

НОВА КОНЦЕПЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ПРОГРАМ ДЛЯ ВЕРСТАТИВ З ЧПУ

Петраков Ю.В. (НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна)
Факс: +38 (044) 4068106; E-mail: yp-86@yandex.ru

Анотація. В статті представлена нова концепція побудови інтегрованих CAD/CAM систем, що полягає, паралельно з існуючою традиційною структурою, застосування спеціальних модулів, які забезпечують автоматичне призначення оптимальних режимів різання. При проектуванні моделі деталі і заготовки в CAD системі застосовується модуль, який забезпечує перетворення моделі у цифрові масиви. При використанні CAM системи підключається модуль, що виконує моделювання процесу зрізування припуску і автоматично формує закон управління режимом різання. Крім того, якщо геометрична траєкторія формоутворення, яка була спроектована у САМ системі, має ділянки холостого руху, вони корегуються, виходячи з мінімізації динамічних навантажень на приводи верстату та технологічну обробляючу систему в цілому

Ключові слова: інтегрована CAD/CAM система, верстати з ЧПК, моделювання, управління режимом різання

1. Вступ

Поява верстатів з ЧПУ зобов'язана технічним вимогам у різних областях машинобудування, пов'язаним з необхідністю застосування деталей зі складними поверхнями, виготовлення яких на звичайному верстатному обладнанні або неможливе, або надзвичайно ускладнене. Основна перевага верстатів з ЧПУ – можливість реалізовувати будь-які складні відносні рухи формоутворення інструменту і деталі.

Для підготовки управляючих програм верстатів з ЧПУ використовувались так звані розрахунково-технологічні карти, тобто проектування програм відбувалося у «ручному» режимі. Основним носієм програмної інформації були перфоровані стрічки. Поступово верстатне обладнання з ЧПУ, комп'ютерні системи і приводи удосконалювались, забезпечуючи нові можливості управління процесами оброблення, відповідно ускладнювались задачі формоутворення, розширювалася номенклатура деталей, збільшувалася складність їх геометричних форм. Така тенденція приводила до стрімкого збільшення обсягу інформації управляючих програм, що при записі на перфострічки утворювало значні труднощі. Часткове вирішення цієї проблеми полягало у застосуванні спеціальних циклів, де одним рядком можна було записати досить складні траєкторії формоутворюючих рухів. Проте, скорочення інформації привело до втрати можливості управляти режимом різання всередині циклу, хоча деякі можливості залишилися, наприклад, постійна швидкість різання при зміні діаметру обробки ступінчастої деталі на токарному верстаті. Однак, такий підхід не можна віднести до повноцінного управління режимом різання, особливо якщо мова іде про його оптимізацію.

Суттєве ускладнення завдань обробки на верстатах з ЧПУ привело до появи спеціальних комп'ютерних систем САМ (Computer Aided Manufacturing). Першими розробниками таких систем були програмісти і фахівці з нарисної геометрії, тому що головним завданням було забезпечення автоматизації проектування траєкторій формоутворюючих рухів, тобто відтворення форми деталі, отриманої з CAD системи (Computer Aided Design). Зовсім не бралось до уваги, що таке відтворення завжди відбувається в пружній технологічній обробляючій системі (ТОС) з певними швидкостями руху. Призначення режиму різання (швидкості, глибини різання і подачі) повністю віддано на розсуд технолога-програміста не зважаючи на очевидну квазістаціонарність умов різання за формоутворюючою траєкторією. Традиційно збереглася тенденція до скоро-

чення кількості інформації у програмі, застосування циклів обробки, які вже називалися «стратегіями».

Таким чином, не зважаючи на появу нових засобів проектування управляючих програм, нових носіїв інформації у вигляді flash-пам'яті, потужних комп'ютерів у верстатних системах ЧПУ, основні підходи до проектування програм залишилися незмінними. В нових умовах практично необмежених можливостей за кількістю інформації в управляючій програмі, розвитку досліджень процесу різання в замкненій ТОС такий стан речей стає анахронізмом, що стримує повне використання функціональних можливостей сучасного металообробного обладнання з ЧПУ.

Слід зауважити, що проектування управляючих програм з використанням циклів широко застосовується виробниками металообробного обладнання з ЧПУ і надається в інструкціях оператора-програміста. Проте, відмова від використання для технологічної підготовки САМ систем завжди приводить до суттєвих обмежень, бо цикли, що пропонуються, охоплюють обмежену кількість простих траєкторій.

