = 1 - \frac{m_i}{m_{matr.}}, \quad (28)$$

де  $m_i$  – значення коефіцієнта Вейбулла для  $i$ -го із  $n$  перерізів;  $m_{matr.}$  – значення коефіцієнта Вейбулла для основного матеріалу виробу.

#### Матеріали, експериментальні зразки, методика проведення експериментальних досліджень

У піщану форму було відлито плоску заготовку із розмірами 165x155x22 мм з матеріалу АК21М2.5Н2.5 ГОСТ 1853–93 (табл. 1). Після кристалізації профрезерували базову поверхню на вертикально–фрезерному верстаті 6Р12 кінцевою фрезою  $\varnothing 30$  мм та розділили відправний зразок на три зразки з концентраторами напружень: з малим і великим випорами та ливником (рис. 2). Метою експериментальних досліджень було встановити динаміку деградації структури матеріалу від поверхні до основного матеріалу при наближенні до конструктивних концентраторів напружень та виявити величину припуску, що підлягає видаленню у стружку, як шару матеріалу із максимальною кількістю технологічних пошкоджень.

Таблиця 1 – Хімічний склад матеріалу виливки

Хімічний елемент	Відсоток, %
Al	70.953±0.080
Si	23.219±0.078
Cu	2.895±0.012
Fe	1.119±0.011
Zn	1.096±0.006
Mn	0.255±0.008
Cr	0.184±0.008
S	0.114±0.007
Ni	0.084±0.003
Ti	0.083±0.013

Для цього торцеві сторони зразків оброблялися на універсально–фрезерному верстаті мод. 676 ( $B=2$  мм;  $t=45$  мм;  $S_{хв.}=42$  мм/хв;  $n=640$  хв<sup>-1</sup>) кінцевою фрезою  $\varnothing 45$  мм ( $z=2$ ), причому було проведено дві серії механічного оброблення.

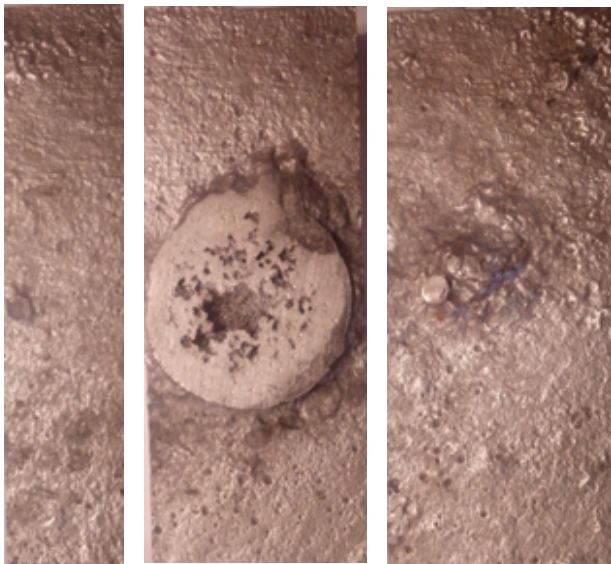
Після кожного фрезерування вимірювали твердість у п'яти перерізах на відстанях 2, 4, 7, 12, 17 мм від поверхні виливка. Вибір диференційованого кроку сітки (при його збільшенні від поверхні вглиб

основного матеріалу) обумовлений особливостями формування властивостей виробу

Вимірювання здійснювали для зразків 1, 2 (рис. 1) на приладі ТР-5006 ГОСТ 23677-79 за шкалою Н за допомогою кульки Ø 3.175 з навантаженням 588.4 Н за стандартною методикою [2]. Для кожного експерименту проводили по 30 вимірювань твердості матеріалу виливка.

**Статистичне опрацювання та обговорення результатів досліджень**

За результатами експериментальних досліджень було розраховано коефіцієнти гомогенності Вейбулла ( $m$ ) за формулами (22-24) і технологічну пошкоджуваність матеріалу виливка  $D$  за формулою (28) в середовищі Mathcad 15. Зміна коефіцієнта гомогенності ( $m$ ) і технологічної пошкоджуваності  $D$  по товщині (глибині) заготовки приведена на рис. 2.



