

Т. В. Смірнова

Центрально український національний технічний університет, Кропивницький, Україна

ФОРМУВАННЯ ЕВРИСТИЧНИХ ПРАВИЛ, БАЗИ ЗНАТЬ ТА ФОРМАЛІЗАЦІЯ СТРУКТУРИ Й ПРАВИЛ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЙНОЇ ХМАРНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

Анотація. Предметом вивчення у статті є структура технологічного процесу для оптимізаційної хмарної інформаційної системи, формування евристичних правил та бази знань. **Метою роботи** є формування евристичних правил, бази знань та формалізація структури й правил технологічного процесу для оптимізаційної хмарної інформаційної системи. **Задачі:** В процесі формування структури технологічного процесу визначити низку параметрів, які не регламентуються вимогами до готового виробу, але їх значення суттєво впливають на результат планування технологічних операцій. Інформаційна система повинна забезпечити правильність заповнення вимог до результатів технологічного процесу. Система повинна забезпечити контроль повноти та сумісності вхідних даних, проводити контроль наявності вимог, які не можна визначити із вже заданих критеріїв. Також система повинна забезпечити можливість залишити вимогу невизначеною, якщо з вже визначених величин можлива оцінка цієї вимоги. На основі вимог технологічного процесу сформулювати евристичні правила. Розробити структуру інформаційної системи підтримки прийняття рішень для автоматизації створення оптимізованих технологічних процесів відновлення поверхонь деталей електродуговим напиленням. **Результатами роботи** є інформаційна система яка включає у себе: базу знань, що містить, допустимі діапазони вхідних даних, забезпечує контроль повноти та сумісності вхідних даних, проводить контроль наявності вимог, які не можна визначити із вже заданих критеріїв. Забезпечує можливість залишити вимогу невизначеною, якщо з вже визначених величин можлива оцінка цієї вимоги. З зазначених вимог технологічного процесу сформульована група евристичних правил, розроблено структуру інформаційної системи підтримки прийняття рішень для автоматизації створення оптимізованих технологічних процесів відновлення поверхонь деталей електродуговим напиленням. **Висновки:** наукова новизна полягає у формуванні технологічного процесу для оптимізаційної хмарної експертної системи. Сформульована група евристичних правил, розроблена структура інформаційної системи підтримки прийняття рішень для автоматизації створення оптимізованих технологічних процесів відновлення поверхонь деталей електродуговим напиленням.

Ключові слова: інформаційна система, інформаційні процеси, технологічний процес, оптимізація, евристичні правила.

Вступ

В сучасних умовах у матеріалознавстві, для створення виробів з покриттям, або відновлення чи зміцнення поверхонь деталей використовують різні технологічні процеси [1-5]. Одним з таких технологічних процесів є електродугове напилення (ЕДН). Процес електродугового напилення складається з ланцюга технологічних операцій «Струменево-абразивна обробка» – «Нанесення підшару» – «Нанесення основного шару покриття», при цьому кожна з зазначених технологічних операцій має свої параметри [4]. Доцільним є формування системи вибору оптимальних параметрів для кожної технологічної операції у ланцюгу, з метою отримання деталей або поверхонь з найкращими показниками за тими, або іншими критеріями [2-5]. Для цього автором вирішується завдання розробки структури інформаційного забезпечення процесу оптимізації технологічного процесу електродугового напилення, у вигляді відповідної хмарної інформаційної системи. Для вирішення даного завдання автором пропонується вирішити такі підзадачі:

1. Формалізувати структуру технологічного процесу електродугового напилення.
2. Реалізувати структуру технологічного процесу електродугового напилення.
3. Сформулювати евристичні правила та бази знань структури технологічного процесу електродугового напилення.
4. Формалізувати структуру та правила технологічного процесу, зведення до універсального технологічного процесу.

5. Розробити та наповнити бази знань.
6. Сформулювати діаграму використання інформаційної системи забезпечення побудови та оптимізації технологічного процесу електродугового напилення.

7. Сформулювати діаграму послідовності використання інформаційної системи забезпечення побудови та оптимізації технологічного процесу електродугового напилення.

Перша та друга підзадача розглянуті у роботі [4]. Дана робота присвячена реалізації третьої та четвертої підзадачі тобто, формуванню евристичних правил та бази знань структури технологічного процесу електродугового напилення, й формалізації структури та правил технологічного процесу, зведення до універсального технологічного процесу.

