

ВЕСТНИК НАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА "ХПИ"

Сборник научных трудов

Тематический выпуск

4'2008

"Технологии в машиностроении"

Издание основано Национальным техническим университетом "Харьковский политехнический институт" в 2001 году

Государственное издание

Свидетельство Госкомитета по информации Украины
КВ № 5256 от 2 июля 2001 года

КООРДИНАЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Председатель

Л.Л.Товажнянский, д-р техн. наук, проф.

Секретарь координационного совета

К.А. Горбунов, канд. техн. наук, доц.

А.П.Марченко, д-р техн. наук, проф.

Е.И.Сокол, д-р техн. наук, проф.;

М.Д.Годлевский, д-р техн. наук, проф.;

А.И.Габченко, д-р техн. наук, проф.;

В.Г.Данько, д-р техн. наук, проф.;

В.Д.Дмитриенко, д-р техн. наук, проф.;

В.Б.Клепиков, д-р техн. наук, проф.;

В.А.Лозовой, д-р фил. наук, проф.;

О.К.Морачковский, д-р техн. наук, проф.;

М.И.Рыщенко, д-р техн. наук, проф.;

В.Б.Самородов, д-р техн. наук, проф.;

В.П.Себко, д-р техн. наук, проф.;

В.И.Таран, д-р техн. наук, проф.;

Ю.В.Тимофеев, д-р техн. наук, проф.;

Б.Т.Бойко, д-р техн. наук, проф.;

А.Ф.Кириченко, д-р техн. наук, проф.;

Е.И.Юносова, д-р техн. наук, проф.;

В.И.Кравченко, д-р техн. наук, проф.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Ответственный редактор:

Ю.В.Тимофеев, д-р техн. наук, проф.

Ответственный секретарь:

В.В.Фролов, канд. техн. наук, доц.

С.С.Добровотворский, д-р техн. наук, проф.;

В.Е.Карпуть, д-р техн. наук, проф.;

А.Я.Мовшович, д-р техн. наук, проф.;

Ю.А.Сизый, д-р техн. наук, проф.;

В.Д.Хицан, д-р техн. наук, проф.;

А.А.Пермяков, д-р техн. наук, проф.;

А.Н.Шелковой, д-р техн. наук, доц.

Адрес редколлегии: 61002, Харьков,
ул. Фрунзе, 21. НТУ "ХПИ".
Каф. ТМС, Тел. (057) 7076-625.

Харьков 2008

Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні.– Харків: НТУ "ХПІ".– 2008.– №4.– 160с.

В збірнику представлені теоретичні та практичні результати наукових досліджень та розробок, що виконані викладачами вищої школи, аспірантами, науковими співробітниками різних організацій та установ.

Для викладачів, наукових співробітників, спеціалістів.

В сборнике представлены теоретические и практические результаты исследований и разработок, выполненных преподавателями высшей школы, аспирантами, научными сотрудниками различных организаций и предприятий. В области технологии машиностроения, металлорежущего оборудования, оснастки, средств автоматизации.

Для преподавателей, научных сотрудников, специалистов.

**Рекомендовано до друку Вченою радою НТУ "ХПІ"
Протокол №1 від «25» січня 2008 р.**

ЗАСТОСУВАННЯ АГРЕГАТНО-МОДУЛЬНОГО ПРИНЦИПУ В КОНСТРУКЦІЯХ СУЧАСНОГО МЕТАЛОРІЗАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

Представлено переваги компоновок металорізального устаткування, створених за агрегатно-модульним принципом, а також можливі варіанти застосування даного принципу та перспективи розвитку агрегатованого устаткування.

Submitted the advantages of the grouping of the metal-cutting equipment, that designed on the aggregate modular principle, different variation of application this principle and future relations modular environment.

На машинобудівних підприємствах України випускається продукція масового споживання з необхідністю частої зміни номенклатури виробів та з високими вимогами до продуктивності автоматизованого устаткування. Це, в першу чергу, складна побутова техніка, електро-інструменти, сантехнічна арматура, апаратура обліку та контролю витрат води, пари, газу, тепла, виробництво автомобілів, тракторів, сільгосптехніки, запасних частин і т.п. Всі ці вироби характеризуються великою кількістю складних деталей, що вимагають, як правило, багатоопераційної обробки з високою точністю.

В умовах постійного вдосконалення та частій зміні моделей виробів виникає вимога створення гнучкого (універсального) устаткування, що важко сполучається з високою продуктивністю та концентрацією операцій. Для вирішення цих суперечливих вимог необхідно, щоб автоматизоване устаткування забезпечувало можливість переналагодження та перекомпонування при досить високій продуктивності, а також в стислі строки їхнього проектування та виготовлення, помірну вартість і швидку окупність. Найбільшою мірою ці вимоги задовольняє агрегатно-модульний метод створення устаткування, тобто проектування та компоновання різних верстатів, складальних, зварювальних, контрольно-сортувальних і інших машин, засобів керування ними, промислових роботів, засобів автоматизації зі стандартних (уніфікованих) вузлів, кожний з яких призначений для виконання заздалегідь певних функцій.

Агрегатоване устаткування поєднує у собі переваги спеціальних і універсальних машин. Як спеціальні ці машини забезпечують високу продуктивність, а як універсальні їх можна перекомпонувати й переналагодити при необхідності переходу на виготовлення нового виду продукції.

Крім того слід зауважити що для різних груп деталей при різних програмах випуску існують свої оптимальні варіанти структури процесу із різними рівнями концентрації технологічних переходів (рис. 1), які не можуть бути реалізовані тільки на верстатах, орієнтованих на серійне вироб-

ництво, наприклад на одношпindelних багатоцільових верстатах (БВ), що одержали найбільше застосування при створенні гнучких дільниць і ліній. Необхідне також верстатне устаткування із числовим програмним керуванням (ЧПК), здатне реалізувати варіанти технологічних процесів з більш високою концентрацією технологічних переходів, ніж у одношпindelних БВ, тобто в багатьох випадках необхідна не тільки багатошпindelна (багатоінструментальна), але й багатопозиційна обробка на гнучких автоматичних лініях (ГАЛ) із накопичувачами деталей між позиціями або без них.

Отже, при великому різноманітті технологічних завдань забезпечити високу економічну ефективність обробки деталей можна тільки при одній умові, а саме при компонуванні технологічного встаткування для різних типів виробництва (від дрібносерійного до масового) з раціонально обмежених комплектів уніфікованих вузлів, тобто за агрегатно-модульним принципом.

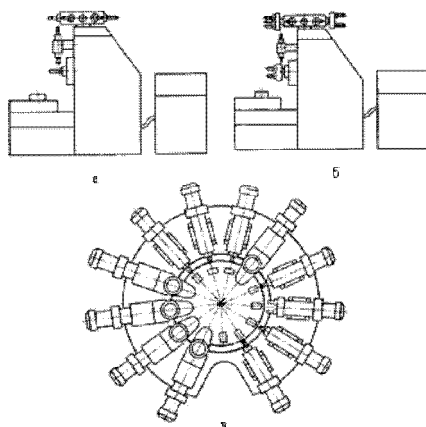


Рис. 1. Варіанти концентрації переходів на верстатах: а - обробний центр із магазином інструментів; б - обробний центр із магазином інструментів і багатошпindelних коробок; в - багатопозиційний агрегатний верстат

Ряд уніфікованих конструктивних компонентів верстатів, обумовлений виконуваними в процесі обробки функціями, містить у собі: несучі елементи конструкції (станини, стійки, портали і т.д.); шпindelні коробки із приводами, що забезпечують необхідні швидкості та сили різання; столи із прямолінійними та круговими рухами разом із приводами подачі, що забезпечують взаємне просторове переміщення інструмента та оброблюваного виробу.

Допоміжні пристрої для накопичення та заміни різальних інструмент на верстаті (магазини, автооператори із приводами та оснащенням); пристрої для автоматичної зміни заготовок (накопичувачі та вантажно-розвантажувальні механізми, маніпулятори або промислові роботи), що забезпечують роботу верстата в складі роботизованого технологічного ком-

плексу (РТК) або гнучкого виробничого модуля (ГВМ).

Основною особливістю уніфікованих конструктивних компонентів верстатів є можливість керування їхньою роботою пристроєм ЧПК, що забезпечує швидке автоматичне перенастроювання на обробку різних виробів. Для можливості керування пристроєм ЧПК окремі модулі і їхні компоненти оснащуються регульованими або слідкувально-регульованими електроприводами, а також датчиками зворотного зв'язку по положенню рухливих елементів або по параметрах технологічного процесу для реалізації адаптивних функцій.

На основі використання різноманітних типових модулів та їхніх уніфікованих компонентів можуть будуватися верстати з різними конструктивно-компоновочними схемами, що залежить від виконуваних ними технологічних завдань та конкретних умов виробництва.

Найпоширенішими верстатами, створеними на основі агрегатно-модульного принципу, є агрегатні верстати. Прикладами можуть служити такі верстати як: багатопозиційні верстати-автомати фірми Maspe, агрегатні верстати фірми Mikron Agno, або спеціальний агрегатний верстат AM 15952 (рис. 2).

Окрім агрегатного устаткування за агрегатно-модульним принципом можуть складатися і багатоцільові верстати із ЧПК [1]. Наочним прикладом може служити багатоцільовий (свердлильно-фрезерно-розточувальний) верстат із ЧПК типу МЦ800, побудованого за агрегатно-модульним принципом (рис. 3). Багатоцільовий верстат із ЧПК агрегатно-модульної конструкції типу МЦ800 призначений для комплексної обробки корпусних деталей середніх і великих розмірів. На верстаті можна виконувати свердління, зенкерування, розгортання, нарізування різьблення мітчиками, розточування точних отворів по координатах, а також фрезерування за контуром складних криволінійних поверхонь. Обробку заготовок, закріплених на столі, здійснюють інструментами, що автоматично змінюються в шпинделі, за рахунок подачі салазок по напрямних станині (вісь X), шпиндельної бабки (вісь B) і стійки (вісь Z). Зміна інструмента, що перебуває в магазині, здійснюється автооператором.

Автооператор здійснює установку та зняття в шпинделі змінних фрезерних головок для обробки дрібних канавок. Стіл, на якому кріпиться пристосування стіл-супутник з оброблюваною заготовкою, виконаний нерухомим і являє собою окремий конструктивний модуль. Наявність поворотного стола з високою точністю розподілу ($+0,001^\circ$) розширює технологічні можливості верстата, дозволяючи вести обробку заготовки з п'яти боків. Верстат оснащений автономною гідростанцією, станцією подачі змащувально-охолоджуючої рідини (ЗОР), пристроєм ЧПК з електрошафами керування, а також конвеєром для видалення стружки. Гнучкий виробничий модуль на базі верстата МЦ800 призначений для багатобічної комплексної обробки протягом однієї, двох і більше змін різних корпусних виробів, що одночасно перебувають на транспортно-накопичувальному пристрої.

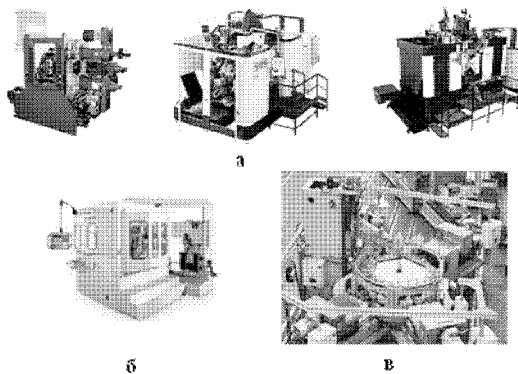


Рис. 2. Варіанти агрегатного обладнання: а - багатопозиційні верстати-автомати Maspe, б - агрегатний верстат фірми Mikron Agno, в – спеціальний агрегатний верстат AM 15952

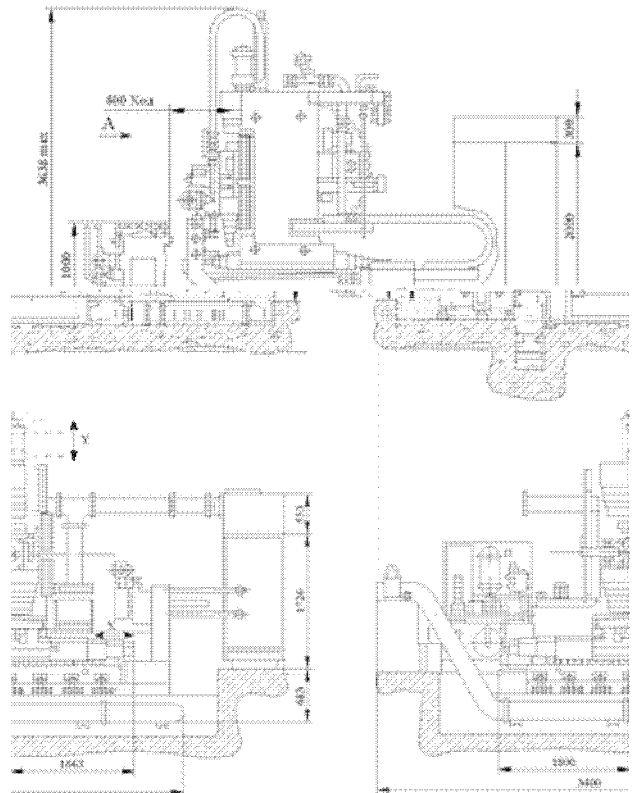


Рис. 3. Загальний вид багатопільового (свердлильно-фрезерно-розточувального) верстата з ЧПК типу МЦ800

Найбільша частина деталей, одержуваних обробкою різанням, випускається в умовах одиничного та серійного виробництва. У розвинених країнах частка машинобудівної продукції, що випускається в цих умовах, досягає 75-80%. Особливості одиничного та серійного виробництва характеризуються широкою номенклатурою виробів, що випускаються, різнохарактерністю виконуваних операцій, різноманітністю маршрутів обробки, частим переналагодженням устаткування, складністю інформаційних і матеріальних потоків, складною організацією виробництва. Саме за цих умов доцільне використання компоновок устаткування, створених за агрегатно-модульним принципом [2].

На рис. 4 наведена схема конструкційної компоновки переналагоджуваного агрегатного верстата, що містить більшість функціональних елементів, здатних оказувати вплив на його гнучкість. Дана схема компоновання призначена, для того щоб продемонструвати місце та роль основних чотирнадцяти елементів в компоновці та їх можливу послідовність розташування. Як правило, підвищення гнучкості може бути досягнене декількома паралельними шляхами, за рахунок використання різноманітних переналагоджуваних вузлів та агрегатів. Оптимізація компоновки переналагоджуваного верстата, таким чином, полягає в аналізі можливих шляхів реалізації гнучкості та виборі найкращого сполучення мінімальної кількості переналагоджуваних структурних елементів верстата [3].

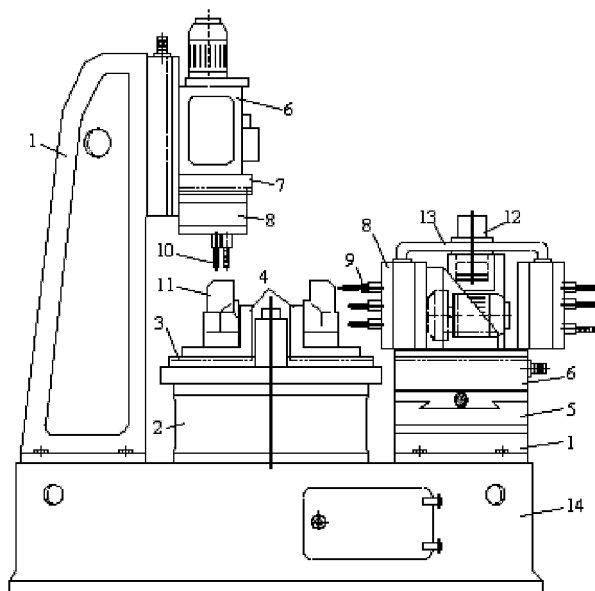


Рис. 4. Схема конструкційної компоновки багатомономенклатурного агрегатного верстата

Запропонований варіант схеми компоновання (рис. 4) технологічної надмірністю і містить спрощене зображення максимальної кількості всіляких, функціональних елементів. Однак всі елементи верстата відрізняються за технологічними можливостями і ступенем впливу на гнучкість верстата в цілому. Так, керування інтенсивністю впливу на заготівку 11 реалізується тільки за допомогою установочно-затискного пристосування 4, шпindelного оснащення 8 і силових агрегатів 6, а зміна параметрів зони контакту із заготівкою 11 тільки за допомогою установочно-затискного пристрою 4, шпindelного оснащення 8, допоміжного інструмента 9 і різального інструмента 10. Деякі елементи структури взагалі не здійснюють вплив на гнучкість. До них відносяться: пристрій зміни 12 і магазин змінних шпindelних коробок 13, а також несуча система 14.

Поділ верстата на незалежні модулі підвищує ймовірність виходу в серію всієї машини. При цьому важлива конструктивна незалежність модулів. При класичному методі проектування верстат розбивають на окремі вузли. Однак це не створює незалежності між ними, а визначає тільки можливість розподілити роботу розроблювачами вузлів верстата [1].

Отже, застосування агрегатно-модульного принципу у проектуванні верстатного, складального та іншого устаткування дозволяє:

1) проектувати високопродуктивні гнучкі автоматичні лінії і гнучкі автоматичні дільниці для реалізації оптимальних технологічних процесів, а не підганяти процеси під можливості вже наявного устаткування;

2) істотно скоротити час і трудомісткість проектування та виготовлення автоматичного обладнання та технологічних систем, тому що з'являється можливість використання готових агрегатів і модулів;

3) розширювати виробничі можливості модульної системи шляхом її постійного нарощування на раніше розробленій базі;

4) підвищувати надійність роботи модульної системи в цілому шляхом попереднього відпрацювання конструкції модулів і найбільш повної їхньої відповідності виконуваному технологічному завданню;

5) поліпшувати умови експлуатації та ремонтпридатність створюваних модульних систем шляхом зменшення розмаїтості модулів і їхніх елементів;

6) знижувати вартість модулів шляхом серійного та крупносерійного виробництва їхніх уніфікованих вузлів і окремих агрегатів.

Список літератури: 1. Аверьянов О.И. Модульный принцип построения станков с ЧПУ. – М.: Машиностроение, 1987. – 232 с. 2. Аверьянов О.И., канд. техн. наук. Развитие модульного принципа построения многооперационных станков с ЧПУ для обработки корпусных деталей. – М., НИИмаш, 1981, 56 с. 3. Карпусь В.Е., Гаврылюк Ю.Р., Цымбал А.Н. Обработка деталей на многоменклатурном агрегатированном металлорежущем оборудовании // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – Х. “Технологический центр” – 2005.-3/1 (15). – С. 25-33.

Надійшла до редколегії 08.10.2007

ЧИСЕЛЬНИЙ АНАЛІЗ ІНТЕНСИВНОСТІ НАПРУЖЕНЬ ТРИЩИНИ РУЙНУВАННЯ ПРИ РІЗАННІ АРМОВАНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

The model for contact interaction of cutter and composite material is proposed. Fracture interprets as process of crack propagation. Crack considers as boundary crack for continuation of chock edge. Load applied as point forces on crack faces. The correlation between stress intensity factor with cutting parameters and geometrical parameters of tools is numerical analyzed.

Рассмотрена модель резания композиционного материала как разрушение припуска при контактном взаимодействии с вершиной инструмента. Разрушение трактуется как процесс продвижения перерезающей трещины. Трещина рассматривается как краевая на продолжении одной из граней клина. Нагрузка приложена в виде сосредоточенных сил на берегах трещины. Численно проанализировано соотношение, связывающее коэффициент интенсивности напряжений со значениями режимов резания и геометрическими параметрами инструмента.