1 – Зразки для експериментальних досліджень:  
1 – з малим випором; 2 – з ливником;  
3 – з великим випором

Результати експериментальних досліджень структури та пошкоджуваності литої заготовки показали:

1. Максимальна кількість технологічних пошкоджень характерна для структурних зон матеріалу на глибині до 2 мм від поверхні для зразка із ливником: в більшій мірі – зі сторони малого випора, в меншій – зі сторони великого випора (рис. 2). Це обумовлено специфікою процесу кристалізації матеріалу, наявністю домішок, неоднорідностей у поверхневому шарі та раковини, зміщеної від вісі симетрії у сторону малого випора, і підтверджується найменшими значеннями коефіцієнта гомогенності Вейбулла ( $m$ ), а також найбільшими значеннями пошкоджуваності  $D$ . Для зразка із малим випором

коефіцієнти гомогенності Вейбулла ( $m$ ) є більші, а значення пошкоджуваності  $D$  є менші, що пояснюється зростанням віддалі від ливника. Тому шар металу на глибині 2 мм від поверхні підлягає механічному обробленню для всіх видів заготовок.

2. При переміщенні вглиб матеріалу від 2 до 4 мм спостерігається динаміка зменшення пошкоджуваності для зразка з малим випором для першої та другої серії дослідів (рис. 2). У той же час в перерізі зі сторони від ливника пошкоджуваність є вищою, що свідчить про вплив елементів конструкції форми на розподіл домішок і неоднорідностей по перерізу виливка. Для зразка із ливником пошкоджуваність зростає при переміщенні до усадкової раковини для другої серії дослідів.

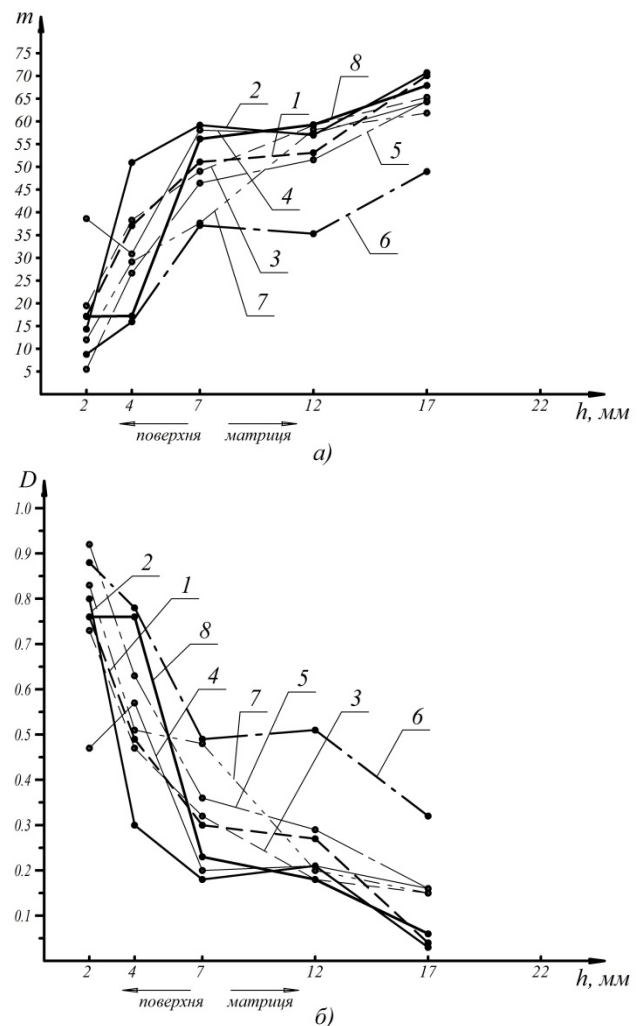


Рис. 2 – Графік залежності коефіцієнта гомогенності ( $m$ ) (а) і пошкоджуваності матеріалу  $D$  (б) по висоті для зразків 1 і 2 (рис. 2) : 1, 2 – від випора малого для першої та другої серії дослідів відповідно; 3, 4 – з протилежного торця від випора малого для першої та другої серії дослідів відповідно; 5, 6 – для ливника зі сторони випора малого для першої та другої серії дослідів відповідно; 7, 8 – для ливника зі сторони випора великого для першої та другої серії дослідів

3. На глибині заготовки від 4 до 17 мм відбувається подальше зменшення технологічної пошкоджуваності матеріалу, причому стабілізація процесу має місце, починаючи із глибини 7 мм, що підтверджується зростанням значень коефіцієнта гомогенності Вейбулла ( $m$ ) і їх наближенням до раціональних значень, характерних для перерізу із найшвидшим застиганням розплаву (рис. 2). Однак для перерізу ливника зі сторони малого випора переміщення до центру ливника (друга серія дослідів) супроводжується зменшенням значень коефіцієнта гомогенності Вейбулла ( $m$ ) у цих перерізах, що пояснюється впливом усадкової раковини на формування домішок та фізичних і хімічних неоднорідностей структури.

