

62/449/063  
М 38  
Міністерство освіти і науки України  
Державний комітет молодіжної політики,  
спорту та туризму України  
Сумська обласна державна адміністрація

Донбаська державна машинобудівна академія  
Житомирський державний технологічний університет  
Запорізький національний технічний університет  
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М.Бакуля  
НАН України  
Кримський державний  
індустріально-педагогічний інститут  
Луцький державний технічний університет  
Національна металургійна академія України  
Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут”  
Національний технічний університет України  
“Харківський політехнічний інститут”  
Сумський державний університет  
Сумський національний аграрний університет  
Хмельницький національний університет

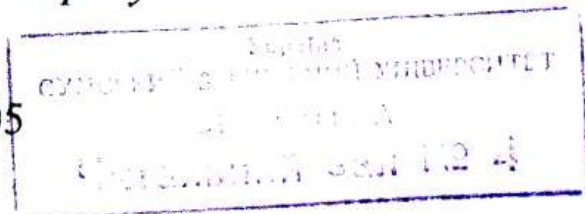
## ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ

*П'ятої Всеукраїнської молодіжної  
науково-технічної конференції*

**“МАШИНОБУДУВАННЯ УКРАЇНИ ОЧИМА МОЛОДИХ:  
прогресивні ідеї – наука – виробництво”**

26 -29 жовтня 2005 року

Суми – 2005



414556

Тези доповідей П'ятої Всеукраїнської науково-технічної конференції "Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво". – Суми: СумДУ, 2005. – 107 с.

Збірник містить тези доповідей молодих вчених-машинобудівників України, присвячені проблемам технології машинобудування, теоретичним та експериментальним дослідженням процесів механічної обробки, удосконаленню різально-го інструменту та верстатів.

Тези доповідей становлять інтерес для студентів, аспірантів, наукових та інженерно-технічних робітників машинобудівного профілю.



# **ВИЗУАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ ИЗНОШЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ТРЕНИИ В СРЕДЕ СОТС**

А.И.Алиев,

Крымский государственный инженерно-педагогический университет, Симферополь

Процесс механической обработки материалов неизбежно сопровождается износом режущего инструмента. При этом на операциях, протекающих с малыми скоростями резания, основной причиной изнашивания становятся явления адгезии, наиболее выраженные в данных условиях. Кроме того, эти же явления приводят к ухудшению качества обработанной поверхности.

Результаты предшествующих экспериментов по определению влияния смазочно-охлаждающих технологических средств растительной природы на адгезионные характеристики процесса трения в паре трения обрабатываемый материал – быстрорежущая сталь показали эффективность их применения по отношению к минеральному маслу и сухому трению.

Наиболее интересным представляется эффект увеличения прочности адгезионных связей на срез по отношению к сухому трению в паре титановый сплав ВТ1-0 – быстрорежущая сталь Р6М5К5 при использовании в качестве смазочной среды масла И-20. Этот эффект напрямую связан с высокой склонностью титана и его сплавов к контактному схватыванию при трении, что создает известные трудности при обработке резанием.

Описанные эффекты обусловили необходимость анализа изношенной поверхности с целью выявления образовавшихся вторичных структур. Анализ осуществлялся при помощи микроскопа-микροанализатора "CamScan-4DV" с использованием мето-

дов растровой электронной микроскопии и рентгеноспектрального анализа.

Визуальный контроль лунок износа образованных в ходе проведения экспериментов на трибометре позволяет дать предварительную оценку эффективности растительного масла. Поверхность лунки имеет меньше задиров и соответственно сама лунка меньше в диаметре по отношению к сухому трению и трению в минеральном масле для рассматриваемых материалов (сталь 45, сталь 9Х18Н10Т и ВТ1-0).

Повышенный износ при использовании минерального масла И-20 при трении по титановому сплаву ВТ1-0 характеризуется значительным наволакиванием металла и заметным увеличением диаметра лунки.

Проведенный рентгеноспектральный анализ поверхности налипов, образованных на инденторе в среде разных СОТС, позволил получить картины распределения кислорода, азота и углерода.

Судя по ним эффект роста силы трения от использования минерального масла можно связать с меньшим содержанием в продуктах износа азота и кислорода, упрочняющее действие которых известно.

Таким образом, на операциях механической обработки титана, протекающими в условиях повышенной адгезии (зенкерование, развертывание, резбонарезание и др.), наиболее целесообразным представляется применение СОТС на растительной основе.



# ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ РАЗРУШЕНИЙ ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННЫХ РЕЗЦОВ

А.Ю. Андронов, Н.А. Ткаченко,  
Донбасская государственная машиностроительная академия,  
Краматорск

Новые конструкции резцов и неперетачиваемые пластины для тяжелого точения дают возможность использовать повышенные режимы резания. Затраты на пластины повышаются в несколько раз. В связи с этим проблема учета расхода инструментов для чернового точения становится еще более важной при бизнес-планировании и расчете экономической эффективности цеха и предприятия в целом.

Существующие нормы расхода твердосплавных резцов разработаны исходя из норм стачивания пластин при их износе. Опыт эксплуатации инструментов на тяжелых станках позволил убедиться в необходимости учета разрушений инструмента при определении его расхода.

Для определения характера разрушений произведен анализ эксплуатируемых резцов на тяжелых станках в условиях заводов Украины на которых установлены станки такого типа. Установлено, что подавляющее число резцов в производственных условиях списывается не в результате полного износа, а вследствие поломок, характер которых аналогичен поломкам при определении разрушающих подач в лабораторных условиях.

Исследование размера пластин списанных резцов показывает, что большинство проходных резцов выходят из строя при достаточно большой ширине режущей пластины.

Если согласно действующим нормативам принять допустимую величину стачивания, равной 0,6-0,7 от размера пластины, то получим, что полного износа достигает 3% резцов 25x25, 2% резцов 40x40 и 0% резцов 40x60.

Все рассмотренные типы и размеры черновых резцов списываются в подавляющем большинстве случаев из-за поломок режущей части. Однако, резцы меньших размеров и резцы, работающие в лучших условиях, используются несколько лучше и выдерживают большее число переточек. Наибольшее количество крупных проходных резцов разрушается без переточек или с минимальным их числом.

Число заточек не зависит от схемы и величины стачивания при переточках, а практически определяется только вероятностью поломок резцов.

В результате анализа влияющих факторов на вероятность разрушения пластин на тяжелых станках спрограммирована искусственная нейронная сеть, которая дает возможность прогнозировать вероятность разрушения тяжело нагруженных резцов для станков разных типоразмеров.

Нейронная сеть служит аппроксиматором многомерной функции

$$P_{(n)} = f(C, \sigma_B, t, D_C),$$

где  $P_{(n)}$  – вероятность разрушения,  $\sigma_B$  – предел прочности на растяжение обрабатываемого материала, МПа,  $t$  – глубина резания, мм,  $D_C$  – размерный параметр станка, мм,  $C$  – комплексная постоянная, зависящая от условий обработки и параметров инструмента.



# ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АЛМАЗНОГО КРУГА НА КЕРАМИЧЕСКОЙ СВЯЗКЕ

В. И. Аносов, асп.

Национальный технический университет «ХПИ», м. Харьков

Примененная к процессу спекания алмазоносного слоя шлифовального круга методика 3D моделирования его напряженно-деформированного состояния позволила проанализировать НДС системы «алмазное зерно—связка» в зависимости от технологических режимов спекания, вида связки, марки связки, концентрации и зернистости алмазных зерен. При этом были выявлены следующие тенденции увеличения степени повреждения зерен: с уменьшением прочности алмазных зерен; с ростом их зернистости; с ростом концентрации зерен; с увеличением прочности связки; с увеличением температуры спекания.

## ВПЛИВ ЗНОСОСТІЙКОГО ПОКРИТТЯ НА СТАН РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

<sup>1</sup>В.С.Антонюк, к.т.н., доц., <sup>2</sup>О.Б.Сорока, к.т.н., с.н.с.

<sup>1</sup>Національний технічний університет України «КПІ», Київ

<sup>2</sup>Інститут проблем міцності ім. Г.С.Писаренка НАН України, Київ

Серед шляхів підвищення стійкості різального інструменту широкого поширення набуває застосування зносостійких покриттів. Їх використання призводить до збільшення твердості поверхні інструменту, зниження коефіцієнту тертя та зміни механізму зношування. При модифікації поверхні шляхом нанесення покриття необхідно врахувати вплив на напружено-деформований стан інструменту реальних умов експлуатації.



Для різального інструменту широке застосування знаходять покриття на основі нітриду титану з використанням вакуум-плазмових технологій. Найбільш поширеними є вакуум-плазмові покриття  $TiN$ ,  $(Ti,Al)N$  та  $Ti(C,N)$  товщиною  $2...12 \times 10^{-6}$  м, які можна формувати за допомогою устаткування ННВ-6,6-И1 типу "Булат".

Для вивчення впливу вакуум-плазмових покриттів на напружено-деформований стан різального інструменту з покриттями використовували метод скінченних елементів. При цьому аналізували стан відрізного різця з ВК8 при обробці сталі 40Х. Силові навантаження визначались об'ємними контактними навантаженнями, що діють на передній та задній поверхнях. Для аналізу розглядалась твердотільна модель робочої частини різця, яку розбивали на скінченні елементи.

Проведені розрахунки дозволили отримати розподіл напружень в різальному інструменті без покриття, з суцільним та покриттям дискретного типу з одношаровим покриттям  $TiN$  товщиною 8 мкм при силовому контактному та дотичному навантаженні. На основі отриманих результатів побудовано залежності еквівалентних напружень та їх окремих компонентів.

Отримані результатів показали:

Формування суцільного зміцнюючого покриття викликає перерозподіл еквівалентних напружень по глибині основи порівняно з напруженнями, які виникають в різальному інструменті без покриття. При нанесенні суцільного покриття саме воно сприймає на себе навантаження. Еквівалентні та дотичні напруження в інструменті з суцільним покриттям зменшуються порівняно з напруженнями в основі без покриття.



Нанесення зміцнюючого покриття викликає зміну напруженого стану на поверхні різального інструменту. Застосування дискретних покриттів характеризується зростанням еквівалентних напружень на поверхні дискретних ділянок. При цьому, ділянки різального інструменту, вільні від дискретного покриття, виявляються розвантаженими.

Для інструменту з покриттям дискретного типу значення напружень знаходяться між величинами напружень для основи без покриття та з суцільним покриттям. Максимум напружень в результаті впливу дотичних сил наближається з глибини до поверхні адгезійного контакту, але досягається на глибині, яка значно перевищує товщину захисного покриття, що дозволяє збільшити товщину покриття.

Таким чином, аналіз розподілу напружень в різальному інструменті з зносостійкими покриттями дозволяє зробити висновок щодо позитивного впливу покриття на працездатність інструменту.

## **ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ ПРОЦЕСУ ВИСОКОШВИДКІСНОГО ТОРЦЕВОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ**

М. Л. Білявський, студ.; Г. М. Виговський, к.т.н., проф.;

О. А. Громовий, к.т.н., доц.,

Житомирський державний технологічний університет, Житомир

В умовах підприємств машинобудівної галузі України одним з найбільш розповсюджених методів обробки плоских поверхонь є торцеве фрезерування, що дозволяє отримувати точні параметри поверхні та скоротити час фінішної обробки. Розвиток технологій високошвидкісного фрезерування (HSM – High Speed



Milling) відкриває нові можливості в процесі обробки металів та виготовлення деталей, що є найбільш трудомістким процесом у циклі виробництва машин. Тому вдосконалення високошвидкісної обробки деталей є однією з важливих задач.

Використання процесів високошвидкісного чистового торцевого фрезерування дозволяє підвищити продуктивності та якість обробки плоских поверхонь деталей. При використанні фрезерних верстатів для процесів високошвидкісного торцевого фрезерування виникає необхідність застосування великих частот обертання, наслідком чого є поява зон активної вібрації. Питаннями стабільності процесу високошвидкісного фрезерування присвячено ряд праць, вітчизняних та іноземних вчених. Аналіз літературних джерел показує, що не отримали достатнього висвітлення питання, пов'язані з визначенням математичних залежностей стабільності процесу високошвидкісного торцевого фрезерування, а також з управлінням стабільністю з використанням АМП. Тому метою статті стало визначення математичних залежностей, що характеризують стабільність процесу високошвидкісного торцевого фрезерування, а також дослідження методу лінійно-квадратичного управління АМП прецесійного шпинделя високошвидкісного фрезерного верстата для встановлення автоматичного балансування.

В роботі встановлені математичні залежності, що характеризують стабільність процесу різання.

Досліджено метод лінійно – квадратичного управління активними магнітними підшипниками прецесійного шпинделя високошвидкісного фрезерного верстата.



Встановлені математичні залежності, за якими можна визначити необхідні керуючі сили, керуючі моменти, що дозволяють встановити автобалансування прецесійного шпинделя високошвидкісного фрезерного верстата.

В подальших дослідженнях будуть розглянуті питання: створення адаптивного алгоритму балансування та контролю за вібраціями прецесійного шпинделя високошвидкісного фрезерного верстата, встановленого на активних магнітних підшипниках.

## **ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ КЛПАННЯ НА ОСНОВІ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ**

<sup>1</sup>О.О.Бондаренко, інж.; <sup>2</sup>Д. В. Криворучко, к.т.н., докторант,  
<sup>1</sup>НВП „НАСОСТЕХКОМПЛЕКТ”, Суми  
<sup>2</sup>Сумський державний університет, Суми

Розвиток нафтогазового комплексу України пов'язаний з впровадженням нового устаткування, яке забезпечує продуктивність праці, її надійність та безпеку. Пружно-пластинчасті муфти є одними з сучасних пристроїв для з'єднання насосних агрегатів з їх приводами. В цих муфтах передача обертаючого моменту відбувається через пакети з 5-20 пружних пластин товщиною 0.2-0.6 мм з нагартованої нержавіючої сталі. Необхідність забезпечення підвищеної надійності та малого дисбалансу муфти призводить до ускладнення вузлів приєднання пакету пружних пластин до інших деталей муфти (полумуфт та простаки). Сучасна конструкція цих вузлів передбачає стискання пакету пластин стискаючими вінтами та приєднання цього пакету до полумуфти та проставки через штифти по посадці H7/js6. Однак для муфт потужністю менш ніж 30 кВт/1000 об/хв. ця конструкція економічно не вигідна, бо має велику собівартість. Більш дешевою



альтернативою може стати з'єднання пакету пружних пластин методом кліпання, де заклепка виконує одночасно роль стискаючого елемента та елемента, що передає обертальний момент від пакету до проставки та полумуфти. Однак при цьому повинно бути забезпечено зазор між заклепкою не більше 0.01 мм та силу стискання відповідно до вимог надійності муфти.

В доповіді представлені результати оптимізації технології кліпання вищеописаного з'єднання з метою забезпечення заданих вимог. Оптимізацію виконували за допомогою імітаційного моделювання процесу кліпання методом кінцевих елементів у системі LS-DYNA. У якості цільової функції, яку необхідно було максимізувати, прийняли силу стискання пакету. Варіювали такими параметрами конструкції з'єднання та технологічного процесу: товщиною стінки заклепки, глибиною отвору в заклепці, кутом пуансону. У якості обмежень приймалися конструктивні та технологічні можливості реалізації процесу, а також величина зазору між заклепкою та пакетом пластин.

Вирішувалася осьосиметрична задача пружно-пластиного деформування системи з трьох тіл: заклепки (пружно-пластине тіло), пакету пластин з обкладками (пружне тіло), пуансону (абсолютно-жорстке тіло). Особливістю даної імітаційної моделі є те, що пакет пластин розглядається як одне тіло з еквівалентним модулем пружності, який визначали експериментально. З метою уникнення суттєвого викривлення застосовували довільну Лагранж-Ейлерову сітку. Для підвищення надійності процесу моделювання застосовували метод явного інтегрування за часом.

В результаті проведення розрахунків було встановлено товщину стінки заклепки, глибину отвору в заклепці та кут пуансону, що забезпечують максимальну залишкову силу стискання пакету пластин.



# СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИНТЕЗА МНОГОНОМЕНКЛАТУРНЫХ РОТОРНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КРЕПЕЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Е.А. Буленков, асп.,

Донецкий национальный технический университет, Донецк

Большие возможности в решении проблемы интенсификации и комплексной автоматизации производственных процессов обеспечивает применение многономенклатурных роторных систем, позволяющих автоматизировать производство недостаточно массовых изделий.

Объединение группы серийных производств позволит обеспечить достаточную загрузку многономенклатурных роторных машин.

Разработанная структурная схема многономенклатурного технологического процесса изготовления изделий на многономенклатурных роторных линиях позволила выявить восемь различных структурно-функциональных моделей обработки изделий, и предложить рациональную схему обработки, которая рассматривается в данной работе, - последовательная обработка изделий в параллельно работающих многономенклатурных рабочих позициях на многономенклатурных роторных машинах, расположенных последовательно.

Исследование особенностей перемещения изделий различных типоразмеров позволило выявить 243 варианта сочетания характеристик потоков изделий, а также наиболее рациональную структуру потока изделий с учетом характера перемещения изделий различных типоразмеров по структурным элементам.



Выявленные особенности формообразования поверхностей изделий в условиях многономенклатурных роторных машин, а также разработанные классификации, позволяют решать вопросы многообразия форм изделий и конструктивной сложности многономенклатурных роторных машин, разрабатывать маршрутные многономенклатурные технологические процессы изготовления изделий, основанные на группировании получаемых элементарных поверхностей в соответствии с классом операции и классом многономенклатурной роторной машины.

Комплексное решение вопросов конструктивной сложности многономенклатурных роторных систем заключается в выборе рациональной структуры потока изделий с последующим проектированием рациональных структурных элементов данных систем.

Применение теории маршрутизации изделий на стадии разработки многономенклатурных технологических процессов их изготовления позволяет учитывать идентичность отдельных характеристик изделий и за счет этого проектировать рациональные структуры операций, при которых в каждой многономенклатурной рабочей позиции обрабатывается наименьшее число различных по форме изделий.

Структура кинематики многономенклатурных роторных систем позволяет осуществлять обслуживание инструмента и приспособления вне зоны обработки, в результате чего увеличивается время, отводимое для их обслуживания и, как следствие, повышается их работоспособность.

Разработанная методика проектирования многономенклатурных технологических процессов изготовления изделий позволяет решать вопросы обеспечения требуемой загрузки и конструктивной сложности многономенклатурных роторных систем.