Мета роботи: сформулювати евристичні правила, бази знань та формалізувати структуру й правила технологічного процесу для оптимізаційної хмарної інформаційної системи. Для досягнення поставленої мети необхідно в процесі формування структури технологічного процесу визначити низку параметрів, які не регламентуються вимогами до готового виробу, але їх значення суттєво впливають на результат планування технологічних операцій. Інформаційна система повинна забезпечити правильність заповнення вимог до результатів технологічного процесу. Система повинна забезпечити контроль повноти та сумісності вхідних даних, проводити контроль наявності вимог, які не можна визначити із вже заданих критеріїв. Також система повинна забезпечити можливість залишити вимогу невизначеною, якщо з вже визначених величин можлива оцінка цієї вимоги. На основі вимог технологіч-

ного процесу сформулювати евристичні правила. Розробити структуру інформаційної системи підтримки прийняття рішень для автоматизації створення оптимізованих технологічних процесів відновлення поверхонь деталей електродуговим напиленням.

Результати досліджень

Формування евристичних правил та бази знань структури технологічного процесу електродугового напилення. В процесі формування структури технологічного процесу потрібно визначити низку параметрів, які не регламентуються вимогами до готового виробу, але їх значення суттєво впливають на результат планування технологічних операцій. Також, не регламентовані вимоги не можуть бути виражені ні математично або алгоритмічно, і виводяться з власного досвіду експертів.

Для проектування технологічного процесу потрібно визначити: геометричні розміри деталі, поверхню якої потрібно обробити або відновити; для відновлення валів критичними є значення довжини оброблюваної частини деталі L_0 , діаметр D_0 при якому утвориться мінімальний циліндр покриття деталі, цей параметр має вплив на мінімальну можливу дистанцію напилення L . Також з означених параметрів робиться висновок про можливість вста-

новлення валу на верстат автоматичної подачі. Деталі, які не є валами, повинні оброблятися вручну.

Важливу роль має матеріал з якого зроблено деталі, поверхня якої піддається обробці. Наприклад, за «Valid and invalid contacts of metals in accordance with GOST 9.005-72» визначаються матеріали, які не допустимі в спільному використанні з точки зору корозійної стійкості. В разі присутності у вимогах до результату обробки деталі матеріалу покриття, який є несумісним з матеріалом основи, технічний процес повинен обов'язково доповнюватися нанесенням прошарку з металу, який є сумісним з основою та покриттям одночасно. Згідно зазначеним особливостям планування технологічного процесу напилення потрібно визначити вхідні дані (табл. 1, собівартість процесу для цього прикладу не враховано). З зазначених вимог що до визначення вимог технологічного процесу виникають наступна група евристичних правил:

Правило 1.1: Якщо вимога обов'язкова, вимагати заповнення відповідних полів.

Правило 1.2: Вимога перестає бути обов'язковою, якщо визначено параметр(и), за яким(и) можна провести процес визначення цієї вимоги.

Правило 1.3: Накладання умов оптимізації можливе лише для необов'язкових параметрів.

Таблиця 1 - Перелік вхідних параметрів та вимог до результатів технологічного процесу

№	Назва	Позначення	Обов'язковість
1	Твердість матеріалу основи для обробки	σ_{ex}	«Так»
2	Матеріал основи	M_{ex}	«Так»
3	Матеріал покриття	$M_{вих}$	«Ні», якщо задані властивості поверхні, інакше «Так»
4	Міцність зчеплення покриття до основи, адгезія	A_1	«Ні»
5	Геометр. розміри основи для нанесення покриття	L_0, D_0, \dots	«Так»
6	Геометричні розміри після нанесення покриття	$L_{вих}, D_{вих}, \dots$	«Ні», якщо задана товщина слою нанесення, інакше «Так»
7	Товщина покриття	$h_{вих}$	«Ні», якщо задані вихідні розміри, інакше «Так»
8	Пористість покриття	$\rho_{вих}$	«Ні»
9	Твердість покриття	$\sigma_{вих}$	«Ні», якщо заданий матеріал поверхні, інакше «Так»
10	Зносостійкість покриття	$J_{вих}$	«Ні», якщо заданий матеріал поверхні, інакше «Так»
11	Товщина підшарку	$h_{нід}$	«Ні»

Правило 1.4: Необов'язкові параметри можна залишити не заданими, але автоматично на всі параметри повинні накладатися обмеження, які відповідають фізичним властивостям процесу.

