

А.В. Вдовін, аспір.
В.В. Єрохін, к.т.н., доц.
В.Б. Ільцький, д.т.н., проф.
Брянський державний технічний університет (Росія)

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРИСТОСУВАНЬ

Розглядаються питання твердотельного моделювання технологічного оснащення з використанням CAD/CAM/CAE-систем.

Промисловими підприємствами накопичений чималий досвід автоматизації локальних служб конструкторських і технологічних підрозділів. Незважаючи на обмежене застосування засобів САПР у реальній роботі, результат очевидний – рівень володіння новими технологіями, знання різних прикладних систем, придбаний реальний досвід роботи плюс сотні (тисячі) розроблених креслень, що керують програмами, моделями тощо. Практично на кожному підприємстві використовуються мережі, поширюється застосування телекомунікаційних технологій (електронної пошти, ІНТЕРНЕТ), автоматизовані системи проектування поступово стають звичайним інструментом конструктора і технолога. В умовах, коли терміни виконання завдання є основною вимогою замовника, конкурентноздатне підприємство немислиме без відповідних засобів автоматизації. Тому застосування сучасних систем моделювання (CAD/CAM/CAE-технології) різних машинобудівних об'єктів, процесів їхнього виготовлення і технічних розрахунків дозволяє на більш високому рівні підходити до процесів формування конструкцій технологічного оснащення.

Використання CAD-систем середнього і високого рівнів, таких як CIMATRON, SolidWorks, TflexCAD, дозволяє швидко і наочно побудувати твердотельну модель пристосування будь-якого ступеня складності з її розмірною параметризацією і параметризацією механічних, фізичних і хімічних властивостей. Використання параметризації дозволяє створити одну базову конструкцію пристосування визначеного типу, що при зміні визначених розмірів і властивостей змінює свою конструктивну форму, розміри і властивості. У зв'язку з цим, немає необхідності створювати великі електронні бази даних усієї номенклатури технологічного оснащення. Можлива побудова гібридних моделей, виконання булевих операцій над твердотельними об'єктами і поверхнями. Моделі деталей і складальних одиниць можуть бути об'єднані в зборку. Будь-які зміни, що виконані над моделлю (деталлю), що редагується, відібуваються у всіх зборках, що містять цей об'єкт. Це дозволяє, наприклад, при автоматизації зборки верстатного оснащення з елементів універсально-збірних пристосувань (УЗП) чи збірно-розбірних пристосувань (СРП), вся номенклатура яких перевищує 40 тисяч одиниць, швидко і якісно робити підбір визначених компонентів пристосувань із найменшими витратами часу і даних, а також спростити алгоритми пошуку оптимальних рішень конструктивного моделювання з визначеними технічними і механічними параметрами.

У сучасних CAD/CAM/CAE-системах можна проводити такі етапи проектування технологічного оснащення:

- вибір типу і місця розташування настановних елементів пристосування;
- призначення конструктором схеми закріплення;
- вибір типів і крапки додатка елементів затискного механізму і крапок додатка сил закріплення;
- розрахунок пластичних деформацій у зоні контакту настановного елемента і базової поверхні заготовки;
- визначення погрішності закріплення;
- визначення розмірного зносу настановних елементів;
- формування конструкції корпусу пристосування і компоновання пристосування в цілому;
- визначення температурних деформацій;
- формування робочих креслень;
- реалістичне моделювання деталей з листового матеріалу, що включає одержання заготовки і можливість конструювання в плоскому стані;

- здійснити моделювання складальних одиниць, що включає: можливість ведення процесу проектування відповідно до поставлених цілей; динамічність руху складальної одиниці за рахунок унікальних можливостей візуалізації; правдоподібні складальні примітиви для створення точної конструкції складальної одиниці; інструменти керування зборкою, що покращують представлення об'єкта; можливість повторного використання вже існуючих конструкцій з метою зниження зусиль, що затрачені на проектування; наочність і високий ступінь деталізації.

Вибір настановних і затискних елементів пристосувань проводиться шляхом імпортування в складальну одиницю раніше створеного чи типового (з бази даних) елемента. Дані системи дають можливість створення бази даних твердотельних моделей деталей і креслень, в які можуть закладатися конструктивні елементи пристосування і складальні одиниці будь-якої системи (У СП, СРП, нерозбірні спеціальні пристосування (НСП) тощо), а також типові конструкції пристосувань. Можливість створення твердотельної моделі в контексті зборки дозволяє легко і швидко створювати зовсім нові нестандартні елементи.