# **РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ГРАДИЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СТАЛЕЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

И.И. Вегера, м. н. с.,

ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси», Минск

В последние годы возникла потребность в разработке и получении материалов, успешно работающих на удар, износ, усталость или контактную усталость. Применение традиционных процессов термической, плазменной, лазерной или химико-термической обработки для ряда деталей не всегда эффективно. С этой целью разрабатываются комбинированные технологические процессы и оборудование, позволяющие получить на промышленных материалах такие структуры, которые в наибольшей степени отвечают условиям эксплуатации. К материалам, обладающим оптимальными свойствами при ударном или контактном воздействии, относятся функционально-градиентные. Функционально-градиентные материалы – это новый класс материалов, у которых наблюдается плавное изменение механических свойств или химического состава по глубине от поверхности. Как показали результаты исследований, материалов с градиентной структурой могут быть получены с применением высокоэнергетических методов воздействия, к которым относятся высокочастотная поверхностная или лазерная обработка, а также их всевозможные комбинации. В ходе проведенных исследований было изучено влияние режимов нагрева и охлаждения на структуру, фазовый состав и свойства деталей и листовых полуфабрикатов, изготовленных из промышленных среднеуглероди-



стых и легированных сталей. Разработаны технологические процессы и оборудование, позволяющие получить материалы с градиентной структурой обладающие повышенным сопротивлением высокоэнергетическому локальному воздействию, износу и удару, циклическим контактными нагрузкам. Так, например, была разработана принципиально новая технология и оборудование для термической обработки рессорных листов, основанная на применении индукционного нагрева под слоем масла для сложно легированных сталей. Новая технология позволяет получить высокопрочный закаленный слой толщиной до 2,5 мм. с мелкозернистой структурой и сжимающими остаточными напряжениями, что в комплексе с упрочненной сердцевиной обеспечивает высокие служебные свойства рессор. Разработан процесс упрочнения стальных защитных элементов, обеспечивающих получение градиентных трехслойных структур с поверхностно-упрочненным слоем толщиной 2-2,5 мм твердостью 58-65 HRC, промежуточным слоем, обусловленным зоной термического влияния с твердостью 47-50 HRC и вязким высокопрочным тылом с твердостью 54-56 HRC. Создана технология и опытно-экспериментальное оборудование для поверхностного упрочнения конусных поверхностей дисков машин для плющения зерна, работающих на износ и контактную усталость. Таким образом, следует отметить, что функционально-градиентные материалы и технологии их получения находят все более широкое применение в машиностроительном комплексе тем самым, улучшая технические характеристики и долговечность деталей и механизмов работающих в тяжелых условиях эксплуатации.



# ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ СИНТЕЗА РОТОРНО-МНОГОЯРУСНЫХ МАШИН ДЛЯ СБОРКИ РЕЗЬБОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

Н.В. Водолазская, к.т.н., доц.,

Донецкий национальный технический университет, Донецк

Функциональная структура автоматических систем роторного типа для сборки резьбовых изделий представляет собой совокупность технологических, транспортных, энергетических и информационных блоков, выполняющих во времени и пространстве логические алгоритмы технологических функций процесса. Сочетание вышеперечисленных блоков приводит к тому, что конструкция такой сборочной машины имеет сложную структуру подсистем и элементов, их организацию и порядок построения. Для создания общей методики конструирования компактной функционально-ориентированной структуры автоматических систем роторного типа для сборки резьбовых был использован разработанный пространственно-функциональный подход. Пространственно-функциональный подход заключается в создании множества последовательных во времени состояний множества элементов технологической сборочной системы, определенным образом располагаемых в ограниченных объемах пространства. Следовательно, обеспечение компактности разрабатываемой компоновки машины роторного типа для сборки резьбовых изделий путем комплексного применения принципов пространственной ориентации и функциональной ориентации.

В качестве основных этапов последовательности методики синтеза роторно-многоярусных машин для сборки резьбовых изделий были предложены следующие:



- рассмотрение геометрокинематических основ формирования компоновки различных РММ;
- определение числа сборочных позиций РММ;
- определение влияния конструктивных параметров РММ на режимы ее работы;
- разработка методологических принципов синтеза РММ для сборки резьбовых изделий.

После выработки последовательности решения поставленных задач на данных этапах были разработаны программа построения компоновки сборочной РММ для резьбовых изделий, математическая модель для определения количества сборочных позиций роторно-многоярусной машины для сборки резьбовых изделий и программа, которая позволяет производить альтернативные расчеты конструктивных параметров роторно-многоярусных машин. В результате:

- Установлено, что для построения пространственной компоновки РММ для сборки резьбовых соединений целесообразно использовать аппарат аффинных преобразований.
- Установлен рекомендуемый диапазон числа позиций сборочных блоков на основании изучения особенностей РММ
- Разработана динамическая модель технологической подсистемы на основании анализа динамики исследуемой РММ, позволяющая выбирать рациональные конструкторские параметры РММ.
- На основании перечисленных пунктов разработан алгоритм формирования пространственно-компактной роторно-многоярусной машины для сборки резьбовых изделий.



# АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

О.В. Волошко, асп.; С. П. Вислоух, к.т.н., доц.,  
Національний технічний університет України "КПІ" Київ

Використання ЕОМ для вирішення задач технологічного проектування висуває на перший план проблему розробки математичних моделей технологічних процесів. Важливе значення має математичне моделювання в зв'язку з сучасними тенденціями оптимізації технологічних процесів на стадії проектування. Тому виникає необхідність створення методики встановлення математичних моделей окремих параметрів процесу механічної обробки, які максимально враховують реальні умови виробництва і були б придатні для використання в САПР ТП. Однією із основних підсистем САПР ТП являється підсистема розрахунків режимів різання та нормування. Результати роботи цієї системи суттєво залежить від математичних моделей, що використовуються при розв'язанні задач. Дослідження математичних моделей доцільно виконувати на ЕОМ, що дає значний виграш у часі та коштах. У зв'язку з чим математичні моделі є більш прогресивними в порівнянні з фізичними моделями і все частіше використовуються у розробці та проектуванні технологічних процесів. Методи дослідження, узагальнення та багато інших досягнень фізичного моделювання широко використовуються і у математичному моделюванні.

Запропонована спеціальна система автоматизованого розрахунку режимів різання та нормування операцій механічної обро-



бки деталей, що базується на використанні математичних моделей показників та параметрів різноманітних процесів різання. Ця система забезпечує отримання адекватних математичних моделей на основі результатів короткочасних експериментальних досліджень. Розроблені математичні моделі заносяться в базу знань і використовуються для розв'язання різноманітних задач технологічної підготовки виробництва в тому числі визначення оброблювальності конструкційних матеріалів, оброблювальних характеристик інструментальних матеріалів, оптимізації умов обробки матеріалів різанням, нормування робіт тощо.

Програмна реалізація цієї системи виконана на алгоритмічній мові Delphi. Пакет програм, крім вказаних функцій, дозволяє розв'язувати оптимізаційні задачі, математичні моделі яких автоматично формуються з математичних моделей окремих параметрів, що вибираються із бази знань для конкретного матеріалу. Технолог має можливість вибрати критерій оптимальності та ввести реальні умови процесу різання та обмеження, що визначають область допустимих рішень оптимізаційної задачі.

Запропонована методика математичного моделювання і її програмна реалізація, а також дослідження технологічних параметрів обробки різанням конструкційних матеріалів дозволяють скоротити терміни технологічної підготовки виробництва, підвищити техніко-економічну ефективність і рентабельність приладобудівного виробництва за рахунок зниження собівартості різних процесів механообробки і підвищити продуктивності праці в ході виконання цих процесів.



# ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ ПРОЦЕСУ ВИСОКОШВИДКІСНОГО ТОРЦЕВОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ

Г. М. Виговський, к.т.н., проф.; О. А. Громовий, к.т.н., доц.;

М. Л. Білявський, студ.,

Житомирський державний технологічний університет, Житомир

В умовах підприємств машинобудівної галузі України одним з найбільш розповсюджених методів обробки плоских поверхонь є торцеве фрезерування, що дозволяє отримувати точні параметри поверхні та скоротити час фінішної обробки.

Розвиток технологій високошвидкісного фрезерування (HSM – High Speed Milling) відкриває нові можливості в процесі обробки металів та виготовлення деталей, що є найбільш трудомістким процесом у циклі виробництва машин. Тому вдосконалення високошвидкісної обробки деталей є однією з важливих задач.

Використання процесів високошвидкісного чистового торцевого фрезерування дозволяє підвищити продуктивність та якість обробки плоских поверхонь деталей. При використанні фрезерних верстатів для процесів високошвидкісного торцевого фрезерування виникає необхідність застосування великих частот обертання, наслідком чого є поява зон активної вібрації.

Питаннями стабільності процесу високошвидкісного фрезерування присвячено ряд праць, вітчизняних та закордонних вчених.

Аналіз літературних джерел показує, що не отримали достатнього висвітлення питання, пов'язані з визначенням математичних залежностей стабільності процесу високошвидкісного торцевого фрезерування, а також з управлінням стабільністю з використанням активних магнітних підшипників (АМП).



Основною перевагою АМП є відсутність механічного контакту та можливість використання їх при високих швидкостях обертання, в вакуумі, при високих та низьких температурах

Ціллю статті є визначення математичних залежностей, які характеризують стабільність процесу високошвидкісного торцевого фрезерування, а також дослідження методу лінійно-квадратичного управління АМП прецесійного шпинделя високошвидкісного фрезерного верстата для встановлення автоматичного балансування.

В роботі встановлені математичні залежності, які характеризують стабільність процесу різання.

Досліджено метод лінійно – квадратичного управління активними магнітними підшипниками прецесійного шпинделя високошвидкісного фрезерного верстата.

Встановлені математичні залежності, для визначення необхідних керуючих сил та моментів для автобалансування шпинделя верстата.

В подальших дослідженнях будуть розглянуті питання створення адаптивного алгоритму балансування та контролю за вібраціями прецесійного шпинделя високошвидкісного фрезерного верстата з використанням активних магнітних підшипників.

## **ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОБРАБОТКИ 2D КОНТУРОВ КОНЦЕВЫМ ФРЕЗЕРОВАНИЕМ**

Д. Г. Голдун, асп.; Д. В. Криворучко, к.т.н., докторант,  
Сумский государственный университет, Сумы

Детали со сложной 2D формой являются неотъемлемыми элементами насосов и компрессоров. Это раз-



личные лопатки, направляющие аппараты и др. От точности формы и размеров этих деталей зависит КПД всего изделия. В настоящее время такие детали изготавливаются методом концевоего фрезерования на станках с ЧПУ, часто фрезами диаметром 16-28 мм. Для обеспечения требований точности формы и размера обработку выполняют в 3 и более переходов, необходимых для выравнивания припуска вдоль траектории фрезы и, следовательно, величины ее деформации.

В докладе предлагается подход, позволяющий сократить количество переходов при сохранении заданной точности формы и взаимного расположения.

Идея заключается в предварительном внесении поправок в теоретическую траекторию перемещения фрезы для компенсации ее деформации таким образом, чтобы в любой момент времени фактическое положение режущих кромок фрезы соответствовало требованиям чертежа.

Для этого предложена экспериментальная методика определения предискажения траектории посредством сканирования контура, обработанного на выбранных режимах резания по управляющей программе с теоретической траекторией фрезы, сравнения полученного изображения с теоретической траекторией, определе-



ння різниці цих траєкторій. На основі цих даних розробляється скорректирована управляюча програма для ЧПУ. Застосування розробленої методики для обробки 160 лопаток диффузора компресора дозволило виключити один перехід фрезерування і скоротити час обробки на 40%.

## **ЕЛЕКТРО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ГРАФІТОКЕРАМІКИ ПРИ КВАЗІСТАТИЧНОМУ ТА ЦИКЛІЧНОМУ НАВАНТАЖЕННІ**

І.Г. Грабар, д.т.н., проф.; О.А. Гутніченко, ст. викл.,  
Житомирський державний технологічний університет, Житомир

В доповіді наведені основні аналітичні та експериментальні дослідження залежності електричних властивостей представника перколяційно-фрактальних матеріалів – композиційної системи „ТРГ - кераміка”, при квазістатичному і циклічному позацентровому розтяганні та стисканні.

Науковий інтерес до даних досліджень викликаний наступними основними факторами:

– особливі фізико-хімічні властивості ТРГ: низька насипна густина (1 г/л), високі значення електро- та теплопровідності, висока хімічна стійкість у агресивних середовищах у широкому діапазоні температур, здатність до обробки тиском, що дозволяє спростити технологію виготовлення композиту

– система „терморозширений графіт-каолін” є представником перколяційно-фрактальних середовищ, що відкриває нові можливості для створення більш ефективних та технологічних мате-



ріалів електротехнічного призначення (електронагрівальні та тензOMETричні елементи);

–чутливість дисперсних систем „провідник-діелектрик” до структурних перетворень при незначних змінах напружено-деформованого стану, завдяки чому спостерігається стрибкоподібна залежність електричних властивостей вказаних матеріалів в околиці фазового переходу;

–дешевизна та доступність вихідних матеріалів.

Метою проведення роботи є аналітичне та експериментальне дослідження стабільності електричних властивостей графітокераміки при квазістатичному та циклічному навантаженні, обґрунтування складу матеріалу та технології його виготовлення.

Експериментальні дослідження полягають у побудові кінетичних залежностей електричного опору при квазістатичному та циклічному випробуванні зразків на позацентровий розтяг та стискання. Вказані залежності фіксувались за допомогою АЦП L-Card E440 з частотою 100 кГц та записувались на ЕОМ.

В результаті проведення досліджень виявлено:

– електричний опір графітокераміки при квазістатичному навантаженні змінюється у 2-10 раз в залежності від вмісту ТРГ та технологічних режимів її виготовлення, що обумовлено проходженням перколяційних процесів і описується множителем типу  $(m - m_c) / [1 - m_c]^v$  до залежності зміни електроопору при деформуванні;

– залежність максимальної та мінімальної амплітуд зміни опору від навантаження описується логарифмічними залежностями типу  $R_m = A \cdot \ln(F_m) + B$ , де  $R_m$  – амплітуда активного елек-



тричного опору,  $F_m$  – амплітуда навантаження, з коефіцієнтом кореляції 0,86 – 0,98.

– найбільший вплив на вказані залежності мають концентрація ТРГ та режими спікання графітокераміки, як основні фактори формування кінцевої структури.

Отримані результати дозволяють зробити висновки про ефективність використання електричних методів для дослідження деформованого стану перколяційно-фракталь-них матеріалів, з однієї сторони, та стабільність зміни електричного опору графітокераміки у широкому діапазоні зміни амплітуди навантаження, що підтверджує доцільність використання даних матеріалів у якості чутливих елементів тензометричних датчиків.

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СБОРКИ ПАЯННЫХ СОЕДИНЕНИЙ „МЕДЬ-СТАЛЬ”**

В. С. Гришин, к.т.н., докторант; В. А. Грядунов, асс.;  
Лю Тяньи, асп.,

Национальная металлургическая академия Украины,  
Днепропетровск

Условия достижения высоких эксплуатационных качеств узла не ограничиваются созданием его удачной конструкции или применением высококачественных материалов для изготовления его деталей. Процесс изготовления узла может гарантировать его надежность и долговечность в эксплуатации лишь при условии высококачественного проведения сборки.

Получение качественных неразъемных соединений деталей наконечников конвертерных фурм современных конструкций в значительной степени зависит от технологии сборки. Одним из современных высокоэффективных методов сборки и получения



неразъемных соединений деталей из разнородных материалов является пайка. Для получения высококачественного неразъемного соединения „медь-сталь” необходимо выполнять следующие условия: плотное сопряжение соединяемых поверхностей; выбор припоя и оптимальной толщины шва соединения; объемный прогрев медного венца и стальных деталей; эффективный способ нагрева; оптимальное охлаждение; контроль качества.

Специальные исследования были посвящены получению теоретических и экспериментальных данных, позволяющих выбрать рациональный способ пайки соединения «медь-сталь» с использованием многокомпонентного сплава, основой которого является медь. Этот высоколегированный сплав средней и повышенной чистоты, содержит легирующие компоненты в количестве более 25% и позволяет получать не только прочное соединение различных по физико-механическим свойствам материалов, но и сохранять неизменным (за исключением узкой околошовной зоны) их химический состав, структуру и механические свойства.

Проведенные исследования позволили разработать технологию сборки деталей наконечников конвертерных фурм, изготовленных из разнородных материалов, результатом которой является получение герметичных неразъемных соединений, обеспечивающих повышенную прочность, высокую производительность и сокращение сборочного цикла за счет одновременного образования всех паянных швов. Разработанный способ и стенд для испытаний наконечников на герметичность позволили в производственных условиях осуществлять контроль качества паянных соединений.



В результате такого технологического обеспечения сборки паянных соединений деталей наконечников конвертерных фурм их средняя стойкость увеличена в 3-5 раз по сравнению с существующей на металлургических предприятиях Украины.

## **ВИБРОАКУСТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ**

И.Н. Диордица, асп.,  
Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев

Одним из параметров, на основе которого осуществляется косвенный контроль процесса резания, является виброакустический сигнал, генерируемый зоной резания. Данный сигнал можно измерять с помощью пьезоакселерометров установленных в непосредственной близости от зоны резания.

Зоной резания генерируется широкополосный динамический сигнал, который проходя через упругую систему ТОС (технологическая обрабатывающая система), трансформируется в спектр отклика системы инструмента либо системы детали (в зависимости от того, где установлен пьезоакселерометр). Наибольший уровень сигнала лежит в диапазоне 0...20 кГц, а шумы станка лежат в диапазоне 0...2 кГц. Поэтому диапазон 2...20 кГц является наиболее информативным с точки зрения текущего контроля металлообработки. Для систем текущего контроля могут быть использованы сигналы, измеренные в узких различных частотных полосах, соответствующих либо области резонанса, либо – антирезонанса, когда сама система ТОС выступает в качестве гребенчатого фильтра.



Контактная зона инструмента и заготовки является активным виброакустическим источником воздействующим на ТОС, вызывая соответствующие сигналы измеряемые акселерометрами, что позволяет диагностировать качество обработки, износ и поломку режущего инструмента, производить его размерную настройку.

Исследования показали существенное изменение общей картины спектра откликов во времени, т.е. с износом режущего инструмента. В спектр попадают определенные частотные составляющие резонансные ТОС, которые являются наиболее чувствительными индикаторами состояния процесса резания. Низкочастотные составляющие до 3 кГц обычно содержат и шумы станка, но в тоже время они наиболее чувствительны к изменению параметров процесса резания и весьма индикативны для диагностики. Наряду с исследованиями узкополосного виброакустического сигнала следует отметить высокую информативность широкополосного виброакустического спектра. Общая картина позволяет выявить и выделить с помощью полосовой фильтрации наиболее информативные составляющие спектра, их соотношения, и разработать математические диагностические модели связывающие параметры виброакустического сигнала с конкретными параметрами процесса резания материалов. Они располагаются в области инфразвука, а математические модели могут быть либо аддитивными, либо мультипликативными, содержащие быстропеременную составляющую и «ТРЕНД». Контролируя уровень виброакустического сигнала в одном, либо в нескольких сегментах одновременно, можно судить об износе режущего инструмента или о его поломке.



# **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТЬ УКРАИНЫ**

С.С. Емельяненко, асп.; Д.В. Криворучко, к.т.н., докторант,  
Сумский государственный университет, Сумы

Высокоскоростное фрезерование (ВСФ) является одним из приоритетных направлений развития методов обработки в Европе. Интерес к данному процессу в последние 10 лет существенно возрос. Это связано с появлением нового современно оборудованного, режущего инструмента и оснастки, дающих возможность реализовать технологию ВСФ не только в исследовательских лабораториях, но и в реальном производстве. Об этом свидетельствует резкое увеличение публикаций в мире по данной теме в последние 10 лет.

Большое внимание к данному процессу связано с возможностью существенного снижения себестоимости обработки и времени изготовления деталей, с возможностью обработки пространственно-сложных поверхностей деталей машин и инструментов, в том числе и из закаленных сталей, за одну технологическую операцию и рядом других преимуществ.