Застосування досягнень механіки руйнування і механіки контактної руйнування до таких дуже неоднорідних матеріалів як армовані композити при їх механічній обробці, і особливо, моделювання процесу підрізання поперек шарів практично не проводилось. Тому створення математичних моделей і формулювань, що описують цей процес, являє собою одну з найбільш актуальних задач, як теорії різання матеріалів, так і механіки контактної руйнування.

У роботі [1] розглянуто модель контактної взаємодії вершини ріжучого клину з армованим композиційним матеріалом. Руйнування трактується як процес просування тріщини, що перерізує шар матеріалу. Тріщина розглядається як крайова на продовженні однієї з граней клину, рис. 1а. Навантаження прикладене у вигляді зосереджених зусиль уздовж берегів тріщини. Ця задача має чисельно-аналітичне рішення методом інтегральних рівнянь, що наведено у роботі [2]. Чисельні результати для коефіцієнтів інтенсивності напружень (КІН) першого та другого роду одержані у графічному вигляді, рис. 1б.

Усі припущення у постановці і рішенні задачі наведені у роботі [1]. Зростання тріщини визначається максимальним значенням коефіцієнту інтенсивності напружень розтягання K_r , і тріщина буде розвиватися у напрямку під кутом α_r до свого початкового положення уздовж площадки, на якій виникають максимальні розтягуючі напруження. Ці значення величин K_r і α_r визначаються за формулами В. В. Панасюка [3]:

$$\alpha_r = 2 \arctg \left[\left(1 - \sqrt{1 + 8k_r^2} \right) / 4k_r \right], \quad (1)$$

$$K_r = \cos^2(\alpha_r / 2) \left[K_I \cos(\alpha_r / 2) - 3K_{II} \sin(\alpha_r / 2) \right],$$

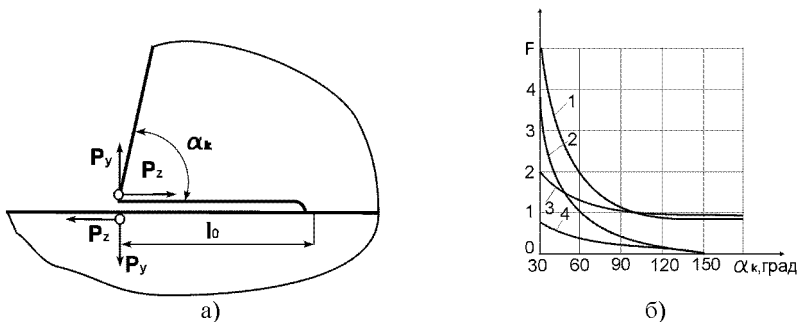


Рис. 1 Моделування тріщини руйнування: а - дія зосереджених сил на берегах тріщини, що знаходиться на продовженні поверхні зрізу матеріалу;

б - залежність коефіцієнтів інтенсивності напружень першого K_I та другого роду

K_{II} від кута α_k для заданої довжини тріщини l : 1 - $F = K_{Iy} \sqrt{l} / p_y$; 2 -

$F = -K_{IIy} \sqrt{l} / p_y$; 3 - $F = K_{Iz} \sqrt{l} / p_z$; 4 - $F = -K_{Iz} \sqrt{l} / p_z$.

де $k_r = K_{II} / K_I$. Коефіцієнти інтенсивності напружень підраховуються як сума

$$K_I = K_{Iy} + K_{Iz} \text{ і } K_{II} = K_{IIy} + K_{IIz}, \quad (2)$$

де

$$K_{Iy} = F_{Iy} \cdot p_y / \sqrt{\pi l}, \quad K_{IIy} = F_{IIy} \cdot p_y / \sqrt{\pi l}, \quad (3)$$

$$K_{Iz} = F_{Iz} \cdot p_z / \sqrt{\pi l}, \quad K_{Iz} = F_{Iz} \cdot p_z / \sqrt{\pi l},$$

де F_{Iy} , F_{IIy} , F_{Iz} , F_{IIz} відповідно коефіцієнти F на графіку рис.1б помножені на $\sqrt{\pi}$; p_y та p_z - рівномірно розподілено уздовж ріжучої крайки b навантаження, що підраховується як $p_y = P_y / b$, $p_z = P_z / b$, де b - ширина ріжучої крайки [1, 4].

Аналізуючи співвідношення (1) можна зробити декілька висновків:

- значення складових КІН K_{Iy} , K_{IIy} , K_{Iz} , K_{IIz} для постійної довжини тріщини цілком визначається складовими інтенсивності сили різання;

- залежність величини складових КІН K_{Iy} , K_{IIy} , K_{Iz} , K_{IIz} від довжини тріщини зворотно пропорційна значенню $\sqrt{\pi l}$, що характерно для лінійних задач механіки руйнування;

- у силу того, що складові сили різання не залежать від швидкості різання, то і значення КІН не залежать від швидкості різання.

Сили різання по даним [5] для усіх типів склопластиків

$$P_y = 68 \cdot t^{0,56} \cdot s^{0,25} \cdot K_{p_y}, \quad P_z = 174 \cdot t \cdot s^{0,48} \cdot K_{p_z}, \quad (4)$$

при обмеженнях на параметри: $v \leq 2,85$ м/с; $s \leq 0,5$ мм/об; $t \leq 5,0$ мм. У

наведеній формулі K_{p_y} та K_{p_z} поправочні коефіцієнти на значення переднього та заднього кутів, головного кута в плані та величину зношування.

Параметри ріжучого інструменту приймалися з роботи [4] такими: значення переднього кута $\gamma=0^\circ$; заднього $\alpha=12^\circ$; кут у плані $\varphi=45^\circ$; початковий радіус округлення ріжучої крайки $r_0=1$ мм; зношення по задній поверхні різця не враховувалося, тобто величина зношення $h_z=0$ мм.

При розрахунках для склопластику ЕФБ-П технологічні параметри обробки змінювалися у такому діапазоні: подача $s=0,075; 0,1; 0,21; 0,32; 0,42; 0,51$ мм/об; глибина різання $t=0,5; 1,1; 1,5; 3; 4; 5$ мм; швидкість різання - $V=100$ м/хв.

Таблиця 1 – Значення складової сили різання P_z , Н за експериментом [4] і обчислених за співвідношеннями роботи [5] і довжини ріжучої крайки b за співвідношеннями роботи [4] для глибини різання $t=1,5$ мм та швидкості різання $V=100$ м/хв.

Значення параметрів	Значення подачі s , мм/об					
	0,075	0,1	0,21	0,32	0,42	0,51
P_z , Н [4]	29,43	42,18	85,35	112,8	136,4	159,9
P_z , Н [5]	96,34	110,6	157,9	193,3	220,3	241,8
b , мм [4]	2,568	2,593	2,704	2,818	2,926	3,028

З табл. 1 можна бачити, що значення складової сили різання P_z обчислені за співвідношеннями (4) значно перевищують експериментальні дані, що наведені у роботі [4] для точіння склопластику ЕФБ-П для однакових технологічних параметрах обробки. Таке значне відхилення ставить під сумнів використання співвідношення (4) для усіх типів склопластиків і для більш точних розрахунків треба користуватися співвідношеннями, що знайдених безпосередньо для даної марки склопластику.

Таблиця 2 – Апроксимоване значення коефіцієнту F як функції куга α_k , рис.1б

N шп	Функція F	Апроксимоване значення F як функції куга α_k
1	$K_I \cdot \sqrt{l} / P$	$F = 0,6714533 - 1,744659 \cdot 10^{-2} \alpha_k + 1,191762 / \alpha_k^2$
2	$-K_{II} \cdot \sqrt{l} / P$	$F = 2,474097 \cdot 10^{-2} - 3,296224 \cdot 10^{-2} \alpha_k + 1,068752 / \alpha_k^2$
3	$K_{II} \cdot \sqrt{l} / Q$	$F = 1 / (0,2780304 + 0,4408956 \cdot \alpha_k - 4,325844 \cdot 10^{-2} \cdot \alpha_k^2)$
4	$-K_I \cdot \sqrt{l} / Q$	$F = 1,025002 - 0,7288171 \cdot \alpha_k + 0,129619 \cdot \alpha_k^2$

У табл.3 надані значення КІН K_r для довжини тріщини $l=10^{-5}$ мм і куга $\alpha_k = \pi/2$, рис.1а. В теорії лінійного руйнування одержані значення КІН

порівнюють із значення критичного КІН для даного матеріалу. На теперішній час доки це зробити неможливо тому, що дані про значення критичного КІН для склопластику ЕФБ-П відсутні. Ці результати відбивають тільки якісні значення величини КІН, її порядок.

Таблиця 3 – Значення КІН K_r обчисленого за формулою (1) від подачі s

Значення КІН	Значення подачі s , мм/об					
	0,075	0,1	0,21	0,32	0,42	0,51
K_r , кН./м3/2	15,7	17,7	23,9	27,9	30,6	32,3

В табл. 4 надані значення складових сили різання P_y , P_z , довжини ріжучої крайки b та КІН K_r в залежності від величини зносу по задній поверхні h_z , що обчислені при таких параметрах: $t=1,5$ мм, $V=100$ м/хв., $s=0,21$ мм/об, $\alpha_k = \pi/2$, $l=10^{-5}$ м.

Прийнято, що радіус округлення ріжучої крайки пов'язано із зносом по задній поверхні h_z (або з радіальним зносом різця), мм, лінійним співвідношенням [4]

$$r = r_0 + \frac{\sin[(\alpha + \beta)/2]}{\cos[(\alpha - \beta)/2]} h_z, \quad (5)$$

де r_0 - початковий радіус округлення ріжучої крайки, мм; $\beta=90^\circ - (\alpha + \gamma)$; γ, α - передній та задній кут ріжучої крайки. Залежність складових сили різання P_y та P_z від величини зносу по задній поверхні різця урахувалась введенням поправочного коефіцієнту K_{P_y} та K_{P_z} , куди входить поправочні коефіцієнти на зношування $K_{P_{yH}}$ та $K_{P_{zH}}$, яки за даними [5] апроксимовані такими формулами:

$$K_{P_{yH}} = 1 + 4,94 \cdot h_z, \quad K_{P_{zH}} = 1 - 0,2 \cdot h_z. \quad (6)$$

Таблиця 4 – Значення складових сили різання P_y , P_z , довжини ріжучої крайки b та КІН K_r в залежності від величини зносу по задній поверхні h_z

Значення параметрів	Значення величини зносу по задній поверхні h_z , мм					
	0	0,05	0,10	0,15	0,20	0,30
P_y , Н	73,6	91,6	109,6	127,6	145,6	181,6
P_z , Н	193,3	191,4	189,5	187,5	185,6	181,7
b , мм	2,818	2,851	2,884	2,916	2,949	3,015
K_r , кН./м3/2	27,94	27,77	27,68	27,65	27,71	28,07

Аналіз даних з табл. 4 показує що в рамках запропонованої моделі, із зростанням величину зносу по задній поверхні h_z , найбільш інтенсивно зрос-

тає складова сили різання P_y , яка для величині зносу $h_z=0,3$ мм дорівнює значенню складової сили різання P_z . Навпаки компонента P_z повільно убиває, що є наслідком використання співвідношення (6). Довжина ріжучої крайки b трохи зростає за рахунок збільшення значення радіуса округлення вершини інструменту r . Значення коефіцієнту інтенсивності напружень K_r , практично у кількісному відношенні не змінюється, але для значення зносу $h_z=0,15$ мм має мінімум, після чого із збільшенням зносу КІН зростає.

Треба замітити, що у запропонованій моделі не враховуються зміни геометричних параметрів інструменту α, γ, ϕ, r , які мають місце при зношуванні різця. К тому ж сама величина зносу по задній поверхні h_z неоднаково розподілена в залежності від часу роботи інструменту. Відомо, що найбільший вплив на знос інструменту оказує швидкість різання [4], однак у співвідношеннях (4), що використовуються з роботи [5], цей фактор не враховується.

Роботу виконано в рамках проекту М2306, що фінансується міністерством освіти і науки України.

Список літератури: 1. Хавін Г.Л. Моделювання тріщини руйнування при різанні армованих композиційних матеріалів // Вісник НТУ "ХПІ". Зб. наук. праць. Тематичний вип.: Технології в машинобудуванні. - Харків: НТУ "ХПІ".- 2007.- №17.- С.-. 2. Muki R., Westmann R.A. Crack emanating from an open notch // J. Elast. – 1974. - 4, №3. - P. 173-186. 3. Панасюк В.В. Предельное равновесие хрупких тел с трещинами. – К.: Наукова думка, 1968.- 248 с. 4. Руднев А.В., Королев А.А. Обработка резанием стеклопластиков.- М.: Машиностроение, 1969.- 119 с. 5. Степанов А.А. Обработка резанием высокопрочных композиционных полимерных материалов.- Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1987.- 176 с.

Поступила до редколегії 8.11.2007 р.

УДК 621.452.3

Н.Э. ТЕРНЮК, В.Ф. СОРОКИН, О.В. ДЕМЧЕНКО

СТРУКТУРЫ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ТОЧНОСТИ И ВАРИАТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Показано, що погрішності роботи технологічних систем, можуть бути приведені до кінцевої множини первинних геометричних погрішностей. Розроблено структурну модель обліку геометричних, силових, теплових, кінематичних та інших погрішностей. У рамках прийнятої моделі виявлена й обґрунтована повна множина способів і систем контролю точності машинобудівних деталей у варіативних технологічних системах загального вигляду.

There is shown that inaccuracies of working of technological systems can be reduced to finite set of original geometrical inaccuracies. There is worked up a structural model of accounting of geometrical, powered, thermal, kinematical and others inaccuracies. Within the bounds of the accepted model, there is disclosed and founded set of possible methods and systems of machine-building details accuracy control in variable technological systems of general form.

Точность изготовления является важнейшей характеристикой качества современных машин. По оценкам специалистов за последние сто лет точностные параметры изделий ужесточились в две тысячи раз и в ближайшем будущем будут еще ужесточаться. В качестве примера можно привести нанотехнологию, где предусматривается изготовление и измерение параметров изделий с точностью до $1\text{нм} = 10H^{-9}\text{ м}$ [1, 2].

Решение проблемы повышения точности в настоящее время связывают с внедрением новых технологий, реализующих увеличение технологических возможностей изготовления и контроля изделий; созданием высокоточной измерительной аппаратуры, позволяющей определять размеры не только контактным способом, но и дистанционно; созданием гибких, трансформерных и вариативных технологических систем; компьютерной поддержкой технологических решений [3, 4, 5, 6]. Однако принципиальным остается вопрос о способах обеспечения заданной точности.

В большинстве случаев оценка точности происходит с помощью размерного анализа, методика которого разработана для многих технологических решений. Рассмотрение отдельной поверхности изготавливаемой детали и оценка точности по контролируемым размерам, безусловно, необходимы. Вместе с тем важна и оценка взаимосвязей поверхностей изготовленной детали, так как только совокупное представление поверхностей даст правильное понимание роли конкретной детали в собранной машине. Кроме того, понятие точности должно быть связано с функционированием всех звеньев технологической системы (станок – заготовка – инструмент – оснастка). Приоритет «станочной составляющей» точности уже не удовлетворяет требованиям современного производства. Все элементы системы переносят свои свойства, особенности и погрешности на изготавливаемую деталь. Все эти погрешности как бы аккумулируются на детали. Причины, вызывающие отклонения различного характера от номинальной геометрии в ходе изготовления деталей, действуют практически одновременно. При этом на первый план выходят тепловые, силовые, динамические и другие показатели технологических систем, регламентирование отклонений формы и взаимного расположения поверхностей [1].

В связи со сказанным, важной задачей является моделирование более полной, комплексной оценки отклонений формы и взаимного расположения поверхностей объектов машиностроения.

Поэтому целью данной статьи является разработка системной модели возникновения погрешностей и обоснование множества возможных способов и систем контроля точности машиностроительных деталей в вариативных технологических системах общего вида.

Принятая в настоящей работе методология системного подхода основана на предположении, что на точность формообразования деталей при механической обработке оказывают влияние все элементы технологической системы (станок – заготовка – инструмент – оснастка), а также технологическая среда (кадры, климатические условия, технологическая дисциплина, уровень

автоматизации производства и т.п.). Очевидно, что возникновение погрешностей подготавливается на разных этапах жизненного цикла технологической системы, а проявляется на этапе работы. При этом часть погрешностей материализуются на этапах изготовления и наладки технических средств, а часть на этапе работы в процессе формообразования детали. Поэтому можно утверждать, что на процесс возникновения погрешностей влияют: изготовление и наладка технических средств, технологическая среда и процесс работы системы, оказывающий влияние, как на среду, так и непосредственно на обрабатываемую деталь.

Второе предположение состоит в том, что суммарная погрешность формообразования складывается из первичных погрешностей [7]. Примерами первичных погрешностей могут служить: упругие деформации технологических систем; износ режущего инструмента; погрешность настройки режущего инструмента; геометрическая точность металлорежущего оборудования и др.

Отмечено большое количество первичных погрешностей, действующих одновременно. Однако все они обусловлены конечным множеством явлений (или факторов). На основании анализа физических процессов, протекающих в технологических системах, выполненного в работах [1, 5], можно включить в это множество: исходные геометрические характеристики технологических систем, а также тепловые, силовые, кинематические и износные явления. Эти явления являются источниками возникновения геометрических неточностей, деформирующих сил и внутренних напряжений, колебаний температур, искажений траекторий рабочих органов систем, износа и обуславливают появление подмножеств первичных погрешностей: геометрических (Δ_G), силовых (Δ_C), тепловых (Δ_T), кинематических (Δ_K) и износных (Δ_{II}).

Все перечисленные первичные погрешности, в конечном счете, материализуются сначала в виде погрешностей работы технологической системы, а затем – в виде геометрических отклонений размеров, формы и взаимного расположения поверхностей обрабатываемых деталей.

Разрабатываемая системная модель должна отражать все факторы, обуславливающие погрешности, с учетом связей между ними.

Для практического использования в первую очередь желательно выделение множества геометрических погрешностей технологической системы, позволяющего отдельно учесть влияние главных элементов этой системы на суммарную погрешность обработанных деталей, и производить их непосредственное измерение.

Сформулированным условиям удовлетворяет множество, выделяющее: обобщенные погрешности станка – как погрешности движения конечных звеньев. Таких погрешностей шесть – по числу возможных степеней свободы конечных звеньев в относительном движении материальных тел ($\Delta_1 \dots \Delta_6$);

погрешности базирования инструмента и детали – как их смещения по

отношению к конечным звеньям станка. Каждая из погрешностей в общем случае содержит шесть линейно независимых компонент – по числу возможных степеней свободы твердых тел (соответственно $\Delta_7 \dots \Delta_{12}$ и $\Delta_{13} \dots \Delta_{18}$);

погрешности изготовления инструмента – как отклонения реальных размеров по отношению к номинальным. Таких линейно независимых погрешностей, в соответствии с числом координат, может быть три ($\Delta_{19} \dots \Delta_{21}$);

погрешности детали – как восстанавливаемые деформации (упругие и тепловые), всегда имеющие место при механической обработке. Таких погрешностей, как и погрешностей инструмента, может быть три ($\Delta_{22} \dots \Delta_{24}$).

Таким образом, геометрические погрешности технологической системы могут быть приведены к конечному множеству, состоящему из 24 компонент. Назовем эти компоненты приведенными первичными погрешностями. Зная приведенные первичные погрешности, можно, разработав методику их учета, рассчитать нормируемые погрешности детали. На основании изложенного, общую системную модель возникновения и учета погрешностей, можно представить в виде схемы, показанной на рис. 1. Полученная модель отражает общие закономерности процессов реального формообразования деталей.