Так при проектуванні токарського технологічного оснащення (на прикладі системи SolidWorks) – повідкових патронів – будується параметрична твердотельна модель зборки. В її модель повинні входити складальні одиниці – повідковий патрон і задній центр, оброблювана заготовка. Складальні одиниці й оброблювана заготовка повинні мати взаємозв'язок між зборкою, деталлю і кресленням, тобто зміна чи розміри параметрів, наприклад, у кресленні, повинно призводити до зміни моделей зборки і деталей. Параметризація, у даному випадку, охоплює всі розмірні характеристики конструкції в залежності від:

- параметрів заготовки – конструктивне виконання базових центрових отворів, діаметр, геометричні і фізико-механічні властивості торця заготовки, по якому передається момент, що крутить, максимальний діаметр обробки, маса;
- складових сили різання (P_x , P_y , P_z).

У зв'язку з тим, що основною одиницею конструкторської документації є креслення, вихідним параметром проектування повинен бути параметризований креслення зборки пристосування. Використання Сам-технологій (WorksCAM) дозволяє одержати значення складових сил різання, що за допомогою макросів (чи додаткового програмного забезпечення зв'язку CAD із САМ-системами) зв'язуються з таблицею параметрів сил різання, що знаходиться в технічних вимогах креслення повідкового патрона. У залежності від параметрів складових сили різання відбувається параметризація конструкцій повідкових елементів і тарілчастих пружин. На рис. 1 представлена конструкція повідкового центра, отриманого з використанням параметричного проектування в системі SolidWorks.

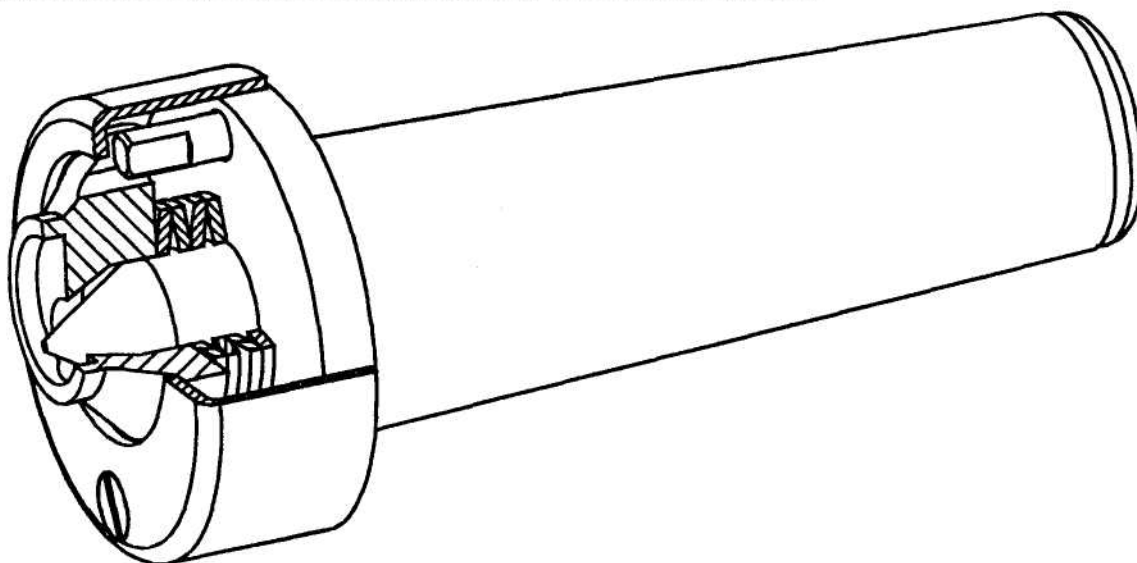


Рис. 1. Повідковий центр, що передає момент, що крутить, за попередньо створеною у торці заготовкою ексцентричному виточенню

Параметризація повідкових елементів і тарілчастих пружин може здійснюватися двома способами. Перший, математично формалізується залежність їхніх конструктивних параметрів від складових сили різання. Другий, конструктивні характеристики проєктованих елементів вибираються з реляційних баз даних (у конкретному випадку складені Excel-таблиці) в залежності від величини сили різання. Перший спосіб більш трудомісткий, тому що вимагає написання додаткових макросів, що здійснюють розрахунок параметрів за рівняннями, але раціональний – враховуються всі конструктивні, фізико-механічні властивості елемента. Другий спосіб – більш зручний, у зв'язку з адаптацією САД-систем у роботі з реляційними базами даних, у яких представлені ряди стандартизованих елементів, що підвищує рівень уніфікації не тільки конструкторської, але й технологічної підготовки виробництва. Далі, у залежності від параметрів заготовки, відбувається параметризація інших складових деталей конструкції верстатного пристосування. Взаємозв'язок змін параметризованих деталей описується за допомогою булевих функцій, що запобігає перетинанню об'єктів, параметризованих від двох незалежних характеристик параметричного перетворення параметрів заготовки і параметрів складових сили різання.