Вместе с тем, стоимость процесс ВСФ остается все еще высокой, что обусловлено необходимостью больших капитальных затрат на разработку нового оборудования, инструмента, оснастки, исследованию процесса. Поэтому эффективное применения ВСФ возможно лишь в определенных производственных условиях. Сегодня выделились две отрасли промышленности, в которых применение ВСФ эффективно: авиационно-космическая



промышленности и инструментальная промышленность, в том числе производства штампов и пресс-форм для изготовления компонентов автомобилей, корпусов для приборов или медицинских устройств. В каждой из представленных областей ВСФ используется для обработки разнообразных деталей отличающихся как своими формами и размерами, так и материалами.

На сегодняшний день в мире сформировалось две стратегии применения ВСФ. Согласно первой стратегии, ВСФ используют для максимального увеличения скорости съема материала на отдельных операциях типового технологического процесса за счет увеличения скорости резания и скорости подачи. Вторая подразумевает под собой полное изменение типового технологического процесса за счет обработки деталей ВСФ, сокращая при этом общее количество операций.

Технические сложности реализации ВСФ часто не позволяют обеспечить эффективное применение этого процесса. Среди таких сложностей следует отметить необходимость выбора режимов резания для каждого конкретного станка и даже детали. Рекомендуемые производителями инструментов режимы резания являются только первым приближением. Второй существенной проблемой являются вибрации, обусловленные большими частотами вращения шпинделя, близкими к собственным частотам Т-системы, большими скоростями перемещения инструмента относительно заготовки, непостоянной глубиной резания и др.

На наш взгляд расширение области эффективного применения ВСФ возможно за счет разработки способов оптимального управления процессом в режиме реального времени.



# ОСОБЛИВОСТІ ФОРМОУТВОРЕННЯ МІКРОРЕЛЬЄФУ ПОВЕРХНІ ОБЕРТАННЯ НА БАГАТОШПИНДЕЛЬНИХ ТОКАРНИХ АВТОМАТАХ

В.Ю. Заболоцький, асп.,  
Луцький державний технічний університет, Луцьк

Сучасні принципи і підходи до проблеми формування макро- та мікрорельєфу робочих поверхонь деталей з необхідними параметрами і експлуатаційними властивостями базуються на основних положеннях теорії і практики технологічної спадковості відображених в роботах О.О. Маталіна, О.В. Якімова, П.І. Ящерицина.

Стосовно взаємного впливу операцій механічної обробки під час формоутворення робочих поверхонь деталей роликів підшипників встановлено, що похибки форми (гранність, хвилястість) доріжок кочення формуються на заготівельних, токарних операціях, а остаточно встановлюються на фінішних операціях чорного, чистового шліфування і суперфінішу або вигладжування. В цьому зв'язку проблему забезпечення експлуатаційних показників деталей підшипників на операціях механічної обробки необхідно розглядати комплексно, починаючи з операцій лезової обробки на токарних верстатах-автоматах та напівавтоматах.

На геометричну точність і мікрорельєф поверхні деталі при механічній обробці впливає велика кількість факторів: швидкість різання  $V$ , глибина різання  $t$ , подача  $S$ , геометрія і ступінь притуплення інструменту, твердість матеріалу деталі і жорсткість технологічної системи, стан устаткування, у тому числі ступінь його зносу, точність приладів і методів вимірювання параметрів точності, шорсткості і хвилястості. Кожний з перерахо-



ваних факторів у процесі обробки може змінюватися, причому його величина коливається біля якогось середнього значення, тобто має місце сполучення систематичних і випадкових похибок обробки, що також відноситься до сумарного впливу усіх факторів. Ці фактори по-різному впливають на точність і мікрорельєф поверхні формується під час обробки деталей на багатошпindelних токарних автоматах. Аналіз значимості технологічних і конструктивних факторів дозволяє при побудові формалізованої моделі процесів встановити рівень впливу факторів на точність і мікрорельєф, і мінімізувати модель. Априорно до числа факторів, що здійснюють домінуючий вплив на формування параметрів якості деталей при механічній обробці, віднесені режими різання, жорсткість системи ВІД (верстат-інструмент-деталь), характеристика інструменту і ступінь його зносу, фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу.

Проведені дослідження моделюють процес утворення нерівностей при точінні, припускаючи, що різець переміщується відносно заготовки відповідно до кінематики точіння і робить коливання в напрямку дії радіальної  $P_y$  складової сили різання, при цьому різець переносить профіль своєї вершини в плані на оброблювану заготовку.

Такий підхід до моделювання мікрорельєфу поверхні підтверджується експериментально і може використовуватись до прогнозування параметрів мікрорельєфу поверхні обертання на стадії технологічного проектування токарно-автоматних операцій механічної обробки деталей на БТА.



# **СХЕМА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СОСТАВЛЯЮЩИХ ПРОЦЕССНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМ ХОЗЯЙСТВОМ КАК ОДИН ИЗ ИНСТРУМЕНТОВ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

В.А. Залого, д. т. н., проф.; А.В. Ивченко, асп.; А.А.Ротт, студ.,  
Сумский государственный университет, Сумы

В последнее время в Украине, да и во всем мире проблема выбора подхода к реорганизации деятельности машиностроительных предприятий приобретает особую актуальность. В условиях резко и часто непредсказуемо меняющейся рыночной конъюнктуры и жесткой конкурентной борьбы быстрота (и адекватность) реакции всех систем организации, точность и эффективность операций экономических субъектов приобретают особую значимость. Считается, что в таких условиях, при осуществлении масштабной реорганизации хозяйствующих субъектов, наиболее эффективен подход построение систем управления качеством (СУК) согласно требованиям международных стандартов серии ISO 9000 версии 2000 г. Ключевыми моментами СУК является переориентация деятельности любого хозяйствующего субъекта на процессы, состоящий из множества шагов, которые совершает фирма от одного состояния к другому, где «на входе» находится заказ, а «на выходе» — продукт или услуга, представляющая ценность для потребителя.

Особую роль в изготовлении и выпуске высококачественной продукции для машиностроительных предприятий играет инструментальная подготовка производства (ИПП) – проектирование и изготовление комплекта технологической оснастки по трудоем-



кости составляет до 80%, по длительности – 90% общих затрат на технологическую подготовку производства новых изделий.

Таким образом, в настоящее время становится актуальной проблема организации и внедрения процессного подхода не только при организации основного производства, но и в подготовительном производстве машиностроительных предприятиях.

Целью данной работы является анализ и оптимизация взаимосвязи процессов ИПП на многономенклатурном машиностроительном предприятии.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ действующих в ИПП процессов на многономенклатурном машиностроительном предприятии;
- идентифицировать процессы ИПП и определить их взаимодействие.

Для реализации процессного подхода при ИПП на многономенклатурном машиностроительном предприятии необходимо выделить процессы, составляющие основу ИПП. Любая деятельность организации представляет собой цепочку процессов. А все ее работники одновременно являются и потребителями, и поставщиками. При выполнении данной работы предлагается использовать схему взаимодействия процессов инструментальной подготовки производства на машиностроительном предприятии. Анализ и выделение процессов ИПП в данной схеме был произведен в соответствии с требованиями стандарта ДСТУ ISO 9001:2001. Это позволяет использовать цикл улучшения, часто называемый циклом PDCA, который предусматривает выполнение действий по улучшению качества и постоянному совершенствованию системы управления исследуемого процесса.



# ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ФИНИШНЫХ СПОСОБОВ ОБРАБОТКИ АБРАЗИВНЫМИ БРУСКАМИ

В.А. Иванов, студ.; М.А. Телетов, студ.; В.И. Савчук, к.т.н., доц.,  
Сумский государственный университет, Сумы

Одним из финишных способов обработки поверхностей абразивными брусками является способ двойной осцилляции (СДО).

Расчетно-теоретическим исследованием установлено, что на производительность процесса влияет длительность контакта  $t_k$  бруска с деталью. Оптимальная длительность контакта определяет максимальную производительность с образованием постоянной шероховатости поверхности, зависящей от характеристики шлифовального бруска.

Оптимальное время контакта при обработке металлов с различными физико-механическими характеристиками определялось сравнением производительности СДО и суперфиниширования.

Установлено, что производительность суперфиниширования в 1,5 – 5 раз ниже производительности СДО, что зависит от режущих свойств бруска и составляет  $Q = 0,13 - 0,75 \text{ мм}^3/\text{с}$  для закаленных металлов Р18, ШХ15, У8, 38ХМЮА (азотированная).

Обработка СДО незакаленных сталей 38ХМЮА, 40ХН, У8, ШХ15, закаленной стали 50 и цементованной стали 20 повышает производительность до  $Q = 0,97 - 1,58 \text{ мм}^3/\text{с}$ .

Сравнительный анализ обработанных материалов по двум различным кинематическим схемам резания позволяет считать, что для каждой марки металла или сплава существует оптимальное время контакта  $t_k$ , при котором съем металла будет наибольшим. Например, при резании сталей 50, 45, 38ХМЮА, 40ХФА, 40ХН, 50Г диапазон изменения оптимального времени контакта нахо-



дится в пределах  $t_k = 1,0 - 2,5$  с. При обработке закаленных сталей ШХ15, ШХ9, азотированных сталей 38ХМЮА, 40ХФА, чугунов ВЧ 50-1,5; ВЧ 60-2  $t_k = 0,15 - 0,6$  с.

Результаты экспериментов позволили оптимизировать процесс финишной операции по  $t_k$  при обработке материалов с различными физико-механическими свойствами.

Суперфиниширование закаленной стали 50 и незакаленных сталей 38ХМЮА, 40ХН, У8, ШХ15 позволяет получить шероховатость поверхности  $Ra=0,12...0,2$  мкм.

При обработке СДО достигается шероховатость поверхности  $Ra=0,22...0,3$  мкм.

Суперфиниширование закаленных сталей У8, ШХ15, 38ХМЮА, Р18, чугуна СЧ 12-28, ВЧ 50-1,5 сопровождается получением шероховатости поверхности в пределах  $Ra=0,04...0,18$  мкм. При обработке СДО шероховатость выше и составляет  $Ra = 0,12 ... 0,22$  мкм.

Для получения шероховатости поверхности  $Ra \leq 0,1$  мкм радиальные колебания инструмента отключаются, и обработка ведется в режиме выхаживания. Обработка закаленных сталей Р18, У8, ШХ15, 38ХМЮА (азотированная) позволяет получить шероховатость поверхности  $Ra=0,02...0,04$  мкм, а обработка сталей 50, 40ХН, 38ХМЮА, У8, ШХ15, 20 в названном режиме –  $Ra=0,12...0,2$  мкм. Металлы АЛ9, Л80, М1, ВТЗ-1, Бр.ОЦС5-5-5, 12Х18Н10Т, 08Х13 в этом режиме не обрабатываются, так как значительным препятствием является засаливание рабочей поверхности бруска.



# ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОГО МЕТОДА ГРУППОВОГО УЧЕТА АРГУМЕНТОВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

О.В. Катрук, студ.; С.П. Вислоух, к.т.н., доц.,  
Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев

В настоящее время существует проблема моделирования сложных процессов, к которым относятся технологические процессы изготовления деталей в приборостроении. Для решения задачи моделирования применяют методы планирования экспериментов, регрессионного анализа, дисперсионного анализа, численные методы (метод наименьших квадратов (МНК), аппроксимацию и интерполяцию функций и др.). Однако эти методы требуют больших затрат времени и средств для проведения экспериментальных исследований, а полученные математические модели не всегда адекватно описывают параметры технологического процесса. Одним из эффективных методов математического моделирования, который не требует определенного плана исследований, является метод группового учета аргументов (МГУА).

Достоинством МГУА является построение объективной модели в процессе самоорганизации моделей путём их усложнения до получения минимума выбранного критерия оптимальности, а также возможность работать на коротких выборках исходной информации. Вместе с тем этот классический МГУА имеет такие недостатки: при близких экспериментальных точках возможно явление вырожденности матрицы нормальных уравнения Гаусса, вследствие чего возникает необходимость применения специаль-



ных методов регуляризации; дает точечную модель (прогноз), а в ряде случаев желательно иметь доверительный интервал, который характеризует точность прогноза.

Поэтому в последние годы ведется интенсивная разработка новых методов, которые лишены указанных недостатков. Таким методом является нечеткий МГУА (НМГУА), который позволяет построить интервальную модель регрессии и для нахождения модели (прогноза) не использует МНК. Поэтому явление вырожденности в этом методе отсутствует.

Суть метода НМГУА, в основе которого лежит классический МГУА, состоит в том, что вся выборка также делится на обучающую и проверочную:  $N_{\text{выб}} = N_{\text{обуч}} + N_{\text{пров}}$ .

Если имеется  $N_{\text{обуч}}$  узлов интерполяции, то можно построить целое семейство моделей, каждая из которых при прохождении через экспериментальные точки будет давать нулевую ошибку. Коэффициенты этих моделей определяются по МНК, используя обучающую выборку. Затем на проверочной выборке для каждой из этих моделей вычисляется оценка, и определяются  $F$  лучших моделей. Процесс отбора этих моделей осуществляется до тех пор, пока не будет достигнуто минимальное значение среднеквадратичной ошибки. В НМГУА рассматривается интервальная модель регрессии, параметры которой определяются как центр и ширина интервала. Определить эти параметры, для которых выходной сигнал попадал бы в оценочный интервал и суммарная ширина была минимальной, можно использовать метод линейного программирования. Решив двойственную задачу симплекс-методом, найдем оптимальное значение переменных, а также искомую математическую модель в виде выбранного частичного описания.



Предложенный НМГУА эффективен при решении задач математического моделирования и прогнозирования технологических параметров процесса обработки деталей приборов.

## **ТЕОРІЯ ТА РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ПРОЦЕСІВ МЕХАНООБРОБКИ**

М.С. Кінареєв, маг.; Г.С. Тимчик, д.т.н., проф.;  
В.І. Скицюк, к.т.н., ст.н.с,  
Національний технічний університет України "КПІ", Київ

В роботі проведено порівняльний аналіз сучасних електромагнітних систем контролю процесів механообробки.

Гнучкі виробничі системи (ГВС), що містять роботизовані модулі, контрольно-вимірювальні машини та інші засоби вимірювання і управління, не можуть ефективно виконувати свої функції без систем технічної діагностики. Такі системи дають змогу контролювати геометричні параметри виробів у процесі обробки та забезпечують підналагодження технологічного обладнання, формування команд корекції траєкторії руху інструмента та режимів його роботи.

В основу систематизації вимірювальних систем покладено фізичну сутність торкання об'єкта вимірювання та чутливого елемента вимірювальної системи.

Системи, що використовують принцип електродинаміки дають можливість вимірювати розміри об'єкта обробки. Трохи ускладнюється вимірювання шорсткості поверхні деталі, оскільки дискретність приводу обладнання недостатня для того, щоб отримати вимірювання високих класів чистоти поверхні (1 мкм). Зате ці принципи дозволяють дослідити фізико-механічні



властивості об'єкта вимірювання, які відбиваються на параметрах полів та виробів в цілому. Запропоновано такими системами діагностику дефектів виробів.

При розгляді систем контролю, які працюють у автономному режимі, важливим є питання їх енергетичних потреб як функції енергоспоживання та зручності користування. Якщо проаналізувати витрати енергії в різних вузлах системи контролю, то виявляється, що 10—20% енергії джерела живлення використовується на роботу датчика торкання, 10—20 % — на роботу по підсиленню та перетворюванню сигналу торкання, 20—30 % — на роботу підсилювача потужності, 40—60%—на роботу випромінюючого елемента, що забезпечує зв'язок з системою ЧПК. Застосування перетворювачів електромагнітних сигналів в активному контролі дозволяє виключити необхідність джерела додаткової енергії, зменшити час на формування керуючих команд, здійснювати діагностику стану процесу різання.

Підвищення точності визначення оптимальних режимів механообробки досягають формуванням параметрів електромагнітного випромінювання, що генерується в зоні різання. Кількість імпульсів сигналу ЕРС визначає інтенсивність контактної взаємодії матеріалів пари інструмента та деталі. Мінімальна кількість імпульсів відповідає оптимальній швидкості різання.

Електродинамічні системи мають велику перспективу розвитку, оскільки дана система контролю має вищу точність вимірювання геометричних параметрів, високу швидкодію, та низьку енергоємність. Але найвищим досягненням цих систем є те, що в одному блоці поєднані функції металооброблювального та вимірювального інструменту.



# ЕФЕКТИВНІСТЬ РЕГУЛЮВАННЯ І СТАБІЛІЗАЦІЇ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАТИСКНИХ МЕХАНІЗМІВ ТОКАРНИХ ВЕРСТАТІВ

Р.І. Ковальчук, асп.,

Національний технічний університет України "КПІ", Київ

Важливими напрямками в створенні затискних механізмів (ЗМ) є використання приводів і патронів, які забезпечують стабільний затиск заготовок з великим допуском і регламентований (по силі) затиск тонкостінних і крихких заготовок, а також використання пристроїв з автоматичним регулюванням або підналагоджуванням параметрів ЗМ для компенсації відцентрових сил у відповідності з умовами обробки, розмірами заготовки і властивостями її матеріалу.

Для системи привід-патрон в ЗМ з силовим замиканням визначальними є тиск в гідроциліндрі, який розвиває осьову силу, що діє на трубу затиску. В системі патрон-деталь силові характеристики оцінюються радіальною силою затиску, моментом прокручування, силою проштовхування та моментом виривання.

Радіальна сила затиску заготовки здійснює найбільший вплив на точність і продуктивність обробки. Встановлено, що вихідна радіальна сила затиску заготовки (гарячекатаного прутка) з різними відхиленнями діаметра в цанговому патроні ЗМ із силовим замиканням від гідроприводу є перемінною навіть при постійній осьовій силі.

При цьому коефіцієнт підсилення цангового патрону з діаметром робочого отвору під конкретний діаметр прутка з відхиленням буде різним. Забезпечення постійної радіальної сили за-



тиску при відхиленні діаметру прутка в „плюс” або „мінус” можливо за рахунок ручного або автоматичного регулювання тиску при відомому законі регулювання.

Для стабілізації сили затиску при постійній осьовій силі необхідно використовувати клиновий або важільний затискний патрон з постійним коефіцієнтом підсилення, а при використанні цангового патрона необхідно автоматично регулювати тиск у приводі при однаковій кінематичній характеристиці (передаточному відношенні) різних патронів. При цьому як керуючий сигнал використовується відхилення діаметра прутка або хід труби затиску.

Розглядаючи задачу забезпечення точності обробки довгомірної деталі з некаліброваного прутка по формі і розміру, при повздовжньому точінні прохідним різцем і одинарному затиску в патроні (наприклад, цанговому) коли тиск в гідроциліндрі затиску постійний, то осьова сила теж постійна і тоді постійна сила тертя в конічному спряженні губок цанги зі шпинделем, тобто момент тертя в умовному пружно-фрикційному шарнірі постійний. При постійному тиску (моменті) при зменшенні вильоту від найбільшого до найменшого відтиск зменшується від максимального до мінімального, що утворює зворотній конус на деталі. Щоб цього уникнути і отримати циліндричну деталь, необхідно автоматично регулювати тиск від максимального на найбільшому вильоті до мінімального на найменшому вильоті.

Використання гідравлічних ЗМ з автоматичним регулюванням характеристик дозволяє підвищити точність і продуктивність обробки, покращити якість оброблених поверхонь, запобігти перевантаженню ЗМ, компенсувати вплив як постійних, так



і випадкових збурюючих впливів (наприклад, відцентрових сил, нерівномірності припуску, який знімається) при обробці в цангових і кулачкових патронах.