Рассмотрим теперь множество способов контроля точности. Традиционные системы контроля точности машиностроительных деталей базируются на двух способах: непосредственном (см. рис. 2), предусматривающем получение информации о точности детали путем измерения фактических погрешностей обработанных деталей и косвенном (детерминированным или статистическим), основанном на периодической проверке точности элементов технологической системы. Однако анализ связей в общей модели возникновения погрешностей показывает, что двумя рассмотренными способами получения информации не ограничиваются возможности контроля.



Рис. 1 Системная модель возникновения и учета погрешностей

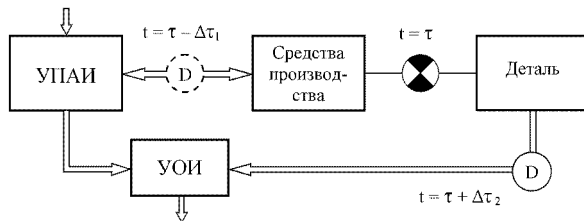


Рис. 2 Схема непосредственного способа контроля.

На рисунке обозначено: УПАИ – устройство подготовки априорной информации; УОИ – устройство обработки информации (априорной и текущей); D – датчики измерений; t – текущее время; τ – момент контроля.

Как следует из рисунка 1, вектор нормируемых показателей точности НП имеет связь с вектором приведенных первичных погрешностей Δn

$$НП_i = f_i(\Delta n_j), \quad i \in n, \quad j \in \{1, 2, \dots, 24\}. \quad (1)$$

Следовательно, системы контроля могут быть основаны на получении информации о приведенных первичных погрешностях.

Учитывая, что в этом случае информация о нормируемых показателях точности состоит из отдельной информации о точности элементов технологической системы, системы контроля, основанные на таком способе контроля можно назвать поэлементными. Схема получения информации при поэлементном способе контроля приведена на рис. 3.

Эти системы могут быть построены на базе датчиков линейных и угловых измерений ($D_1 \dots D_{24}$). Задача заключается в том, чтобы с помощью таких датчиков обеспечить измерение всех 24 (в детерминированных системах) или какой-то части (в вероятностных системах) приведенных первичных ошибок.

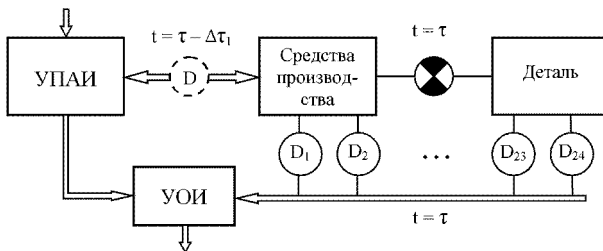


Рис. 3 Схема поэлементного способа контроля.

В соответствии с рис. 1. каждая приведенная погрешность является следствием воздействия строго определенных факторов Φ , параметры которых поддаются измерению. Поэтому можно установить связь

$$\Delta n_i = \varphi_j(\Phi_k), \quad НП_i = f_i[\varphi_j(\Phi_k)], \quad k \in N \quad (2)$$

Откуда следует, что, зная вид функций f_i и φ_j и контролируя парамет-

ры факторов Φ_k , можно однозначно судить о точности детали.

Системы контроля, основанные на таком способе получения информации, можно назвать факторными. Факторные системы основаны на контроле параметров факторов, вызывающих погрешности. При этом контролю могут подвергаться либо все параметры, либо их отдельные группы. Учитывая, что каждой группе параметров соответствует свое приборное обеспечение, целесообразно выделить полное множество типов факторных систем с различными группами контролируемых параметров.

Если обозначить действие контроля знаком D , а группы параметров относящихся к факторам: Γ – геометрическим; K – кинематическим; C – силовым; T – температурным; I – износным, то можно выделить следующие виды систем факторного контроля (рис. 4).

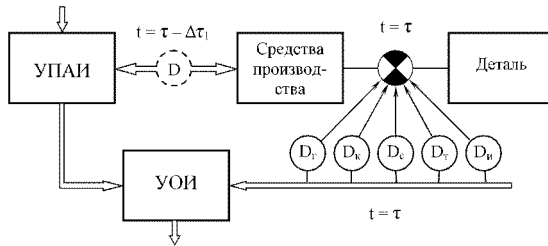


Рис. 4 Схема факторного способа контроля.

Система вида D_{Γ} характеризуется наличием датчиков геометрических неточностей элементов технологической системы. Такая система эффективна для всех процессов, т.к. геометрические неточности составляют значительную долю суммарной погрешности.

Система вида D_K содержит датчики кинематических погрешностей, возникающих в кинематических цепях технологической системы. Она эффективна для процессов со сложной кинематикой движений.

Система вида D_C предусматривает применение датчиков сил. По величине сил определяются фактические упругие деформации в технологической системе. Кроме того, с величиной силы коррелирована величина износа. Такая система рекомендуется для применения в процессах, где возникают большие силы резания, или в случае применения нежесткой технологической системы.

Система вида D_T требует включения датчиков температуры в различных точках размерной цепи технологической системы. По известной температуре определяются температурные деформации и более точно прогнозируется величина износа. Данная система рекомендуется для процессов с большой долей температурных составляющих в общей погрешности.

Система вида D_I предусматривает контроль параметров износа инструмента. Этот контроль может быть непосредственным или косвенным. Система рекомендуется для процессов с неустойчивым характером износа инструмента.

рументов, например, твердосплавных, хрупко-разрушающихся.

Таким образом, перечисленные способы контроля соответствуют трем различным уровням связей в модели, приведенной на рис. 1. Выделение других уровней в рамках принятой системной модели невозможно. Поэтому, учитывая, что способ косвенного контроля является частным случаем поэлементного способа контроля, можно утверждать, что возможно реализовать три принципиально различные способа контроля: непосредственный; поэлементный; факторный.

Два последних способа контроля могут осуществляться непосредственно в момент формообразования деталей, следовательно, их можно использовать в системах адаптивного управления точностью вариативных технологических систем, реализующих принципы управления как «по возмущению», так и «по отклонению».

Первый способ контроля можно использовать только в системах, которые реализуют принцип управления «по отклонению» (с использованием обратных связей) и, следовательно, требуют проведения дополнительных рабочих ходов для исправления выявленных отклонений по точности.

Трем перечисленным способам контроля, которые можно назвать простыми, соответствует четыре комбинированных.

Перечень всех возможных способов контроля, классифицированных по методу получения информации, приведен в таблице 1. В этой же таблице приведены сведения о возможных принципах управления точностью, которые могут быть реализованы с использованием применяемых способов контроля.

Таблица 1– Способы контроля точности деталей

Класс	Метод получения информации	Тип способа контроля	Возможный для реализации принцип управления
1	Измерение нормируемых показателей точности детали	Простой	По обратной связи
2	Измерение приведенных первичных погрешностей	Простой	По возмущению
3	Измерение параметров факторов, вызывающих погрешности	Простой	По возмущению
4	Измерение нормируемых показателей точности детали + измерение приведенных первичных погрешностей	Комбинированный	По обратной связи или комбинированный
5	Измерение нормируемых показателей точности детали + измерение параметров факторов, вызывающих погрешности	Комбинированный	По обратной связи или комбинированный
6	Измерение приведенных первичных погрешностей + измерение параметров факторов, вызывающих погрешности	Комбинированный	По возмущению, по обратной связи или комбинированный
7	Измерение нормируемых показателей точности детали + измерение приведенных первичных погрешностей + измерение параметров факторов, вызывающих погрешности	Комбинированный	По обратной связи или комбинированный

При правильном сочетании комбинированные системы контроля могут реализовать преимущества всех простых систем контроля. Кроме того, поскольку полную информацию о погрешностях может давать каждая из простых систем, то комбинированные системы позволят получать избыточную информацию о погрешностях, обеспечивая тем самым возможность построения контрольных средств, допускающих контроль «самих себя».

Пусть J_k ($k=1, 2, 3$) – соответствует мере информации, получаемой в процессе, когда применяется k -й тип способа контроля. Тогда, если реализовать одновременно все три типа систем контроля мы получим $J_\Sigma = J_1 + J_2 + J_3$. Поскольку J_1 , J_2 и J_3 являются мерой информации, получаемой разным способом, но об одной и той же величине, то путем сопоставления этих мер можно судить об исправности технических средств контроля.

Выводы. Таким образом, в результате системного анализа процесса возникновения и учета погрешностей в вариативных технологических системах, разработана структурная модель классификации погрешностей и выявлено полное в рамках принятой модели множество возможных способов и систем контроля, включающее семь элементов, из которых три являются простыми, а четыре – комбинированными.

Кроме распространенных способов, основанных на непосредственном контроле нормируемых показателей точности, измерение погрешностей деталей может производиться поэлементным и факторным способами.

Основанные на поэлементном и факторном способах системы контроля могут давать информацию о погрешностях непосредственно в момент их возникновения, что обеспечивает возможность построения на их основе адаптивных систем управления точностью.

Показана возможность построения информационно-избыточных систем контроля, позволяющих создавать новые надежные системы контроля.

Список литературы: 1. Суелов А. Г., Дальский А. М. Научные основы технологии машиностроения. – М.: Машиностроение, 2002. – 684 с. 2. Никифоров А. Д. Современные проблемы науки в области технологии машиностроения. – М.: Высш. шк., 2006. – 392 с. 3. Михайлов А. Н. Перспективы создания и развития прогрессивных технологий машиностроения // Прогрессивные технологии и системы технологий. – 1999, №8. – 178 с. 4. Костюк Г. І. Створення гнучких технологичних систем високої та надвисокої продуктивності на Україні. // Вісті Академії інженерних наук України. – 2006. – № 3 (30). – С. 144 – 153. 5. Базров Б. М. Модульная технология в машиностроении. – М.: Машиностроение, 2001. – 368 с. 6. Осадчий Є.О. Трансформерні технології побудови машин і механізмів. – К.: Науковий Світ, 2004. – 168 с. 7. Бруевич Н. Г. Точность механизмов. – М.: ГИТТЛ, 1946. – 332 с. 8. Тернюк Н. Э. Основы комплексной автоматизации технологических систем для производства зубчатых колес: Дис.д.т.н. – Харьков, 1883. – 433 с. 9. Тернюк Н. Э., Беловол А. В., Хунг Ф.В. Система структур технологических комплексов и метод их конкретизации. /Автомобильный транспорт. Сб. научн. тр. – Харьков: изд-во ХНАДУ. – 2005. – Вып. 18. – С. 91– 94. 10. Беловол А.В., Кордюк В.А., Тернюк Н.Э и др. Общие структурные модели машиностроительных технологических систем // Вісник НТУ "ХПІ". – 2005. – № 23. – С. 17 – 24.

Поступила в редколлегию 09.11.2007

ОПТИМИЗАЦИЯ НАПРАВЛЕННОГО ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ТУРБОКОМПРЕССОРНЫХ АГРЕГАТОВ

The process of manufacturing technology of the bearing rational variant synthesis is considered and the restrictions arising at its realization are entered. The model of manufacturing technology of the bearing directed choice used in a technique of technological process rational variant search of the sliding bearing superficial layer formation with the given technological properties is developed.

Увеличение сроков службы машин, напрямую зависит от повышения износостойкости и надежности узлов трения. При большом разнообразии условий работы деталей наиболее нагруженным у них является поверхностный слой. Поэтому реальный ресурс работы машины напрямую зависит от несущей способности поверхностей деталей, которая определяется качеством их поверхностного слоя.

Решение проблемы оптимизации направленного выбора технологии изготовления и ремонта подшипников скольжения высокоскоростных турбокомпрессорных агрегатов является актуальной задачей в современных условиях производства.

Рассматривая требования к технологии изготовления подшипников скольжения, необходимо определить математическую модель самого подшипника скольжения. Математическая модель подшипника скольжения представлена на рисунке 1 в виде графа.

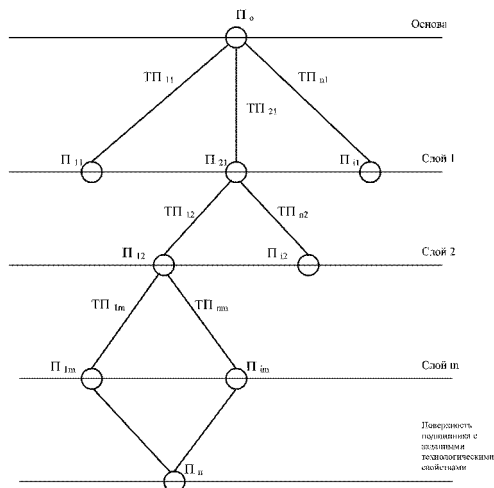


Рис. 1 Граф структуры подшипника скольжения при изготовлении

На рисунке приняты следующие обозначения: По – поверхность основы; Пп – поверхность подшипника скольжения с заданными технологическими свойствами; ТП – технологический процесс получения слоя подшипника; m – количество слоёв подшипника; n – количество технологических процессов, позволяющих получить m-ный слой подшипника; i – количество вариантов поверхностей, которые можно получить на m-ном слое подшипника.

Данный граф построен с учетом последовательности формирования слоев подшипника скольжения. На поверхность основания По наносится 1 слой с заданными технологическими параметрами с учетом доступных средств технологического оснащения, в результате получаем поверхность Пi1. С учетом технологических параметров поверхности Пi1 n-ым технологическим процессом наносится m-ный слой. В результате получают поверхность Пim с заданными технологическими свойствами. В конце, в результате применения последнего технологического процесса получают поверхность подшипника Пп с заданными технологическими свойствами.

Таким образом, представленный граф структуры подшипника скольжения при изготовлении полностью формально описывает весь процесс формирования поверхностных слоёв подшипника с заданными технологическими свойствами. Основным критерием оптимизации принят показатель – технологическая себестоимость.

На этапе синтеза рационального варианта технологии изготовления подшипников скольжения необходимо учитывать ограничения по ее реализации. Рассмотрим принцип формирования ограничений. Синтез рационального варианта (рис. 2) состоит из нескольких этапов.

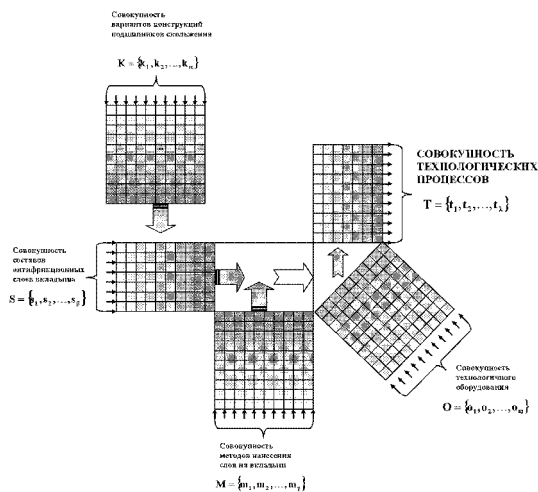


Рис. 2 Схема синтеза рационального варианта технологии изготовления подшипников скольжения.

Из совокупности существующих конструкций подшипников скольжения выбирается множество вариантов (рис. 3):

$$K = \bigcap_{\eta \in L} k_{\eta}, \quad \text{где } L = \{1, 2, \dots, \alpha\}$$

Совокупность
вариантов конструкций
подшипников скольжения

$$K = \{k_1, k_2, \dots, k_{\alpha}\}$$

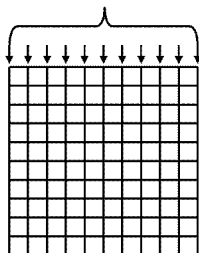


Рис. 3 Множество вариантов конструкций подшипников.

На следующем этапе рассматривается совокупность существующих комбинаций антифрикционных покрытий с соответствующим составом переходных слоев присутствующих в подшипнике скольжения (рис. 4) из которых формируется множество вариантов:

$$S = \bigcap_{p \in N} s_p, \quad \text{где } N = \{1, 2, \dots, \beta\}$$

Совокупность
поверхностей

$$S = \{s_1, s_2, \dots, s_{\beta}\}$$

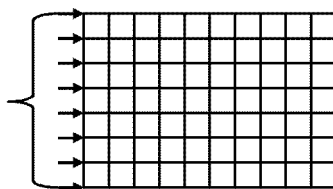


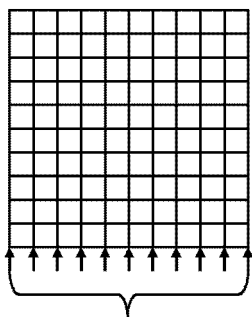
Рис. 4 Множество вариантов слоев в подшипнике.

Далее, по каждому варианту комбинации слоев в подшипнике скольжения формируется множество методов их нанесения на вкладыш подшипника (рис. 5):

$$M = \bigcap_{\theta \in \Psi} m_{\theta}, \quad \text{где } \Psi = \{1, 2, \dots, \gamma\}.$$

Следующий этап – поиск реализации данных методов средствами технологического оснащения с учетом множества вариантов существующего оборудования (рис. 6):

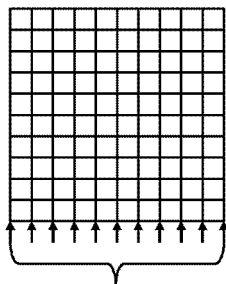
$$O = \bigcap_{\tau \in \Phi} o_{\tau}, \quad \text{где } \Phi = \{1, 2, \dots, \varpi\}.$$



Совокупность методов
получения поверхности

$$M = \{m_1, m_2, \dots, m_n\}$$

Рис. 5. Множество вариантов методов нанесения слоев.



Совокупность
технологического
оборудования

$$O = \{o_1, o_2, \dots, o_n\}$$

Рис. 6. Множество технологического оборудования.

При этом ограничениями при реализации технологии изготовления являются:

– кинематические возможности технологического оборудования должны обеспечивать заданную траекторию перемещения исполнительных органов при нанесении слоев со 100% сплошностью;

– масса и габаритные размеры заготовки не должны превышать паспортные данные оборудования;

– геометрическая точность, предъявляемая к выполнению данной технологической операции, не должна превышать точности, с которой средства технологического оснащения могут ее выполнить.

В первую очередь используется оборудование, имеющее минимальную стоимость и обеспечивающие необходимые технологические параметры при изготовлении подшипника. Наиболее эффективно применение предлагаемого

решения в условиях серийного производства.

Результатом поиска является совокупность технологических процессов:

$$T = \bigcap_{\xi \in I} t_{\xi}, \quad \text{где } I = \{1, 2, \dots, \lambda\}.$$

Формирование множества технологических процессов происходит согласно условия:

$$T = K \cup S \cup M \cup O.$$

Исходя из этого возможность реализации технологической задачи можно описать выражением:

$$\exists t_{\xi} = \left[\bigcap_{\eta \in L} k_{\eta} \right] \cup \left[\bigcap_{\rho \in N} p_{\rho} \right] \cup \left[\bigcap_{\theta \in M} m_{\theta} \right] \cup \left[\bigcap_{\tau \in \Phi} o_{\tau} \right].$$

В качестве критерия выбора рационального варианта используется технологическая себестоимость изготовления изделия:

$$t^{opt} = \bigcap_{\xi \in I} t_{\xi} \Rightarrow C^{\min}$$

Рациональным, в условиях конкретного производства, принимается тот вариант технологического решения, который дает минимальную технологическую себестоимость.