Для автоматизованого проєктування верстатних пристосувань, що застосовуються для обробки корпусних заготовель різанням із використанням елементів У СП і СРП, необхідно створювати додаткові програмні модулі в САД-системах на основі їхніх внутрішніх мов програмування. На першому етапі повинні бути створені бази даних парку металорізальних верстатів, елементів У СП і СРП. Елементи В СП і СРП необхідно ранжирувати за групами: базові деталі і складальні одиниці; корпусні деталі і складальні одиниці; настановні деталі і складальні одиниці; притискні деталі і складальні одиниці; кріпильні деталі; складальні одиниці, необхідні для чи базування спільного базування і закріплення заготовки. Другий етап полягає в написанні програмних чи модулів макросів для реалізації таких етапів проєктування.

1. Розпізнання поверхонь твердотельної моделі заготовки за умовою базування заготовки на шістьох крапках. Тобто вибираються один чи кілька варіантів комплектів поверхонь заготовки, що містять у собі настановну, напрямну (подвійну опорну) і опорну базові чи поверхні подвійну направляючу, опорну й опорну (подвійну напрямну і напрямну) базові поверхні.

2. Для конкретного комплексу сполучення форм базових поверхонь вибираються схеми установки заготовки в пристосування з вибором конструктивних елементів оснащення (штирі, пластини, призми, оправлення, втулки, центри).

3. Виробляється добір схем установки заготовки за наступними правилами: можливість гарантованого закріплення заготовки (вибір схеми закріплення); забезпечення необхідної точності чи обробки зборки; мінімальний допоміжний час на установку заготовки в пристосування; мінімальна величина погрішності базування; мінімальна собівартість виготовлення. У зв'язку з тим, що вартісні оцінки елементів технологічного оснащення непостійні, цей параметр може бути визначений на основі застосування теорії нечітких безлічей. Ранжирування за вартісним критерієм елементів пристосування в базі даних проводиться на основі нечітких термінів – дорожче і дешевше. Для визначення схеми закріплення повинні бути відомі тип і конструктивні параметри інструмента, що ріже, його траєкторія руху. Область місця розташування інструмента можна представити у вигляді схованої (погашеної) твердотельної моделі простору. Твердотельній моделі простору положень інструмента привласнюється принцип не перетинання з елементами пристосування, що може бути описано з використанням булевих функцій.

4. Розрахунок сили закріплення за відомими величинами і місцем розташування сил і моментів різання. Вибір типу затискного пристрою. Вибір типу силового пристрою.

5. Компонування пристосування на корпусні чи деталі складальні одиниці, виходячи з дотримання умов мінімальної погрішності установки і собівартості. Конструювання здійснюється на основі баз даних – притискних деталей і складальних одиниць; кріпильних деталей; складальних одиниць, необхідних для базування спільного базування і закріплення заготовки.

6. Вибір базової чи деталі складальної одиниці в залежності від обраного типу верстата, для якого відомі приєднувальні і базові поверхні опорної поверхні столу.

7. Здійснення загального конструювання пристосування.

8. При конструюванні декількох пристосувань необхідно витримати такі критерії: мінімальної кількості складальних чи одиниць деталей для кожної групи елементів У СП і СРП, що входять у збірку; мінімальний час, затрачений на збірку пристосування.

CAD-системи на основі твердотельного моделювання забезпечують генерацію сіток кінцевих елементів для наступного інженерного аналізу в CAE-системах (CosmosWorks, NASTRAN, Moldflow тощо). Це дає можливість провести цілий ряд конструкторських і технологічних розрахунків: пластичних деформацій у зоні контакту настановного елемента і базової поверхні заготовки, визначення температурних деформацій на основі механічних, термічних і хімічних властивостей розглянутої системи виготовлення і експлуатації виробу; забезпечення заданих вимог до якості виробу, що виготовляється, через експлуатаційні і конструктивні характеристики проектного оснащення.