4. На підставі аналізу результатів експериментальних досліджень (рис. 2) встановлено, що для зразка із випором мінімальне значення припуску – 4 мм зі сторони власне випора і 7 мм з протилежного торця від випора малого. Для зразка із ливником мінімальне значення припуску зі сторони великого випора дорівнює 7 мм. Переріз ливника зі сторони малого випора за рахунок ливарної раковини характеризується схильністю до технологічної пошкоджуваності навіть на глибині до 17 мм, тому доцільно цю заготовку утилізувати.

#### Висновки та перспектива подальших досліджень

Розроблено методику визначення припуску на механічне оброблення виробів за ступенем деградації механічних властивостей їхнього матеріалу. Запропоновано критерій технологічної пошкоджуваності матеріалу із врахуванням технологічного успадкування його властивостей для вирішення інженерних задач при виготовленні машинобудівних виробів. Подальші дослідження у цьому напрямку пов'язані з оптимізацією значень припусків для ширшої номенклатури матеріалів із врахуванням технологічного успадкування їх властивостей при проектуванні технологічних процесів для впровадження запропонованої методики у практику сучасного машинобудування.

#### Список літератури

1. Gubaydulina R. H., Gruby S. V., Davlatov G. D. Analysis of the Lifecycle of Mechanical Engineering Products. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2016. Vol. 142 (1). 012060. doi: 10.1088/1757-899X/142/1/012060.
2. Kusiya Ya., Stupnytskyy V. Optimization of the Technological Process Based on Analysis of Technological Damageability of Casting. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing III. Proceedings of the 3rd International Conference on Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange, DSMIE-2020, June 9-12, 2020, Kharkiv, Ukraine*. 2020. Vol. 1: Manufacturing and Materials Engineering. P. 276–284. doi: 10.1007/978-3-030-50794-7\_27.
3. Blumenstein V., Rakhimyanov K., Heifetz M., Kleptsov A.

Problem of technological inheritance in machine engineering. *AIP Conference Proceedings*. 2016. Vol. 1698 (1). P. 2–7. doi: 10.1063/1.4937831.