Согласно рассмотренного графа структуры подшипника скольжения (рис.1) и требований к технологии изготовления и качеству поверхностных слоев, разработана модель направленного выбора варианта технологического процесса изготовления и ремонта подшипника скольжения по минимальной производственной себестоимости. Данная модель приведена на рисунке 7. Согласно данной модели на основу n_1 – вым технологическим процессом наносится слой 1. При этом существует ряд ограничений к технологическому процессу и требований к качеству поверхности слоя. Технологических процессов, с помощью которых можно получить слой 1 может быть несколько, поэтому выбираем в первом приближении тот технологический процесс, который имеет минимальную производственную себестоимость. Далее на слой 1 наносится слой 2, слой m . При этом необходимо выдерживать требования к качеству поверхностных слоев подшипника скольжения и ограничения к технологическим процессам получения этих слоев. В конце на слой m наносится приработочное покрытие технологическим процессом ТПппр. В конце получают поверхность подшипника скольжения с заданными технологическими свойствами. Определяется технологическая себестоимость изготовления или ремонта подшипника скольжения и данный вариант технологического процесса принимается за базовый. После этого возвращаются на начало проектирования технологического процесса и выбирают технологический процесс получения слоя 1, который имеет большую себестоимость, чем в базовом варианте, учитывая ограничения к технологическим

процессам и требования к качеству поверхности слоя.

Рассматривается вся цепочка получения поверхности подшипника с заданными технологическими свойствами. Рассчитывается производственная себестоимость технологического процесса изготовления и ремонта подшипника скольжения. Сравнивается текущая себестоимость с базовым вариантом. Если текущая себестоимость ниже, то ее принимают как базовую.

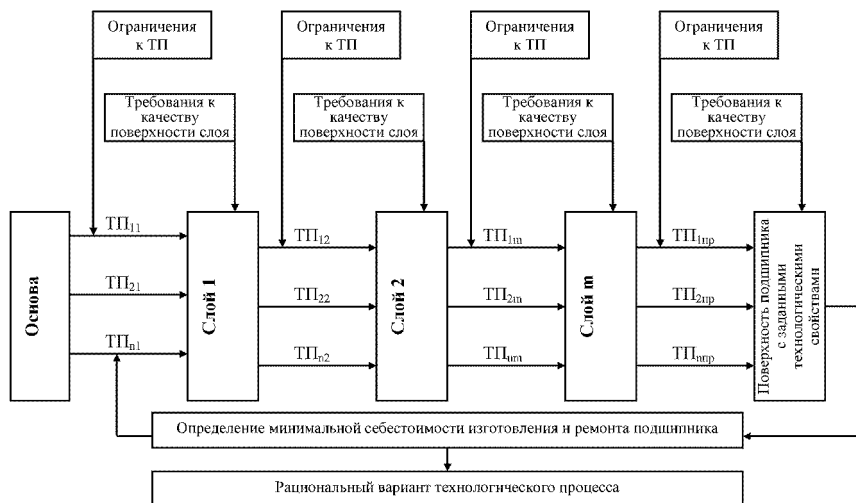


Рис.7 Модель направленного выбора варианта технологического процесса изготовления и ремонта подшипника скольжения по минимальной производственной себестоимости

Увеличение себестоимости получения слоя 1 может в конечном результате повлечь уменьшение себестоимости получения слоя m.

Таким образом рассматриваются все возможные варианты технологических процессов изготовления и ремонта подшипника скольжения. Тот вариант технологического процесса, который останется базовым после рассмотрения всех возможных и будет рациональным вариантом технологического процесса изготовления или ремонта подшипника скольжения для данных производственных условий.

Рассмотрен процесс синтеза рационального варианта технологии изготовления подшипника и введены ограничения, возникающие при ее реализации. Разработана модель направленного выбора технологии изготовления подшипника, используемая в методике поиска рационального варианта технологического процесса формирования поверхностного слоя подшипника скольжения с заданными технологическими свойствами.

В.Б. ТАРЕЛЬНИК, А.В. БЕЛОУС

ТЕХНОЛОГИЯ УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ

В работе рассмотрена возможность упрочнения деталей машин методом электроэрозионной цементации (ЭЦ). К промышленному применению предложены комбинированные технологии ЭЦ, с последующей ультразвуковой обработкой (УО) и шлифовкой (ШЛ).

У роботі розглянута можливість зміцнення деталей машин методом електроерозійної цементації (ЕЦ). До промислового застосування запропоновані комбіновані технології ЕЦ, з наступною ультразвуковою обробкою (УО) і шліфуванням (ШЛ).

In work the opportunity of hardening of details of machines is considered by a method of electroerosive cementation (EC). To industrial application the combined technologies EC, with the subsequent ultrasonic processing (UP) and polishing (P) are offered.

Исследования многих ученых, занимающихся изучением закономерностей формирования поверхностного упрочненного слоя деталей машин, методом электроэрозионного легирования (ЭЭЛ) связаны с изучением и симбиозом различных технологических факторов и процессов.

На качество формируемого поверхностного слоя влияют различные параметры: технологические режимы оборудования, материалы основы и электродов, наличие защитной среды, время обработки и т.п. Методом ЭЭЛ возможно в широких пределах изменять качество формируемого слоя [1-3].

Метод ЭЭЛ заключается в перенесении материала электрода на обрабатываемую поверхность в газовой среде под действием электрического разряда.

Метод ЭЭЛ имеет ряд технологических особенностей:

- локальную обработку поверхности;
- высокую прочность сцепления нанесенного материала с основой;
- отсутствие нагрева детали в процессе обработки;
- возможность использования в качестве электродов, как чистые металлы, так и их сплавы;
- отсутствие необходимости специальной подготовки поверхности;
- необходимое оборудование малогабаритно, надежно и транспортабельно.

Несмотря на очевидные достоинства рассматриваемого метода, он имеет ряд недостатков, к которым можно отнести: повышение шероховатости поверхности, низкую сплошность поверхности покрытия, снижение усталостной прочности, возникновение в поверхностном слое растягивающих остаточных напряжений и др. [4]. Применение в качестве материала электрода неметаллического токопроводящего материала, такого как графит, позволяет снизить влияние отрицательных параметров, описанных выше, на эксплуата-

ционные свойства деталей.

При ЭЛ графитовым электродом происходит насыщение поверхности детали углеродом, причем процесс легирования протекает при достаточно высоких температурах (до 10000°C) [1], поэтому такой процесс легирования подобен цементации. Учитывая то, что насыщение поверхности изделия углеродом происходит под действием электрических разрядов, создаваемых установкой для электроэрозионного легирования, то такой процесс можно назвать электроэрозионной цементацией. При ЭЦ шероховатость формируемой поверхности, по сравнению с поверхностью, легированной металлическим электродом, изменяется незначительно, что при механической обработке, например, шлифовании позволяет использовать эти поверхности в парах трения. При этом сплошность покрытия составляет 100%. Глубина слоя повышенной твердости при ЭЦ возрастает с увеличением энергии электрического разряда и времени легирования. Зависимости влияния энергетических режимов и времени легирования на поверхностный упрочненный слой деталей представлены в работах [6], [7].

Для отработки технологии ЭЦ изготавливались образцы согласно рис. 1.

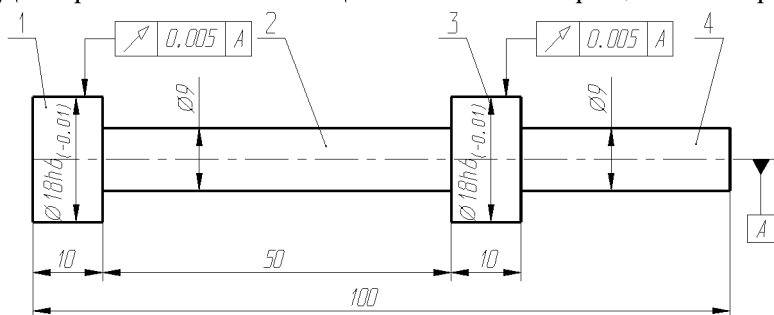


Рис. 1 Эскиз образца для отработки технологии ЭЦ;

- 1, 3 – рабочие поверхности образца;
- 2, 4 – технологические поверхности.

Образцы подвергались ЭЦ на установке «Элитрон 52А» при энергиях разряда, приведенных в табл. 1. Исследования качественных параметров поверхностного слоя образцов проводились на оптическом микроскопе «Неофот-2». Для оценки качества слоя, его сплошности, глубины упрочненного слоя изготавливались шлифы. Шлиф изготавливался из образца, изображенного на рис. 1, посредством вырезания из всего образца участков $\text{Ø}18 \text{ мм} \times 10 \text{ мм}$. Одновременно проводился дюротметрический анализ на распределение микротвердости в поверхностном слое и по глубине шлифа от поверхности. Замер микротвердости проводили на микротвердомере ПМТ-3 вдавливанием алмазной пирамиды под нагрузкой 0,05 Н.

Шероховатость измеряли на приборе профилограф-профилометр мод. 201 завода «Калибр» путем снятия и обработки профилограмм.

Результаты исследований качественных параметров поверхности и размеров образцов приведены в таблицах 1-3.

Таблица 1 – Качественные параметры образцов после электроэрозионной цементации

№ образца	Энергия разряда, Дж	Время легирования, мин	Общая глубина слоя, мкм	Микротвердость, HV	Шероховатость, Ra, мкм
110*	0,6	4	50	940	0,8-0,9
111**	2,6		105	900	5,0-5,6
112*	4,6		110	840	8,3-8,5
114**	0,6		74	870	1,0-1,6
113*	2,6		85	900	5,5-6,3
115**	4,6		190	880	10,9-11,2

* Материал образца - сталь 12X18H10T; ** материал образца – сталь 40X.

2. Последующая финишная обработка образцов проводилась согласно рис.

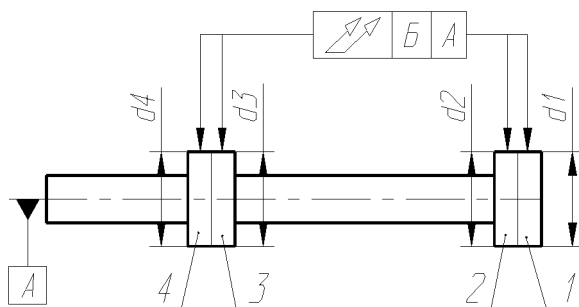


Рис. 1. Схема измерения образцов после финишной обработки:
 1 – электроэрозионная цементация + ультразвуковая обработка;
 2 - электроэрозионная цементация+ультразвуковая обработка+шлифовка;
 3 - электроэрозионная цементация+шлифовка;
 4 - электроэрозионная цементация.

Таблица 2 – Размеры образцов после финишной обработки

№ обр.	d1	d2	d3	d4	Б1	Б2	Б4
110	17,99	17,98	17,92	18	0,02	0	0,04
113	17,98	17,96	17,91	18	0,04	0,005	0,06
112	17,95	17,94	17,9	18	0,06	0	0,08
114	17,99	17,99	17,93	18	0,02	0	0,03
111	17,97	17,95	17,91	18	0,03	0	0,05
115	17,96	17,94	17,89	18	0,06	0	0,09

Таблица 3 – Качественные параметры поверхностей образцов после финишной обработки

№ образца	Энергия разряда, Дж	Метод обработки образца	Общая глубина слоя после обраб., мкм	Микротвердость, HV	Шероховатость Ra, мкм
110/1*	0,6	ЭЦ+УО	50	980	0,2
110/2		ЭЦ+УО+ШЛ	45	920	0,6
110/3		ЭЦ+ШЛ	40	880	0,6
110/4		ЭЦ	50	940	0,8-0,9
111/1	2,6	ЭЦ+УО	108	910	0,8
111/2		ЭЦ+УО+ШЛ	100	905	0,8
111/3		ЭЦ+ШЛ	90	890	0,8
111/4		ЭЦ	105	900	5,0-5,6
112/1	4,6	ЭЦ+УО	111	854	0,8
112/2		ЭЦ+УО+ШЛ	91	840	0,8
112/3		ЭЦ+ШЛ	80	824	0,8
112/4		ЭЦ	110	840	8,3-8,5
114/1	0,6	ЭЦ+УО	75	880	0,2
114/2		ЭЦ+УО+ШЛ	70	841	0,6
114/3		ЭЦ+ШЛ	65	823	0,6
114/4		ЭЦ	74	870	1,0-1,6
113/1	2,6	ЭЦ+УО	86	920	0,8
113/2		ЭЦ+УО+ШЛ	74	895	0,8
113/3		ЭЦ+ШЛ	70	870	0,8
113/4		ЭЦ	85	900	5,5-6,3
115/1	4,6	ЭЦ+УО	195	905	0,8
115/2		ЭЦ+УО+ШЛ	170	875	0,8
115/3		ЭЦ+ШЛ	150	870	0,8
115/4		ЭЦ	190	880	10,9-11,2

* В числителе указан номер образца, в знаменателе – номер поверхности, согласно рис. 2.

Исходя из анализа полученных результатов (табл. 3) можно сделать следующий вывод:

- при энергиях разряда до 0,6 Дж наиболее целесообразно применять метод ультразвуковой финишной обработки;

- при энергиях разряда более 0,6 Дж целесообразно применять ультразвуковую финишную обработку с последующей шлифовкой.

Список литературы: 1. Электронское легирование металлических поверхностей / Гитлевич А.Е., Михайлов В.В., Парканский Н.Я., Ревутский В.М./ Кишинев: Штинца, 1985.- 196 с. 2. Лазаренко Л.И. Электронское легирование металлических поверхностей. – М.: Машиностроение, 1976. – 46 с. 3. Тарельник В.Б. Управление качеством поверхностных слоев деталей комбинированным электроэрозийным легированием. – 1-е изд. – Сумы: «МакДен», 2002. – 324 с. 4. Тарельник В.Б., Марцинковский В.С. «Модернизация и ремонт роторных машин»: Моно-

графия. – Сумы: «Козацкий вал» 2005. – 364 с. 5. Тарельник В.Б. «Комбинированные технологии электроэрозионного легирования». – К.: Техника, 1997. – 127 с. 6. Тарельник В.Б., Белоус А.В. Исследование качественных параметров поверхностных слоев при электроэрозионной цементации армо-железа и стали 12Х18Н10Т // Вісник СНАУ. – 2005. - №11. – С.115-119. 7. Белоус А.В. Влияние энергетических параметров электроэрозионной цементации на качественные параметры поверхностных слоев конструкционных сталей // Весник СумДУ. – 2006. - №12. – С.158-162.

Поступила в редколлегию 12.09.2007

УДК 614.73.16

Н.П. ЮХИМЕНКО

ЭНТРОПИЙНЫЙ ПОДХОД К ОПИСАНИЮ МЕХАНИЗМА УНОСА ЧАСТИЦ В АППАРАТАХ ВЗВЕШЕННОГО СЛОЯ

By using entropy theory investigated the loss product function for fluidized bed.

Одними из эффективных аппаратов для осуществления процессов сушки, охлаждения, пневмоклассификации и обеспыливания зернистых материалов являются аппараты взвешенного слоя. В аппаратах со взвешенными слоями интенсивность взаимодействия фаз повышается как за счет развития поверхности контакта фаз, так и вследствие повышения относительной скорости движения газодисперсного потока. Неизбежный унос мелких частиц справедливо считается одним из основных недостатков техники псевдооживления и либо должен быть минимальным при проведении тепломассообменных процессов, либо регулируемым по количеству и размеру частиц при пневмоклассификации и обеспыливании зернистых материалов. При уменьшении объемов запыленного отходящего газа снижается нагрузка на пылеочистное оборудование и тем самым улучшается экологическая обстановка на производстве. Поэтому при расчетах и проектировании аппаратов взвешенного слоя важным этапом является определение величины уноса мелких частиц из взвешенного слоя зернистого материала.

Определению величины уноса посвящено достаточное количество научных публикаций и ряд монографий [1, 2]. Анализ приведенных расчетных зависимостей показывает, что они, из-за целого ряда допущений, носят частный характер. Первые попытки обобщить различные уравнения для расчета уноса были предприняты Тодесом и Цитовичем [1]. Авторами рассмотрены наиболее «практичные» уравнения, которые сведены к общеизвестной зависимости для скорости уноса вида

$$\frac{dC}{d\tau} = -kC \quad (1)$$

или

$$G_y = k G_{cr} C, \quad (2)$$

где C – концентрация мелких частиц в слое, кг/кг; τ – время процесса, с; G_y – скорость уноса, кг/с; G_{cn} – масса частиц в слое, кг; k – константа скорости уноса, с-1.

Для определения константы “ k ” в монографиях [1, 2] имеются достаточно громоздкие эмпирические корреляции в виде функции

$$k = f\left(\frac{W}{U_g}, Fr, Re, \frac{d_q}{H_{cn}}, \frac{D}{H_{cn}}, \frac{\rho}{\rho_q}, (1-\varepsilon)\right). \quad (3)$$

Более простой вид имеет корреляция для определения константы “ k ” в уравнении, предложенном Донатом [3]. Постулируется, что скорость уноса пропорциональна той предельной концентрации частиц данной крупности (Y_{np}), которая может возникнуть в потоке при его полном «насыщении» взвешенными частицами, то есть

$$\frac{dY}{d\tau} = -kY_{np}. \quad (4)$$

После преобразований, изложенных в работе [4], получаем уравнения позволяющие определять текущее значение концентрации частиц в газовом потоке на выходе из взвешенного слоя

$$\lg Y = \lg Y_{np} - k_1 / W, \quad (5)$$

$$\lg Y = \lg Y_{np} - k_2 h / W. \quad (6)$$

Из уравнения (6) определяется высота сепарационной зоны аппарата

$$h = \frac{W}{k_2} (\lg Y_{np} - \lg Y) = k_3 (\lg Y_{np} - \lg Y), \quad (7)$$

где Y – концентрация частиц данной крупности в газовом потоке (унос), г/м³; Y_{np} – предельная концентрация частиц в газовом потоке, г/м³; W – средняя скорость газового потока, м/с; h – высота сепарационной зоны, м; k_1 , k_2 , k_3 – опытные постоянные, являющиеся функцией скорости витания частиц U_g данной крупности.

Таким образом, сложный вид корреляций для определения констант скорости уноса является причиной не только расхождений результатов расчета, но и противоречивости характера зависимости уноса от скорости газа, диаметра аппарата, высоты слоя и сепарационной зоны и т.п. Механизм обобщения различных уравнений путем сведения параметров с помощью обычных арифметических преобразований [1] в обобщенную зависимость вида (2) не дал ожидаемых результатов, так как далеко не все уравнения поддаются данным преобразованиям (например, уравнения (5) и (6)). По этой причине некоторые из уравнений так и не нашли практического применения в инженерных расчетах.

Задачей данной работы составило теоретическое обоснование вида уравнения для определения величины уноса пылевидного материала из взве-

шенного слоя с помощью энтропийного подхода.