Таким чином, подальший розвиток автоматизації програмування верстатів з ЧПУ має відбуватися у напрямі широкого застосування інтегрованих CAD/CAM систем, а їх алгоритми мають проектувати не тільки відтворення форми деталі, а й розраховувати режим різання, урахуваючи змінні умови зрізування припуску з заготовки, наявність пружної системи ТОС і у кращому випадку оптимізувати весь процес виготовлення деталі.

2. Основний зміст і результати роботи

Процес підготовки управляючих програм для верстатів з ЧПК за допомогою більшості інтегрованих CAD/CAM-систем полягає в поетапному виконанні процедур, що представлені на рис.1. Першим етапом технологічної підготовки є проектування креслення деталі і (в більшості систем) заготовки. Таке проектування в інтегрованих системах відбувається всередині і закінчується створенням файлу, що містить повний опис даних про геометрію деталі, використовуючи внутрішній формат баз даних CAD/CAM-системи. Якщо файл креслення деталі імпортується з іншої CAD-системи, то використовуються спеціальні програми-транслятори [1].

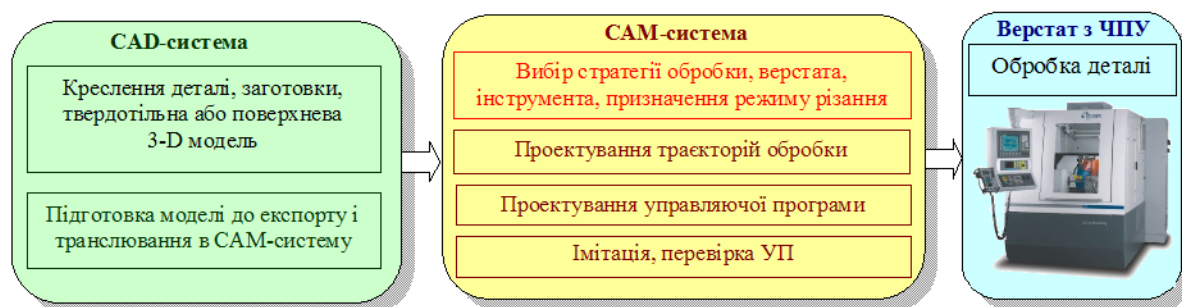


Рис.1. Структура інтегрованої CAD/CAM системи

Далі файл геометричної інформації передається в САМ-систему, де і виконується автоматизоване проектування управляючої програми. Тут багато важливих етапів віддано на розсуд технолога-програміста. З запропонованого меню він *обирає* стратегію виконання траєкторій формоутворюючих рухів, що має бути пов'язана з обраною системою координат відповідного верстату, *обирає* інструмент, його геометрію і *призначає* режим різання. Такі важливі для майбутнього процесу параметри обираються з власного досвіду, довідників або, в найкращому випадку, рекомендацій фірми-виробника інструменту.

Слід зауважити, що деякі фірми вбудовують функцію підказок при призначенні режиму різання, називаючи таку опцію «автоматичним призначенням оптимального режиму різання» [2]. Проте аналіз такої опції показує, що знов-таки йдеться всього лише про режим, який рекомендований виробником інструменту і ніякої оптимізації не відбувається. Єдине, що відбувається в САМ-системі насправді автоматично – це проектування траєкторій формоутворюючих рухів, хоча і у відповідності до обраних «вручну» стратегій, координат, інструменту тощо. Далі, за обраним постпроцесором верстату з ЧПК відбувається автоматична генерація управляючої програми у відповідних кодах, наприклад, у G-кодах.

В сучасних САМ-системах набуває постійного розвитку модуль імітації функціонування вже створеної програми з її верифікацією. Технолог-програміст під час імітації може повертати деталь на екрані дисплея, щоб наочно перевірити траєкторію руху з будь-якої сторони деталі, відсутність грубих колізій, що, як стверджується [1,2] усуває потребу в пробних прогонах управляючої програми на верстаті (dry runs on the NC machine).

Головним недоліком розглянутої структури інтегрованих CAD/CAM систем є повне ігнорування процесу різання, в результаті якого і створюється деталь. Відсутність модулів автоматичного призначення режиму різання викликає значне збільшення витрат і часу на технологічну підготовку виробництва, зменшується продуктивність верстата з ЧПУ, а для забезпечення необхідної якості обробки, як правило, застосовується метод «проб і помилок».