4. Aftanaziv I. S., Shevchuk L. I., Strutynska L. R., Strogan O. I. Vibrational–centrifugal surface strengthening of drill and casing pipes. *Scientific Bulletin of National Mining University*. 2018. Iss. 5. P. 88–97. doi: 10.29202/nvngu/2018-5/7.
5. Stupnytskyy V. Features of Functionally–Oriented Engineering Technologies in Concurrent Environment. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*. 2013. Vol. 2. Issue 9. P. 1181–1186.
6. Haken H., Portugali J. *Information Adaptation: The Interplay Between Shannon Information and Semantic Information in Cognition*. Berlin: Springer, 2015. 90 p. doi: 10.1007/978-3-319-11170-4\_6.
7. Haken H. *Information and Self–Organization. A Macroscopic Approach to Complex Systems: Third Enlarged Edition*. Berlin: Springer, 2006. 258 p. doi: 10.1007/3-540-33023-2.
8. Божидарнік В. В., Григор'єва Н. С., Шабайкович В. А. *Технологія виготовлення деталей виробів: навч. посібник*. Луцьк: Надстир'я, 2006. 612 с.
9. Дружинин В. В., Конторов Д. С. *Проблеми системології: проблеми теорії складних систем*. Москва: Сов. Радио, 1976. 296 с.
10. Калман Р. Э., Фалб П. Л., Арбіб М. А. *Очерки по математической теории систем: пер. с англ. / под ред. Я.З. Цыпкина*. Москва: Едиториал УРСС, 2004. 400 с.
11. Vallejo J. C., Sanjuan M.A.F. Predictability of Chaotic Dynamics. A Finite–time Lyapunov Exponents Approach. *Springer Series in Synergetics*, 2019. 198 p. doi: 10.1007/978-3-319-51893-0.
12. Haake F., Gnutzmann S., Kuš M. Quantum Signatures of Chaos. *Springer Series in Synergetics*, 2018. 660 p. doi: 10.1007/978-3-319-97580-1.
13. Denkena B., Jacob S. Approach for Increasing the Resource Efficiency for the Production Process of Titanium Structural Components. *Procedia CIRP*. 2015. Vol. 35. P. 45–49. doi: 10.1016/j.procir.2015.08.054.
14. Fuchs C., Baier D., Semm T. [et al] Determining the machining allowance for WAAM parts. *Prod. Eng. Res. Devel.* 2020. № 14. P. 629–637. doi: 10.1007/s11740-020-00982-9.
15. Юрчишин І. І., Литвиняк Я. М., Грицай І. Є. [та ін.] *Технологія машинобудування: Посібник–довідник для виконання кваліфікаційних робіт: навч. посібник*. Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2009. 528 с.
16. Кусий Я. М. Оптимізація маршруту оброблення поверхонь заготовки за критерієм однорідності структури матеріалу. *Системні технології*. 2021. № 1 (132). С. 76–91. doi: 10.34185/1562-9945-1-132-2021-06.
17. Lian J., Sharaf M., Archie F., Muenstermann S. A hybrid approach for modelling of plasticity and failure behaviour of advanced high–strength steel shetts. *International Journal of Damage Mechanics*. 2013. № 22 (2). P. 188–218. doi: 10.1177/1056789512439319.
18. Murakami S. *Continuum Damage Mechanics – A Continuum Mechanics Approach to the Analysis of Damage and Fracture*. Springer, Dordrecht, Heidelberg, London, New York, 2012. 402 p. doi: 10.1007/978-94-007-2666-6.
19. Швець В. П., Музика М. Р., Маковецький І. В. [і ін.] Контроль поточного стану металу стрілкового переводу в процесі напрацювання. *Проблеми прочності*. 2011. № 1. С. 104–108.