Энтропия применительно к технике псевдооживления характеризует неравномерность распределения частиц в рабочем объеме и определяет также интенсивность их хаотического движения. Величина энтропии “S” связана с вероятностным состоянием газодисперсной системы “ W_s ” и описывается функцией вида

$$\Delta S = k_s \ln W_s = k_s \ln \left(\frac{W}{W'} \right). \quad (8)$$

Допустим, что отношение вероятностей двух различных состояний газодисперсной системы W и W' определяется величиной отношения максимальной (предельной) концентрации мелких частиц в газовом потоке над поверхностью взвешенного слоя (Y_{np}) к концентрации их на произвольном уровне по высоте сепарационной зоны (Y). На этом уровне интенсивность движения частиц, то есть их хаос, больше, а система менее устойчива. С уменьшением скорости газового потока снижается интенсивность хаотического движения частиц, величина $Y \rightarrow Y_{np}$, то есть к равновесному состоянию с максимальной энтропией. Учитывая вышеизложенное, приращение энтропии газодисперсной системы определится из уравнения

$$\Delta S_{rc} = k_{rc} \ln \left(\frac{Y_{np}}{Y} \right). \quad (9)$$

С другой стороны, изменение энергии Гиббса (ΔG) в системе при (p, T) = const равно

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S. \quad (10)$$

Учитывая, что для обратимых самопроизвольно протекающих процессов, находящихся в состоянии термодинамического равновесия, $\Delta G = 0$, имеем

$$\Delta S = \frac{\Delta H}{T}. \quad (11)$$

Изменение энтальпии системы (ΔH) складывается из ее внутренней энергии (принимая во внимание, что изменение объема не происходит), которая в свою очередь определяется суммой кинетической и потенциальной энергий движения частицы над взвешенным слоем и в сепарационной зоне аппарата. В отличие от термодинамической системы, в которой согласно уравнению (11) на изменение энергии движения молекул (микроуровень) влияние оказывает температура, в газодисперсной системе на изменение энергии движения твердых частиц (макроуровень) будет оказывать влияние сила аэродинамического воздействия газового потока (F). Логичность такой замены доказывают экспериментальные данные [5], подтверждающие практическую независимость уноса от температуры газового потока. В связи с этим постоянная Больцмана “ k_s ” в уравнении (8) для классической энтропии

(как мера теплового взаимодействия молекул) заменена на постоянную “ k_{rc} ” в уравнении (9) для изменения энтропии газодисперсной системы (как мера гидродинамического взаимодействия твердых частиц).

Учитывая вышеизложенное, осуществляя соответствующие замены в уравнении (11), приравнявая правые части уравнений (9) и (11) и произведя преобразования, имеем

$$\lg Y = \lg Y_{np} - \frac{m_q}{2,3k_{rc}F} \left(\frac{v_q^2}{2} + gh \right). \quad (12)$$

Для газодисперсной системы постоянная

$$k_{rc} = \frac{R_{rc}}{\sum N_q}, \quad (13)$$

где R_{rc} – постоянная, численно равная работе, совершаемой 1м3 газодисперсного потока при аэродинамической силе воздействия равной 1н (аналог газовой постоянной), Дж/(м3·н); $\sum N_q$ – суммарное количество твердых частиц в 1м3 газового потока (аналог постоянной Авогадро), м-3.

Рассмотрим два условия.

1. Если в аппарате взвешенного слоя мелкие частицы выводятся из слоя непосредственно у поверхности, тогда имеет место «динамический (инерционный) унос», обусловленный кинетической энергией частицы, вылетающей с поверхности слоя. В этом случае высота сепарационной зоны $h \rightarrow 0$ и уравнение (12) приобретает следующий вид

$$\lg Y = \lg Y_{np} - \frac{m_q}{2,3k_{rc1}F} \frac{v_q^2}{2}. \quad (14)$$

Во взвешенном слое каждая из частиц находится в равновесии относительно обтекающего потока (равенство сил тяжести и аэродинамического воздействия потока), то есть «витает» в потоке. Поэтому допускаем, что относительная скорость твердых частиц ($vч$) равна скорости их витания ($Uв$).

Произведя соответствующие подстановки в уравнении (14) и преобразовав его, имеем

$$\lg Y = \lg Y_{np} - 0,29 \frac{d_q}{k_{rc1}\zeta} \left(\frac{\rho_q}{\rho} \right) \left(\frac{U_в}{W} \right)^2, \quad (15)$$

где ζ – коэффициент сопротивления, $\zeta = f(Re)$; $dч$ – диаметр твердой частицы, м; $\rhoч$, ρ – плотности твердой частицы и газа, кг/м3.

2. Если в аппарате взвешенного слоя мелкие частицы транспортируются газовым потоком через сепарационную зону, то есть имеет место «кинетический унос», обусловленный выносом из слоя мелких частиц, скорость витания которых меньше скорости газа. В этом случае высота сепарационной зоны $0 << h < \infty$. А поскольку при установившемся движении твердых частиц на стационарном участке сепарационной зоны истинная скорость частицы равна скорости газового потока ($Uч = W$), то $vч = W - Uч = 0$. Тогда уравнение

(12) после соответствующих подстановок и преобразований приводится к виду

$$\lg Y = \lg Y_{np} - 0,29 \frac{h}{k_{rc2} \zeta} \left(\frac{\rho_u}{\rho} \right) \left(\frac{gd_u}{W^2} \right). \quad (16)$$

Из уравнения (16) определяется высота сепарационной зоны аппарата взвешенного слоя

$$h = \frac{k_{rc2} \zeta}{0,29} \left(\frac{\rho}{\rho_u} \right) \left(\frac{W^2}{gd_u} \right) (\lg Y_{np} - \lg Y). \quad (17)$$

Уравнения (15) - (17), полученные теоретическим путем, по форме сходны с эмпирическими зависимостями (5) - (7), последние же хорошо зарекомендовали себя в методиках инженерного расчета аппаратов взвешенного слоя [6]. Применимость теоретических уравнений (15) и (17) для практических расчетов возможна при определении постоянной “кгс” в виде функциональных связей

$$k_{rc1} = f(U_a), \quad k_{rc2} = f\left(\frac{1}{W}\right). \quad (18)$$

Автором получены эмпирические корреляции вида (18) путем обработки экспериментальных данных по обеспыливанию алюмосиликатного катализатора, алюминиевого и угольного порошка, кварцевого песка в аппаратах псевдооживленного и взвешенного на провальной решетке слоя, гранулированных суперфосфата, аммофоса, медного и угольного порошка в полочных аппаратах взвешенного слоя. Относительная погрешность расчетных значений от экспериментальных данных не превышает 5–30 %.

Таким образом, энтропийный подход к описанию механизма уноса мелких частиц из взвешенного слоя позволил выявить аналитическую взаимосвязь режимных параметров ведения процесса обеспыливания с энергетическими затратами путем введения постоянной “кгс”, которая показывает какой энергией должны обладать частицы при воздействии на них газового потока с определенной силой (аналог постоянной Больцмана). Данный подход позволит в дальнейших исследованиях проводить более качественный анализ по оптимизации технологических процессов в аппаратах взвешенного слоя с целью снижения энергозатрат.

Список литературы: 1. Тодес О.М., Цитович О.Б. Аппараты с кипящим зернистым слоем: гидравлические и тепловые основы работы. –Л.: Химия, 1981.–296 с. 2. Расчеты аппаратов кипящего слоя: Справочник /Под ред. И.П. Мухленова и др.- Л.: Химия, 1986.- 352 с. 3. Донат Е.В., Голобурдин А.И. Аппараты со взвешенным слоем для интенсификация технологических процессов. – М.: Химия, 1993. –144 с. 4. Донат Е.В., Голобурдин А.И., Юхименко Н.П. Влияние концентрации частиц и диаметра трубопровода на скорость восходящего потока при пневмотранспорте //ЖПХ, №4, 1988, с. 789-794. 5. Разумов И.М. Псевдооживление и пневмотранспорт сыпучих материалов. –М.: Химия, 1972. –240 с. 6. Юхименко Н.П. и др. Аппараты взвешенного слоя: теоретические основы и расчет. –Сумы: Собор, 2003. –304 с.

Поступила в редакцию 12.09.2007

Е.В. КОНОПЛЯНЧЕНКО, О.В. РАДЧУК, С.Г. НИКОНОВ

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РАЗБОРКИ ИЗДЕЛИЙ С ЖЕСТКИМ ВРЕМЕННЫМ ДОПУСКОМ

Рассмотрена структура временной технологической цепи. Представлены математические модели элементов временной структуры и технологического процесса в целом. На базе микро уровневого анализа операционной структуры указаны пути обеспечения рационального функционирования технологической системы в реальных условиях эксплуатации.

The structure of time technological chains is considered. The mathematical models of elements of time structure and technological process are submitted. On base micro-level of the analysis of operational structure the paths of provision of rational operation of technological system in real conditions of maintenance are specified.

В современном производстве, на этапе ремонта или утилизации изделий перед разработчиками нередко стоят задачи обеспечения работоспособности технологических систем разборки в условиях жесткого временного допуска на выполнение операций. Данное ограничение может быть вызвано спецификой процесса разборки изделий (присутствие в изделии опасных или вредных факторов, наличие температурного допуска и т.д.).

Одним из направлений обеспечения надежности таких систем является оптимизация временных технологических цепей разборки изделий.

Качественно различные операции выполняются по различным законам, протекают в различных условиях, следовательно, с различной длительностью их выполнения. Таким образом, при различной длительности смежные операции либо поглощают, либо накапливают оборотный задел, что в свою очередь приводит к простоем оборудования, либо к межоперационному пролеживанию деталей в очереди перед оборудованием. Выходы оборудования из строя приводят к изменению времени выполнения операции ($\Delta t^{над}$), накладывая ряд ограничений на протекание технологического процесса (ТП).

В реальных условиях производства продолжительность одинаковых по природе повторяющихся операций отличается одна от другой. А поскольку все операции связаны друг с другом во времени, то каждое отклонение продолжительности операции, выходящее за установленный допуск, вносит погрешности, нарушающие нормальный ход ТП. Для характеристики явления рассеивания продолжительности операций используют величину поля рассеивания ω_i , подчиняющуюся нормальному закону распределения [1]. Поле рассеивания i -го звена временной цепи можно определить из зависимости:

$$\omega_i = D(t_i) = \sum_{j=1}^n [t_{ij} - M(t_i)]^2 \cdot p(t_{ij}),$$

где $D(t_i)$ – дисперсия времени выполнения i -ой операции; $M(t_i)$ – математическое ожидание (среднее значение) времени выполнения i -ой операции;

$p(t_{ij})$ – частота значения t_{ij} ; j – входение в ТП.

Таким образом, ранний срок выполнения i -ой операции будет равен:

$$t_i^{\min} = M(t_i) - \omega_i / 2 \quad \text{а поздний: } t_i^{\max} = M(t_i) + \Delta t_i, \quad \text{где } \Delta t_i = \Delta t_{\text{над}} + \omega_i / 2$$

Зависимость между величинами полей рассеивания составляющих звеньев временной цепи и его замыкающего звена по аналогии с размерными цепями:

$$\omega_{\Delta} = \sum_{i=1}^{k-1} \left| \frac{\partial t_{\Delta}}{\partial t_i} \right| \omega_i,$$

где t_{Δ} – время замыкающего звена временной цепи; t_i – составляющее i -е звено; ω_{Δ} – поле рассеивания замыкающего звена; k – общее количество звеньев во временной цепи.

Учет поля рассеивания времени выполнения операции целесообразно проводить при прецизионных расчетах (в условиях «нулевого» временного допуска). В остальных случаях при наличии допуска времени на выполнение операции и при условии, что $M(t_i) \approx t_i$ и $\Delta t_{\text{над}} \gg \omega_i$ можно ω_i принять равным нулю.

Время протекания производственного процесса характеризуется продолжительностью производственного цикла (Тц), временем простоя рабочих мест (тпр) и временем пролеживания предметов труда в производстве (тм.о.) [2]. Все три характеристики, в особенности две последние, сильно зависят от значения максимальной продолжительности одной из операций, от средней продолжительности всех операций и от степени асинхронности продолжительностей операций.

Для наглядности представим временную структуру разборки в виде циклограммы (рис. 1), где t – это ось времени, i – последовательность операций, j – входения в ТП.

В результате проведенных исследований разработаны математические модели составных элементов временной структуры (1), (2).

Это позволило определить закономерности распределения времени внутри ТП и выявить типовые временные структуры [3], в которых в качестве t_i выступает время выполнения i -ой операции на i -ом оборудовании.

$$t_{ij}^{np} = \begin{cases} t_{\max} - t_i, & \text{если } t_{\max} > t_i \\ 0, & \text{если } t_{\max} < t_i \end{cases} \quad \text{где } t_{\max} \in [t_1, t_{(i-1)}], \quad j = 1, n \quad (1)$$

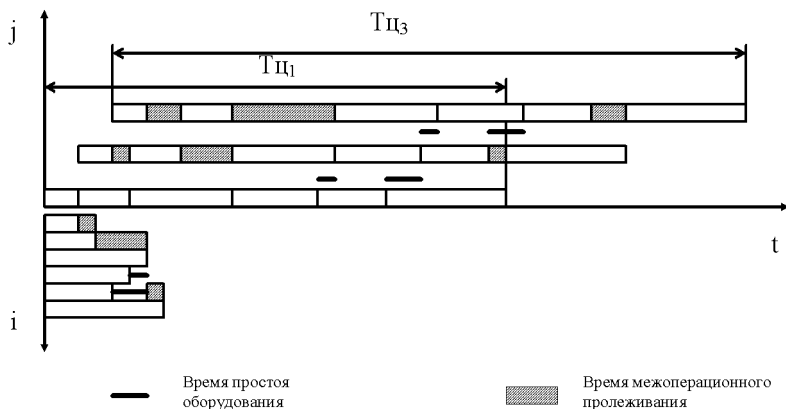


Рис 1. Циклограмма временной структуры разборки

$$t_{ij}^{m.o.} = \begin{cases} (t_{i+1} - t_{\max}) \cdot (j-1), & \text{при } t_{\max} < t_{i+1} \\ 0, & \text{при } t_{\max} > t_i \end{cases} \quad \text{где } t_{\max} \in [t_1, t_i], j = 1, n \quad (2)$$

Наличие на i -ой стадии ТП $t_{пр}$ и/или $t_{m.o.}$ является временным резервом, который повышает надежность эксплуатации ТС. Используя типовые временные структуры можно синтезировать рациональный технологический процесс разборки изделий с учетом специфики выполнения операций по времени и надежности технологической системы в целом.

В качестве критерия оценки надежности был принят комплексный показатель – коэффициент готовности оборудования K_g , равный отношению времени эксплуатации к совокупному времени эксплуатации и времени внеплановых ремонтов ($K_g = F_d / (F_d + T_{рем})$, где F_d – действительный фонд времени работы оборудования) [3].

На рисунке 2 представлена структура временных элементов на i -ой операции разборки.

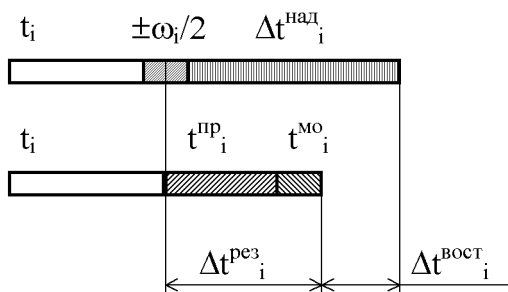


Рис 2. Структура элементов времени на i -ой операции

В данном случае:

$$T_{рем} = \Delta t_i^{восст} = \left[\left((M(t_i) - t_{ij} + \frac{\omega_i}{2}) + \Delta t_i^{над} \right) - (t_i^{np} + t_{ij}^{mo}) \right] \cdot \lambda_i,$$

где λ_i – поток отказов на i -ом оборудовании.

При условии, что $M(t_i) \approx t_i$ и $\Delta t_{над} \gg \omega_i/2$

$$\Delta t_i^{восст} = \left[\Delta t_i^{над} - (t_i^{np} + t_{ij}^{mo}) \right] \cdot \lambda_i = (\Delta t_i^{над} - \Delta t_i^{pez}) \cdot \lambda_i$$

Элементы t_i^{np} и t_{moj} являются пополняемым временным резервом при выполнении операций. Кроме того t_{mo} – накапливаемый резерв времени.

Наработка на отказ такой системы, за период эксплуатации $t_{экс}$, можно изобразить в виде графика расходования резерва времени t_p (рис. 3).

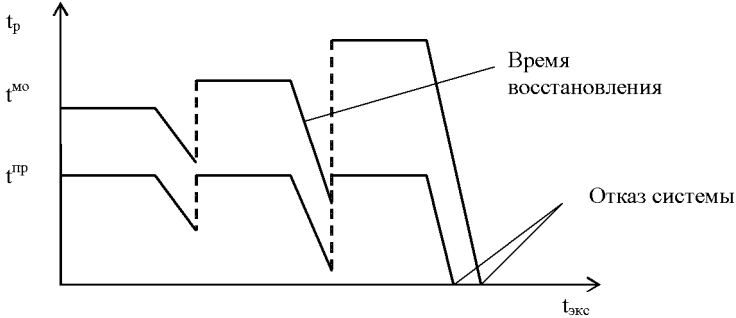


Рис 3. Нарработка на отказ системы с резервом времени

Таким образом, если при выполнении операций разборки на каком-либо этапе происходит отказ элемента технологической системы, но время восстановления укладывается в резервное время, то данный отказ не оказывает влияния на работоспособность технологической системы.

Рассмотрим ситуацию, в которой совокупный резерв времени при выполнении операции разборки превышает допуск на надежность оборудования (рис. 4).

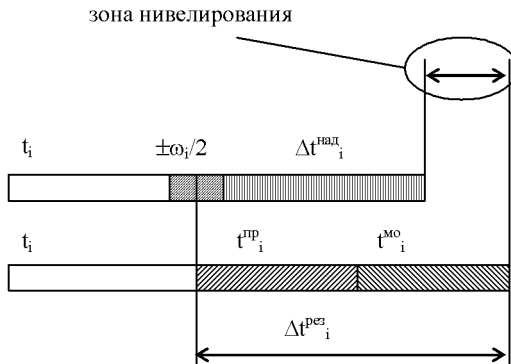


Рис. 4. Область рационального значения резерва времени

В данном случае время, связанное с восстановительными мероприятиями укладывается во временной резерв. Однако, как видно из иллюстрации, образовывается некоторая «зона нивелирования», наличие которой нецелесообразно с точки зрения обеспечения надежности эксплуатации технологической системы. А если учесть присутствие в совокупном резерве времени межоперационного пролеживания, то следствием каждого нового вхождения в ТП будет увеличение зоны. Данная область является целью оптимизации временных технологических цепей.

Список литературы: 1. Конопляченко Е.В. Метод синтеза рациональных структур технологических процессов// Вестник Харьковского государственного политехнического университета. - 2000.- №.110.- С.235-250. 2. Захаров М.В., Конопляченко С.В., Радчук О.В., Чибіряк Я.І. Побудова нових форм організації виробничих процесів та оптимізація часових технологічних ланцюгів// Вісник СДАУ, Вип.4,1999., с. 93-97. 3. Конопляченко С.В., Радчук О.В. Комплексний аналіз впливу часової структури процесу складання виробів на надійність експлуатації технологічної системи//Вісник НТУ “ХПІ”. Зб. наук. праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2002. - №19 – С.31-36.

Поступила в редколлегию 12.09.2007

УДК 621.001.24

М.Н.ЗАХАРОВ, Ю.В.ТИМОФЕЕВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ МНОГОПОЗИЦИОННОГО АГРЕГАТИРОВАННОГО МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ

В роботі досліджується технологічна спадковість многопозиційного агрегатованого металоріжущого устаткування за допомогою просторових розмірних ланцюгів.

Technological heredity of a lot of positions of agregatyrovannogo metal-cutting equipment by spatial size chains is explored in work.

Анализ научно-технической литературы показывает, что вопросам точности сборки агрегатных станков уделено недостаточное внимание. До настоящего времени, в основном, рассматривались вопросы точности отдельных сборочных единиц агрегатных станков. Назрела необходимость комплексного решения вопросов точности их изготовления и компоновки в технологическую систему, что позволит создать методы управления качеством изготовления агрегатированного металлорежущего оборудования в зависимости от требований обеспечения технологической наследственности и его целевого назначения.