Наприклад, розрахунок міжремонтного періоду експлуатації верстатного пристосування може бути визначений за такою методикою.

1. У САМ-системі розробляється технологічний процес обробки заготовки. З використанням проміжного програмного забезпечення, що пов'язує CAD і САМ-системи, у САМ-систему передаються параметри технологічної системи: твердість і вібростійкість верстата, режими різання, градієнти напрямку і величини сил різання, базові поверхні заготовки тощо.

2. САМ-система для розглянутого технологічного процесу вибирає чи конструює конструювання верстатного пристосування в режимі параметризації його базових розмірів і властивостей, що задовольняють умови обробки заготовки.

3. Вибираються поверхні твердотельних моделей пристосування, що впливають на точність і характер процесу формоутворення поверхонь заготовки.

4. Конвертування обраних поверхонь пристосування в САЕ-систему з заданими їхніми механічними параметрами і параметрами технологічної системи.

5. Розбивка розглянутих поверхонь на елементи. При зносі поверхонь немає рації робити заелементну сегментацію всього обсягу примітиву. Задаючи конкретними розмірними параметрами припустимого зносу, можна на кілька порядків зменшити кількість і розмір (величина рівної шорсткості розглянутої поверхні) кінцевих елементів, що дозволить збільшити точність розрахунків.

6. Розрахунок величини зносу аналізованої поверхні. Алгоритми розрахунків і математична формалізація процесу формоутворення поверхні, що зношується, повинна обов'язково враховувати ймовірнісне поле розсіювання градієнта і напрямку дії зовнішніх сил на досліджувану поверхню.

Найбільш оптимальні значення зносу, близькі до експериментальних даних, дає кінцево-елементний аналіз на основі енергетичного балансу підводимо і енергії, що витрачається. До поверхні роздягнула двох динамічно контактуючих об'єктів підводиться визначена кількість теплової, механічної та хімічної енергії (рис. 2, а); $\sum U_i(t, L)$ – сума i -х видів підведених до поверхні енергій, розподілених по поверхні довжиною L за визначеними законами і залежними від часу t , внаслідок тертя, руху і хімічної взаємодії як між собою, так і проміжними середовищами (повітря, СОТС тощо). Кожному вузлу у випадковій послідовності (функція «Randomize») привласнюється визначена енергія розриву зв'язку, що залежить від механічних, фізичних, конструкційних і хімічних властивостей розглянутого примітиву, а також від їхнього градієнта (якщо він відомий) і поля розсіювання. Усі кінцеві елементи описані математичними залежностями передачі та споживання різних видів енергій, їхніх взаємодій і впливів на наведені вище властивості. Як тільки енергія вузла стає рівною чи більшою від енергії його розриву, елемент виходить із вузла і залишається незамкнутим (рис. 2, б). Динамічний ріст незамкнутих елементів у напрямку поверхні контакту двох об'єктів може призвести до відриву деяких об'ємних областей контактуючої поверхні (рис. 2, в).

Однак у даній математичній формалізації зносу поверхні важко врахувати повторне нашарування продуктів зносу на поверхню, що зношується, внаслідок складного розподілу зовнішнього енергетичного впливу з електростатичними взаємодіями поверхні (шорсткості) під дією перемінних зовнішніх сил на контакт розглянутих тіл.

Методика твердотельного проектування також застосована і при розв'язку задачі вибору раціональної схеми базування. Ця складна і багатокритеріальна задача, що вимагає автоматичного аналізу форм базових поверхонь, їхнього просторового розташування за

відношенням одне до одного, так же ж само одержання даних про точність і якість базових поверхонь заготовки.

Оснoву автоматизованої системи становить схема, що систематизує всі можливі базування, які зустрічаються в практиці схеми, за призначенням, сполученням форм базових поверхонь, геометрії заготовки і точності розташування заготовки в пристосуванні. Для формування списку можливих схем базування заготовки важливим моментом є її геометричний аналіз, тому що на вибір дуже впливають геометричні особливості (наприклад, наявність ливарних чи штампувальних ухилів) базових поверхонь і розташування їх за відношенням одне до одного. Усі зазначені геометричні параметри заготовки містить її тривимірна модель, тому застосування твердотельного моделювання дозволяє розв'язати задачу автоматичного вибору схем базування, виходячи з геометричних особливостей заготовки. Основним критерієм вибору схем базування є умова точності, що пов'язує допуск на виконаний розмір і погрішність базування заготовки в пристосуванні. При автоматизації цього етапу важливою є можливість автоматичного введення розмірних характеристик заготовки (допуски на виконані розміри, розміри базових поверхонь, і розмірів, що визначають розташування баз відносно одна до одної), необхідних для розрахунку погрішності базування для всіх виконуваних розмірів. Найкращий розв'язок цієї задачі -- автоматичне зчитування даних із параметризованої твердотельної моделі заготовки.