Правило 1.5: Якщо вимога суперечить іншій вимозі, провести вибір пріоритету, і менш пріоритетну вимогу перевести в критерій оптимізації з високим пріоритетом.

Правило 1.6: Якщо вимога або критерій не задані, накласти а вимогу критерій оптимізації низького пріоритету на мінімізацію витрат ресурсів з врахуванням допустимих меж.

Наступні евристично визначені дії пов'язані з обранням технологічних дій:

Правило 2.1: Якщо за геометричними параметрами деталь не можна встановити на обладнання автоматичної обробки, потрібно перейти до розрахунків продуктивності та точності ручної праці.

Правило 2.2: Якщо матеріали деталі та покриття є такими що важко поєднувати з точки зору хімічної сумісності, закріпити операцію нанесення під-

шарку як обов'язкову.

Правило 2.3: Якщо матеріал покриття має недостатню адгезію до матеріалу деталі, закріпити операцію нанесення підшарку як обов'язкову.

Правило 2.4: Якщо товщина $h_{вих}$ нанесення матеріалу значна, запропонувати можливість нанесення підшарку з більш дешевого матеріалу.

Наступні правила призначені для визначення функціональних призначень технологічних операцій, що може вплинути на визначення дій в наступній групі операцій:

Правило 3.1: Якщо матеріали деталі та покриття по хімічному складу та механічним властивостям частково не сумісні, то позначити операцію нанесення підшарку як обов'язкову з додаванням атрибуту {«сумісність»}. Можливе використання кількох призначень. Результат може бути виведений логічно при врахуванні результатів застосування правил 2 групи.

Правило 3.2: Якщо відновлювальна поверхня має корозійні забруднення, визначити дробостру-

мінну обробку як обов'язкову операцію з додаванням атрибуту {«очищення»}.

Правило 3.3: Якщо адгезія між базовим матеріалом та нанесенням не достатня, та збільшення контактної площі шляхом підвищення шорховатості достатнє для досягнення заданої величини, то додати операцію дробострумінної обробки як обов'язкову з атрибутом {«адгезія»}.

Правило 3.4: Якщо адгезія між базовим матеріалом та нанесенням не достатня, позначити технологічну операцію нанесення з додаванням атрибуту {«адгезія»}.

Правило 3.5: Якщо товщина нанесення покриття $h_{вих}$ є значною (залежить від матеріалу покриття), то додати операцію нанесення підшарку з додаванням атрибуту {«заповнення»}.

Правило 3.6: Якщо операція нанесення покриття призначена для поверхневого шару, додати їй атрибут {«поверхня»}.

Четверта група евристичних правил призначена для уточнення параметрів та вимог до технологічних операцій згідно виставлених атрибутів:

Правило 4.1: Якщо передбачено нанесення підшарку з присутнім функціональним призначенням {«заповнення»}, провести процедуру визначення h_{nid} – товщини підшарку.

Правило 4.2: Якщо дробострумінні операції задані атрибутами {«адгезія»} та {«очищення»}, внести корекцію часу обробки та об'єднати операції.

Правило 4.3: Якщо операції нанесення підшарку мають атрибути {«адгезія»} та {«заповнення»} і при цьому використовують однаковий матеріал, то об'єднати операції та їх атрибути.

Правило 4.4: Якщо операції нанесення підшарку мають атрибути {«заповнення»} та {«поверхня»} і при цьому використовують однаковий матеріал, то об'єднати операції та їх атрибути.

Правило 4.5: Якщо операція немає атрибуту, то вилучити її з ланцюга операцій.

Формалізація структури та правил технологічного процесу, зведення до універсального технологічного процесу. На основі розглянутих та розроблених методів та механізмів, які використовують для розробки технологічних процесів розроблено структуру інформаційної системи підтримки прийняття рішень для автоматизації створення оптимізованих технологічних процесів відновлення поверхонь деталей електродуговим напиленням яку показано на рис. 1.

Систему умовно можна поділити на етапи, згідно розроблених в попередньому пункті евристичних правил.