20. Лебедев А. А., Ламашевский В. П., Музыка Н. Р. [и др.] Кинетика накопления рассеянных повреждений в поликристаллических материалах с разным размером зерна при малых деформациях. *Проблемы прочности*. 2011. № 5. С. 32–44.
21. Музыка Н. Р., Швец В. П., Маковецкий И. В. Оценка повреждаемости подвергнутого рекристаллизации металла при последующем деформировании. *Проблемы прочности*. 2013. № 1. С. 91–100.
22. Kusyi J., Kuk A. Investigation of the technological damageability of castings at the stage of design and technological preparation of the machine Life Cycle. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020. Vol. 1426 (1).
23. Kusyi J., Kuk A. Analysis of the rational route of aluminium alloy castings mechanical treatment on the basis of the reliability criterion. *ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara. International Journal of Engineering*. 2020. Vol. 18 (1). P. 101–108.
10. Kalman R. E., Falb pp. L., Arbib M. A. *Ocherki po matematicheskoy teorii sistem*: Per. s angl. / Pod red. Ya.Z. Cypkina. Izd. 2–e, ster. M. Editorial URSS, 2004. 400 s.
11. Vallejo J.C., Sanjuan M.A.F. *Predictability of Chaotic Dynamics. A Finite–time Lyapunov Exponents Approach*. Springer Series in Synergetics, 2019, 198 p., doi: 10.1007/978-3-319-51893-0.
12. Haake F., Gnutzmann S., Kuś M. *Quantum Signatures of Chaos*. Springer Series in Synergetics, 2018, 660 p. doi: 10.1007/978-3-319-97580-1.
13. Denkena B., Jacob S. Approach for Increasing the Resource Efficiency for the Production Process of Titanium Structural Components. *Procedia CIRP*, 2015, Vol. 35, pp. 45–49, doi: 10.1016/j.procir.2015.08.054.
14. Fuchs C., Baier D., Semm T. [et al] Determining the machining allowance for WAAM parts. *Prod. Eng. Res. Devel*, 2020, no 14, pp. 629–637, doi: 10.1007/s11740-020-00982-9.
15. Yurchy'shy'n I.I., Ly'tvy'nyak Ya. M., Gry'czaj I.Ye. [et al] *Tekhnolohiia mashynobuduvannia: Posibnyk–dovidnyk dlia vykonannia kvalifikatsiynykh robot: navch. posibnyk [Mechanical Engineering Technology: Handbook for qualification work: textbook. manual] L'viv. Vy'davny'cztvo Nacional'nogo universy'tetu "L'viv'ska politexnika"*, 2009, 528 p.
16. Kusyi Ya. M. Optymizatsiia marshrutu obroblennia poverkhn zahotovky za kryteriiem odnorodnosti struktury materialu [Optimization of the route of processing of surfaces of preparation by criterion of homogeneity of structure of material]. *Systemni tekhnolohii [System technologies.]*, 2021, no. 1(132), pp. 76–91, doi: 10.34185/1562-9945-1-132-2021-06.
17. Lian J., Sharaf M., Archie F., Muenstermann S. A hybrid approach for modelling of plasticity and failure behaviour of advanced high–strength steel shetts. *International Journal of Damage Mechanics*, 2013, № 22 (2), pp. 188–218, doi: 10.1177/1056789512439319.
18. Murakami S. *Continuum Damage Mechanics – A Continuum Mechanics Approach to the Analysis of Damage and Fracture*. Springer, Dordrecht, Heidelberg, London, New York, 2012, 402 p., doi: 10.1007/978-94-007-2666-6.
19. Shvets V. pp., Muzyka M. R., Makovetskyi I. V. [et al.] Kontrol' potochного стану металу стрілкового переводу в процесі напругування [Control of the current state of the metal of the turnout in the process of operation]. *Problemy prochnosti [Strength problems]*, 2011, no 1, pp. 104–108.
20. Lebedev A. A., Lamashevskij V. pp., Muzyka N. R. [et al] Кинетика накопления расseyанных повrezhdenij в поликристаллических материалах с разным размером зерна при малых деформациях. *Problemy prochnosti [Strength problems]*, 2011, no 5, pp. 32–44.
21. Muzyka N. R., Shvec V. pp., Makoveckij I. V. Ocenka povrezhdaemosti podvergnutogo rekristallizacii metalla pri posleduyushem deformirovanii [Assessment of damageability of recrystallized metal during subsequent deformation]. *Problemy prochnosti [Strength problems]*, 2013, no 1, pp. 91–100.
22. Kusyi J., Kuk A. Investigation of the technological damageability of castings at the stage of design and technological preparation of the machine Life Cycle. *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, Vol. 1426 (1).
23. Kusyi J., Kuk A. Analysis of the rational route of aluminium alloy castings mechanical treatment on the basis of the reliability criterion. *ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara. International Journal of Engineering*, 2020, Vol. 18 (1), pp. 101–108.