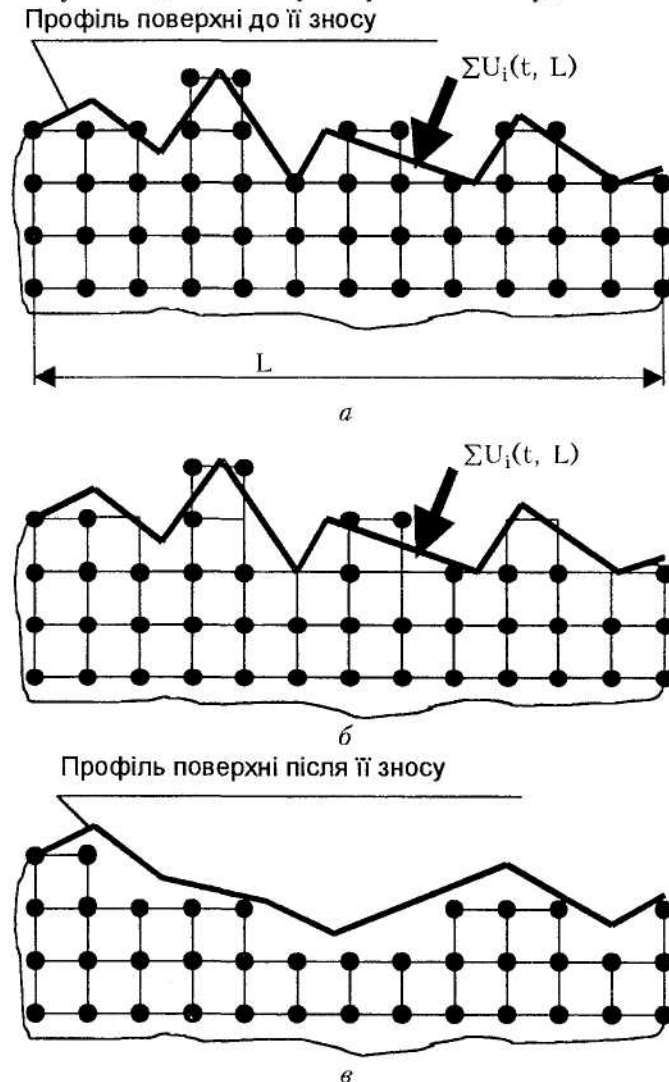


Рис. 2. Схема зносу поверхні

Конструктивна реалізація обраної схеми базування містить у собі вибір місць розташування настановних елементів, визначення їхньої конструкції і розмірів, при цьому проводиться розрахунок реакцій опор, величини пластичних і пружних деформацій в зоні контакту

настановного елемента і заготовки, розмірного зносу опор. Для розрахунку значень реакцій опор необхідно призначити схему закріплення, що включає розташування настановних елементів, крапки додатка і напрямки сил затиску і сил різання. Уведення конструктором таких даних у діалоговому чи режимі з плоского креслення є довгою і складною задачею, тому використання тривимірної моделі орієнтації заготовки в пристосуванні дозволяє користувачу швидко призначити схему закріплення, а автоматизованій системі – автоматично одержати необхідні зведення для розрахунку сил затиску і реакцій опор. При виборі настановного елемента, відповідно до стандартів, дуже впливає площа контакту настановного елемента і заготовки, при цьому аналіз контакту тривимірних настановних елементів і заготовки дуже корисний, тому що дозволяє розрахувати реальну площу контакту, що не збігається з площею поверхні контакту настановного елемента. Це викликано тим, що на практиці (для зручності установки заготовки), настановний елемент може виходити за межі базової поверхні (рис. 3).