## **ВЫБОР ВХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

Т.В. Коновалова,

Национальный технический университет «ХПИ», Харьков

Применение математических моделей позволяет прогнозировать процессы обработки резанием. Для создания моделей используются аналитические, числовые и вероятностные методы. Благодаря тому, что искусственные нейронные сети имеют дело с нелинейными зависимостями, с большим количеством параметров и недостающими данными, они могут применяться для моделирования процессов резания. Кроме того, использование искусственных нейронных сетей дает возможность применить накопленный исследовательский опыт, а также эмпирические зависимости.

Эффективность диагностики и оптимизации процесса резания целиком и полностью определяется информативностью используемых параметров. Входными параметрами для искусственных нейронных сетей могут быть сигналы и их свойства. Сигналы могут характеризоваться электрическими переменными, скоростью их изменения и связанной с ними энергией и мощностью. Благодаря обучению, искусственные нейронные сети могут использоваться даже в случаях, когда нет точных данных о взаимосвязях между различными параметрами процесса.

Самый простой подход при построении модели оптимизации процесса резания - это использование всех входных параметров



для построения одной искусственной нейронной сети и ее обучение на основе существующей базы знаний. Для данного подхода, даже для упрощенной модели, необходим набор параметров для полного описания модели. Объем работы колоссальный, и при этом нет возможности уменьшить его за счет малозначимых параметров. Существует вероятность того, что после выполнения большой работы, получится модель, применимая только в жестких рамках упрощений и допущений, принятых при исходной схематизации объекта. Целесообразно разбить модель на подмодели, использовать смешанный подход для решения задачи, создать упрощенную нейронную сеть-модель процесса, которую можно подвергнуть анализу и выявить степень влияния параметров модели на процесс резания, модель заготовки.

Информационная модель процесса представляет собой множество взаимосвязанных сущностей (вид обработки, свойства обрабатываемого и инструментального материалов, геометрия режущей части инструмента, цели управления и др.) и их атрибутов.

Нейронная сеть, обученная и построенная на базе знаний, в составе информационной управляющей системы обеспечивает достаточную гибкость управления любыми видами технологических процессов лезвийной обработки, такими как точение, фрезерование, сверление и шлифование.

В статье представлено описание и возможность применения наиболее распространенных видов нейронных сетей и набор входных параметров для их обучения. При этом необходимо отметить, что все чаще применяется смешанный подход к использованию нейронных сетей, то есть задача разбивается на подзадачи и для каждой подзадачи выбирается оптимальная конфигурация сети и алгоритма обучения.



# ДО ПИТАННЯ ПРО КЛАСИФІКАЦІЮ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАНЬ МАСОВИХ ВИТРАТ СИПКИХ РЕЧОВИН

Ю.О.Корнева, асп.,

Національний технічний університет України "КПІ", Київ

При створенні огляду сучасних засобів вимірювань та контролю будь-якого інформативного параметру, яке має на меті розширення і систематизацію знань про закономірності конструювання цих засобів, завжди постає питання: яким чином їх класифікувати? До цього часу не створено єдиної класифікації засобів контролю, обліку і дозування маси сипких речовин, хоча спроб класифікувати їх проводилося багато. На особливу увагу заслуговує класифікації витратомірів сипких речовин Н. І. Луткіна та М.А. Гатіха. Перевагами першої класифікації є конкретизація виду середовища і видів витрат, істотним недоліком - вживання як рівноправних класифікаційних ознак конструктивних параметрів (стрічкові, лоткові, крильчасті) та принципу роботи (відцентрові). Хоча треба відмітити, що класифікація Н. І. Луткіна є досить зручною і дає перше уявлення про засоби вимірювань витрат.

М.А. Гатіх для диференціації класифікаційних ознак застосовує градації *призначення приладу, принцип його дії, будову*. Відповідно першій градації він створює двовимірний "простір", один вимір якого - види середовищ, другий – види витрат. Реалізація інших градацій відбувається на таких рівнях: 2. принцип дії приладу; 3. алгоритм роботи проміжного перетворювача; 4. будова проміжного перетворювача; 5. алгоритм роботи вимірювального перетворювача; 6. будова вимірювального перетво-



рювача. Класифікація М.А. Гатіха при всій своїй докладності і вичерпності має ряд суттєвих недоліків: незручність; увагу до несуттєвих деталей; знехтування методами вимірювання.

Для уникнення помилок попередніх класифікацій при створенні нової необхідно визначити вимоги, яким повинна відповідати будь-яка класифікація. Найбільш суттєвими вимогами є такі: *зручність, логічність, місткість*. Керуючись вище сказаним, ми пропонуємо класифікувати засоби вимірювань масових витрат сипких речовин наступним чином. В основу поділу засобів вимірювань на першому рівні покласти *метод вимірювання*, така основа є дуже природною і місткою. Наприклад, якщо ми називаємо певний клас засобів вимірювань масових витрат сипких речовин “ваговими” (тобто такими, що реалізують ваговий метод вимірювання), то зрозуміло що в них використовуються ті ж самі принципи і ті ж самі засоби, що і в ваговимірювальній техніці; або в тахометричних засобах вимірювань застосовується весь той досвід використання технічних засобів і всі ті принципи, що є набутими при вимірюванні кутової швидкості взагалі. Як основу для поділу засобів вимірювань масових витрат сипких речовин на другому рівні класифікації ми пропонуємо *тип перетворювача*, що безпосередньо взаємодіє з потоком, наприклад, “тахометричний витратомір з гвинтовою крильчаткою”.

Використовуючи таку класифікацію, ми зможемо отримати загальне уявлення про все різноманіття засобів вимірювань масових витрат сипких речовин, найбільш повно описати окремі типи засобів вимірювань і систематизувати знання про принципи їх конструювання, виділити їх загальні недоліки та переваги.



# МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ МЕТОДОМ КІНЦЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Д.В.Криворучко, докторант,  
Сумський державний університет, Суми

Імітаційне моделювання виробничих процесів є одним із пріоритетних напрямків наукових досліджень в Європі. З огляду на прагнення України до європейської інтеграції ця тема є актуальною й у нашій країні.

Процеси різання є найбільш вживаними процесами обробки у всьому світі. Але одночасно вони є і одними з найскладніших процесів з точки зору імітаційного моделювання. Їх відрізняють високі швидкості пластичного деформування (до  $10^6 \text{ c}^{-1}$ ) та температура (до  $1400^\circ\text{C}$ ), що мають місце у зоні стружкоутворення. Особливими також є і процеси тертя.

Імітаційне моделювання процесів різання полягає у візуалізації процесу стружкоутворення та розрахунку показників напружено-деформованого стану заготовки, стружки та інструменту, поля температури, сили різання та інших показників реального процесу. За останні 15 років у цій області спостерігається великий розвиток. За базу взято моделювання методом кінцевих елементів (КЕ). За вказаний період у всьому світі опубліковано більш ніж 600 наукових праць на цю тему. Найбільш видатними науковими школами у цих напрямках є школи E. Usui, T. Childs, T. Altan, J. Strenkowski, F. Klocke, В. О. Остафьева та інш. Одним з видатних досягнень є створення T. Marusich комерційного проблемного програмного забезпечення, яке дозволяє виконувати моделювання 2D процесу різання. Розвиток комерційного універсального програмного забезпечення останнім часом розширює можливості науковців. Однак слід зауважити, що не існує



жодної моделі, яка б мала задовільну адекватність одночасно по силі різання, куту зсуву та усадці стружки, довжині контакту стружки з передньою поверхнею та температурі різання.

У доповіді подано опис 2D імітаційної моделі процесу різання методом кінцевих елементів, який розкриває основні особливості побудови такої моделі у комерційному програмному забезпеченні. У якості вихідних даних повинно бути задано: кінцево-елементну сітку заготовки та інструменту, механічні та теплофізичні моделі інструментального та оброблюваного матеріалів, модель тертя на контактних поверхнях, граничні та початкові умови. Слід зазначити, що комерційне програмне забезпечення дає обмежені можливості вибору моделі тертя.

Моделі стружкоутворення та руйнування є найбільш важливими вихідними положеннями, що визначає достовірність результатів та стабільність процесу розрахунку. Модель стружкоутворення визначає умови та алгоритм розділення цілісної КЕ сітки на сітку стружки та деталі. Модель руйнування визначає умови утворення тріщин у оброблюваному матеріалі.

Вирішення задачі пластичності та зв'язаної задачі теплопровідності може бути здійснено явною та неявною схемою інтегрування за часом. В роботі віддана перевага явній схемі. З метою уникнення суттєвому викривленню КЕ лагранжевої сітки при розрахунку періодично здійснюється її перепобудова. Такий підхід дозволяє підвищити стабільність чисельного процесу розрахунку. Представлені в доповіді результати моделювання процесу різання за допомогою системи LS-DYNA показують добру якісну та задовільну кількісну їх збіжність з експериментом. На наш погляд похибка може бути зменшена шляхом удосконалення моделі тертя.



# ОБОБЩАЮЩАЯ УНИФИЦИРОВАННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ, ВИДОВ И ТИПОВ ДИСКОВЫМИ ИНСТРУМЕНТАМИ

<sup>1</sup>А.В. Кривошея; В.Е. Мельник; <sup>2</sup>Ю.М. Данильченко;  
С.Е. Пастернак,

<sup>1</sup>Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАНУ,  
<sup>2</sup>Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев

В последние годы, как в нашей стране так и за рубежом все большее применение находят зубчатые колеса различных классов, видов и типов с усложненной формой профиля, с переменным углом наклона линии зуба и с делительными поверхностями имеющими форму шара, тора, глобоида, гиперболоида.

Наиболее просто такие зубчатые колеса можно обрабатывать дисковыми профильными инструментами из современных инструментальных материалов при относительном многопараметрическом движении методом обката на высокоскоростных станках имеющих точные делительные механизмы. Обработка зубчатых колес таким способом во многих случаях может конкурировать по точности, производительности и себестоимости обработки с обработкой червячными фрезами и червячными зубошлифовальными кругами.

Однако, в настоящее время отсутствует обобщенная унифицированная программно-реализованная математическая модель формообразования зубчатых колес различных классов видов и типов дисковыми инструментами, что является актуальной и сложной проблемой.

Целью данной работы является разработка такой методики.



Для достижения поставленной цели в данной работе решались следующие задачи:

– разработка обобщенной унифицированной кинематической схемы формообразования зубчатых колес дисковыми инструментами;

– разработка обобщенной унифицированной программно-реализованной математической модели формообразования зубчатых колес дисковыми инструментами.

На рис.1 представлена обобщенная унифицированная кинематическая схема формообразования зубчатых колес различных классов, видов и типов дисковыми инструментами.

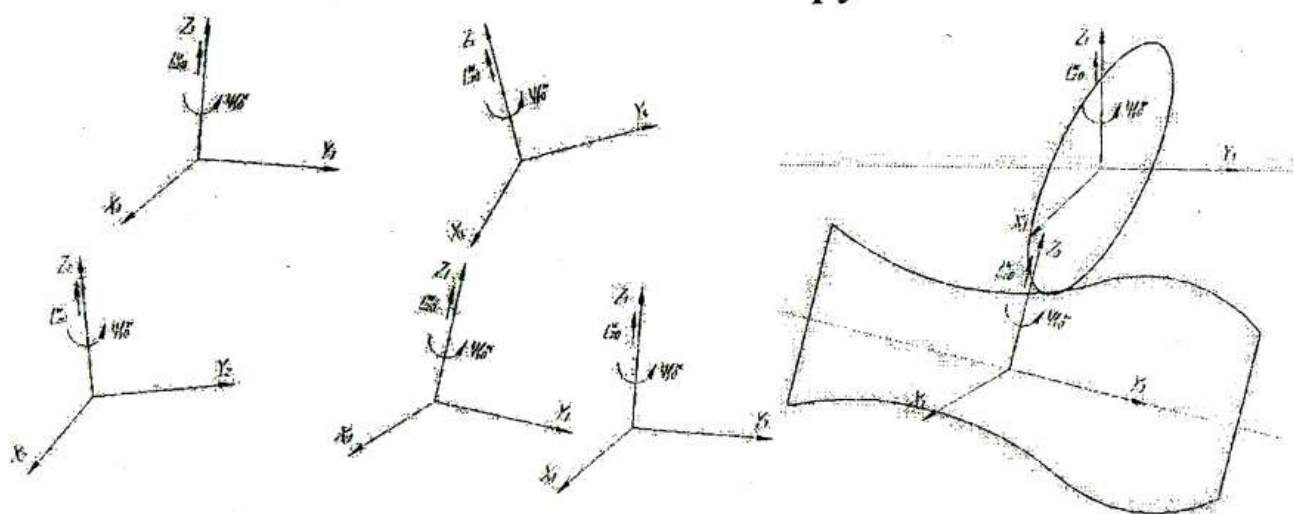


Рис. 1 - Обобщенная кинематическая схема формообразования

Данная методика реализована на ПЭВМ при формообразовании зубчатых колес различных классов видов и типов.

## **МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ БЕЗЦЕНТРОВОГО ШЛІФУВАННЯ ДОРІЖОК КОЧЕННЯ КІЛЕЦЬ РОЛИКОПІДШИПНИКІВ НА АВТОМАТІ SWA AGL-125**

Ю.С. Лапченко, асп.,  
Луцький державний технічний університет, Луцьк

Дослідження в галузі точності технологічних процесів і операцій являються базою та передумовою для створення систем



управління якістю виробів, що особливо важливо для умов автоматизованого виробництва.

Вимогам сучасного виробництва не задовольняє управління, що обмежується першопочатковим налагоджуванням устаткування, підналагоджуваннями координат розміщення інструменту, або заміною неякісного інструменту. Багато технологічних процесів вимагають використання вдосконалених засобів керування, в тому числі самоналагоджувальних систем керування, які забезпечували б оптимальний хід технологічного процесу навіть при випадкових коливаннях характеристик оброблюваності матеріалу і інтенсивності зношуваності інструменту, а також при температурних, силових та інших збуреннях. Для створення таких систем управління точністю та якістю виробів необхідне математичне описання технологічного процесу з врахуванням наслідків впливу на нього широкого спектру різномірних зовнішніх та внутрішніх чинників.

Розроблені математичні моделі процесу безцентрового шліфування доріжок кочення внутрішніх кілець роликів підшипників з врахуванням пружно-масових параметрів системи верстат-інструмент-деталь (ВІД), механізму знімання припуску на обробку і радіального спрацьовування шліфувального круга дозволяють об'єднати їх в одну інтегральну модель, яка забезпечить керування окремими функціональними блоками досліджуваної системи з метою створення системи управління параметрами обробки.

Загальна математична модель процесу безцентрового шліфування робочих поверхонь кілець роликів підшипників включає залежності: а) для повної пружної деформації системи ВІД в зоні ко-



нтакту шліфувального круга з деталлю; б) для нормальної сили, яка викликає пружну деформацію. Для проектування системи регулювання нормальної сили окрім моделі процесу шліфування необхідна також передатна функція системи приводу поперечної подачі круга, яка описує динамічні характеристики системи регулювання переміщень по осі  $X$  при зміні встановленої подачі.

З метою зменшення впливу, як радіального спрацювання круга, так і зміни знімання припуску на точність обробки, у відповідності до функціональних моделей сучасні круглошліфувальні верстати-автомати для шліфування бігових доріжок внутрішніх і зовнішніх кілець слід забезпечувати додатковими системами активного контролю діаметрального розміру оброблюваної поверхні під час шліфування. За допомогою давача вимірювання діаметру оброблюваної деталі визначаються точки перемикання швидкості поперечної подачі залежно від знімання припуску на обробку. Таке розмірне керування, яке можна віднести до геометричних систем, значно збільшує діаметральну точність обробленої деталі.

Крім введення додаткових давачів, цикл обробки у виробничій практиці здійснюється на підставі постійних наперед визначених настановних параметрів. Це відбувається тому, що в існуючих системах керування циклом обробки не передбачені функції перетворення сигналів параметрів процесу шліфування.

## **ТРИБОЛОГІЯ ЗНОСОСТІЙКИХ ПОКРИТТІВ**

Я.М.Гладкий, д.т.н., проф.; С.С.Бись, к.т.н.; О.М.Маковкін  
Хмельницький національний університет, Хмельницький

Одним із методів захисту поверхонь тертя є нанесення зносостійких покриттів. Існує проблема визначення трибологічних вла-



стивостей покритть та розмежування характеристик роботи матеріалів без покриття, з покриттям і з матрицею та покриттям при частковому зношенні покриття.

З цією метою було модернізовано універсальну машину тертя мод. УМТ 2168, суть якої полягає в автоматичному фіксуванні трибологічних параметрів без зупинки процесу проведення експерименту. Реалізація даної ідеї забезпечувалась розробкою спеціальних датчиків встановлених безпосередньо в зоні дослідження та підключення всіх проміжних елементів до персонального комп'ютера, що дало змогу фіксувати: величину лінійного зношування; моменту тертя; середньої температури в зоні контакту з дискретністю вимірювання через 0,5 с, та точністю вимірювання 0,5 мкм і діапазоном вимірювання від 0 до 600 мкм.

Дослідження зносостійкості проводили за схемою диск – палець зі сферичною поверхнею тертя R2,5 мм в умовах сухого тертя на високоміцних інструментальних матеріалах У8А, Р6М5, ХВГ, 60С2 з покриттями одержаними електрохімічними і хімічними методами (хімічне і електролітичне хромування та нікелювання товщиною 10 мкм, комбіновані покриття на основі нікелю з вмістом корунду і міді).

Виявлено трибологічні властивості матеріалів, які проявляються у чітко виражених та взаємопов'язаних змінах поведінки параметрів зношування, моменту тертя та температури.

Встановлено:

1. Існує декілька особливих зон зношування зразків з покриттями: а) зона зношування безпосередньо самого покриття б) перехідна зона загального зношування матриці та покриття, в) зона переважного зношування матриці. Розмежування цих зон чітко



проявляється на помірних режимах тертя і у вигляді різких (для кожного з покриттів по-особливому) скачках на діаграмах зношування, температури та моменту.

2. В залежності від хімічного складу матеріалу і покриття виявлені особливості зношування останніх, що проявляється в циклічному наростоутворенні на поверхні зразка і періодичного його зриві.

Наявність автоматизованої системи запису діаграм зміни трибологічних параметрів в часі дає можливість чіткого відслідковування зміни механізму тертя та зношування.

На основі приведених досліджень розроблені рекомендації про пріоритетне використання того чи іншого покриття в умовах тертя і зношування інструментальних матеріалів в процесі механічної обробки.