### References (transliterated)

1. Gubaydulina R. H., Gruby S. V., Davlatov G. D. Analysis of the Lifecycle of Mechanical Engineering Products. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2016, Vol. 142 (1), 012060, doi: 10.1088/1757-899X/142/1/012060.
2. Kusyi Ya., Stupnytskyy V. Optimization of the Technological Process Based on Analysis of Technological Damageability of Casting. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing III. Proceedings of the 3rd International Conference on Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange, DSMIE–2020, June 9–12, 2020, Kharkiv, Ukraine*. Manufacturing and Materials Engineering, 2020, Vol. 1, pp. 276–284, doi: 10.1007/978-3-030-50794-7\_27.
3. Blumenstein V., Rakhimyanov K., Heifetz M., Kleptzov A. Problem of technological inheritance in machine engineering. *AIP Conference Proceedings*, 2016, Vol. 1698 (1), pp. 2–7, doi: 10.1063/1.4937831.
4. Aftanaziv I. S., Shevchuk L. I., Strutynska L. R., Strogan O. I. Vibrational–centrifugal surface strengthening of drill and casing pipes. *Scientific Bulletin of National Mining University*, 2018, Issue 5, pp. 88–97, doi: 10.29202/nvngu/2018-5/7.
5. Stupnytskyy V. Features of Functionally–Oriented Engineering Technologies in Concurrent Environment. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 2013, Vol. 2, Issue 9, pp. 1181–1186.
6. Haken H., Portugali J. *Information Adaptation: The Interplay Between Shannon Information and Semantic Information in Cognition*. Berlin. Springer, 2015, 90 p., doi: 10.1007/978-3-319-11170-4\_6.
7. Haken H. *Information and Self–Organization. A Macroscopic Approach to Complex Systems: Third Enlarged Edition*. Berlin. Springer, 2006, 258 p., doi: 10.1007/3-540-33023-2.
8. Bozhydarnik V. V., Hryhorieva N. S., Shabaikovych V. A. *Texnologiya vy'gotovlennya detalej vy'robiv: navch. posibny'k [Technology of manufacturing parts of products: textbook. manual]*. Lucz'k. Nadsty'r'ya, 2006, 612 p.
9. Druzhinin V. V., Kontorov D. S. *Problemy sistemologii: problemy teorii slozhnyh system [Problems of systemology: problems of the theory of complex systems]*. Moscow. Sov. radio, 1976, 296 p.
10. Kalman R. E., Falb pp. L., Arbib M. A. *Ocherki po matematicheskoy teorii sistem*: Per. s angl. / Pod red. Ya.Z. Cypkina. Izd. 2–e, ster. M. Editorial URSS, 2004. 400 s.
11. Vallejo J.C., Sanjuan M.A.F. *Predictability of Chaotic Dynamics. A Finite–time Lyapunov Exponents Approach*. Springer Series in Synergetics, 2019, 198 p., doi: 10.1007/978-3-319-51893-0.
12. Haake F., Gnutzmann S., Kuś M. *Quantum Signatures of Chaos*. Springer Series in Synergetics, 2018, 660 p. doi: 10.1007/978-3-319-97580-1.
13. Denkena B., Jacob S. Approach for Increasing the Resource Efficiency for the Production Process of Titanium Structural Components. *Procedia CIRP*, 2015, Vol. 35, pp. 45–49, doi: 10.1016/j.procir.2015.08.054.
14. Fuchs C., Baier D., Semm T. [et al] Determining the machining allowance for WAAM parts. *Prod. Eng. Res. Devel*, 2020, no 14, pp. 629–637, doi: 10.1007/s11740-020-00982-9.
15. Yurchy'shy'n I.I., Ly'tvy'nyak Ya. M., Gry'czaj I.Ye. [et al] *Tekhnolohiia mashynobuduvannia: Posibnyk–dovidnyk dlia vykonannia kvalifikatsiynykh robot: navch. posibnyk [Mechanical Engineering Technology: Handbook for qualification work: textbook. manual] L'viv. Vy'davny'cztvo Nacional'nogo universy'tetu "L'viv'ska politexnika"*, 2009, 528 p.
16. Kusyi Ya. M. Optymizatsiia marshrutu obroblennia poverkhn zahotovky za kryteriiem odnorodnosti struktury materialu [Optimization of the route of processing of surfaces of preparation by criterion of homogeneity of structure of material]. *Systemni tekhnolohii [System technologies.]*, 2021, no. 1(132), pp. 76–91, doi: 10.34185/1562-9945-1-132-2021-06.
17. Lian J., Sharaf M., Archie F., Muenstermann S. A hybrid approach for modelling of plasticity and failure behaviour of advanced high–strength steel shetts. *International Journal of Damage Mechanics*, 2013, № 22 (2), pp. 188–218, doi: 10.1177/1056789512439319.
18. Murakami S. *Continuum Damage Mechanics – A Continuum Mechanics Approach to the Analysis of Damage and Fracture*. Springer, Dordrecht, Heidelberg, London, New York, 2012, 402 p., doi: 10.1007/978-94-007-2666-6.
19. Shvets V. pp., Muzyka M. R., Makovetskyi I. V. [et al.] Kontrol' potochного стану металу стрілкового переводу в процесі напругування [Control of the current state of the metal of the turnout in the process of operation]. *Problemy prochnosti [Strength problems]*, 2011, no 1, pp. 104–108.
20. Lebedev A. A., Lamashevskij V. pp., Muzyka N. R. [et al] Кинетика накопления расseyанных повrezhdenij в поликристаллических материалах с разным размером зерна при малых деформациях. *Problemy prochnosti [Strength problems]*, 2011, no 5, pp. 32–44.
21. Muzyka N. R., Shvec V. pp., Makoveckij I. V. Ocenka povrezhdaemosti podvergnutogo rekristallizacii metalla pri posleduyushem deformirovanii [Assessment of damageability of recrystallized metal during subsequent deformation]. *Problemy prochnosti [Strength problems]*, 2013, no 1, pp. 91–100.
22. Kusyi J., Kuk A. Investigation of the technological damageability of castings at the stage of design and technological preparation of the machine Life Cycle. *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, Vol. 1426 (1).
23. Kusyi J., Kuk A. Analysis of the rational route of aluminium alloy castings mechanical treatment on the basis of the reliability criterion. *ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara. International Journal of Engineering*, 2020, Vol. 18 (1), pp. 101–108.