Накопичений досвід кафедри технології машинобудування НТУУ «КПІ» в царині управління процесами різання на верстатах з ЧПУ, дозволяє запропонувати нову концепцію створення інтегрованих CAD/CAM систем, яка вирішує позначену вище проблему і легко вбудовується в існуючу структуру (рис.2).

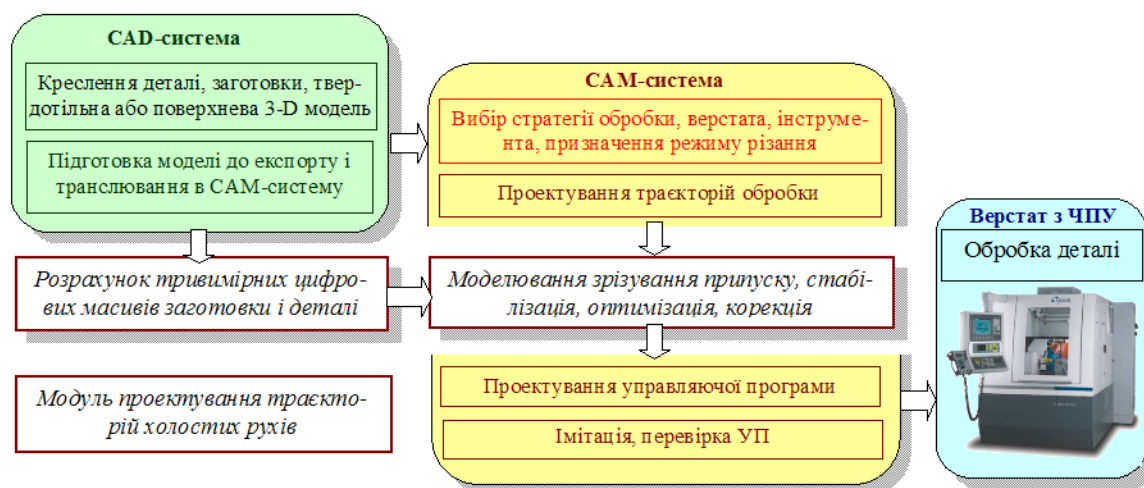


Рис.2. Нова структура інтегрованих CAD/CAM систем

Відомо, що процес формоутворення на будь-якому верстаті завжди виконується в пружній технологічній обробляючій системі (ТОС), на яку впливають різноманітні збурення, що заважають досягненню мети управління [3]. Запропонована концепція полягає в тому, що на етапі проектування технологічної операції по наявній моделі процесу можуть бути визначені більшість детермінованих збурень, або хоч б найбільш

сильні з них. Далі, при виборі управлінь, якими найчастіше є параметри режиму різання, застосовують два принципово різних підходи.

Перший передбачає вибір постійних значень параметрів режиму, які призначають виходячи з того, щоб при якнайгіршому поєднанні збурень отримати придатну деталь. Другий підхід полягає в безперервному управлінні режимами відповідно до відомих принципів автоматичного регулювання. Перший підхід в даний час можна сміливо вважати анахронізмом, хоча саме він і використовується в сучасних САМ-системах.

Отже, перший підхід, який найчастіше застосовувався на практиці завдяки своїй простоті, приводить до вельми істотних втрат продуктивності обробки. Причому втрати будуть тим більше, чим більше діапазон коливання збурень і чим сильніше їх вплив на технологічну систему. Наприклад, при обробці складних поверхонь деталей, які характеризуються зміною умов обробки за формоутворюючою траєкторією в десятки разів, ці втрати досягають 200-300% основного часу. Тому, при виборі параметрів режиму різання, разом із завданням оптимізації всього процесу, необхідно вирішувати задачу компенсації або стабілізації збурень, які діють на систему, що дозволить максимально наблизити процес до стаціонарного. Таким чином, ці два завдання взаємозв'язані, оскільки збурення значною мірою визначають обмеження області можливих значень управлінь, а також закони або алгоритми управління.

Для ілюстрації висунутих положень була створена прикладна програма, в якій вирішуються всі зазначені вище завдання з управління процесом різання при фрезеруванні 2D контуру деталі у відповідності з структурою на рис.2. На рис.3 представлений інтерфейс прикладної програми де зліва розташовані вікна з вихідними даними, кнопками управління, а справа – графічне вікно анімації процесу моделювання зрізування припуску і осцилограф з графіками бажаних характеристик процесу. Моделюється процес фрезерування контуру деталі 1 із заготовки 2 циліндричною фрезою 3. В САД частині були сформовані двомірні цифрові масиви контурів деталі і заготовки, а також розрахована еквідистанта – формоутворююча траєкторія 4. Тобто були вирішені завдання, передбачені новою структурою САД частини рис.2. На рис.3 показаний проміжний стан інтерфейсу, коли процес моделювання був призупинений.