## **НАЗНАЧЕНИЕ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ НА МНОГОЦЕЛЕВЫХ СТАНКАХ НА ОСНОВАНИИ КРИТЕРИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ**

Д. А. Миненко,

Национальный технический университет «ХПИ», Харьков

Наиболее эффективным видом металлорежущего оборудования для обработки трудоемких и сложных корпусных деталей в условиях многономенклатурного производства являются многоцелевые станки (МС) сверлильно-фрезерно-расточной группы. Реализуемые на них технологические операции отличаются большим числом переходов и разнообразием применяемых режущих инструментов. В мировом станкостроении наблюдаются тенденции появления высокоскоростных МС с высокой степе-



ную автоматизации, стремление к комплексной обработке путем выполнения различных операций, по возможности, за один установ. Данное высокопроизводительное оборудование имеет высокую стоимость и, в большинстве своем, недоступно отечественному производителю. В связи со сложившейся ситуацией на рынке металлорежущего оборудования некоторые производители, в частности Ивановский завод тяжелого станкостроения, помимо создания новых моделей станков, пошел по пути модернизации станков прежних лет выпуска серий ИР1250 и ИР/ИС 500/800. Модернизированные станки оснащаются современными системами ЧПУ имеют возможность автоматической смены инструментов и обрабатываемых деталей, контроля стойкости, износа и поломки инструмента, контроля размеров обрабатываемой детали, что позволяет получить значительное повышение производительности. К сожалению стоимость модернизированного оборудования достаточно высока, что и обуславливает требования наиболее рациональной его эксплуатации. Актуальной является проблема выбора режимов резания обеспечивающих максимальную производительность МС. В настоящее время для расчетов режимов резания на МС пользуются традиционной методикой, представленной в общемашиностроительных нормативах режимов резания. Данный метод определения режимов резания имеет ряд недостатков, так как не учитываются конструктивно-технологические особенности и геометрические параметры обрабатываемой детали и технологические возможности конкретного МС, тогда как эти факторы существенно влияют на производительность МС. Исходный уровень интенсивности формообразования формируют режимы резания, поэтому их вы-



бор является определяющим фактором высокой производительности и эффективности процесса обработки. Оптимизация режимов резания на основании анализа интенсивности формообразования позволяет учитывать параметры и расположение обрабатываемых поверхностей детали, последовательность их обработки, массу и габариты обрабатываемой детали, быстродействие рабочих органов станка, надежность режущего инструмента, степень автоматизации МС. Структура технологической операции формируется на основании критерия минимизации суммарных затрат времени непосредственно на формообразование и вспомогательные переходы. Оптимальный вариант режимов резания и структуры операции в этом случае соответствует максимальной интенсивности формообразования.

## **ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ШТАМПУВАННЯ КОВПАЧКІВ НА ОСНОВІ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ МЕТОДОМ КІНЦЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

С. О. Некрасов, асп.; Д. В. Криворучко, к.т.н., докторант,  
Сумський державний університет, м. Суми

Ковпачки з алюмінієвого листа товщиною 0.2 мм для скляних пляшок є одним з небагатьох видів продукції, що виготовляються сучасним машинобудуванням України великими партіями, іноді більше 1000000 шт. на рік. При такому об'ємі випуску продуктивність виробничого процесу визначально впливає на ціну цих виробів.

За сучасною технологією ковпачки виготовляються методом холодного штампування на кривошипних пресах. Але оскільки висота ковпачків становить від 35 до 55 мм при діаметрі близько



30 мм, для формування ковпака необхідно виконати від двох до трьох переходів. В іншому випадку вбувається непередбачуване руйнування ковпачка на останньому переході. Виконання трьох переходів особливо необхідно для високих ковпачків.

З метою зменшення кількості переходів в роботі виконано 3D імітаційне моделювання процесу холодного штампування ковпачка висотою 55 мм. Моделювання здійснювалося в системі LS-DYNA.

Розглядалася взаємодія чотирьох тіл: заготовки ковпачка з листового алюмінієвого сплаву, матриці, пуансону та притискувача. Три останні тіла вважалися абсолютно жорсткими. Модель оброблюваного матеріалу була задана \*MAT\_PLASTIC\_KINEMATIC. Її параметри визначалися експериментально. Лист заготовки моделювався листовими елементами Belytchko-Tsay. Контактна взаємодія між усіма тілами моделювалася алгоритмом \*CONTACT\_FORMING\_ONE\_WAY\_SURFACE\_TO\_SURFACE.

Граничні умови полягали у нерухомості матриці у всіх напрямках і рухомості пуансону та притискувача лише у осьовому напрямку. Задавалися параболічний за швидкістю закон переміщення пуансону та сила притискування. Розрахунок проводився за явною схемою інтегрування у часі з використанням адаптивного згущення кінцево-елементної сітки у місцях збільшення пластичних деформацій.

В результаті проведення низки імітаційних випробувань встановлено, що висота штампування буде тим більша, чим більший коефіцієнт тертя між пуансоном та заготовкою, та чим менший коефіцієнт тертя між заготовкою і матрицею та притискувачем. Також показано, що радіус округлення заготовки суттєво впливає на висоту штампування.



# СИНТЕЗ СИСТЕМ УДАЛЕНИЯ СТРУЖКИ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ ЗАКРЫТЫХ ПРОФИЛЬНЫХ ПАЗОВ

В. Г. Нечепаяев, д.т.н., проф., А. Н. Гнитько, асп.  
Донецкий национальный технический университет, Донецк

Обработка закрытых и полужакрытых пазов различных профилей (Т-образных, типа «ласточкин хвост», прямоугольных и др.), являющихся весьма нетехнологичными элементами конструкций, составляет существенную часть общего объема металлообработки. По выполненной оценке, годовой объем такой обработки составляет в Украине – около 4,5 км, в России – около 15 км, в мире – около 900 км.

Значительный объем и высокая трудоемкость технологических операций фрезерования пазов определяет актуальность задачи повышения их производительности.

Существенным резервом повышения производительности является устранение ограничения по фактору несвоевременного удаления стружки из зоны обработки.

Одним из возможных путей устранения этого ограничения является принудительное удаление стружки при помощи специальных устройств, в частности, использующих гидродинамический потенциал напорных струй жидкости, водо-воздушной смеси и т.д.

Для создания высокоэффективных образцов таких устройств выполнен следующий комплекс теоретических и экспериментальных исследований.

1. С использованием методологии системного подхода разработан ряд (6) математических моделей (ММ), описывающих



различные этапы процесса функционирования устройств удаления стружки:

- заполнение стружкой пространства между зубьями фрезы в процессе резания;
- перемещение элемента стружки вдоль передней поверхности зуба фрезы под действием инерционных сил и гидродинамической силы принудительного воздействия;
- перемещение элемента стружки вдоль паза под действием гидродинамической силы принудительного воздействия;
- заполнение стружкой пространства обрабатываемого паза;
- перемещение тела волочения, состоящего из элементов стружки, под действием гидродинамической силы принудительного воздействия.

2. Разработан ряд технических решений (устройств удаления стружки), новизна и практическая полезность которых подтверждена патентами Украины.

3. На основании разработанной методики определены рациональные параметры устройств удаления стружки.

4. В условиях специально созданного полноразмерного стенда выполнены экспериментальные исследования, позволившие подтвердить адекватность разработанных математических моделей и эффективность предложенных технических решений.

Разработанные устройства для принудительного удаления стружки обеспечивают повышение производительности обработки закрытых профильных пазов на величину до двух раз (при сохранении точности и качества обрабатываемых поверхностей в допустимых пределах). Так, при фрезеровании Т-образных пазов 12, достигнуто увеличение минутной подачи  $S_m$  от 100 до 200 мм/мин.



# СТАБИЛИЗАЦИЯ ДИНАМИКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАБАТЫВАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ В ПРОЦЕССЕ МЕХАНООБРАБОТКИ

Е.А. Никитчук, маг., Н.В. Гнатейко, к.т.н., докторант,  
В.А. Румбешта, д.т.н., проф.

Национальный технический университет Украины "КПИ", Киев

Данная работа посвящена разработке эффективных универсальных методов стабилизации динамики технологических обрабатывающих систем (ТОС) при механообработке (МО).

Известно, что возникновение динамических явлений в ТОС при МО является следствием энергетической неустойчивости самого процесса резания и упругой податливости обрабатываемой системы.

Нами исследованы причины неустойчивости характеристик процесса МО (ПМО) при точении. Установлено, что первопричиной возникновения динамических явлений – виброколебаний – в ТОС является нестабильность величины силы резания, её динамическая составляющая. Она возникает из-за колебания толщины срезаемого припуска, изменения прочности поверхности заготовки, фрикционных колебаний силы трения заготовки и поверхностей режущего инструмента, скола при стружкообразовании, износа вершины инструмента.

Динамическая составляющая силы резания через инструмент и деталь раскачивает рабочие элементы упруго-диссепативной системы станка, возбуждая в ней динамический фронт в виде автоколебательного процесса. Таким образом, во время МО в ТОС возникают два динамических фронта: от динамики процесса резания и автоколебательного процесса упругой системы станка.



Каждый формируется своими возмущающими факторами с различными частотно-временными характеристиками и энергетическими уровнями. Эти факторы суммируются в зоне контакта режущего инструмента и детали, образуя спектр колебательных процессов со своими амплитудно-частотными характеристиками. Низкочастотные квазипериодические колебания приводят к взаимному смещению инструмента и детали, образуя геометрические погрешности обработки, высокочастотные - образуют на обрабатываемой поверхности детали микрогеометрию.

Установлено, что во время МО в системе противодействуют два динамических фронта - общий суммарный вектор динамических сил резания и динамический суммарный вектор сил упругих колебаний элементов станка. При совпадении векторов сил по направлению и времени, динамические явления в ТОС возрастают, наступает резонанс и потеря устойчивости ПМО. Если добиться противоречия векторов сил, можно динамические процессы в ТОС уменьшить по принципу взаимогашения колебаний, что стабилизирует ТОС.

Экспериментально подтверждено, что фазово-частотными характеристиками процесса резания можно управлять в процессе МО, изменяя скорость резания. Динамические процессы в ТОС более инертны к таким переменам. Это позволяет получить за счёт определенного фазового сдвига основной гармоники колебаний силы резания противодействие двух динамических процессов в ПМО и ТОС и стабилизировать ТОС.

Нами разработана методика стабилизации ПМО по принципу противофазового гашения динамических явлений в ТОС; создана автоматическая поисковая система стабилизации ТОС и управления качеством ПМО.



# МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА НАРЕЗАНИЯ ВНУТРЕННИХ РЕЗЬБ МАЛЫХ ДИАМЕТРОВ (М2 – М6)

П.А. Новиков, асс.,

Севастопольский национальный технический университет,  
Севастополь

Если рассматривать процесс нарезания малых внутренних резьб (М2-М6), основными критериями можно назвать следующие: взаимообусловленные момент резания, возникающий на зубьях заборного участка и части зубьев калибрующего участка, и угол скручивания метчика относительно плоскости закрепления. Из-за относительно малой крутильной жесткости и особенностей самого процесса наиболее значимым является изменение именно такого параметра как угол скручивания, следовательно: оптимальным параметром для описания процесса резбонарезания является угол скручивания метчика.

На инструмент, обладающий некоторым моментом инерции - действует момент сил инерции, момент сил сопротивления движению, возникающий за счет внутренних сил трения в инструменте и материале обрабатываемого отверстия, и момент сил сопротивления скручиванию, обусловленный наличием крутильной жесткости инструмента. С другой стороны, в процессе резания на метчик действует момент резания, который и определяет процесс резбонарезания. Все выше перечисленные моменты сил представляются с помощью закона Ньютона следующим уравнением равновесия:

$$J_N \cdot \frac{d^2 \varphi_N}{dt^2} + \alpha_N \cdot \frac{d\varphi_N}{dt} + c_N \cdot \varphi_N = \sum_{i=1}^N M_{pi} + \sum_{i=1}^N \Delta M(t) + \sum_{i=1}^N M_{mp}(t) \quad (1)$$



где  $J_N$  - момент инерции метчика от данного зуба до плоскости закрепления;  $c_N$  - коэффициент сопротивления движению;  $c_N$  - коэффициент жесткости метчика от данного зуба до плоскости закрепления,  $\varphi_N$  - угол скручивания метчика на данном зубе;  $M_p$  - крутящий момент, расходуемый на "чистое" резание;  $\Delta M(t)$  - дополнительный момент сил резания возникающий от скручивания метчика;  $M_{mp}(t)$  - суммарный момент сил трения.

Коэффициенты  $J_N$ ,  $c_N$  в формуле (1) непостоянны и изменяются по зависимости, например для  $J_N$ :

$$J = \begin{cases} J_1, & t \geq t_N \\ f(J), & t_{N+1} \leq t < t_{N+1} + t_{\varphi_{N+1}} \\ J_2, & t \geq t_{N+1} + t_{\varphi_{N+1}} \end{cases} \quad (2)$$

Коэффициент  $\alpha_N$  остается постоянным, т.к. для него не меняются физические условия процесса.

Формула (1) описывает динамику скручивания  $N$  - го зуба, в то время как в процессе участвует не один зуб.

Математическая модель процесса нарезания резьб малых диаметров выразится системой:

$$\begin{cases} J_1 \cdot \frac{d^2 \varphi_1}{dt^2} + \alpha_1 \cdot \frac{d\varphi_1}{dt} + c_1 \cdot \varphi_1 = M_{p1} + \Delta M_1(t) + M_{mp1}(t), & t \geq 0 \\ J_2 \cdot \frac{d^2 \varphi_2}{dt^2} + \alpha_2 \cdot \frac{d\varphi_2}{dt} + c_2 \cdot \varphi_2 = M_{p1} + M_{p2} + \Delta M_1(t) + \Delta M_2(t) + M_{mp1}(t) + M_{mp2}(t), & t \geq t_1 + t_{\varphi_1} \\ \dots \\ J_N \cdot \frac{d^2 \varphi_N}{dt^2} + \alpha_N \cdot \frac{d\varphi_N}{dt} + c_N \cdot \varphi_N = \sum_{i=1}^N M_{pi} + \sum_{i=1}^N \Delta M_i(t) + \sum_{i=1}^N M_{mpi}(t), & t \geq \sum_{i=1}^{N-1} t_i + \sum_{i=1}^{N-1} t_{\varphi_i} \end{cases} \quad (3) \quad \Gamma$$

де  $t_i$  - время для преодоления расстояния между соседними зубьями,  $t_{\varphi_i}$  - время на преодоление угла скручивания  $\varphi_i$ .



# РАСЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РЕЗАНИЯ ПРИ ТАНГЕНЦИАЛЬНОМ ТОЧЕНИИ

В.В.Ольховик, маг.; К.А.Дядюра, к.т.н., доц.;  
Г.Г.Лагута, к.т.н., доц.; В.А.Залого, д.т.н., проф.,  
Сумский государственный университет, Сумы

Известно, что оптимум любой из используемых экономических функций (стоимость, производительность, прибыль) должен лежать на характеристической кривой  $Q_V - T$ , описываемой выражением

$$T = W(Q_V), \quad (1)$$

где  $T$  - стойкость инструмента, мин;  $Q_V$  - производительность резания,  $\text{мм}^3/\text{с}$ .

Вид функции (1) может быть установлен путем исключения параметров режима резания  $v$ ,  $s$  и  $\Delta$  из зависимостей для  $Q_V$  и  $T$ . Здесь  $v$  - скорость резания, м/с;  $s$  - подача, мм/об;  $\Delta$  - припуск, мм. Отсюда возникает задача приближенного представления известного выражения для  $Q_V$ , с целью упрощения преобразований.

Величину  $Q_V$  определяют по формуле

$$Q_V = V/T_0, \quad (2)$$

где  $V$  - объем срезаемого слоя материала,  $\text{мм}^3$ ;  $T_0$  - основное время, с.

Величину  $V$  определяют по формуле

$$V = \pi b \Delta (D - \Delta), \quad (3)$$

где  $D$  - диаметр обрабатываемой поверхности, мм;  $b$  - ширина срезаемого слоя, мм.



Величину  $T_0$  определяют по формуле

$$T_0 = l_s / ns, \quad (4)$$

где  $l_s$  - путь резания в направлении движения подачи, мм;  $n$  - частота вращения заготовки, об/с.

С учетом формул (2) - (4) путем последовательных преобразований получают величину  $Q_v$

$$Q_v = 1000v_s b \sqrt{\Delta(D - \Delta)} / D. \quad (5)$$

Формулу (5) можно упростить и представить в виде

$$Q_v = 1000v_s b \sqrt{\Delta/D}. \quad (6)$$

Относительная погрешность  $\delta$  определения величины  $Q_v$  по формуле (6) составит

$$\delta = \frac{\sqrt{\Delta/D} - \sqrt{\Delta(D - \Delta)}/D}{\sqrt{\Delta(D - \Delta)}/D}. \quad (7)$$

Установим предел применения формулы (7). Получим выражение для допускаемого значения  $[\Delta/D]$

$$[\Delta/D] = 1 - 1/(1 + [\delta])^2, \quad (8)$$

где  $[\delta]$  - допускаемая относительная погрешность.

Целесообразно установить значение  $[\delta]$ , например, на уровне 5%. Тогда значение  $[\Delta/D]$  будет

$$[\Delta/D] = 1 - 1/(1 + [0,05])^2 \approx 0,093. \quad (9)$$

При постоянных значениях  $D$  и  $b$  формулу (6) представляют в виде

$$Q_v = k v_s \sqrt{\Delta}, \quad (11)$$

где  $k$  - коэффициент,  $k = 1000b/\sqrt{D}$ .



Для решения задачи определения функции (1) необходимо находить, в том числе, выражение  $\partial Q_V / \partial \Delta$ . Дифференцируя выражение (11), будем иметь

$$\partial Q_V / \partial \Delta = kvs / 2\sqrt{\Delta}. \quad (12)$$

Выражение (12) намного проще использовать, чем результат дифференцирования выражения (5).

## **ШВИДКІСТНЕ РІЗАННЯ–ЯК ОСНОВНИЙ НАПРЯМОК ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МЕХАНІЧНОЮ ОБРОБКОЮ**

О.В. Осадчий, маг., В.А. Держук, к.т.н., доц.  
Національний технічний університет України "КПІ", Київ

В даній роботі проведено обґрунтування одного з перспективних методів підвищення продуктивності виготовлення деталей приладів шляхом збільшення швидкості обробки.

Підвищення продуктивності виготовлення деталей приладів і машин шляхом збільшення швидкості можливо широким впровадженням різноманітних процесів високошвидкісної обробки (ВШО). Теоретичне обґрунтування фізичних параметрів ВШО до теперішнього часу далеке від завершення. Не визначені параметри впливу тертя, деформації матеріалу і, особливо, швидкості деформації на сили різання, температури, стружко утворення та стружко знімання. Наукове обґрунтування і практичне використання високошвидкісних процесів обробки при виготовленні деталей приладів і машин далеке від досконалості. Українські технологічні школи займаються вивченням ВШО недостатньо і не в повній мірі, тому дана робота є деяким доповненням прогалини цієї проблеми.



Основним стримуючим параметром при запровадженні процесів швидкісного і надшвидкісного різання являється температурний фактор.

Теплові явища в зоні різання прямо впливають на:

- характер стружко утворення;
- наростоутворення;
- усадку стружки;
- сили різання;
- мікроструктуру поверхневого шару;
- затуплення різального інструменту;
- період його стійкості та інше.

На теперішній час, двигуни обертання не єдині двигуни за допомогою яких можна оброблювати деталі машин, крім них ще будуть використовуватись двигуни лінійного переміщення. З'явилась обробка на хопрових, рушничних, гарматних та балістичних установках. Ці методи обробки прогресивні і мають можливість зайняти своє місце на рівні з обробкою на двигунах обертання.

В даній роботі було зроблено:

- створено класифікацію та розподіл діапазонів швидкостей в залежності від їх призначення та галузі науки, що вивчає та використовує швидкість;
- обґрунтовані процеси високошвидкісної обробки на підставі аналізу їх фізико – механічних особливостей;
- розглянуто вплив всіх параметрів на продуктивність, температуру, зношення інструменту тощо.