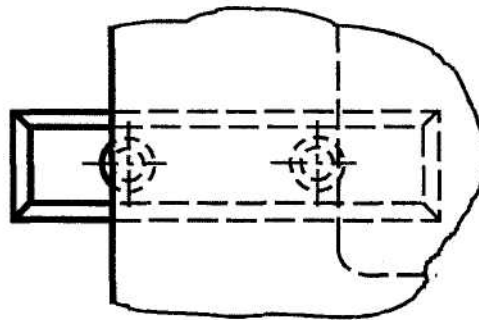


Рис. 3. Установка заготовки на пластину

За спроектованою твердотельною моделлю пристосування генерується складальне креслення, креслення деталей і специфікації. Генерація видів, розрізів, перетинів, розмірів і специфікацій проводиться автоматично з твердотельної моделі. Наприклад, при генерації виду конструктора потрібно вказати тип виду (головний, зверху, фронтальний, ізометрія тощо), для формування чи розрізу перетину – лінію розрізу тощо.

Найбільш ефективно системи CAD можуть бути використані для формування і використання документообігу в конструкторсько-технологічних відділах. Весь комплект креслень виробів може бути представлений у вигляді електронної твердотельної моделі, що деталізується на необхідну кількість робочих креслень, що відображаються на екрані дисплея відповідно до вимог ЕСКД. Це дозволяє швидко і якісно обробляти конструкторсько-технологічну документацію, а також здійснювати реалізацію ідеї про формування єдиної базової системи документообігу на виробництві й у галузі.

Проектування твердих моделей пристосувань дозволяє зменшити цикл оснащення виробництва цими пристосуваннями в 1,5...4 рази. Так проектування багатомісного пристосування, представленого на рис. 4, з розробкою необхідної конструкторської документації при використанні CAD-системи (Cimatron) зменшило час проектних конструкторсько-технологічних робіт більш, ніж у два рази при скороченні трудових і матеріальних витрат на одиницю продукції, що випускається.

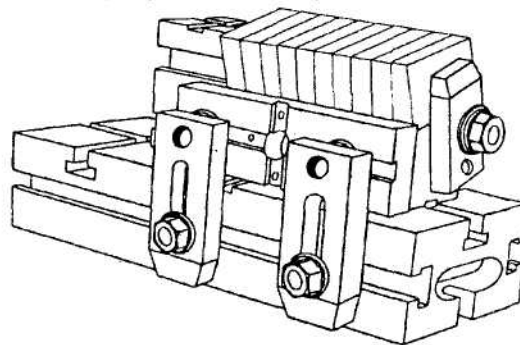


Рис. 4. Багатомісне пристосування для фрезерування заготовки

З використанням подібних систем можуть бути вирішені такі широкі виробничі і наукові задачі як створення прогресивного технологічного оснащення на основі розробки додаткових спеціалізованих інженерних додатків до відкритих САД-систем.

Цілковито інтегровані в систему САД додатки користувача мають прямий доступ до усіх функцій даної системи за створенням, геометричного і фізико-хімічного аналізу твердотельних моделей деталей і зборок, а також формування конструкторської і технологічної документації. Ці додатки дозволяють автоматично вирішувати ті задачі, що радикально впливають на якість проектного пристосування, але не можуть бути вирішені стандартними модулями систем САД. Серед цих задач можна виділити: визначення раціональної схеми базування і закріплення; вибір настановних і затискних елементів; розрахунок необхідної сили закріплення; задачі побудови оптимальної конфігурації виробу і процесів зборки, забезпечення заданої якості проектного об'єкта тощо.

Застосування твердотельного моделювання дозволяє за моделлю деталі спроектувати необхідні верстатні пристосування, одержати керуючі програми для обробки на верстатах із ЧПУ проєктованих виробів, автоматично сформувати креслення оснащення, специфікації і відомості покупних допоміжних деталей. Раціональне використання таких технологій є базою розвитку науково-технічної культури автоматизованого конструювання різних об'єктів.

ІЛЬЦЬКИЙ Валерій Борисович – доктор технічних наук, професор, проректор Брянського державного технічного університету (Росія).

Наукові інтереси:

- вдосконалення теорії та автоматизації проєктування технологічної оснастки.

ЄРОХІН Віктор Вікторович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Технологія машинобудування» Брянського державного технічного університету (Росія).

Наукові інтереси:

- аналіз впливу динамічних процесів металорізальних верстатів на формоутворення поверхонь, з елементами розрахунків конструктивних параметрів технологічного оснащення;
- розробка і проєктування технологічної оснастки.

ВДОВІН Олександр Вікторович – аспірант кафедри «Технологія машинобудування» Брянського державного технічного університету (Росія).

Наукові інтереси:

- автоматизація вибору схем базування заготовель у верстатних пристосуваннях та їхній конструктивній реалізації;
- розробка і проєктування технологічної оснастки.

Подано 14.04.2001