При исследовании геометрической точности агрегатированного металлорежущего оборудования было выявлено, что плоско проекционные размер-

ные цепи не могут обеспечить полное представление о точностных возможностях уникального агрегатированного оборудования. Это обусловлено тем, что при компоновке многопозиционных агрегатных станков из стандартных сборочных единиц между ними возникает пространственная взаимосвязь, изучение которой на плоскости затруднено.

На данном этапе необходима точность сборки многопозиционных агрегатных станков достигается на каждой позиции отдельно, не учитывая погрешностей сборки предыдущих позиций. Это приводит к тому что точность собранных станков не всегда соответствует заложенной при проектировании.

В этих условиях необходимо:

выявить общие закономерности взаимной пространственной связи унифицированных узлов в компоновках агрегатных станков;

разработать принципиальные положения построения пространственных схем размерных цепей с целью установления влияния единичных погрешностей и допусков составляющих звеньев на размеры замыкающего звена и на структуру этих замыкающих звеньев в общей компоновке;

выявить закономерности изменения допусков на размеры элементов, образующих пространственную компоновку станка;

установить рациональные распределения допустимых результирующих погрешностей между элементами, составляющими компоновку технологической системы, с учетом требований производительности, надежности, экономичности.

В то же время именно для агрегатных станков все перечисленное имеет огромное значение, так как практически каждый проектируемый и изготавливаемый станок оригинален по своей компоновке и выполняемому технологическому процессу обработки на нем, отличается требованиями производительности, точности и т.п.

Одним из основных точностных параметров для горизонтальной компоновки силовых агрегатов является смещение оси шпинделя относительно оси отверстия обрабатываемой заготовки в приспособлении, имитируемом при существующей технологии сборки станка отверстием монтажного шаблона. В размерной цепи С это отклонение представляет замыкающее звено S_c (рис.1).

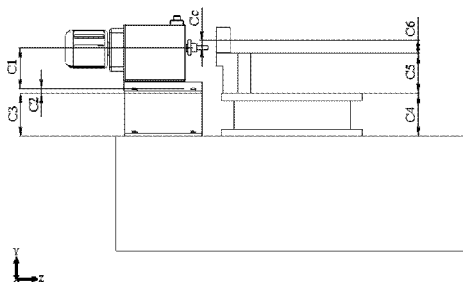


Рис. 1. Модель размерной цепи С.

Данная размерная цепь состоит из следующих составляющих звеньев: С1-расстояние от оси шпинделя до базовой опорной поверхности силовой головки; С2-расстояние между опорной и базовой поверхностями подкатных салазок; С3-расстояние между опорной и базовой поверхностями подкладки; С4-высота делительного стола; С5-расстояние между опорной и базовой поверхностями монтажного шаблона; С6-расстояние от базовой поверхности монтажного шаблона до оси отверстия в шаблоне-заготовке.

Величина замыкающего звена размерной цепи

$$C_c = \xi_1 C_1 + \xi_2 C_2 + \xi_3 C_3 + \xi_4 C_4 + \xi_5 C_5 + \xi_6 C_6,$$

где ξ_i – передаточные отношения соответствующих составляющих звеньев

$$(i = 1 \dots 6): \xi_1 = \xi_2 = \xi_3 = -1; \quad \xi_4 = \xi_5 = \xi_6 = +1.$$

Обозначив цифрами поверхности, между которыми стоят размеры, построим упрощенную схему размерной цепи С (Рис. 2).

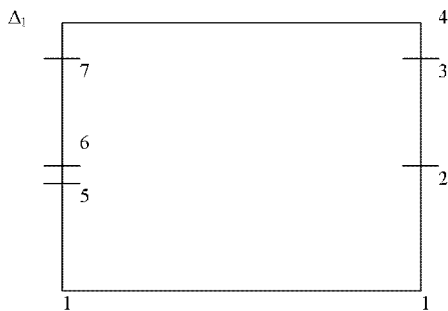


Рис. 2. Схема размерной цепи С.

Рассмотрим следующую позицию АС с горизонтальным расположением силового агрегата (рис. 3).

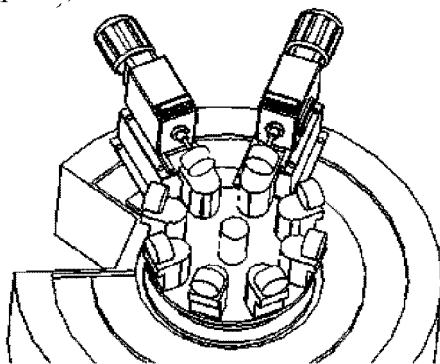


Рис. 3. Компоновка АС из двух горизонтально расположенных силовых агрегатов.

В качестве базовой принимаем поверхность станины, на которой расположены все силовые агрегаты. Размеры: С4-высота делительного стола; С5-

расстояние между опорной и базовой поверхностями монтажного шаблона; С6-расстояние от базовой поверхности монтажного шаблона до оси отверстия в шаблоне заготовки (см.рис.1), которое считаем неизменным для каждой позиции обработки. Таким образом получим размерную цепь (рис. 4) для второй позиции.

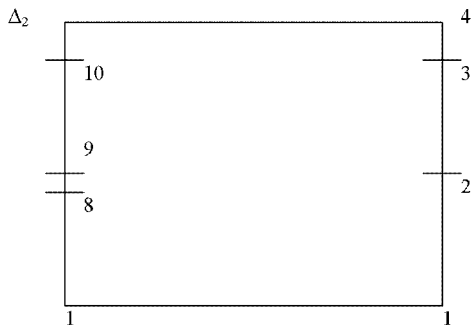


Рис. 4. Схема размерной цепи для второй позиции.

Для каждой позиции обработки с горизонтальной компоновкой силовых агрегатов имеем линейную размерную цепь, определяющую смещение оси шпинделя относительно оси отверстия обрабатываемой заготовки в приспособлении. Так как размеры С4-высота делительного стола; С5-расстояние между опорной и базовой поверхностями монтажного шаблона; С6-расстояние от базовой поверхности монтажного шаблона до оси отверстия в шаблоне (см.рис.1) приняты неизменными для каждой позиции обработки, объединим через них первую и вторую размерные цепи (рис. 5).

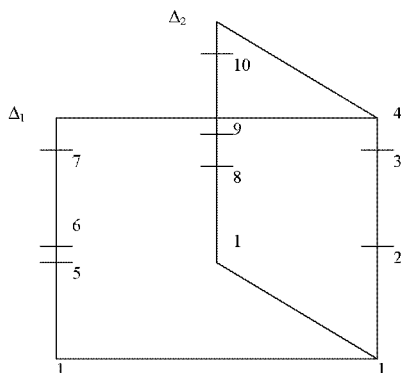


Рис. 5. Линейные размерные цепи на первой и второй позициях обработки, расположенные в вертикальной плоскости.

Показанные размерные цепи позволяют определить смещение оси шпинделя относительно оси отверстия обрабатываемой заготовки в приспособлении на первой и второй позициях. Однако для обеспечения технологической наследственности необходимо построить пространственную размерную цепь, позволяющую определить смещение оси шпинделя на второй позиции обработки относительно оси шпинделя на первой позиции обработки (рис.6).

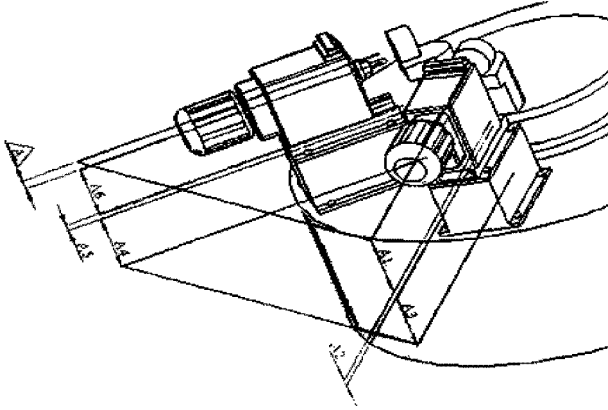


Рис. 6. Модель размерной цепи A, определяющая смещение осей шпинделей на первой и второй позициях обработки.

Соединив линейные размерные цепи первой и второй позиции (рис. 5) с размерной цепью A, получим пространственную схему рис.7.

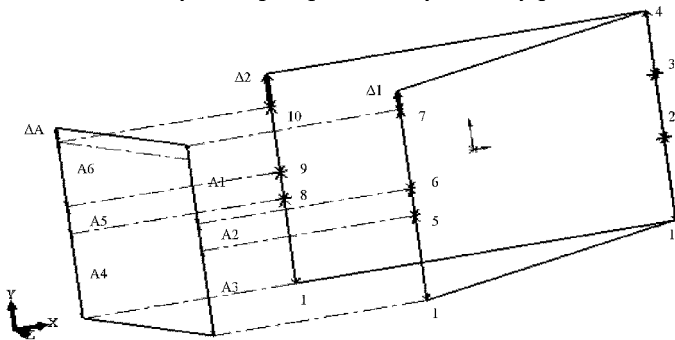


Рис.7. Схема пространственной размерной цепи A.

Пространственная размерная цепь A не может быть представлена на плоском чертеже, так как определяет смещение шпинделей силовых головок, расположенных в разных плоскостях.

Рассмотрим третью позицию обработки с горизонтальным расположением силового агрегата (рис.8).

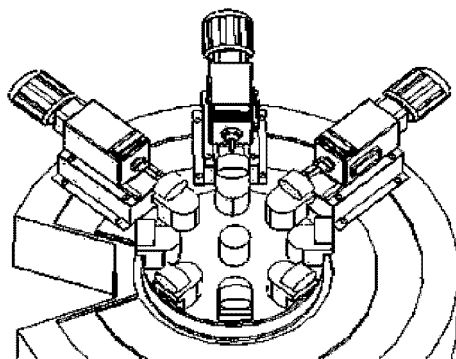


Рис. 8. Компоновка АС из трех горизонтально расположенных силовых агрегатов.

В данном случае пространственную схему размерных цепей, позволяющих определить смещение оси шпинделя относительно оси отверстия обрабатываемой заготовки в приспособлении на каждой позиции, а также смещение оси шпинделя между позициями, можно представить в следующем виде (рис.9).

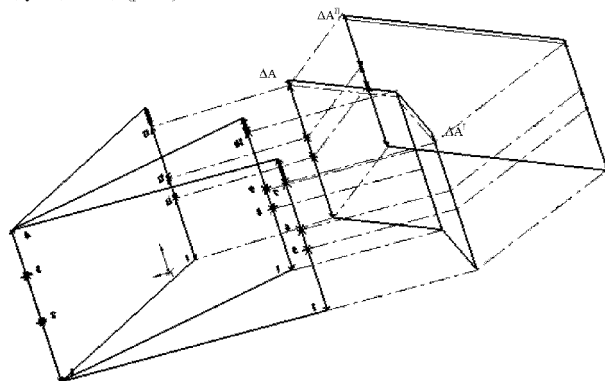


Рис. 9. Пространственная схема размерных цепей.

Пространственная схема размерных цепей позволяет:

- наглядно представлять точностные выходные параметры агрегатных станков;
- анализировать в пространстве точность изготовления и сборки отдельных сборочных единиц и станка в целом;
- установить влияние единичных погрешностей отдельных позиций обработки на точностные выходные параметры многопозиционной агрегатированной системы;
- комплексно выявлять доминирующие погрешности и намечать конкретные пути для уменьшения их значений и степени влияния на геометрию

ческою точность оборудования;

– обеспечить минимальную трудоемкость сборки за счет учета технологической наследственности обработки поверхностей на взаимосвязанных технологических позициях;

– уйти от технологии сборки многопозиционного агрегатированного металлорежущего оборудования с использованием монтажного шаблона, координатно увязав все элементы и введя компенсаторы в размерные цепи.

Список литературы: 1. Мельниченко О.А. Основы технологичності конструкцій та складання металорізального устаткування: Навч. посібник для студентів машинобудівних спеціальностей.- Харків: УПА, 1997.-92с. 2. Агрегатные станки средних и малых размеров / Ю.В.Тимофеев, В.Д.Хицан, М.С. Васерман, В.В. Громов; Под. общ. ред. Ю.В.Тимофеева.-М.:Машиностроение, 1985.-248с. 3. Размерный анализ технологических процессов/В.В.Матвеев, М.М. Тверской, Ф.И. Бойков и др. – М.: Машиностроение, 1982. – 264 с.

Поступила в редколлегию 12.09.2007

УДК 621. 221

О. Б. ПАНАМАРЬОВА

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПІДЙОМНОГО МЕХАНІЗМУ СТІЛОЧНОГО КРАНУ З АВТОМАТИЧНИМ РЕГУЛЯТОРОМ ШВИДКОСТІ

В статті описується математична модель гідросистеми підйомного механізму стрілочного крану з використанням автоматичного регулятора швидкості, що живиться від гідроагрегата живлення з запобіжним клапаном з осциляцією.

In article the mathematical model of hydrosystem of the elevating mechanism of the booms crane with use of an automatic regulator of speed which eats from hydraulic power unit with a safety valve with oscillation is described.

Вступ

Використання в гідравлічних системах (ГС) гідроагрегатів живлення (ГАЗ) гідроапарати (ГА) з осциляцією дозволяє підвищити їх динамічні характеристики та надійність, скоротити енергоспоживання. Спроба застосування таких ГАЗ з запобіжним клапаном (ЗК) з осциляцією в ГС підйомних механізмах і дослідження їхніх динамічних характеристик є актуальною задачею.

Огляд літературних джерел

Проведений нами аналіз літературних джерел виказав, що математична модель ГС підйомного механізму стрілочного крану збудована з використанням ГАЗ з ЗК з осциляцією розглянуто в статті [1]. Однак в ній не розглядається різні режими навантаження та забезпечення заданної швидкості переміщення виконавчих механізмів. В інших літературних дже-

релах, доступних нам, ці питання не розглядаються. В даній статті реалізується спроба удосконалення запропонованої попередньо ГС підйомного механізму стрілочного крану шляхом використання в ній автоматичного регулятора швидкості (АРШ), конструкція котрого запропонована в [2]. При переміщенні стрілковим краном, що розглядається, вантажів з більш легкою вагою, потужність гідропривода є недовикористаною. Включення до гідросхеми АРШ дозволить встановити автоматичне керування режимом роботи гідропривода, що забезпечить більш повне використання потужності ГАЖ.

Мета і постановка задачі.

Метою даної статті є складання математичної моделі ГС підйомного механізму з використанням ГАЖ з ЗК з осциляцією та АРШ.

Гідравлічна система підйомного механізму стрілочного крану з використанням АРШ.

ГС підйомного механізму (рис. 1) така, як наведено в [3], за виключенням механізму рекуперації енергії, використання якого в ГС впливає тільки на енергетичні характеристики ГАЖ. Для більш повного використання потужності ГАЖ з ЗК з осциляцією до ГС пропонується включити АРШ, котрий може працювати в трьох режимах.

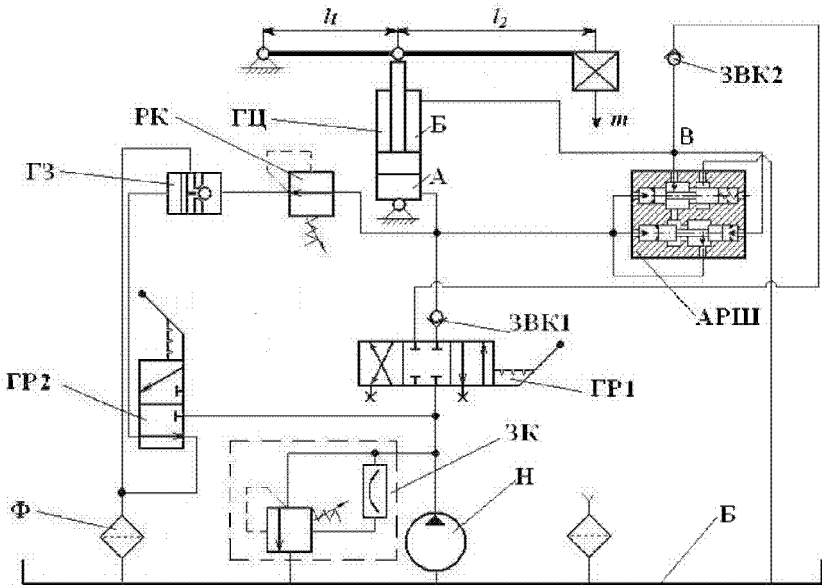


Рис. 1. Гідравлічна схема ГС підйомного механізму стрілочного крану з АРШ: Н – насос, ЗК – запобіжний клапан з осциляцією, ГЦ – гідроциліндр, ГР1, ГР2 – гідророзподільники, ГЗ – гідрозамок, АРШ – автоматичний регулятор швидкості; РК – редукційний клапан, ЗВК1, ЗВК2 – зворотні клапани; Б – бак, Ф – фільтр.

Від насоса (Н) з постійною подачею $Q_H = \text{const}$ робоча рідина через трьохпозиційний гідророзподільник (ГР1) з ручним керуванням в середньому положенні надходить під тиском до запобіжного клапана (ЗК) з ГВК, через котрий зливається в бак (Б). При перемиканні ГР1 і зміщенні його золотника в праве положення, робоча рідина проходить через ГР1 і зворотній клапан (ЗВК1) та потрапляє до поршневої порожнини гідроциліндра (ГЦ) (порожнина А) під тиском p_1 . ГЦ має два виводи з поршневої та підпоршневої порожнин, до котрих підведено автоматичний регулятор швидкості (АРШ). Нижче розглянемо режими роботи АРШ в залежності від навантаження виконавчого механізму.

Перший режим роботи АРШ характеризується вагою вантажу, на виконавчому механізмі

$$G \leq P_{\text{доо}} \eta_{\text{ц}}, \quad (1)$$

де G - вага вантажу; $P_{\text{доо}}$ - найбільше значення сили руху, що розвивається поршнем ГЦ; $\eta_{\text{ц}}$ - ККД ГЦ, що враховує сумарний ефект від дії сил тертя.

Пружина (рис. 2) фіксує золотник ЗЛ1 в золотниковому блоці АРШ в крайньому лівому положенні і настроюється на тиск $p_1 = p_0$ (p_0 - тиск на котрий налаштована пружина АРШ) в порожнині А.

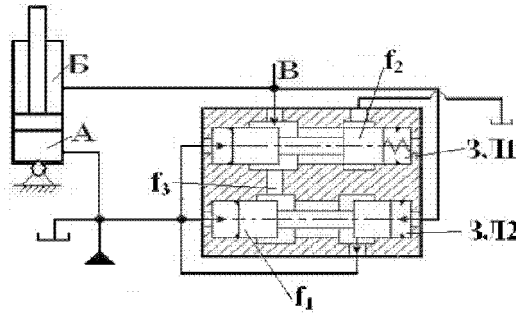


Рис. 2. Автоматичний регулятор швидкості: А – поршневая порожнина; Б – підпоршневая порожнина; ЗЛ1, ЗЛ2 – золотники АРШ; f_1, f_2, f_3 – площі каналів АРШ

Таким чином, при $P_{\text{доо}} \leq P_{\text{доо}}$ і відповідно $p_1 \leq p_0$, робоче вікно з площею f_2 закрито і злив з підпоршневої порожнини Б ГЦ до баку перекрито. Через те, що тиск p_2 в порожнині Б більше p_1 , то золотник ЗЛ2 знаходиться в крайньому лівому положенні і рідина з порожнини Б через канал площею f_3 між золотниками АРШ і робоче вікно з площею f_1 потрапляє до порожнини А. Робота ГЦ характеризується режимом диференційного включення.