Продуктивність обробки в зв'язку з підвищенням рівня швидкостей різання значно зростає, це може досягати в 3...10 разів.



Велика швидкість створює надшвидкісне різання економічно ефективним, особливо при обробці спеціальних матеріалів та деталей. Зростання темпів виробництва за останні роки в Україні дає привід для подальших розглядів цього перспективного напрямку.

Швидкісна обробка – це прогресивне майбутнє, повз яке, ми не маємо право пройти.

## **МОДЕЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ З ЗАХИСНИМИ ПОКРИТТЯМ**

В.В. Панівко, маг.; В.С. Антонюк, к.т.н., доцент,  
Національний технічний університет України „КПІ”, Київ

Захисні покриття широко використовуються для підвищення зносостійкості та працездатності елементів конструкцій, які працюють в умовах термосилового навантаження. Для розрахунку напружено деформованого стану елементів. Які мають складні геометричні форми і знаходяться в екстремальних умовах експлуатації застосовуються сучасні обчислювальні методи, зокрема скінченних елементів (МСЕ), що є потужним чисельним методом розв'язування різноманітних інженерних задач та має вирішальне місце в прогнозуванні працездатності конструктивних елементів в умовах дії експлуатаційних факторів, і який реалізовано у таких відомих програмах як ANSYS, NASTRAN, COSMOS та інші.

Числове моделювання процесів напружено-деформованого стану, який є наслідком дії силових та температурних факторів проводиться в рамках механіки деформованого твердого тіла.



Для цього розглядаються дві задачі – визначення температурного поля і аналіз напружено-деформованого стану з урахуванням нерівномірного розподілу температур. Дана робота присвячена визначенню температурного поля та напружень в різальному інструменті з захисними покриттями.

Скінченно-елементний аналіз дозволяє отримати розподіл температурних полів, що виникають в інструменті в процесі різання і оцінити роль покриття.

Аналіз температур, які виникають в різальному інструменті в момент врізання дозволяє визначити наявність значного температурного градієнта в шарі покриття в момент врізання.

З ростом часу значення градієнта в шарі покриття зменшується. При цьому спостерігається значна різниця між температурою на поверхні покриття і температурою в основі.

Слід зазначити, що градієнт температур в поверхневому шарі самої основи менше для різального інструмента з покриттям ніж для інструмента без покриття. Це дозволяє зробити висновок про термозахисну роль покриття на різальному інструменті.

Порівняння з розподілом еквівалентних напружень при силовому і термосиловому навантаженні показує, що максимум напружень при термосиловому навантаженні знаходиться на поверхні різального інструменту. Водночас зберігається незначний екстремум на глибині. Найбільшій різниця визначених напружень в різні моменти часу спостерігається ближче до поверхні і нівелюється на глибині.

Застосована методика дозволяє визначити вплив захисного покриття на напружено-деформований стан елементів конструкцій, що працюють в умовах термосилового навантаження.



# ВІДНОВЛЕННЯ КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ ДВЗ ІОННО-ІМПУЛЬСНИМ АЗОТУВАННЯМ

<sup>1</sup>Е.К.Посвятенко, д. т. н., проф.; <sup>2</sup>А.В.Рутковський, к. т. н., с.н.с.;  
<sup>1</sup>В.В.Алексєєв, маг.

<sup>1</sup>Національного Транспортного Університету, Київ

<sup>2</sup>Інститут проблем міцності НАНУ, Київ

Після першого ремонту механічною обробкою корінних та шатунних шийок, наприклад для ДВЗ ЯМЗ при кожному повторному ремонті знімається 0,25мм. Таке зняття поверхневого шару призводить до втрати твердості. Тому мета роботи – відновити та збільшити твердість поверхневого шару шийок після першої ремонтної операції. Як базова технологія обране іонне азотування, яке дуже поширене в світовій практиці машинобудуванні.

Відмінні особливості даної роботи:

- як робоче середовище у закордонних технологіях використовується водень. Це призводить до зниження механічних властивостей серцевини деталі. Наша розробка передбачає заміну водню аргонно-азотною сумішшю.

- для проведення процесу іонного азотування розроблено схему живлення в імпульсному режимі, що дозволяє значно зменшити час азотування та витрати, що супроводжують цей процес.

Серед основних параметрів нової технології нанесення покриття слід визначити такі:

- товщина нанесеного покриття, мкм	3
- тривалість процесу, год	8
- глибина вакууму, Па	0,4
- робочий тиск, Па	80-130
- твердість одержаного покриття, HRC	50-55



Система установки включає:

- систему живлення, яка має трансформаторний блок, силовий випрямляч та систему управління

- вакуумну систему

- систему подачі газів

Установлено, що іонне азотування служить фінішною операцією при відновленні колінчатих валів ДВЗ і на відміну від цементації і у порівнянні з нею має такі переваги:

- більш високу твердість поверхні після обробки

- відсутність деформацій після обробки

- збільшення зносостійкості відновленої деталі

- меншу температуру обробки внаслідок чого немає структурних змін у сталі

- зниження собівартості відновлення

## **ВИКОРИСТАННЯ АЛГОРИТМІВ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАДАЧ**

Ю.О. Почтар, маг., С.П. Вислоух, к.т.н., доц.

Національний технічний університет України "КПІ", Київ

Сучасне приладобудування йде шляхом постійного вдосконалення приладів – поліпшення їх характеристик та надійності. Це досягається завдяки покращенню якості складових деталей приладів, а саме таких параметрів як точність та зносостійкість, що значно ускладнює технологію їх виготовлення.

Для проектування технології виготовлення деталей, особливо в автоматизованому режимі, треба знати раціональні умови їх обро-



бки. Ці умови можна визначити за допомогою математичних моделей відповідних вихідних параметрів технологічного процесу.

Виявлення залежностей параметрів процесу різання та будь якого іншого процесу обробки на вихідні параметри деталі є дуже складною задачею. Це викликано тим, що на технологічний процес впливає багато контрольованих та неконтрольованих факторів і всі їх врахувати при проведенні експериментальних досліджень для отримання необхідних математичних моделей неможливо.

Ефективним методом отримання математичних моделей, що адекватно описують досліджуваний процес, є побудова відповідних моделей на основі незначної кількості експериментальних даних за допомогою штучних нейронних мереж.

Алгоритм нейронних мереж - це вірогідна модель нервової системи людини, що базується на паралельній обробці інформації. Параметрами нейрону є його передаточна функція і ваги його входів.

Штучна нейронна мережа – це набір нейронів, з'єднаних між собою. Як правило, передаточні функції всіх нейронів в мережі – фіксовані, а вага – є параметр мережі, який може змінюватися. Таким чином робота нейромережі полягає в перетворенні вхідного вектора в вихідний, що обумовлено вагою.

За допомогою цього алгоритму отримуємо модель, що дозволяє прогнозувати результати процесів за вхідними параметрами. Отже, після “тренування” моделі, яке відбувається на основі експериментальних даних, тобто коли відомі вхідні та вихідні параметри, можна задавати будь які вхідні параметри, а на виході отримувати необхідні нам якісно-точні характеристики досліджуваного процесу.



Іншим напрямком використання алгоритму нейронних мереж є розпізнавання образів та класифікація. За допомогою цих алгоритмів можна успішно проектувати технологічні процеси виготовлення деталей шляхом вибору деталі-аналога при відомих конструктивно-технологічних параметрах нової деталі. Для цього треба подати на входи мережі необхідні вхідні параметри нової деталі, а на виході отримати код деталі-аналога, технологічний процес виготовлення якої буде основою для розробки нової технології.

Метою даної роботи є розробка програмного продукту на основі алгоритму нейронних мереж, що дозволить швидко та точно розв'язувати прикладні задачі технологічної підготовки виробництва в машино- та приладобудуванні.

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЭЛАСТИЧНОГО ИНСТРУМЕНТА**

А.Е. Проволоцкий, д.т.н., проф.; С.Л. Негруб, асс.  
Национальная металлургическая академия Украины,  
Днепропетровск

На кафедре технологии машиностроения Национальной металлургической академии Украины проводятся обширные исследования абразивной обработки эластичными инструментами. К таким инструментам относятся шлифовальные круги, рабочая часть которых представляет собой пространство, заполненное волокнами из полимер - абразивной массы. Указанный инструмент является разновидностью известных металлических щеток, но обладающий большими конструктивными особенностями: по всей длине волокна заполнены абразивными частицами, что позволяет работать не только торцом волокон, а и их деформиро-



ванным участком. Такие шлифовальные круги широко используются для выполнения различных работ по подготовке деталей перед покрытием, очистке поверхностей от окалины, ржавчины, краски, снятия заусенцев и особенно полированию деталей машин на финишных операциях. Полимер - абразивные круги имеют широкие технологические возможности. Такого рода инструменты не устанавливаются на определенную глубину резания, а необходимые условия для работы отдельных зерен создаются, как правило, за счет предварительного (статического) нагружения. Все технологические режимы определяются на производстве экспериментально.

В работе получены аналитические зависимости для основных технологических показателей силы резания, крутящего момента и мощности привода. Зависимости учитывают взаимодействие инструмента и обрабатываемой поверхности, вид обрабатываемой поверхности, угол контакта инструмента и заготовки, возникающий в момент деформации рабочих элементов на некоторую величину и др. Результаты аналитических исследований позволяют определять основные параметры процесса по полученным выражениям, а не экспериментально в каждом конкретном случае. Рассмотрены также вопросы нагружения рабочих элементов с целью определения величины максимально допустимых напряжений, возникающих при обработке и для дальнейшей оптимизации процесса обработки этим инструментом.

При эксплуатации большое значение имеет характер микрорельефа обработанных поверхностей. Гидроёмкость поверхности представляет собой способность микрорельефа удерживать в микровпадинах жидкость так, что при давлении на них эта жид-



кость не вытекает за границы лунки. Это свойство поверхности различно у разных микрорельефов. Как отмечалось, микрорельеф поверхности после обработки шлифовальным кругом выглядит как блок направленных рисок. Это существенно влияет на свойства гидроемкости поверхности. Наилучшие результаты здесь показывает матовая поверхность. Обработка образцов эластичным инструментом при расположении неровностей под углом к направлению перемещения поверхности и друг к другу дает поверхность по своим свойствам схожую с матовой поверхностью. Полученные результаты позволяют рекомендовать описанные методы получения матовых микрорельефов при обработке пар трения. Примеры применения: обработка прессформ для вулканизации резиновых манжет насосов, создание матовой поверхности на внутренней поверхности гидроцилиндров и других подобных изделий. Большой интерес представляет использование эластичного инструмента на операциях полирования, зачистки, подготовки поверхности под нанесение покрытий. При применении эластичного инструмента выполняется очистка листового и круглого проката от окалины и придание ему товарного вида, обработка труб перед нанесением на них защитного покрытия, обработка наружной винтовой поверхности шнеков и внутренней поверхности экструдеров (получение низкой шероховатости при изготовлении, а при ремонте - очистка этих деталей от налипшей полимерной массы), финишная обработка ходовых винтов и зубчатых колес.



## РЕЖУЩАЯ КЕРАМИКА. СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

<sup>1</sup>Н.М. Прокопив, к.т.н.; <sup>2</sup>С.И. Джелялов,

<sup>1</sup>Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАНУ, Киев,

<sup>2</sup>Крымский государственный инженерно-педагогический университет, Симферополь

В работе представлены результаты анализа литературных источников касающихся состояния и путей развития современных керамических материалов инструментального назначения.

Показано, что инструментальная керамика, на сегодня применяется для обработки широкой номенклатуры твердых (HRC > 60) жаропрочных, легированных сталей и чугунов при повышенных температурах резания.

Увеличение объемов труднообрабатываемых конструкционных материалов в машиностроении, интенсификация режимов резания требует совершенствования старых и создания новых керамических режущих материалов с лучшими эксплуатационными характеристиками. Об этом свидетельствует динамика роста промышленного выпуска режущей керамики ведущими мировыми производителями («Sandvik Coromant» (Швеция), «Krupp Widia» (Германия), «Kennametall» (США) и др.) от 3 – 5 % в 90-х гг. до 10 – 12 % на данный момент. На сегодня производится пять основных видов режущей керамики: оксидная на основе  $Al_2O_3$ ; смешанная типа  $Al_2O_3 - TiC$  ( $TiN$ ); нитридная на основе  $Si_3N_4$ ; керамика  $Al_2O_3 - ZrO_2$  и армированная волокнами  $SiC$ .

Для координального решения задач интенсивно развивающейся металлообрабатывающей отрасли необходимо существенно повысить механические и эксплуатационные свойства ре-



жущей керамики. Совершенствование промышленных ее видов эту проблему не решает. Поэтому развитие новых видов керамических режущих материалов идет по двум основным направлениям:

– разработка нанокompозитов (с размером зерна  $< 100$  нм), механические характеристики которых в 1,5 – 2 раза, а эксплуатационные в 5 – 10 раз превышают свойства классических материалов. Недостатком данного направления является сложность и дороговизна производства нанопорошков (до 700 € / кг) и материалов из них. Об этом свидетельствует незначительный промышленный выпуск (1 – 2 % от общего объема инструмента) таких материалов в Японии и США и отсутствие выпуска его в других странах;

– использование технологий синтеза композитов с применением реакционных смесей типа:  $MeO + Al (Ti, Mg \text{ и др.}) + C$ , где  $Me$  – тугоплавкий металл. Дешевизна сырья, низкая энергоемкость процесса привлекает к этим методам все большее внимание специалистов многих стран. Сложность контроля экзотермической реакции, которая приводит к образованию неоднородностей структуры, препятствует применению этих методов для производства новых керамических режущих материалов.

Ограниченность материальных ресурсов в Украине, сдерживающая развитие дорогих нанотехнологий, наличие промышленного выпуска дешевого оксида циркония, титана, кремния, металлического магния, алюминия и титана делает методы реакционного синтеза материалов наиболее перспективными для создания и промышленного выпуска конкурентоспособных режущих керамических материалов.



## ГЕОМЕТРІЯ ДИСКОВИХ ВІДРІЗНИХ ФРЕЗ

<sup>1</sup>Н.С. Равська, д.т.н., проф.; <sup>2</sup>Н.О. Нощенко, асп.,

<sup>1</sup> Національний технічний університет України "КПІ", Київ,  
<sup>2</sup> Житомирський державний технологічний університет, Житомир

Дискові відрізнi фрези працюють в тяжких умовах. При відрізці заготовок відбувається інтенсивний знос різальних кромок при вершинах, в ряді випадків відбувається заклинювання зубців, мають місце несприятливі умови стружкоутворення.

Великий вплив на працездатність фрез справляє схема зрізання припуску. З метою підвищення стійкості фрез використовують різноманітні схеми зрізання припуску. Однак у таких фрез величини геометричних параметрів їх різальної частини не досліджені різнобічно. Тому авторами розглядається задача визначення геометричних параметрів різальної частини при найбільш загальній схемі зрізання припуску відрізними дисковими фрезами з зубцями, що чередуються, різної форми і розташуванням різальних кромок на суміжних зубцях.

Авторами досліджено особливості конструкції дискових фрез із зубцями, що чередуються. Графічно вирішена задача та виведені аналітичні залежності для розрахунку статичних геометричних параметрів дискових відрізнних фрез для загального випадку розміщення передньої і задньої поверхонь. Виведені аналітичні залежності для визначення товщини зрізу в досліджуваній точці різальної кромки в різні моменти часу при обертанні дискової фрези навколо своєї осі.

Інструментальний кут в плані визначається за формулою:



$$\operatorname{tg} \varphi_i = \frac{A_2 P_2}{P_2 B_2} = \frac{R}{\operatorname{ctg} \varphi_n (1 - \operatorname{tg} \gamma_n \operatorname{tg} \alpha_n) R} = \frac{\operatorname{tg} \varphi_n}{1 - \operatorname{tg} \gamma_n \operatorname{tg} \alpha_n}, \quad (1)$$

де  $\gamma_n, \alpha_n$  - відповідно інструментальні передній та задній кути, виміряні в перерізі перпендикулярному осі фрези;  $\varphi_n$  - кут в плані в цьому ж перерізі.

Статичний кут нахилу різальної кромки в точці:

$$\operatorname{tg} \lambda_c = \operatorname{tg} \gamma_n \sin \varphi_i. \quad (2)$$

При  $\varphi_n=0$ ,  $\varphi_i = 0$ ,  $\operatorname{tg} \lambda_c = 0$ , тобто  $\lambda_c = 0$ .

Статичний передній кут в нормальному до різальної кромки перерізі в досліджуваній точці буде дорівнювати::

$$\operatorname{tg} \gamma_{Nc} = \frac{\cos \varphi_i}{A_1 B_1 \sqrt{\sin^2 \varphi_i + \operatorname{ctg}^2 \gamma_n}} \quad (3)$$

При  $\varphi_n=0$ ,  $\varphi_i = 0$ ,  $\operatorname{tg} \lambda_{Nc} = \frac{1}{\operatorname{ctg} \gamma_n}$ , тобто  $\lambda_{Nc} = \gamma_n$ .

Статичний нормальний задній кут:

$$\operatorname{tg} \alpha_{Nc} = \frac{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \alpha_n \cos^2 \varphi_n + \sin^2 (\varphi_i - \varphi_n)}}{\cos (\varphi_i - \varphi_n)} \quad (4)$$

При  $\varphi_n=0$  будемо мати  $\varphi_i = 0$ ,  $\operatorname{tg} \lambda_{Nc} = \sqrt{\operatorname{tg}^2 \alpha_n}$ , тобто  $\lambda_{Nc} = \gamma_n$ .

Статичний кут в плані дорівнює:

$$\operatorname{tg} \varphi_c = \frac{1 - \operatorname{tg} \operatorname{tg} \alpha_n}{\operatorname{tg} \varphi_n}. \quad (5)$$

Товщина зрізу в розглядуваній точці різальної кромки визначається за формулою:

$$a = S_z \cos \eta \cos \varphi_i, \quad (6)$$

де  $\eta$  - кут повороту досліджуваної точки навколо осі фрези.

При  $\eta = 0$   $a = S_z \cos \varphi_i$ , при  $\eta = 0$  і  $\varphi_i = 0$ .



# ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗДЕЛИЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

<sup>1</sup>О. Розенберг, д.т.н., проф.; <sup>1</sup>В. Возный, к.т.н., с.н.с.;

<sup>1</sup>С. Сохань, к.т.н., с.н.с.; <sup>2</sup>J. Gawlik, д.т.н., проф.; <sup>2</sup>M. Niemczewska, асп.

<sup>1</sup>Институт сверхтвёрдых материалов им. В.Н. Бакуля НАНУ, Киев,

<sup>2</sup>Университет «Краковская политехника», Краков, Польша

К функциональным поверхностям элементов подвижных соединений, работающих в специфических условиях организма животного, либо человека предъявляются высокие требования по точности изготовления (особенно несферичности), качеству обработанной поверхности, а также ресурсу работы.

Характеристики обработанной функциональной поверхности в значительной мере, зависят от технологии и схемы их обработки. Так, используя различные технологии, при обработке одного и того же материала, можно получить количественные характеристики поверхности, которые отличаются на порядок. При необходимости получения заданных значений характеристик поверхности (порядка 0.003-0.03 мкм) необходимо использовать различные схемы нагружения инструмента.