Перший етап призначений для формалізації вимог до результатів технологічного процесу та визначення вхідних параметрів деталі, яка підлягає відновленню поверхні. При цьому виділяються вимоги до результату обробки та критерії оптимізації. При недостатній кількості критеріїв або вимог, евристичними правилами першої групи вводяться обмеження а також критерії оптимізації низького пріоритету. З причини можливості існування конфліктів у вимогах, що повинно відобразитися в базі

знань по відношенням між вимогами, проводиться заміна критеріїв на критерії оптимізації з підвищеним пріоритетом. В результаті не задані критерії та вимоги переводяться в розряд слабких критеріїв оптимізації.

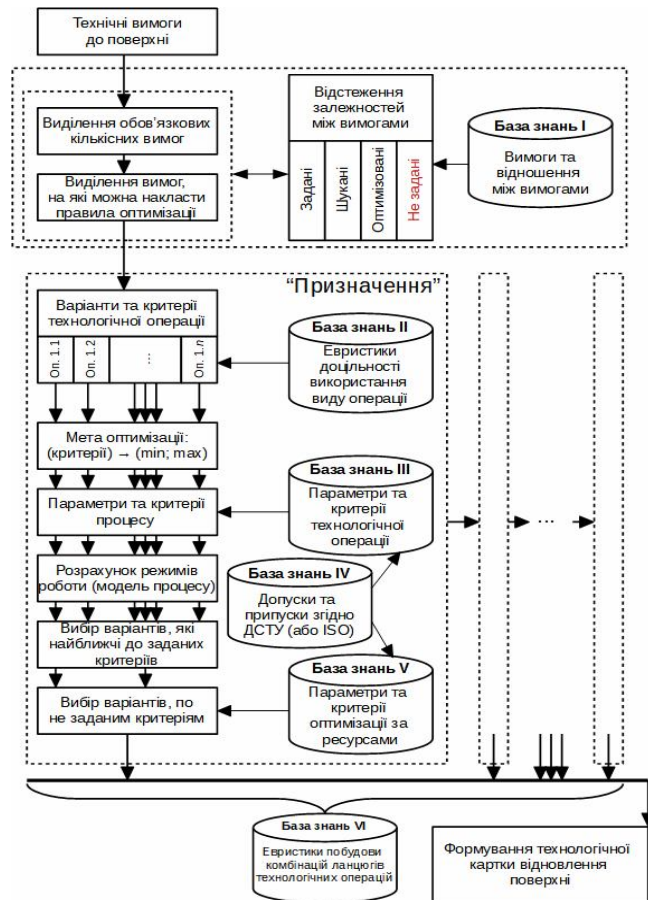


Рис. 1. Схема функціонування інформаційної системи підтримки рішень для автоматизації створення оптимізованих технологічних процесів відновлення поверхонь деталей електродуговим напиленням

Шукані вимоги відповідають за порядок технологічних операцій при виконанні технологічного процесу та параметрів, режимів проведення технологічних операцій. В більшості ситуацій шукані параметри переходять у формування технологічної картки процесу.

Другий етап є структурною оптимізацією, яка має визначити допустимі ланцюги технологічних операцій. Але в складних технологічних процесах з великою кількістю операцій ця задача має комбінаторну складність, що призводить до непомірно великої кількості можливих рішень, які не можна розглянути за розумний інтервал часу.

Значно скоротити кількість розглянутих комбінацій можна завдяки використанню евристичних правил, які враховують технічне призначення технологічної операції, наприклад підготовка поверхні не може передувати нанесенню поверхневого шару. Це виражено в формуванні евристичних правил груп 2 та 3. Де друга група визначає призначення операції, а третя – відношення порядку та рівності між операціями. Відношення рівності застосовне у

випадках, коли одна технологічна операція може виконати кілька призначень. Наприклад, нанесення підшару може виконувати задачі збільшення адгезії та підвищення хімічної сумісності матеріалу деталі та матеріалу покриття.

Систему умовно можна поділити на етапи, згідно розроблених в попередньому пункті евристичних правил. В разі об'єднання або зміни технологічних операцій можуть виникати додаткові параметри та критерії обробки, що відображено в евристичних правилах четвертої групи. Тому наступним етапом оптимізації є використання фільтру доцільності операцій та процесу додавання критеріїв вимог, що не завжди можна повністю автоматизувати. Проте цей етап гарантує що додаткові параметри та критерії не будуть втрачені при побудові технологічного процесу.