Другий режим роботи АРШ характеризується навантаженням

$$P_{\partial\sigma} = P_{\partial\sigma_0} + \Delta P_{\partial\sigma}. \quad (2)$$

При цьому $p_1 > p_{1_0}$, золотник ЗЛ1 стискаючи пружину, пересувається праворуч і відкриває через вікно площею f_2 , відбувається злив з порожнини Б до баку. Тиск p_2 в порожнині Б зменшується, але залишається більшим ніж p_1 , внаслідок чого зменшується швидкість руху поршня:

В третьому режимі роботи АРШ навантаження

$$P_{\partial\sigma} > P_{\partial\sigma_0} + \Delta P_{\partial\sigma}. \quad (3)$$

В цьому випадку $p_2 < p_1$; золотник ЗЛ2 займає крайнє ліве положення і перекриває вікно площею f_1 . До порожнини А подається лише витрата від насоса. Зі збільшенням сили $P_{\partial\sigma}$ під дією тиску p_1 , що збільшується доти, доки тиск робочої рідини не досягне налаштованого тиску пружини. Золотник ЗЛ1 збільшує площу f_2 робочого вікна, у зв'язку з чим тиск p_2 продовжує зменшуватися.

Для опускання поршня ГЦ перемикаємо ГР1 в крайнє положення ліворуч. В цьому випадку припиняється надходження робочої рідини до напірної магістралі, робоча рідина подається до магістралі В керування АРШ. Це необхідно для того, щоб в підпоршневій порожнині ГЦ не сталося розриву робочої рідини при опусканні штока, що може привести до виникнення вагань ГЦ разом з навантаженням. З поршневої порожнини ГЦ1 і з АРШ робоча рідина зливається через редуційний клапан (РК), гідрозамок, який відкривається від керуючого сигналу гідророзподільника ГР2 і фільтр (відбувається опускання вантажу). Зауважимо, що величина на яку підіймається чи опускається вантаж залежить від моменту часу, в який відбувається перемикання ГР1 та ГР2.

Математична модель ГС підйомного механізму стрілочного крану. При її розробці були прийняті наступні припущення: виконується рівняння нерозривності течії робочої рідини; кавітація відсутня; трубопроводи мають великий діаметр і незначну довжину, втрати тиску в них незначні, хвильовими процесами в них нехтуємо; температура і щільність робочої рідини – постійні і рівні їхнім середнім значенням за час роботи ГС. Також вважаємо, що робоча рідина містить 1,5 % нерозчиненого повітря, який за час роботи ГС не змінюється, що впливає на модуль об'ємної пружності робочої рідини, який з урахуванням газовмісту розраховується згідно залежності наведеної в [5].

Математична модель ГС представлена наступними рівняннями:

– рівняння руху золотника ЗК з осциляцією

$$m\ddot{x}_{зр\epsilon} = P_{уп}(t) - P_{пр\sigma}(t) - P_{пр}(t) - P_{гд}(t) - P_{тр}(t) + P_{осц}(t) - P_{дем}(t), \quad (4)$$

– рівняння руху золотників АРШ

$$m_1\ddot{x}_1 = f_{11}P_6 + c_{np}x_1 - f_{12}P_a - P_{тр_1}(t) - P_{гд_1}(t), \quad (5)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 = f_{21} p_6 - f_{22} p_a - P_{\text{тр}2}(t) - P_{\text{гд}2}(t), \quad (6)$$

– рівняння руху навантаженого штока гідроциліндра

$$m_{\text{цл}} \ddot{y} = f_{\text{нор}} p_1 - f_{\text{шт}} p_2 - P_{\text{мп}0} \delta(\dot{y}) - P_{\text{мпк}} \text{sign}(\dot{y}) - k_{\text{мп}V} \dot{y} - P_{\text{нк}}, \quad (7)$$

– рівняння нерозривності

$$Q_{\text{н}}(t) = Q_{\text{нав}}(t) + Q_{\text{зк}}(t) + Q_{\text{ст}}(t) + Q_{\text{уп}}(t), \quad (8)$$

– рівняння, що описують зміну стану робочої рідини

$$T_a = \text{const}, \quad \rho = \text{const}. \quad (9)$$

До рівнянь (4),(7) – (9) входять наступні величини і які визначаються за залежностями наведеними в статті [1]: m – маса золотника ЗК та приведена до осі ЗК маса всіх рухомих частин; $\ddot{x}_{\text{зк}}$ – прискорення золотника ЗК; $P_{\text{уп}}(t)$ – сила керування; $P_{\text{пр}\Sigma}(t)$ – сумарна сила пружин; $P_{\text{рпр}}(t)$ – сила рідинної пружини; $P_{\text{гд}}(t)$ – гідродинамічна сила; $P_{\text{тр}}(t)$ – сила тертя; $P_{\text{дем}}(t)$ – сила демфірування; $m_{\text{цл}}$ – маса поршня ГЦ та приведена до осі ГЦ маса всіх рухомих частин; \ddot{y} , \dot{y} – прискорення та швидкість поршня ГЦ; $f_{\text{нор}}$, $f_{\text{шт}}$ – площі поршня ГЦ, відповідно, зі сторони поршневої та штокової порожнин; p_1 , p_2 – тиск у поршневій і штоковій порожнинах; $P_{\text{мп}0}$, $P_{\text{мпк}}$ – сили тертя спокою та рідинного тертя; $k_{\text{ТР}V}$ – коефіцієнт кінематичного тертя; $P_{\text{нк}}$ – сила, що прикладена до штоку ГЦ; $Q_{\text{н}}$ – витрати на виході з насоса; $Q_{\text{нав}}(t)$ – витрата навантаження; $Q_{\text{зк}}(t)$ – витрата через ЗК; $Q_{\text{ст}}(t)$ – витрата стиску; $Q_{\text{уп}}(t)$ – витрата керування.

До рівнянь (5) і (6) входять величини [5]: f_{11} , f_{22} – площі каналів АРШ; p_a , p_b – тиск в порожнинах А і Б; x – хід золотника АРШ; $c_{\text{пр}}$ – жорсткість пружини, останні аналогічно до вище згаданих. Індексами 1 і 2 відмічені величини, що описують рух двох золотників ЗЛ1 і ЗЛ2 АРШ (рис.2). Переміщення золотників ЗЛ1 і ЗЛ2 знаходиться в наступних межах

$$0 \leq x_1 \leq x_{1\text{max}}, \quad (10)$$

$$0 \leq x_2 < x_{2\text{max}}. \quad (11)$$

Обмеження швидкості руху золотників ЗЛ1 і ЗЛ2 визначається як

$$\frac{dx_1}{dt} = \begin{cases} 0, & \text{при } \frac{dx_1}{dt} > 0, & x_1 = x_{1\text{max}} \\ 0, & \text{при } \frac{dx_1}{dt} < 0, & x_1 = 0 \\ \frac{dx_1}{dt}, & \text{при } 0 < x_1 < x_{1\text{max}} \end{cases}, \quad (12)$$

$$\frac{dx_2}{dt} = \begin{cases} 0, & \text{при } \frac{dx_2}{dt} > 0, & x_2 = x_{2\max} \\ 0, & \text{при } \frac{dx_2}{dt} < 0, & x_2 = 0 \\ \frac{dx_2}{dt}, & \text{при } 0 < x_2 < x_{2\max} \end{cases} . \quad (13)$$

Витрати через канали АРШ f_1 і f_2 визначаємо

$$Q_{f_1}(t) = \mu_{f_1}(\text{Re}, x_1) f_1(t, x_1) \sqrt{\frac{2}{\rho} \sqrt{p_1(t) - p_a(t)}} , \quad (14)$$

$$Q_{f_2}(t) = \mu_{f_2}(\text{Re}, x_2) f_2(t, x_2) \sqrt{\frac{2}{\rho} \sqrt{p_2(t) - p_{3a}(t)}} . \quad (15)$$

Витрата через внутрішній канал 3 АРШ визначаємо

$$Q_{f_3}(t) = G \sqrt{|p_1(t) - p_2(t)|} , \quad (16)$$

де G – провідність каналу 3.

Вважаючи, що діаметр каналів, по котрим робоча рідина підводиться та відводиться до АРШ дорівнює діаметру трубопроводів, що підводять, їхній опір не враховуємо.

Для першого режиму роботи АРШ швидкість руху поршня ГЦ визначається, як

$$v_1 = \frac{Q_n}{F(1-k)} , \quad (17)$$

де Q_n – витрата, що створює насос; $k = \frac{F_2}{F_1}$; F_1 , F_2 – ефективні площі

поршня в порожнинах А і Б.

При цьому режимі злив через не відбувається, тому $Q_{f_2}(t) = 0$,

Другий режим роботи АРШ характеризується швидкістю руху поршня ГЦ

$$v_2 = \frac{Q_n + Q_1}{F_1} . \quad (18)$$

В цьому випадку тиск $p_2(t) = p_1(t)$, витрата $Q_{f_1}(t) = 0$, а швидкість $v_2 = \frac{Q_n}{F_1}$.

В третьому режимі швидкість поршня визначається, як

$$v_3 = \frac{Q_n}{F_1} . \quad (19)$$

Таблиця 1 – Параметри ГС підйомного механізму стрілочного крану в залежності від режиму навантаження.

№ режиму	$p_1(t), p_2(t)$	$Q_{f_1}(t)$	$Q_{f_2}(t)$	$Q_{f_3}(t)$
1	$p_2(t) \gg p_1(t)$	$Q_{f_1}(t) \neq 0$	$Q_{f_2}(t) = 0$	$Q_{f_3}(t) = Q_{f_2}(t)$
2	$p_2(t) > p_1(t)$	$Q_{f_1}(t) = 0$	$Q_{f_2}(t) \neq 0$	–
3	$p_2(t) < p_1(t)$	$Q_{f_1}(t) = 0$	$Q_{f_2}(t) \neq 0$	$Q_{f_3}(t) = 0$

Висновки. Розроблена більш повна математична модель елементів ГАЖ (переливний клапан прямої дії з осциляцією [4]) і моделі ГС підйомного механізму стрілочного крану вцілому з урахуванням їх нелінійностей та функціональних обмежень. Розроблена математична модель ГС дає можливість отримати графіки перехідних процесів величин, аналіз котрих дозволить оцінити динамічні характеристики, точність стабілізації швидкості ГА з використанням АРШ.

Список літератури: 1. Андренко П. Н., Клітної В. В., Панамарьова О. Б. Математична модель малогабаритного гідроагрегата живлення // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – Луганськ, СНУ ім. В. Даля, 2007. – №3(109) Ч. 2. – С. 13 – 17. 2. В. А. Дусанюк, Н. И. Иванов Автоматическое управление режимом работы гидропривода грузоподъемных устройств // Гидропривод и пневмоавтоматика. – К.: Техника, 1976. – №12. – С. 58 – 64. 3. Ремарчук М. П. Энергобережения в системах управления рабочим оборудованием подъемно-транспортных и дорожных машин // Промислова гідравліка і пневматика. – Вінниця, 2004. – №2(4). – С. 7 – 12. 4. . Лур'є З. Я., Андренко П. Н. Обґрунтування правомірності дослідження характеристик гідроапаратів з гідравлічним вібраційним контуром по їх лінеаризованим математичним моделям // Східно – Європейський журнал передових технологій. – Харків, 2006. – №6/3(24). – С. 15 – 19. 5. Чекмасова І. А.. Динаміка гідроагрегата з дросельним керуванням на базі регулятора витрати. Дис. на здоб. наук. ст. к. т. н. за спец. 05. 05. 17 – «Гідравлічні машини та гідропневмоагрегати» НТУ «ХП», Харків, 2003р. – С. – 258.

Поступила до редколегії 27.09.07

УДК 62-753: 629.73

М.С. СВИНАРЕНКО

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ МОДЕРНІЗОВАНОГО ГІДРОБЛОКУ З ПАСИВНИМ ГАСИТЕЛЕМ ПУЛЬСАЦІЙ З АВТОМАТИЧНИМ РЕГУЛЮВАННЯМ ПАРАМЕТРІВ

У статті приведена розроблена нелінійна математична модель модернізованого гідроблоку з пасивним гасителем пульсацій з автоматичним регулюванням параметрів, яка враховує такі фактори, як: гідродинамічні процеси, що відбуваються в гідросистемі; силу тертя в гідравлічних апаратах; параметри робочої рідини.

Вступ. Питанням зниження шуму та екологічної безпеки, останнім часом, в більшості країн Європи, приділяють значну увагу. Так, в цих країнах,

законодавчо встановлений граничний рівень шуму – 85 дБА та 75 дБА, для гідроагрегатів технологічного обладнання та для гідроагрегатів мобільних машин. Тільки у Німеччині в 1999 році на вирішення проблеми зниження шуму було виділено 153 млн. євро [1]. Одним з ефективних методів зниження шуму і вібрації в гідравлічних системах є застосування в них гідравлічних пасивних гасителів пульсацій.

Аналіз літературних джерел. Робота гасителів пульсацій у різних гідравлічних агрегатах розглядалась в багатьох наукових роботах, наприклад [2]. Так, у статті [3] розглянуто ефективність використання гасителів пульсацій тиску різних типів в гідравлічній системі навантажувача L-200. Використання гідравлічних компенсаторів для зменшення гідравлічних ударів розглянуто в статті [4]. В роботі [5] наведено опис роботи пасивного гасителя пульсацій з автоматичним регулюванням параметрів, однак, в ній відсутня оцінка ефективності його застосування в гідроагрегатах. Проведений нами аналіз літературних джерел дозволив встановити, що в науково-технічній літературі, на сьогодні, відсутні відомості по використанню в гідравлічних агрегатах пасивного гасителя пульсацій з автоматичним регулюванням параметрів.

Мета і задачі дослідження. Метою статті є побудова математичної моделі модернізованого гідроблоку з пасивним гасителем пульсацій з автоматичним регулюванням параметрів для дослідження ефективності його роботи.

Гідравлічна схема. Розглянемо гідравлічну систему автогрейдера з пасивним гасителем пульсацій з автоматичним регулюванням параметрів, а саме модернізований блок системи автоматичного керування. Гідроблок з'єднується з основною системою керування автогрейдера та живиться від насоса НШ–50, за допомогою гідравлічних рукавів високого тиску. На відміну від існуючих та найпоширеніших систем автоматичного керування просторовим положенням робочого органа автогрейдера системи “Профіль”, “Розріз”, “Балада” і ін., цей гідроблок містить: фільтр на вході потоку робочої рідини; регульовані дроселі зі зворотними клапанами, використання яких дозволяє роздільно регулювати швидкості підйому і опускання робочого органа при роботі системи автоматичного керування; гідророзподільник серії ВЕ 6 з підвищеною швидкодією, що дозволяє підвищити якість стабілізації кутového положення робочого органа [6]. Зауважимо, що такі гідроблоки системи автоматичного керування, зазвичай, використовуються в автогрейдерах легкого і середнього класів. Гідравлічна схема такого гідроблоку з пасивним гасителем пульсацій з автоматичним регулюванням параметрів показана на рис. 1.

Математична модель модернізованого гідроблоку з пасивним гасителем пульсацій з автоматичним регулюванням параметрів. При розробці математичної моделі гідроблоку були прийняті наступні припущення: кавітація відсутня; температура і щільність робочої рідини (PP) постійні і рівні їх середнім значенням.

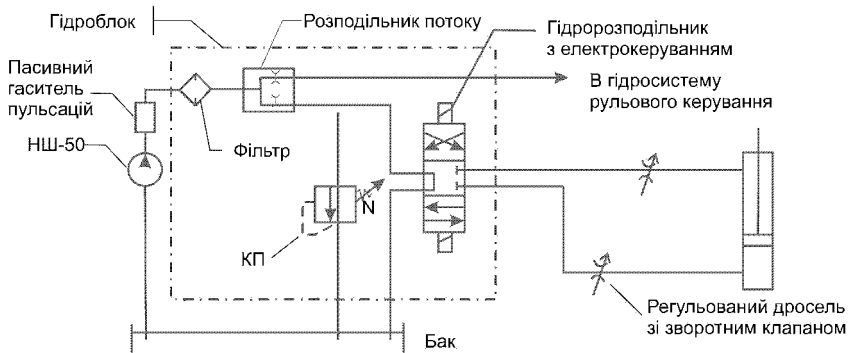


Рис. 1 Гідравлічна схема модернізованого гідроблока

Вважаємо, що використовуються трубопроводи великого діаметру, а процеси, що в них відбуваються, описуються без врахування розподілу параметрів РР по довжині. Це дозволяє не розглядати хвильові процеси.

Математична модель гідроблоку представлена:

– рівнянням руху золотника запобіжного клапану

$$m_{зк} \ddot{x}_{зк} = P_{уп}(t) - P_{пр\Sigma}(t) - P_{рпр}(t) - P_{Гд}(t) - P_{тр}(t) - P_{дем}(t), \quad (1)$$

– рівнянням руху регулюючого елемента навантаженого штока гідроциліндра

$$P_{тр}(\ddot{y}) = m_{ци} \ddot{y} = f_{пор} P_1 - f_{шт} P_2 - P_{тр}(\dot{y}), \quad (2)$$

– рівнянням руху зворотного клапану

$$m_{зв} \ddot{x}_{зв} = P_{упзв}(t) - P_{прзв}(t) - P_{трзв}(t), \quad (3)$$

– рівнянням нерозривності

$$Q_H(t) = Q_{НАВ}(t) + Q_{ЗК}(t) + Q_{СТ}(t) + Q_{УП}(t), \quad (4)$$

Рівняння (1–4) розглядалися разом з рівняннями, які описують стан робочої рідини.

До математичної моделі також входять рівняння руху золотника гідро розподільника (ГР) і зворотного клапана (ЗК), які аналогічні (1). Зауважимо, що в рівнянні руху ГР відсутня сила демпфірування.

Рівняння витрати на виході з насоса визначається

$$Q_H(t) = \eta_{об} Q_{Hr}(t), \quad (5)$$

де $\eta_{об}$ - об'ємний ККД насоса; $Q_{Hr}(t)$ - геометрична подача шестеренного насоса, що розраховується за залежністю [7]

$$Q_{Hr}(t) = \omega \cdot \rho^2 \cdot B \cdot \left[(tg\alpha_e)^2 - (tg\alpha_k)^2 - (tg\alpha_k - \varphi(t))^2 \right],$$

де ω - кутова швидкість обертання; φ - кут повороту ведучої шестірні насоса; B - ширина шестерні; ρ - радіус основної окружності; $tg\alpha_e$, $tg\alpha_k$, r_r

визначаються по залежностям: $tg\alpha_e = \frac{\sqrt{1-(\rho/r_r)^2}}{\rho/r_r}$; $tg\alpha_k = \frac{\sqrt{1-(2\rho/s)^2}}{\rho/s}$;

$r_r = \frac{D_r}{2}$, D_r - діаметр окружності головок шестерні, $D_r = m(z+3)$; S - відстань між центрами шестерень, $S = m(z+1)$; m - модуль шестерні, z - кількість зубців.

Силу контактного тертя в гідроциліндрі (ГЦ) та гідроагрегату розраховували за однотипними залежностями [8], які точно визначають силу контактного тертя на рухомих елементах гідроагрегатів.

$$P_{тр}(\dot{y}) = \begin{cases} k_2 sign \dot{y} & \text{при } \dot{y} \neq 0 \\ +k_2 & \text{при } \dot{y} = 0 \text{ та } F_0 > k_2 \\ -k_2 & \text{при } \dot{y} = 0 \text{ та } F_0 < -k_2 \\ F_0 & \text{при } \dot{y} = 0 \text{ та } |F_0| \leq k_2 \end{cases} \quad (6)$$

де F_0 і k_2 знаходяться з рівняння

$$m \ddot{y}_{зр\epsilon} = F_0 - k_2. \quad (7)$$

В формулах (6) і (7) при визначенні сил тертя в ЗК та ГР, зворотного клапану підставляли відповідно $x_{зк}$, $x_{гр}$, $x_{зв}$.