### Відомості про авторів (about authors)

**Кусий Ярослав Маркіянович** – кандидат технічних наук, доцент, Національний університет «Львівська політехніка», докторант кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування, м. Львів, Україна; ORCID: 0000-0001-5741-486X; e-mail: yaroslav.m.kusyi@lpnu.ua.

**Yaroslav Kusyi** – PhD, associate professor, Doctoral Candidate of the Department of Robotics and Integrated Mechanical Engineering Technologies, Lviv Polytechnic National University, Ukraine; ORCID: 0000-0001-5741-486X; e-mail: yaroslav.m.kusyi@lpnu.ua.

**Топільницький Володимир Григорович** – кандидат технічних наук, доцент, Національний університет «Львівська політехніка», кафедра проектування та експлуатації машин, м. Львів, Україна; ORCID: 0000-0001-5246-3400; e-mail: topilnvol@gmail.com.

**Volodymyr Topilnytskyy** – PhD, associate professor, Department of Designing and Operation of Machines, Lviv Polytechnic National University, Ukraine; ORCID: 0000-0001-5246-3400; e-mail: topilnvol@gmail.com.

*Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:*

Кусий Я. М., Топільницький В. Г. Визначення раціонального припуску на оброблення поверхонь заготовки за критерієм технологічної пошкоджуваності. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ», 2021. С. № 1 (7). С. 24-33. doi:10.20998/2413-4295.2021.01.04.

*Please cite this article as:*

Kusyi Y., Topilnytskyy V. Determination of the rational allowance for blank surface treatment by the criterion of technological damage. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2021. no. 1 (7), pp. 24-33, doi:10.20998/2413-4295.2021.01.04.

*Пожалуйста, ссылаетесь на эту статью следующим образом:*

Кусый Я. М., Топильницький В. Г. Определение рационального припуска на обработку поверхностей заготовки по критерию технологической повреждаемости. *Вестник Национального технического университета «ХПИ»*. Серія: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2021. С. № 1 (7). С. 24-33. doi:10.20998/2413-4295.2021.01.04.

**АННОТАЦІЯ** При забезпеченні машинобудівними изделиями свого службового призначення реалізується множство причинно-наслідкових взаємозв'язків як функцій отзыва фізических процесов и воздействий окружающей среды, приводящих к эволюции качественных показателей изделия его жизненного цикла и формирования условий для физического и морального износа деталей и машин. Рациональное управление технологическим наследованием свойств материала деталей машин для обеспечения их эксплуатационных характеристик и показателей надежности в рамках синергетического подхода служит методологической основой проектирования прогрессивных технологических процессов изготовления изделий. Технологическое обеспечение регламентированных показателей качества изделий реализуется ограниченным количеством рациональных вариантов взаимодействий изделия с технологической средой при необходимом количестве устойчивых связей. Выбор рациональных критериев оптимизации при решении технологических задач, в частности, расчета припусков на механическую обработку заготовок, на этапах конструкторской и технологической подготовок производства позволяет обеспечить необходимые исходные параметры изделий и их эксплуатационные характеристики при изготовлении и сборке и прогнозировать поведение деталей и машин на стадии эксплуатации их жизненных циклов. Разработана методика выбора рационального припуска на обработку поверхностей литой заготовки с учетом технологической наследственности свойств материала. Проанализированы традиционные методы определения припуска на механическую обработку изделий. Предложена технологическая повреждаемость как критерий оптимизации при решении технологических задач. Представлен метод ЛМ-твердости, применяемый для выбора припуска на обработку функциональных поверхностей изделия. Описаны технологическое обеспечение реализации экспериментальных исследований. Проанализированы результаты экспериментальных исследований и установлены рациональные значения припусков обработки плоской заготовки из алюминиевого сплава. Намечены пути дальнейших исследований.

**Ключевые слова:** жизненный цикл изделия; технологический процесс; технологическая среда; припуск; технологическое наследования; гомогенность; технологическая повреждаемость; заготовка

Надійшла (received) 20.02.2021