При различных схемах притирки, площадь контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью находится в следующих соотношениях (1):

$$\left\{ \begin{array}{l} S_k = \frac{S_\partial}{S_u} = 1 \\ S_k' = \frac{S_\partial}{S_u} = 0.25 \dots 0.5 \\ S_k'' = \frac{S_\partial}{S_u} = 0.05 \dots 0.2 \end{array} \right. ; \quad (1)$$



где  $S_k, S'_k, S''_k$  – площадь контакта инструмента с деталью при плоской притирке, притирке детали со сферической поверхностью, притирке шарика соответственно;

При нагрузке прикладываемой к инструменту удельная нагрузка, оказываемая на обрабатываемую деталь, будет отличаться соответственно (2):

$$\begin{aligned} P_y &= 2...4P'_y; \\ P_y &= 5...20P''_y. \end{aligned} \quad (2)$$

где,  $P_y, P'_y, P''_y$  – удельные нагрузки прикладываемые к инструменту при плоской притирке, притирке детали со сферической поверхностью, притирке шарика соответственно.

При измерении характеристик обработанной поверхности установлено, что шероховатость (для сапфира) и точность поверхности находится в прямой зависимости от прикладываемой к инструменту удельной нагрузки. Поскольку при обработке сапфира образуется большая и разветвленная сетка микротрещин, время обработки должно быть увеличено, по крайней мере, в 3-4 раза по сравнению со временем обработки шариков из  $ZrO_2$ . Отличительной особенностью обработки поверхности шариков из  $ZrO_2$  и сапфира при притирке с нестационарным положением оси вращения детали является длительность самого процесса.



## **ВЫРАВНИВАНИЕ СЪЕМА ПРИПУСКА ПРИ АЛМАЗНОЙ ДОВОДКЕ ДЕТАЛЕЙ ТИПА УСЕЧЕННЫЙ ШАР ИЗ КЕРАМИКИ**

О. А. Розенберг, д.т.н., проф; С. В. Сохань, к.т.н., с.н.с.;  
А. Л. Пузырёв, асп.,

Институт сверхтвёрдых материалов им. В.Н. Бакуля НАНУ, Киев

В настоящее время все более широкое применение в медицине находят биоинертные керамические элементы эндопротезов суставов (на основе  $Al_2O_3$  и  $ZrO_2$ ). В подвижном соединении «полусферическая головка – ацетабулярная чашка» головку изготавливают из керамики, а чашку из высокоплотного полиэтилена. Как правило, полусферические головки эндопротезов изготавливают диаметром 28,0 и высотой 24,5 мм. Основным требованием, предъявляемым к этим изделиям, является обеспечение высокой точности формы (несферичность не более 0,5 мкм) при сравнительно невысоких требованиях к точности линейных размеров (~ 0,01 мм).

В Институте сверхтвёрдых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины разработана технология алмазной обработки керамических эндопротезов суставов, основанная на взаимной притирке кольцевого притира и детали. Основной недостаток такой технологии заключается в невозможности обеспечения съема припуска равной толщины. Неравномерность съема припуска обусловлена влиянием основных технологических факторов процесса: скорости скольжения поверхностей, которые отличаются для отдельных элементарных площадок контакта по величине в 15 – 17 раз, и контактного давления в зоне обработки, отличающегося по величине в 2 раза.



Новая схема обработки предусматривает вращение обрабатываемой детали вокруг двух пересекающихся осей, что способствует выравниванию съема припуска по профилю детали. Выравнивание контактного давления достигается за счет применения разрезного притира-цанги.

С целью аналитического исследования кинематики процесса разработана математическая модель описания скорости скольжения поверхностей.

$$\begin{cases} \Delta V^\xi = V_0^\xi + V_1^\xi - V_2^\xi = \omega_2 \cdot R \cdot \cos \gamma_{n\eta} - R \cdot (\omega_0 \cdot \cos \gamma_{z'\eta} + \omega_1 \cdot \cos \gamma_{z\eta}); \\ \Delta V^\eta = V_0^\eta + V_1^\eta - V_2^\eta = \omega_2 \cdot R \cdot \cos \gamma_{n\xi} - R \cdot (\omega_0 \cdot \cos \gamma_{z'\xi} + \omega_1 \cdot \cos \gamma_{z\xi}). \end{cases}$$

где выражения для направляющих косинусов между базисами движения шпинделя, детали, притира и поверхностей в контакте имеют вид:

$$\begin{cases} \cos \gamma_{n\xi} = 0 \\ \cos \gamma_{n\eta} = \sin \theta \\ \cos \gamma_{z'\xi} = -\cos \varphi \cdot \sin(\alpha - \beta) \\ \cos \gamma_{z'\eta} = \sin \theta \cdot \cos(\alpha - \beta) + \cos \theta \cdot \sin \varphi \cdot \sin(\alpha - \beta) \\ \cos \gamma_{z\xi} = -\cos \varphi \cdot \sin(\alpha - \beta) \cdot \cos \beta - \cos \varphi \cdot \cos(\alpha - \beta) \cdot \cos \omega_1 t \cdot \sin \beta - \sin \varphi \cdot \sin \omega_1 t \cdot \sin \beta \\ \cos \gamma_{z\eta} = \sin \theta \cdot \cos(\alpha - \beta) \cdot \cos \beta + \cos \theta \cdot \sin \varphi \cdot \sin(\alpha - \beta) \cdot \cos \beta - \sin \theta \cdot \sin(\alpha - \beta) \cdot \cos \omega_1 t \cdot \sin \beta \\ + \cos \theta \cdot \sin \varphi \cdot \cos(\alpha - \beta) \cdot \cos \omega_1 t \cdot \sin \beta + \cos \theta \cdot \cos \varphi \cdot \sin \omega_1 t \cdot \sin \beta \end{cases}$$

Новая конструкция разрезного притира-цанги позволяет снизить в два раза неравномерность распределения контактного давления в зоне притирки и описывается следующим выражением:

$$P'' = P \cdot \cos \gamma \cdot \cos(\theta - \gamma)$$

В результате компьютерного исследования процесса установлены технологические режимы, при которых выравниваются скорости скольжения поверхностей и контактное давление в зоне притирки.

Предложен новый параметр управления процессом обработки: изменение установочных углов пересечения осей вращения



детали и притира позволяет обеспечить преимущественный съём припуска при вершине, на периферии или эквидистантно профилю детали.

## **ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ**

М.О. Симута, маг.; С.П. Вислоух, к.т.н., доц.

Національний технічний університет України "КПІ", Київ

Розробка нових матеріалів і сплавів потребує проведення експериментальних досліджень, пов'язаних з визначенням раціональних умов їх обробки. Особливо це стосується матеріалів, які мають гетерогенну структуру, зокрема наплавлених або напилених.

Поверхню отриману при обробці різанням, як і більшість природних об'єктів, неможливо адекватно описати за допомогою методів класичної геометрії. Таку змогу дає розроблена Мандельбротом фрактальна геометрія.

Запропонована Мандельбротом теорія фракталів дала розвиток багатьом напрямкам досліджень, в тому числі і фрактальній теорії різання, яка дозволяє більш повно оцінити закономірності процесу матеріалообробки.

В сучасній теорії обробки матеріалів різанням оброблюваність матеріалу представляється як масштабно залежна величина тому, що традиційно використовувані характеристики структури та механічних властивостей матеріалу залежать від масштабу їх оцінки. Наприклад, при обробці спечених металокерамічних матеріалів відхилення в величинах допустимої швидкості різання для матеріалів з близькими механічними властивостями досяга-



ють 40-50 %. Це пов'язано з оцінкою твердості матеріалів без врахування їх фрактальних особливостей. В той час теорія фракталів дозволяє розглядати структурні властивості матеріалів на масштабно незалежному рівні.

Фрактальні особливості проявляються при комплексному розгляді кількох співпорядкованих рівнів характеристик матеріалу – структури, властивостей, геометричних параметрів тощо. Фрактальна структура матеріалу пов'язана з нестандартними властивостями розподілення матеріалу в просторі через те, що на процес формування поверхні мають вплив випадкові фактори.

Фрактальність структури та властивостей оброблюваного матеріалу має безпосередній вплив на режими різання, якість отримуючої поверхні, термосилові особливості процесу різання, процес стружко утворення, зношення інструменту тощо.

Зі збільшенням фрактальної розмірності поверхні оброблюваного матеріалу збільшуються нестабільність умов різання: постійно змінюється величина п'ятна контакту інструмента зі стружкою та оброблюваною поверхнею. Це призводить до змінності сили тертя на передній поверхні інструмента та сили різання, що зумовлює зростання вібрації в зоні різання, впливає на температурно-силові закономірності процесу різання, зниженню якості обробленої поверхні, прижогів, зменшує стійкість інструменту, внаслідок росту ударних нагрузок. Це пов'язано з тим, що збільшення дефектного шару матеріалу при збільшенні його гетерогенності прямо впливає на збільшення фрактальної розмірності поверхні матеріалу.

Тому досить перспективним є використання методів фрактального аналізу для визначення оброблюваності матеріалів різанням



та визначення технологічних параметрів механічної обробки деталей приладів враховуючи параметри поверхні, що оброблюється.

## **РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОПЕРАЦИИ ПЛОСКОГО НАРУЖНОГО ШЛИФОВАНИЯ**

Д. Е. Сидоров, асп.; Д.А. Каинов, к.т.н., доц.

Севастопольский национальный технический университет,  
Севастополь

Окончательно качество изделий формируется на финишных операциях. Это определяет актуальность дальнейшего усовершенствования таких операций. Задача повышения их производительности при обеспечении стабильности требуемых параметров качества геометрии поверхности деталей требует учета влияния возмущающих факторов в ходе протекания финишного технологического процесса.

Руководствуясь результатам производственной практики при назначении технологических режимов, обычно исходят из наиболее неблагоприятных условий, что соответствует средним опытно-статистическим характеристикам для партии деталей, но поднимает расходы на производство каждой отдельной детали, а, следовательно, и партии в целом.

В настоящее время порядка 15...20% финишных операций осуществляются методами плоского наружного шлифования.

В соответствие с указанным ранее требования к повышению производительности для операций плоского шлифования являются актуальными в условиях, диктуемых рынком.

Учет изменения и оценка воздействия возмущающих факторов на технологический процесс требует построения математи-



ческого описания. К такому описанию необходимо отнести динамические модели технологического процесса и соответствующие математические модели воздействующих факторов.

Динамику процесса врезного шлифования полнее всего отражает нормальная сила шлифования  $F_{сн}$ . В состав такой силы входит ее среднее значение, составляющие, вызванные остаточным дисбалансом шлифовального круга, а также отклонениями форм инструмента и заготовки в зоне их взаимодействия.

Величина среднего значения  $F_{сн}$  зависит от средних значений взаимоположения центра шлифовального круга и поверхности заготовки и определяется технологическими режимами обработки. В свою очередь, она определяет среднее значение перемещений упругой системы станка, которое может быть определено и учтено на этапе разработки технологического процесса.

Составляющие, вызванные эффектами дисбаланса и отклонениями форм шлифовального круга и заготовки, приводят к отклонениям от номинального (спроектированного) технологического режима обработки и отклонениям в показателях качества обработанной поверхности.

В докладе представлена математическая модель, учитывающая взаимовлияние рассмотренных выше факторов, включающая динамику упругой системы с учетом зоны взаимодействия заготовки и инструмента в ходе технологического процесса, эффектов дисбаланса и отклонения форм шлифовального круга и детали.

Разработанная математическая модель операции плоского наружного шлифования предназначена для определения оценок характеристик качества обработанных деталей и может быть использована при построении систем автоматического управления



процесом плоского наружного шлифования и интенсификации производства деталей без ухудшения качества выпускаемой продукции.

## **ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В СУЧАСНОМУ ПРИЛАДОБУДУВАННІ**

Н.В. Стельмах, ас.; С. П. Вислоух, к.т.н., доц.  
Національний технічний університет України "КПІ", Київ

Одним з важливих завдань, що постають перед економікою нашої країни є реформування вітчизняної промисловості. Безумовно, що це масштабне завдання не може бути вирішене без широкого використання сучасних технологій, що дозволяють значно підвищити ефективність виробництва. Інформаційна підтримка життєвого циклу виробів належить до числа найбільш перспективних технологій цього напрямку. Вона давно й успішно використовується на передових зарубіжних підприємствах і має назву CALS-технології.

Донедавна основна частина конструкторської документації виготовлення приладів розроблялася у відділах конструкторського бюро (КБ) із використанням різноманітних САПР. Взаємодія між різними модулями при цьому була відсутня. Оскільки така ситуація серйозно обмежувала ефект використання САПР, перед фахівцями КБ була поставлена задача організувати інформаційний обмін між програмними компонентами. Отже потрібно розробити наскрізну потокову систему проектування і технологічної підтримки виробництва всього комплексу виготовлення приладів, що гарантувало б значне зростання продуктивності праці конструктора. Формування подібного ланцюга проектування з використанням різних САПР вирішено реалізувати через



організацію інтерфейсів взаємодії, що представляють собою якийсь проміжний формат. Інформація з однієї системи проектування, перетворена в цей формат, сприймається в наступній по ланцюгу системі. З'являється можливість без втрат та оперативно інтегрувати в існуючу систему нові програмні модулі та освоювати сучасні методи проектування виготовлення приладів.

Задачею цієї роботи є на основі CALS-технологій, розробити автоматизовану систему для збору та обробки технологічної інформації.

Автоматизована система розробка якої є метою в даній роботі має являти собою гнучкий комплекс з обробки, редагування технологічної інформації та використанні її в виробничих процесах, а також надає можливість подання вихідної інформації в зручній формі, має високий ступінь гнучкості і може бути легко модифікованою для розв'язання інших задач керування та контролю за ходом технологічного процесу.

Для цього потрібно розробити методику використання автоматизованої системи обробки технологічної інформації, що дає можливість не тільки проводити та контролювати весь технологічний цикл виробництва, але й дає можливість аналізувати виробничі процеси з метою покращення їх показників та проектування у майбутньому повністю автоматизованих виробництв з високим показниками як виробничого характеру, так і з точки зору екологічної чистоти виробництва.

Створювана автоматизована інформаційна система визначення керуючих дій, дозволить значно підвищити ефективність технологічної підготовки виробництва та оптимізувати структуру та параметри розв'язання різноманітних технологічних задач.



# **ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ТОКАРНИХ ТВЕРДОСПЛАВНИХ РІЗЦІВ КЕРУВАННЯМ ВІБРОАКТИВНІСТЮ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ**

Я. А. Степчин, ст. викл.,

Житомирський державний технологічний університет, Житомир

В сучасних умовах зростання вимог до точності виготовлення деталей (і заготовок) збільшується частка чистових операцій у загальному часі обробки різанням.

Перед використанням кожний різальний інструмент має певний ресурс використання, який в залежності від якості виготовлення, правильної експлуатації, вибору оптимальної геометрії для визначених умов обробки, оброблюваного матеріала, характеристик обладнання (верстата, пристосувань і т. ін.) та призначених режимів різання може бути збільшений або зменшений багатократно.

З метою визначення взаємозв'язку спрацювання різальних інструментів (на прикладі токарних твердосплавних різців) з зміною динамічних характеристик процесу різання (ПР) і динамічної поведінки складових ТОС були виконані теоретичні та експериментальні дослідження, визначено вплив на стійкість токарних різців параметрів віброактивності процесу різання та умов обробки.

У експериментальних дослідженнях застосовано крейтову систему LTC (для віброакустичних досліджень) виробництва LCard для запису сигналу з п'єзоакселерометра, підсилення, аналого-цифрового перетворення, та передачі на ПЕОМ.



Визначено основні динамічні характеристики досліджуваної ТОС (на основі верстата КА-280), залежність віброактивності ПР від зміни параметрів режиму різання, геометрії, вильоту різця та способу встановлення заготовки. Також визначено взаємозв'язок стійкості токарних твердосплавних різців від рівня віброактивності ПР.

За отриманими вхідними даними була побудована математична модель поведінки ТОС, зміни її динамічних характеристик з часом спрацювання різця і відповідно визначені основні умови керування зношенням токарних твердосплавних різців.

Побудована модель системи керування дозволяє, за рахунок призначення „оптимальних” (за вибраних вхідних умов) параметрів режиму різання та їх зміною з часом, підтримувати рівень віброактивності процесу різання, що забезпечує подовження періоду стійкості токарного різця.

Виконана експериментальна перевірка розробленого метода з застосуванням цілеспрямованої зміни швидкості різання та подачі з метою досягнення та підтримки мінімального рівня коливань у зоні різання. При послідовній зміні пари параметрів - швидкості різання та подачі на протязі усього періоду стійкості, для токарних твердосплавних різців з змінними непереточуваними пластинами Т15К6 при чистовому точінні досягнуто зростання продуктивності обробки на 36%, площі обробленої різцем поверхні деталі до затуплення (при інших рівних умовах) на 35%.

На підставі проведених експериментальних та теоретичних досліджень розроблені номограми та рекомендації по застосуванню метода керування стійкістю токарних твердосплавних різців, що дозволить використовувати його на практиці.



# БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ БУМАГОРЕЗАТЕЛЬНЫХ МАШИН

О.Г.Ткаченко, асп.,  
Сумський державний університет, Суми

Одной из основных операций в полиграфии является получение требуемого размера листов бумаги. Данная операция, как правило, выполняется на одноножевых или трехножевых бумагорезательных машинах. Это оборудование относится к оборудованию повышенной опасности, что должно быть учтено при проектировании бумагорезательных машин.

В докладе представлен анализ опасностей и вредностей при работе на бумагорезательных машинах, показаны конструктивные решения сжижающие риск травм персонала и обеспечивающее соответствие современных бумагорезательных машин действующим стандартам безопасности труда.

Наиболее важными техническими решениями являются «двуручное включение в работу», «блокировка рабочей зоны». Показано, что в последние годы для решения этих задач начали широко применяться различные фотоэлектрические системы.

В докладе отмечается, что собственно время резки бумаги составляет всего 5-7% общего времени выполнения операции. Поэтому оснащение бумагорезательных машин вспомогательными устройствами, автоматизирующими загрузку и выгрузку бумаги, контроль ее положения в машине и др. позволяет не только повысить производительность труда, но и снизить нагрузку на оператора.



# ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ІНСТРУМЕНТА ПРИ КОМБІНУВАННІ МАГНІТНО-АБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ З ЗНОСОСТІЙКИМИ ПОКРИТТЯМИ

Н.В. Ульяненко, асп.,

Національний технічний університет України "КПІ", Київ

Вирішення проблеми створення інструменту з оптимальним сполученням основних фізико-механічних і теплофізичних властивостей пов'язано з суттєвими складностями, що полягають у комплексному сполученні характеристик, які в багатьох випадках є взаємовиключними. Відомо декілька перспективних напрямків для вирішення зазначеної проблеми. Перспективним шляхом при створенні різального інструменту, в особливості з швидкорізальних сталей і твердих сплавів є поєднання при його виготовленні сучасних технологічних методів поверхневої обробки і зміцнення, спрямованих на формування робочих поверхонь інструменту як з заданою мікрогеометрією, так і з оптимальними властивостями поверхневого шару, з заданою мікроструктурою і напруженим станом. Іншим шляхом, який активно розвивається і вдосконалюється, є нанесення спеціальних зносостійких покриттів, здатних формувати в поверхневих шарах інструменту задані градієнтні структуру, склад та властивості матеріалу, дозволяючи сполучати такі параметри, як міцність, в'язкість, твердість, зносостійкість, теплостійкість, втомлену міцність водночас. Тому наукове обґрунтування комплексного використання таких перспективних методів як магнітно-абразивна обробка (МАО), нанесення спеціальних зносостійких покриттів різноманітними методами при виготовленні різального інструменту підвищеної надійності є безперечно актуальною задачею.