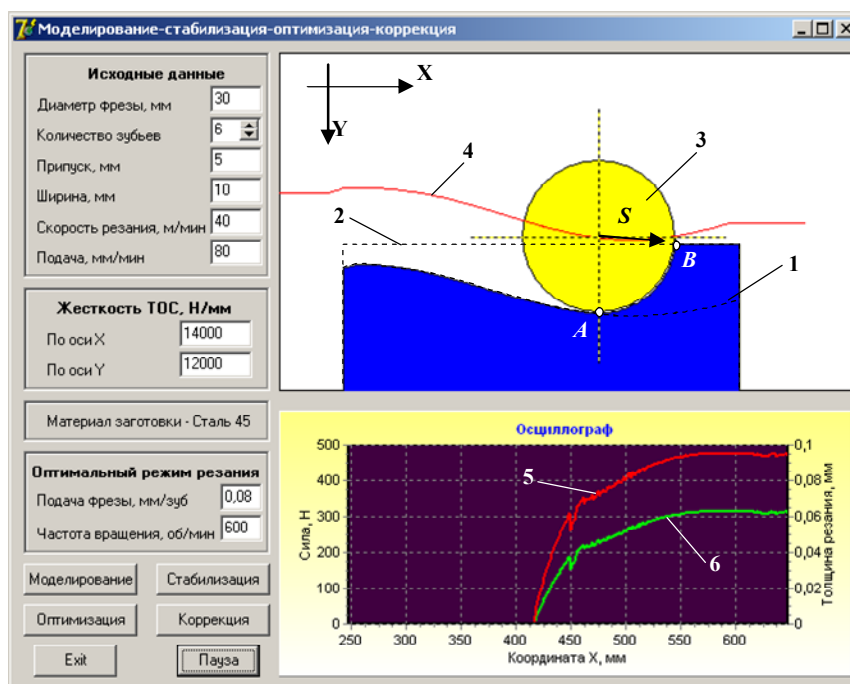


Рис.3. Интерфейс прикладной программы

В програмі застосована чисельна процедура визначення дуги AB контакту інструменту з заготовкою, яка дозволяє, на базі відомих з теорії різання залежностей визначити вектор окружної сили різання і товщину різання одним зубом фрези. Оскільки процес фрезерування є нестационарним, то визначаються максимальні величини цих параметрів. На екран осцилографа виводяться графіки залежностей максимальних величин окружної сили різання (лінія 5) та товщини різання зубом фрези (лінія 6) в процесі моделювання.

По закінченню етапу моделювання з'являється його повна характеристика, що представлена на рис.4, а: окружна сила різання – лінія 1, товщина ару припуску, що зрізується одним зубом фрези – лінія 2. Видно, що процес є квазістационарним, сила різання змінюється в широкому діапазоні і це обов'язково приведе до істотної зміни властивостей обробленої поверхні за її довжиною (точність, шорсткість, фізико-механічні властивості поверхневого шару тощо). Очевидно, що постійне значення подачі за еквідистантою, що забезпечується відомими САМ системами, на може вирішити задачу інтенсифікації виробництва.

Оскільки інтенсивність зрізування припуску залежить в основному подачі за еквідистантою центру інструменту, з'являється можливість стабілізувати процес за рахунок управління цією подачею. Передбачуваний закон управління подачею за еквідистантою розраховується в програмі автоматично при натисканні кнопки «Стабілізація» на інтерфейсі (дивись рис.3). На рис.4, б показаний графік такого закону управління (лінія 3), він забезпечує стабільну силу різання (лінія 4) на протязі обробки всього контуру. Такий закон управління впливає з умови максимального наближення умов контурної обробки до умов обробки поверхні постійної кривизни. В результаті інтенсивність зрізування припуску на всіх ділянках контуру буде однаковою.