В результаті проведення процесу оптимізації технологічного процесу по допустимим евристичними правилам, отримуємо множину ланцюгів окремо оптимізованих технологічних процесів, з якої проводиться багатокритеріальний відбір, що відповідає поставленим вимогам оптимізації. Користувач системи

може отримувати у відповідь як і одну картку технологічного процесу, так і декілька найкращих.

Висновки

В роботі сформовано технологічний процес для оптимізаційної хмарної експертної системи, також сформульована група евристичних правил, розроблена структура інформаційної системи підтримки прийняття рішень для автоматизації створення оптимізованих технологічних процесів відновлення поверхонь деталей електродуговим напленням.

У наступних роботах автору необхідно вирішити наступні підзадачі:

– Розробити та наповнити бази знань.

– Сформулювати діаграму використання інформаційної системи забезпечення побудови та оптимізації технологічного процесу електродугового наплення.

– Сформулювати діаграму послідовності використання інформаційної системи забезпечення побудови та оптимізації технологічного процесу електродугового наплення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лимаренко В. В. Інформаційна система підтримки рішень для автоматизації створення технологічних процесів механообробки деталей високоточного обладнання», дис. канд. техн. наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2019.
2. Анфёров М.А. Структурная оптимизация технологических процессов в машиностроении / М.А. Анфёров, С.Г. Селиванов. – Уфа: Гилем, 1996. – 185 с.
3. Смірнова Т. В., Дресев О. М., Смірнов О. А. Експертна система оптимізації процесу відновлення та зміцнення поверхонь деталей типу «ВАЛ» електродуговим напленням». *Системи управління, навігації та зв'язку*. Полтава : ПНТУ, 2019. Вип. 2(54). С. 149-154. DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2019.2.149>
4. Смірнова Т.В. Формалізація та реалізація структури технологічного процесу електродугового наплення для оптимізаційної експертної системи. *Технічні науки та технології*. 2020. № 1(19). С. 43-56.
5. Скрипка К.І., Зенкин М.А. Експертна система автоматизованого вибору способів відновлення спрацьованих деталей, *Вісник ЖДТУ. Технічні науки*. 2004. № 1 (28). С. 66-68,
6. Хох В.Д., Мелешко Є.В., Якименко М.С. Дослідження методів побудови експертних систем». *Системи управління, навігації та зв'язку*. Полтава : ПНТУ, 2016. Вип.. 4(40). С.48-52.

Received (Надійшла) 20.02.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 22.04.2020

Formation of the heuristic rules, knowledge bases and formalization of the structure and the rules of the technological process for the optimization of the cloud information system

T. Smirnova

Abstract. The article deals with the structure of technological process for optimization of cloud information system, formation of heuristic rules and knowledge base. The purpose of the work is to formulate heuristic rules, knowledge base and formalize the structure and rules of the technological process for the optimization cloud information system. Objectives: In the process of forming the structure of the technological process to determine a number of parameters that are not regulated by the requirements for the finished product, but their values significantly affect the result of planning technological operations. The information system must ensure that the requirements for the results of the technological process are correctly met. The system must ensure that the completeness and compatibility of the input data is monitored and that requirements that cannot be determined from the criteria already specified are monitored. The system must also allow the requirement to be left undetermined if an estimate of that requirement is possible from the values already determined. Formulate heuristic rules based on process requirements. To develop the structure of decision support information system for automation of creation of optimized technological processes of surface restoration of parts by electric deposition. requirements that cannot be determined from the criteria already specified. Provides the ability to leave a claim undetermined if an estimate of that requirement is possible from the values already determined. Based on these requirements of the technological process, a group of heuristic rules was formulated, the structure of the information system of decision support was developed to automate the creation of optimized technological processes for the restoration of parts surfaces by electric sputtering. Conclusions: The scientific novelty lies in the formation of a technological process for an optimization cloud expert system. A group of heuristic rules is formulated, the structure of the information system of decision support for the automation of creation of optimized technological processes of restoration of surfaces of details by an arc deposition is developed.

Keywords: information system, information processes, technological process, optimization, heuristic rules.