Тому метою роботи є підвищення працездатності твердосплавного інструменту при комплексному використанні технологічної комбінації МАО з нанесенням спеціальних покриттів.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні задачі:

1. Обґрунтувати доцільність застосування методу МАО багатогранних непереточуваних твердосплавних пластин (БНТП) у великих магнітних щілинах і розробити кінематичну модель процесу формоутворення магнітно-абразивного інструменту (МАІ) при МАО, яка забезпечує отримання рівномірної обробки робочих поверхонь і досягнення ефекту підвищення працездатності різального інструменту.

2. Розробити технологічну наладку до верстату для магнітно-абразивної обробки БНТП.

3. Визначити особливості контактної взаємодії при формоутворенні оброблюваних поверхонь БНТП при магнітно-абразивній обробці в умовах великих магнітних щілин.

4. З урахуванням особливостей процесу МАО БНТП встановити основні закономірності, які відбуваються при формуванні мікрогеометрії поверхонь і поверхневому зміцненні деталей при застосуванні комплексної технології на заключних етапах виготовлення різального інструменту (РІ), яка складається з:

- попередньої МАО, як підготовчої операції з подальшим нанесенням тонких зносостійких покриттів із застосуванням методів хіміко-термічної обробки (ХТО) та іонно-плазмового напилення;

- попередньої (підготовчої) МАО, нанесення спеціальних покриттів з подальшою МАО в якості поліруючо-зміцнюючої операції.

5. Дослідити вплив технологічного комплексу фінішної поліруючо-зміцнюючої обробки на підвищення працездатності твердосплавного інструменту і розробити модель зміни працездатно-



сті БНТІІ з покриттям після МАО, яка враховує основні фізико-механічні властивості поверхневого шару деталей.

6. Розробити технологічні рекомендації по проведенню фінішної поліруючо-зміцнюючої МАО БНТІІ в комплексі з нанесенням спеціальних тонкошарових покриттів, отриманих різними методами (ХТО та іонно-плазмове напилення).

## **АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В УКРАИНЕ СТАНДАРТОВ НА ШЛИФОВАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

Е. В. Филимонов асп.,

Национальный технический университет «ХПИ», Харьков

Развитие экспортных программ украинскими производителями и переход на европейские стандарты в области производства абразивной продукции, а также значительные объемы импорта инструмента создают предпосылки для сравнительного анализа используемых стандартов на шлифовальные материалы.

Первоочередной задачей подобного анализа является определение параметров распределения размеров зерен, которые соответствуют существующим требованиям национального стандарта Украины - ГОСТ и международного стандарта FEPA (ISO) по зерновому составу фракций. Решение такой задачи возможно на основе статистического моделирования, с использованием системы 3D моделирования абразивно-алмазных инструментов, разработанной в НТУ «ХПИ», а также на основе микроскопического исследования с использованием видео-компьютерного диагностического комплекса.



# ФОРМАЛІЗАЦІЯ ЗАДАЧІ СТВОРЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ ОПТИКО-МЕХАНІЧНИХ ПРИЛАДІВ НА ЕТАПІ ЇХ СТРУКТУРНОГО ПРОЕКТУВАННЯ

М. В. Філіппова, асп.; С. П. Вислоух, к.т.н., доц.,  
Національний технічний університет України „КПІ”, Київ

Процес технологічної підготовки виробництва по аналогії з процесом проектування та переробки інформації можна поділити на такі етапи: збір інформації, її переробка та видача. Маршрут проектування при цьому повинен задовольняти конструкторським та технологічним вимогам.

Перед тим як конструювати та створювати оптимальні конструктивно-технологічні рішення оптико-механічних приладів необхідно мати уявлення про загальну структуру інформації, яку використовують при проектуванні цих моделей, що формалізують конструкцію приладів.

З точки зору користувача модель елементів конструкції повинна задовольняти наступним вимогам: простота; наочність; легкість інформаційного моделювання; декомпозиція; сумісність.

Формалізм, якій може бути покладений в основу моделей опису елементів конструкцій оптико-механічних приладів, повинен бути достатньо спільним та здатним к представленню інформації. Найбільш придатним формалізмом є поняття реляційної системи.

Вважається, що будь-яка інформаційна структура є реляційною системою  $W = \langle X, R \rangle$ , де  $X$  - множина об'єктів конструкції оптико-механічного приладу,  $R$  - предикат, визначений на множині  $X$ , що задає властивість або взаємозв'язок об'єктів. Осно-



вним елементом моделі опису елементу конструкції є набір даних, тобто поняття та ім'я, що складаються з власника набору (ім'я елементів конструкції) та одного або декількох членів набору (тип елементу, поверхня зв'язку тощо). Як власник, так і кожен з членів набору є записом, що складається з імені запису, що її ідентифікує, та статей запису, що визначають властивості об'єкту (наприклад, тип поверхні, що утворюється).

Введемо множину  $I$ , яка є словником імен елементів конструкції, що представляють собою елементарні графічні конструктивно-технологічні деталі (ЕГКТД). При чому ЕГКТД класифіковані за типами та геометричними закономірностями формоутворення їх поверхонь. При такому підході просто встановлюється зв'язок між описом поверхонь та вибором методів їх одержання, складання як у тривимірному, так і у двовимірному вигляді при відтворенні на кресленні.

Більшість поверхонь у елементах конструкції можуть бути отримані переміщенням утворюючої у просторі по визначеному закону. Так, для класу плоских поверхонь у якості утворюючої буде пряма лінія, а для поверхонь обертання – коло.

В основу класифікаційного словника ЕГКТД закладені як геометричні параметри, що визначають закони формоутворення поверхні, так і конструктивно-технологічні ознаки, що характеризують поверхні по призначенню та технології їх виготовлення, а також складанню деталей у єдину конструкцію виробу.

На основі запропонованого визначення методу представлення даних розроблені моделі опису елементів конструкцій оптико-механічних приладів.



# **МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРОВОЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ С ГОЛОВКОЙ**

Е.А. Чернышев, асп.,

Донецкий национальный технический университет, Донецк

Проволочные метизы – гвозди, заклепки – являются изделиями массового потребления. Поэтому их производство должно быть эффективным. В настоящее время для этой цели в основном используют холодновысадочные автоматы, работающие по прерывистому циклу, т.е. машины I класса. Так как в них транспортировка и обработка разделены во времени, то основной путь повышения производительности – увеличение рабочих скоростей.

Этот недостаток можно устранить путем перехода к системам непрерывного действия, например, роторным линиям. В них обработка осуществляется в течение транспортировки, что резко увеличивает производительность.

Методика проектирования таких систем включает в себя ряд этапов, основными из которых являются следующие:

- уровень схемных решений, т.е. определение основной концепции;
- функционально-кинематический синтез (определение кинематической структуры);
- синтез на уровне принципиально-структурных моделей;
- компоновочные решения с параметризацией конструктивных элементов и подсистем;
- синтез рациональной структуры всей технологической системы.

С точки зрения иерархии технологической системы процесс проектирования можно также разделить на несколько шагов:



- проектирование элементов блока технологического воздействия (БТВ);

- проектирование БТВ;

- проектирование технологического модуля (ТМ);

- проектирование всей технологической системы.

Можно отметить, что процесс проектирования ведется в несколько этапов на нескольких уровнях, между которыми существует связь. В процессе проектирования происходит синтез ряда вариантов с последующим отбором наиболее рационального варианта.

Исследование ведется на базе двух основных принципов – модульности и топологического соответствия.

В случае создания сложных технологий, когда становится необходимым уменьшение уровня сложности проектирования, существенную роль играет принцип модульности. Он дает возможность уменьшить сложность путем разделения технологии на отдельные фрагменты и их изучения, что в совокупности дает полную информацию о технологии в целом. Принцип топологического соответствия множества элементов технологического процесса (ТП) и технологической системы (ТС) ставит в зависимость каждому элементу ТП некоторый структурный элемент ТС, предназначенный для его выполнения.

Таким образом, данная методика основывается на иерархии технологической системы, а также на сложности и глубине проработки всех ее элементов. Этот подход позволяет вести исследование в итеративном режиме и на стадии проектирования закладывать основные параметры технологической системы.



# ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ШИРОКОДІАПАЗОННИХ ЦАНГОВИХ ПАТРОНІВ З ОДИНАРНОЮ МУЛЬТИПЛІКАЦІЄЮ ДЛЯ ТОКАРНО- РЕВОЛЬВЕРНИХ ВЕРСТАТІВ З ЧПК

О.Я. Юрчишин, асп.,  
Національний технічний університет України «КПІ», Київ

Одним з шляхів підвищення продуктивності обробки деталей з прутка на токарно-револьверних верстатах з ЧПК за рахунок зменшення допоміжного технологічного часу і числа переналагоджень при переході на обробку іншого діаметру є використання конструкцій широкодіапазонних цангових патронів (ШЦП) з одинарною мультиплікацією, отриманих за допомогою диференціально-морфологічного методу синтезу затискних патронів, запропонованого проф. Кузнецовим Ю.М.

Для перевірки працездатності ШЦП, що містять пластини між основними і додатковими елементами та змінні вкладиші, проводились експериментальні дослідження силових характеристик та характеристик точності і жорсткості на спеціальному експериментальному стенді в лабораторії кафедри «Конструювання верстатів та машин» НТУУ «КПІ». Для заготовок діаметрами 47,0; 48,0; 49,0; 50,0 мм (при робочому отворі цанг, рівному 50мм) та 11,0; 12,0; 13,0; 14,0мм (при робочому отворі цанг 14мм) проводились вимірювання сили проштовхування, радіальних відтискань оправок відносно шпинделя при різних кутових положеннях цанги відносно радіальної навантажувальної сили, радіального биття закріпленої оправки в двох перерізах, осьового зміщення оправки при затиску, моменту прокручування та радіальної сили затиску. При цьому тиск в гідросистемі при вимірюваннях для кожного діаметру змінювався від 1 до 2 МПа.



Експериментальними дослідженнями встановлено, що радіальний хід додаткових затискних елементів дозволяє забезпечити затиск пруткових заготовок в діапазоні 5мм і більше, але при цьому стабільність силових та інших характеристик досягається при відхиленні затискуваного діаметра до 4мм. Наявність додаткових затискних елементів, пластин між ними і основними затискними елементами, як показали дослідження на жорсткість, підвищує демпфуючі властивості цангового патрона. Експериментальні дослідження радіальної сили затиску за допомогою цангового динамометра показали стабільність сили затиску, причому розбіжності між теоретичними і експериментальними значеннями становлять не більше 7,4%. Коефіцієнти розкиду моменту прокручування і сили проштовхування при зменшенні тиску в гідросистемі і відхилення діаметру затискуваної заготовки до 2 мм становлять 1,02 – 1,15, а при відхиленні діаметру затискуваних заготовок до 4мм – 1,3 – 1,9, що свідчить про сталість цих характеристик, причому розбіжність між теоретичними і експериментальними значеннями становить не більше 10,8%.

Досліджувані широкодіапазонні цангові патрони з одинарною мультиплікацією є працездатними і відповідають критерію широкодіапазонності, але їх суттєвими недоліками є значне осьове відтягування оправки (до 3 мм) та недостатньо висока жорсткість ( $4 \cdot 10^6 - 6 \cdot 10^6$  Н/м), тому для забезпечення стабільних характеристик точності і жорсткості необхідно проводити пошук нових конструкцій.



## ЗМІСТ

<i>Алиев А. И.</i> Визуальный контроль изношенной поверхности при трении в среде СОТС .....	3
<i>Андронов А.Ю., Ткаченко Н.А.</i> Прогнозирование вероятности разрушений тяжело нагруженных резцов .....	5
<i>Аносов В. И.</i> Определение рациональных характеристик алмазного круга на керамической связке .....	7
<i>Антонюк В.С., Сорока О.Б.</i> Вплив зносостійкого покриття на стан різального інструменту .....	7
<i>Білявський М. Л., Виговський Г. М., Громовий О.А.</i> Теоретичне дослідження стабільності процесу високошвидкісного торцевого фрезерування .....	9
<i>Бондаренко О. О., Криворучко Д. В.</i> Оптимізація технології кліпання на основі імітаційного моделювання процесу .....	11
<i>Буленков Е.А.</i> Совершенствование технологического обеспечения синтеза многономенклатурных роторных систем для изготовления крепежных изделий .....	13
<i>Вегера И.И.</i> Разработка и применение функционально-градиентных материалов на основе сталей в машиностроении .....	15
<i>Водолазская Н.В.</i> Технологические принципы синтеза роторно-многоярусных машин для сборки резьбовых изделий .....	17
<i>Волошко О.В., Вислоух С. П.</i> Автоматизована система математичного моделювання та оптимізації технологічних параметрів .....	19
<i>Виговський Г. М., Громовий О. А., Білявський М. Л.</i> Забезпечення стабільності процесу високошвидкісного торцевого фрезерування .....	21



<i>Голдун Д. Г., Криворучко Д. В.</i> Повышение производительности обработки 2D контуров концевым фрезерованием.....	22
<i>Грабар І.Г., Гутніченко О.А.</i> Електро-механічні властивості графітокераміки при квазістатичному та циклічному навантаженні .....	24
<i>Гришин В. С., Грядунов В. А., Лю Тяньи</i> Технологическое обеспечение сборки паянных соединений „медь-сталь” .....	26
<i>Диордица И.Н.</i> Виброакустическая диагностика процесса резания .....	28
<i>Емельяненко С.С.; Криворучко Д.В.</i> Анализ эффективности внедрения высокоскоростного фрезерования в промышленность Украины.....	30
<i>Заболоцький В.Ю.</i> Особливості формоутворення мікрорельєфу поверхні обертання на багатошпindelних токарних автоматах.....	32
<i>Залоза В.А., Івченко А.В., Ротт А.А.</i> Схема взаимодействия составляющих процессной системы управления инструментальным хозяйством как один из инструментов оптимизации технологической системы.....	34
<i>Иванов В.А., Телетов М.А., Савчук В.И.</i> Технологические возможности финишных способов обработки абразивными брусками .....	36
<i>Катрук О.В., Вислоух С.П.</i> Применение нечеткого метода группового учета аргументов для моделирования технологических параметров .....	38
<i>Кінарєєв М.С., Тимчик Г.С., Скицюк В.І.</i> Теорія та розрахунок параметрів електромагнітних систем контролю процесів механообробки .....	40
<i>Ковальчук Р.І.</i> Ефективність регулювання і стабілізації характеристик затискних механізмів токарних верстатів.....	42



<b>Коновалова Т.В.</b> Выбор входных параметров для построения модели процесса резания на основе нейронных сетей .....	44
<b>Корнєва Ю.О.</b> До питання про класифікацію засобів вимірювань масових витрат сипких речовин .....	46
<b>Криворучко Д.В.</b> Моделювання процесу різання методом кінцевих елементів .....	48
<b>Кривошея А.В., Мельник В.Е., Данильченко Ю.М., Пастернак С.Е.</b> Обобщающая унифицированная математическая модель формообразования зубчатых колес различных классов, видов и типов дисковыми инструментами.....	50
<b>Ланченко Ю.С.</b> Моделювання процесу безцентрового шліфування доріжок кочення кілець роликотідшипників на автоматі SWA AGL-125 .....	51
<b>Гладкий Я.М., Бись С.С., Маковкін О.М.</b> Трибологія зносостійких покриттів .....	53
<b>Миненко Д. А.</b> Назначение режимов резания на многоцелевых станках на основании критерия интенсивности формообразования .....	55
<b>Некрасов С. О., Криворучко Д. В.</b> Підвищення продуктивності штампування ковпачків на основі моделювання процесу методом кінцевих елементів.....	57
<b>Неченаев В. Г., Гнидько А. Н.</b> Синтез систем удаления стружки при фрезеровании закрытых профильных пазов .....	59
<b>Никитчук Е.А., Гнатейко Н.В., Румбешта В.А.</b> Стабилизация динамики технологической обрабатывающей системы в процессе механообработки.....	61
<b>Новиков П.А.</b> Математическая модель процесса нарезания внутренних резьб малых диаметров (М2 – М6) .....	63



<b>Ольховик В.В., Дядюра К.А., Лагута Г.Г., Залого В.А.</b> Расчет производительности резания при тангенциальном точении.....	65
<b>Осадчий О.В., Держук В.А.</b> Швидкісне різання—як основний напрямок виготовлення деталей механічною обробкою.....	67
<b>Панівко В.В.; Антонюк В.С.</b> Моделювання температурного стану елементів конструкцій з захисними покриттям.....	69
<b>Посвятенко Е.К., Рутковський А.В., Алексєєв В.В.</b> Відновлення колінчастих валів ДВЗ іонно-імпульсним азотуванням .....	71
<b>Почтар Ю.О., Вислоух С.П.</b> Використання алгоритмів штучних нейронних мереж для розв'язання технологічних задач.....	72
<b>Проволоцкий А.Е., Негруб С.Л.</b> Технологические возможности эластичного инструмента .....	74
<b>Прокопів Н.М., Джелялов С.И.</b> Режущая керамика. состояние и перспективы развития .....	77
<b>Равська Н.С., Нощенко Н.О.</b> Геометрія дискових відрізних фрез.....	79
<b>Розенберг О., Возный В., Сохань С., Gawlik J., Niemczewska M.</b> Технологические особенности формирования прецизионных поверхностей изделий сложной формы .....	81
<b>Розенберг О. А., Сохань С. В., Пузырёв А. Л.</b> Выравнивание съема припуска при алмазной доводке деталей типа усеченный шар из керамики .....	83
<b>Симута М.О., Вислоух С.П.</b> Використання методів фрактального аналізу для моделювання технологічних параметрів процесу різання.....	85



<i>Сидоров Д.Е., Каинов Д.А.</i> Разработка математической модели операции плоского наружного шлифования .....	87
<i>Стельмах Н.В., Вислоух С. П.</i> Застосування інформаційних технологій в сучасному приладобудуванні.....	89
<i>Степчин Я.А.</i> Підвищення стійкості токарних твердосплавних різців керуванням віброактивністю процесу різання.....	91
✓ <i>Ткаченко О.Г.</i> Підвищення безпеки паперорізальних машин.....	93
<i>Ульяненко Н.В.</i> Підвищення працездатності твердосплавного інструмента при комбінуванні магнітно-абразивної обробки з зносостійкими покриттями.....	94
<i>Филимонов Е.В.</i> Анализ используемых в Украине стандартов на шлифовальные материалы .....	96
<i>Філіппова М.В., Вислоух С. П.</i> Формалізація задачі створення конструкцій оптико-механічних приладів на етапі їх структурного проектування .....	97
<i>Чернышев Е.А.</i> Методика проектирования технологических систем непрерывного действия для производства проволочных изделий с головкой .....	99
<i>Юрчишин О.Я.</i> Дослідження характеристик широкодіапазонних цангових патронів з одинарною мультиплікацією для токарно-револьверних верстатів з ЧПК .....	101