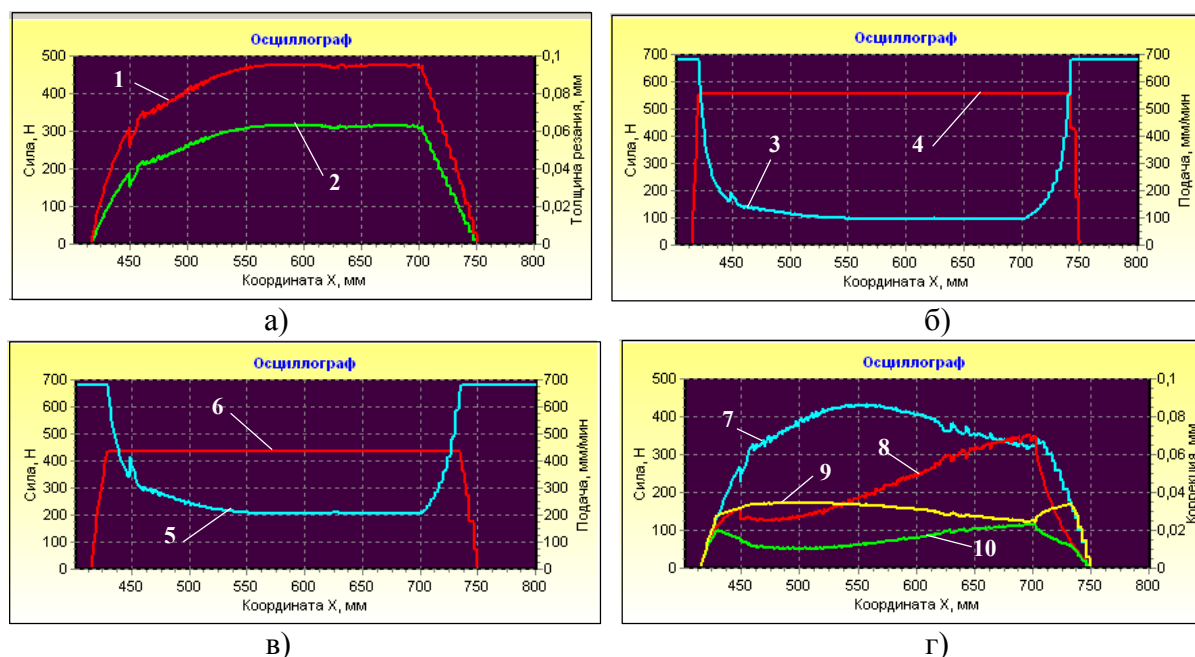


Рис.4. Результати моделювання

Тепер настає черга виконання головної мети управління: мінімізувати час обробки. Тут, безумовно, повинне вирішуватися завдання оптимізації, бажано в такому формулюванні, яке дозволяє вважати її однокритеріальною. Наприклад: вибрати такий рівень зміни подачі за еквідистантою (тобто її «середню» величину) і швидкості різання

(частоти обертання фрези), щоб при максимальній продуктивності задовольнялися всі умови точності і якості обробленої поверхні. Така задача має вирішуватись окремим модулем оптимізації, який побудований за принципами, що викладені в роботі [4]. Оптимальна величина «середньої» подачі визначається при вирішенні стандартної задачі нелінійного програмування як для поверхні постійної кривизни. У вікна інтерфейсу на рис.3 були введені отримані з вирішення задачі оптимізації величини «Подача фрези 0,08 мм/об» і «Частота вращения 600 об/мин» та активізована процедура оптимізації. На рис.4, в показаний розрахований закон оптимального управління подачею за еквідистантою (лінія 5) та графік зміни сили різання при такому управлінні (лінія 6).

Проте таке управління хоча і приводить до вирівнювання умов різання по контуру і оптимізації процесу за прийнятим критерієм (мінімальний час обробки), але не може стабілізувати вектор сили різання при обробці складних поверхонь з причини зміни його напрямку на різних ділянках контуру. Отже, взагалі не слід чекати стабілізації складових P_x і сили різання і пружних деформацій, викликаних ними. На рис.4, г показані графіки зміни складових сили різання (лінія 7 - P_x , лінія 8 - P_y , а також деформація ТОС за віссю X –лінія 9, деформація ТОС за віссю Y –лінія 10). На формування похибки обробки, яка вимірюється по нормалі до контуру, ці пружні деформації впливають по-різному. Все це приводить до необхідності вводити третю дію, що управляє, у вигляді корекції траєкторії руху центру інструменту, яка вже не буде еквідистантою.

Слід відмітити, що не для всіх процесів різання всі перераховані пункти обов'язкові до виконання. Наприклад, для умов розглянутого прикладу, в залежності від вимог до точності, можна не виконувати корекцію траєкторії формоутворення. Проте, можна з упевненістю стверджувати, що два перших пункти обов'язкові завжди.

Для траєкторій багатопрохідної обробки складних поверхонь, де частина траєкторії виконується на холостому ході, обов'язковим є використання методів проектування, що були розглянуті в роботі [5]. Модуль проектування траєкторій холостого руху (дивись рис.2) забезпечує мінімізацію динамічних навантажень на приводи верстата з ЧПК.

Висновки

1. Нова концепція автоматизованої підготовки програм для верстатів з ЧПК полягає в автоматичному проектуванні управлінь, що забезпечують послідовне вирішення наступних завдань: стабілізація, оптимізація, корекція і має реалізовуватись у запропонованій структурі інтегрованих CAD/CAM систем.
2. Основним модулем нової структури є модуль моделювання процесу зрізування припуску, для функціонування якого моделі заготовки і деталі, спроектовані в CAD частині, повинні бути представлені у вигляді двомірних або тримірних цифрових масивів відповідно для 2D чи 3D поверхонь.
3. Всі процедури розроблених додаткових модулів нової структури CAD/CAM системи пройшли тестування і підтвердили адекватність і надійність функціонування. Практичне застосування їх для програмування обробки деяких деталей на верстатах з ЧПК підтвердили високу ефективність.
4. Автор навмисно не обтяжував статтю складними математичними моделями, які безумовно присутні в алгоритмах прикладних програм, щоб довести сутність нової концепції і запросити колег до співпраці в напрямку створення інтегрованих CAD/CAM систем нового покоління.

Список літератури: 1. Bryan Diehl. CAD/CAM a la Carte: A modular approach to choosing machining software / CNC Machining Magazine, Vol.5, №16, 2001. 2. CAM-система FeatureCAM 2011: возможности новой версии / Ж. САПР и графика № 10, 2010.-с.44-48. 3. Петраков Ю.В. Пути развития интегрированных CAD/CAM-систем в

машиностроении / 36. Сучасні технології в машинобудуванні. Вип.3, ХНТУ «ХП», Харків, 2009.-с.160-167. 4. Петраков Ю.В., Драчев О.И. Моделирование процессов резания. –ТНТ, Старый Оскол, 2011.-240 с. 5. Петраков Ю.В. Урахування динамічних характеристик формоутворюючих рухів при проектуванні програми управління для верстатів з ЧПУ / Вісник ЖДТУ, Вип.5, том 2, Житомир, 2007.-с.142-150.

NEW CONCEPTION OF THE AUTOMATED PLANNING THE PROGRAMS FOR MACHINE-TOOLS WITH CNC

Petrakov Y.V. (NTUU “KPI”, Kiev, Ukraine)

Abstract: New conception of construction of the computer-integrated CAD/CAM systems is presented in the article. This conception consists in used, parallel with an existent traditional structure, the special modules, providing the automatic setting of the optimum modes of cutting. At planning of model of detail and work piece in CAD module, providing transformation of model to the digital arrays, is used the system. At the use of CAM system the module, executing the simulation of process of removal of allowance and automatic forming of law of control the cutting mode, is connected. In addition, if the geometrical trajectory of forming, projected in to the system, has areas of idling, they are corrected, coming from minimization of the dynamic loadings on lead machine-tool and technological processing system on the whole

Keywords: computer-integrated CAD/CAM system, machine-tools with CNC, design, control the cutting mode

НОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОГРАММ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ

Петраков Ю.В. (НТУУ “КПИ”, Киев, Украина)

Аннотация. В статье представлена новая концепция построения интегрированных CAD/CAM систем, которая состоит в том, что, параллельно с существующей традиционной структурой, используются специальные модули, обеспечивающие автоматическое назначение оптимальных режимов резания. При проектировании модели детали и заготовки в САД системе применяется модуль, обеспечивающий преобразование модели в цифровые массивы. При использовании САМ системы подключается модуль, выполняющий моделирование процесса срезания припуска и автоматическое формирование закона управления режимом резания. Кроме того, если геометрическая траектория формообразования, спроектированная в САМ системе, имеет участки холостого хода, они корректируются, исходя из минимизации динамических нагрузок на приводы станка и технологическую обрабатывающую систему в целом

Ключевые слова: интегрированная CAD/CAM система, станки с ЧПК, моделирование, управление режимом резания

Надійшла до редколегії 20.06.2011 р.