Нелінійною, залежною від коефіцієнта витрати і перепаду тисків на дроселюючій щілині, є гідродинамічна сила, котра визначається як в [9].

Коефіцієнт витрати визначався з залежності, наведеної в роботі [10]

$$\mu_k = \mu_{kc} \sqrt{Re} / \sqrt{Re_k + Re},$$

де μ_{kc} - граничне значення коефіцієнта витрати клапана; Re_k - коефіцієнт корекції.

Сила пружини в гідроапаратах обчислювалася за однотипними формулами

$$P_{п\pi\sigma}(t) = c_{п\pi\sigma}(x_{п\pi\sigma} + x(t)),$$

де $c_{п\pi\sigma}$ - сумарна жорсткість пружини; $x_{п\pi\sigma}$ - попередній підтиск пружини; $x(t)$ - переміщення золотника гідроапарата.

Введемо обмеження на переміщення зворотного клапану

$$P_{зк} = \begin{cases} 0 & \text{при } P_{уп зв}(t) \leq P_{пр зв}(t) \\ X_{зк} & \text{при } P_{уп зв}(t) > P_{пр зв}(t) \end{cases}$$

Сила рідинної пружини обчислювалася за формулою з роботи [11]

$$P_{п\pi\pi}(t) = \frac{\pi^2 d_{з\pi\epsilon}^4 E_{cm}}{8V_0(1-V_T)} x_{з\pi\epsilon}(t),$$

де E_{cm} - приведений модуль об'ємної пружності РР, розрахований з урахуванням газовмісту та пружних властивостей трубопроводу за залежністю,

наведеною в [9]; V_0 - об'єм РР у порожнинах клапана при середньому положенні ЗРЕ; $\overline{V_T}$ - відносний об'єм трубопроводів порожнин клапана, $\overline{V_T} = V_T/V_0$; V_T - об'єм РР, що знаходиться в трубопроводах від насоса до споживача і клапана.

Сила демпфірування визначалася з залежності

$$P_{\text{ДЕМ}_{\text{ЗК}}}(t) = \frac{\pi d_{\text{Ш}}^2}{4} (p_{\text{ДЕМ}}(t) - p_{\text{ЗЛ}}),$$

де $P_{\text{ДЕМ}_{\text{ЗК}}}(t)$ - тиск у порожнині демпфірування.

Зневажаючи стисканням РР у порожнині демпфірування і прирівнюючи витрату через дросель демпфера $Q_{\text{ДР}} = G_{\text{ДР}} (P_{\text{ДЕМ}_{\text{ЗК}}}(t) - p_{\text{ЗЛ}})$, витрати керування клапаном

$$Q_{\text{УП}_{\text{ЗК}}}(t) = \frac{\pi d_{\text{ЗРЕ}}^2}{4} \dot{x}_{\text{ЗРЕ}},$$

визначаємо тиск у ній $p_{\text{ДЕМ}_{\text{ЗК}}}(t) = \frac{\pi d_{\text{Ш}}^2}{4G} \dot{x}_{\text{ЗРЕ}} + p_{\text{ЗЛ}}$, де $G_{\text{ДР}}$ - провідність дроселя. Витрата РР у ЗК розраховувався за залежністю

$$Q_{\text{К}}(t) = Q_{\text{Ш}_{\text{ЗК}}}(t) - Q_{\text{ВИТ}_{\text{ЗК}}}(t) - Q_{\text{ПЕР}_{\text{ЗК}}}(t). \quad (8)$$

Витрата РР через дроселюючу щілину ЗК визначалася з залежності [12]

$$Q_{\text{Ш}_{\text{ЗК}}}(t) = \mu_{\text{К}_{\text{ЗК}}}(\text{Re}, x_3) f_{\text{Ш}_{\text{ЗК}}}(x_3) \sqrt{\frac{2}{\rho}} \sqrt{\Delta p_{\text{Ш}_{\text{ЗК}}}(t)},$$

де $f_{\text{Ш}_{\text{ЗК}}}(x_3)$ - площа щілини; $\Delta p_{\text{Ш}_{\text{ЗК}}}(t)$ - перепад тиску на щілині.

Витрата стиску ЗК визначалася за залежністю

$$Q_{\text{СТ}}(t) = \frac{(V_0 + V_T)}{E_{\text{СМ}}} \frac{dp_{\text{СИС}}(t)}{dt},$$

де V - об'єм РР в гідроагрегаті при середньому положенні золотника ЗК. Витрата витоків ЗК розраховувалася за формулою з роботи [13]

$$Q_{\text{ВИТ}_{\text{ЗК}}}(t) = \frac{1,75 \pi d_{\text{Ш}} \Delta p_{\text{Ш}}(t) \delta^3}{12 \nu_t \rho L},$$

де ν_t - коефіцієнт кінематичної в'язкості РР; L - довжина перемичок у корпусі клапана; $f_{\text{ПОР}}$, $f_{\text{ШТ}}$ - площі поршня ГЦ зі сторони поршневої та штокової порожнин.

Навантаження на шток ГЦ направлено в сторону, протилежну руху поршня ГЦ. Рівняння витрат ГЦ [14]:

$$Q_{\text{ПОР}} = f_{\text{ПОР}} \dot{y} + \frac{V_{\text{ПОР}} + f_{\text{ПОР}} y}{E_{\text{СМ}}} \frac{dp_2}{dt},$$

$$Q_{\text{ШТ}} = f_{\text{ШТ}} \dot{y} + \frac{V_{\text{ШТ}} - f_{\text{ШТ}} y}{E_{\text{СМ}}} \frac{dp_2}{dt},$$

де $V_{\text{ШТ}}$, $V_{\text{ПОР}}$ - об'єми ГЦ зі сторони поршневої та штокової порожнин.

Сила керування ЗВ розраховувалась згідно залежності

$$P_{\text{УП ЗВ}}(t) = f \cdot c_{\text{пр зв}} \cdot x_{\text{пр зв}}$$

де $c_{\text{пр зв}}$ - жорсткість пружини ЗВ; $x_{\text{пр зв}}$ - попередній підтиск пружини ЗВ; f - площа регулюючого елемента ЗВ

Витрата РР з ГР розраховувалась згідно залежності

$$Q_{\text{ГР}}(t) = Q_{\text{ШГР}}(t) - Q_{\text{ВИТГР}}(t) - Q_{\text{ПЕРГР}}(t)$$

Витрата $Q_{\text{ШГР}}(t)$ розраховувалась за залежністю

$$Q_{\text{ШГР}}(t) = \mu_{\text{ГР}}(\text{Re}, x_3) f_{\text{ш}}(x_3) \sqrt{\frac{2}{\rho}} \sqrt{\frac{1}{2} (p_{\text{ЖИВ}}(t) - p_{\text{Д}}(t) \text{sign } \dot{x}_3)},$$

Витрати витоків і перетоків з ЗК і ГР розраховували згідно залежностей, проведених у роботі [12]. Витрата через регульований дросель розрахована згідно залежності (8) з підстановкою відносних параметрів. Математична модель пасивного гасителя пульсації тиску була розроблена нами в [15] та, разом з рівняннями, наведеними вище, становить нелінійну математичну модель модернізованого гідроблоку з пасивним гасителем пульсацій.

Висновок. В статті наведено нову математичну модель модернізованого гідроблоку з пасивним гасителем пульсацій з автоматичним регулюванням параметрів, яка дозволяє провести аналіз ефективності його роботи в даній гідросхемі.

Список літератури. 1. "Состояние и перспективы развития гидрооборудования стационарных машин". Мир техники и технологий № 11 (48), 2005 ООО издательства дом "Промінь" г. Харьков с. 18-22. 2. Создание малолитражных комплектов гидроприводов на давление до 32 МПа. Методические рекомендации. – М.: НИИмаш, 1984. – 48с. 3. Balawander A., Elgert K., Sieniewski B. Forschungsarbeiten an der Entwicklung von hydraurischen Satellitenmotoren.// Cswarte Polsko-Niemieckie Seminarium "Innowacja i poster w hydraulice i pneumatyce". Sopot, 20-21 wrzesnia 2001. – S. 277 – 290. 4. Лурье З. Я., Татьков В. В., Федоренко И. М., Старченко А. Ю. "Пути снижения забросов давления в гидроагрегате копового пресса при переработке неклассового лома" Системы приводів. Технологія і обладнання машинобудівного виробництва №1 (7) 2005 м. Вінниця ВДАУ. 5. Гаситель колебаний рідини в трубопроводі. Заявка на винахід МПК. F16L 55/04. Андренко П. М., Білюк І. І., Стеценко Ю. М., Свиначенко М. С. - № 200504242. Заявлено 04.05.2005. 6. Василенко А. В., Тепляков И. М. "Модернизация гидравлической схемы автогрейдеров для систем автоматической стабилизации положения рабочего органа". Сборник статей. 2004 – Воронеж. 7. Башта Т. М. Зайченко И. З. Ермаков В. В. Хаймович Е. М. Объемные гидравлические приводы. – М.: Машиностроение, 1968, – 628 с. 8. Склиревский А.Н., Денисенко А.И. Динамика позиционного гидравлического следящего привода с длинными гидроканалами // Промислова гідроліка і пневматика. – Вінниця: ВДАУ, 2003. - №1. – С. 47-51. 9. Попов Д. Н. Динамика и регулирование гидро – и пневмосистем. – 2–е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1987. – 464 с. 10. Данилов Ю. А., Кирилловский Ю. Л., Колпаков Ю. Г. Аппаратура объемных гидроприводов. – М.: Машиностроение, 1990. – 272с. 11. Электрогидравлические следящие системы. Хохлов В. А., Прокофьев В. Н., Борисова Н. А. и др. Под ред. В. А. Хохлова

– М.: Машиностроение, 1971. – 431 с. 12. Гамьнин Н. С. Гидравлический привод систем управления. – М.: Машиностроение, 1972. – 376 с. 13. Гречка І. П. Розрахунок витоків в гідророзподільниках із новим гідравлічним вібраційним контуром // Вестник НТУ “ХПИ”. – Харьков: НТУ “ХПИ”, 2006. – № 10. – С. 73 – 78. 14. Чекмасова І. А. Динаміка гідроагрегата з дросельним керуванням на базі регулятора витрат; Дис. Канд. техн. наук. 05.05.17. – Харків, 2003. – 258с. 15. Андренко П.М., Дмитрієнко О.В., Свиначенко М.С. Універсальна математична модель гідравлічних пасивних гасителів пульсацій тиску // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Луганськ, 2006. - № 7. – С 218 – 222.

Поступила до редколегії 21.09.07

УДК 621.923

В.А. ФАДЕЕВ, Е.В. НАБОКА

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ КАЧЕСТВА

У статті розглянуті питання керування якістю відносно технологічного виробництва. А також надається аналіз впливу параметрів точності геометричних показників.

Технологическое управление является одним из основных методов повышения качества производства изделий.

Ранее недостаточно уделялось внимание влиянию предыдущих операций на эксплуатационные свойства готовых изделий. В настоящее время все больше исследуются вопросы управления качеством. Широко изучается влияние наследственности на отдельные характеристики качества поверхности и точность обработки. Однако для обеспечения качества производства изделия необходимо, чтобы все операции и их технологические переходы рассматривались во взаимосвязи, т.к. конечные характеристики формируются всем комплексом технологических воздействий.

С момента появления материала как определенного вещества и до придания ему желаемых размеров и свойств он проходит через ряд состояний, характеризующихся параметрами качества. Любой технологический процесс приводит к изменению этих параметров и может быть представлен траекторией точки, движущейся в n -мерном пространстве состояний от начального до конечного состояния (1).

В любой момент времени состояние объекта (материал, заготовка, деталь) определяется конечным числом свойств. Любое состояние при этом должно рассматриваться, как результат состояний, имеющих в прошлом.

Различные траектории представляют собой различные технологические процессы и разнообразные условия эксплуатации объекта. Поэтому каждый процесс и конкретные условия следует рассматривать в топологическом плане, с учетом временной истории изменения параметров качества объектов.

Кроме того, необходимо рассматривать создаваемые технологическими процессами и наблюдаемые при эксплуатации синергетические эффекты, общее действие которых превышает сумму отдельно взятых явлений. Поиск эффектов представляет собой резерв средств управления свойствами объекта.

Любой объект производства находится в многообразных связях и взаимодействиях с окружающими явлениями. Всякое явление определяется условиями его протекания. Понятие явления в развитии связано с понятием наследственности.

Носителями наследственности являются обрабатываемый материал и поверхности детали со всем многообразием описывающих их параметров.

Носители информации активно участвуют в технологическом процессе, проходя через различные операции и переходы, испытывая воздействия технологических факторов. Влияние технологических факторов может быть, как положительным, так и отрицательным относительно конечных свойств объекта (2).

На основании технико-экономических расчетов принимается решение о требуемом уровне основных параметров качества.

Параметры качества деталей можно разделить на две группы:

- первая характеризуется наследственными явлениями, вызванными свойствами материалов изготавливаемых деталей;
- вторая зависит от их геометрических показателей.

Обе группы параметров тесно связаны между собой и оказывают непосредственное влияние друг на друга. При обработке заготовок большое внимание уделяют точности геометрических показателей. Часто качество деталей оценивают по точности размера. Выдерживание заданного размера с жесткими допусками на размеры не представляет таких технических трудностей, как обеспечение точности формы. Кроме того, условия формообразования деталей настолько сложны, что одновременно могут возникать ряд отклонений от формы поверхностей.

Важной составной частью понятия "качество поверхностного слоя" являются микронеровности поверхности, обусловленные технологическим процессом изготовления деталей. Они решающим образом влияют на эксплуатационные показатели узлов трения машины в целом.

Геометрические отклонения поверхностей оценивают по отношению шага неровностей к их высоте. В зависимости от числовых значений этого отношения различают шероховатость и волнистость поверхностей. Если эти значения превышают 1000, отклонения считают макроскопическими.

Под точностью понимают степень приближения истинного значения параметра к его номинальному значению. Точность деталей машин характеризуется точностью размеров элементов деталей, т. е. отдельных поверхностей, и точностью относительного положения поверхностей [3,5]. Размеры деталей на рабочих чертежах по своему назначению могут быть разделены на группы.

Координирующие размеры используют для определения взаимного по-

ложения поверхностей деталей, а также осей. Это, как правило, размеры ответственных поверхностей, которые определяют служебное назначение детали. Координирующие размеры увязывают плоские и цилиндрические поверхности корпуса.

Сборочные размеры используют для определения положения узлов относительно других элементов машины. Это прежде всего размеры присоединительных поверхностей.

Кроме того, применяют технологические размеры, которые необходимы при изготовлении и контроле деталей.

Для того чтобы характеризовать точность размеров, их разделяют на номинальные, действительные и предельные. Относительно номинального размера определяют предельные размеры. Номинальный размер определяет конструктор, исходя из служебного назначения детали. Полученные расчетом размеры округляют до значений, соответствующих ближайшим достаточным значениям рядов предпочтительных чисел.

В реальном производстве нельзя абсолютно точно выполнить номинальный размер, а также измерить его без погрешности. Поэтому существует понятие действительный размер: это размер, измеренный с допустимой погрешностью.

Действительный размер для оценки качества продукции имеет особое значение. В ходе изготовления детали в каждый момент времени этот размер имеет разные значения. Это объясняется тем, что используемые технологические системы вносят свои погрешности в изготавливаемые детали, так как они работают в условиях постоянного изнашивания инструмента и, следовательно, постоянно изменяющихся силовых факторов, воспринимают действие нестационарного теплового поля, переменной жесткости систем. Кроме этого, на точность деталей оказывает влияние погрешность настройки инструмента, установки обрабатываемой заготовки и ряд других факторов. Относительно номинальных с учетом действительных определяют предельные размеры.

Допуском называют разность между наибольшим и наименьшим допустимыми значениями параметра, в данном случае - размера. Изготовление деталей с соблюдением допусков способствует созданию высококачественной машины, несмотря на то, что каждая деталь ограничивается поверхностями, размеры и форма которых отличаются от номинальных.

Метод выбора допусков размеров имеет принципиальное значение.

Метод аналогов заключается в том, что конструктор отыскивает среди ранее сконструированных и находящихся в эксплуатации машин и узлов такие, в которых имеются детали, аналогичные конструируемым.

Развитием метода аналогов является метод подобия. Для назначения допусков этим методом отыскивают подобие конструктивных признаков и условий эксплуатации. Однако иногда бывает сложно установить собственно подобие, что ограничивает применение метода.

Наиболее обоснованным является расчетный метод. Пользуясь этим методом, назначают качества (классы, степени точности) различных поверх-

ностей деталей на основе физических явлений при эксплуатации, связанных чаще всего с контактированием деталей в собранной машине.

Каждая деталь характеризуется бесконечно большим числом размеров. Детали лишь на чертежах характеризуются номинальными (идеальными), а фактически ограничены реальными поверхностями. Детали всегда имеют отклонения формы. Обеспечение допустимого отклонения формы в производственных условиях всегда затруднено [2, 3].

При решении проблемы качества деталей необходимо опираться на количественные показатели [1,2]. На рис. 3.1 схематично представлена деталь типа двухступенчатого вала. В любом поперечном сечении размеры вала определяются переменным радиусом R , отсчитываемым от центра O номинального сечения диаметром D_n . Радиус R , именуемый текущим размером, зависит от угловой координаты ϕ . Текущий размер также меняется по координате Z . Начальное значение радиуса оговаривается. Так, им может быть радиус R_1 с угловой координатой ϕ_1 . Любой контур поперечного сечения удовлетворяет условию замкнутости, т.е.

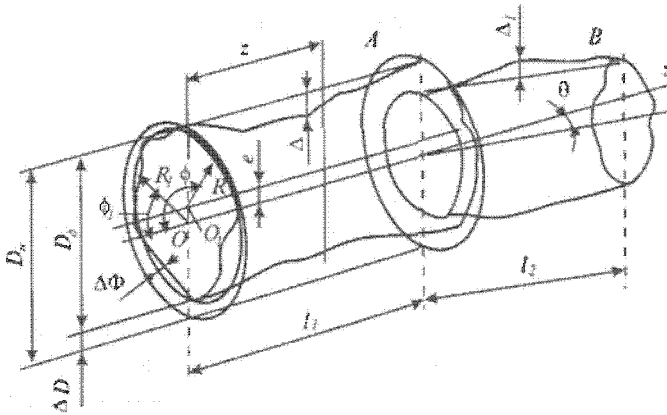


Рис. 1. Схема отклонений параметров двухступенчатого вала

Реальный контур на левом торце вала ограничивается прилегающей окружностью (штриховая линия) диаметром D_d . Отклонение от круглости, характерное для каждого сечения, обозначено $\Delta\Phi$. Для каждого сечения можно определить отклонение ΔD размера. Прилегающая окружность имеет центр в точке O_1 . Поэтому действительный контур детали отличается от номинального (идеального), а их оси смещены на расстояние, равное эксцентриситету e . Ось действительного контура в общем виде не является прямой линией. Это характерно для любого сечения ступени вала А длиной l_1 .

Для оценки качества детали ее форма имеет первостепенное значение.

Отклонения формы удобно описывать с помощью рядов Фурье. Зависимость $f(\varphi)$ погрешности действительного профиля от угла поворота рассматривается в полярной системе координат:

$$f(\varphi) = a_0/2 + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos k\varphi + b_k \sin k\varphi)$$

где $a_0/2$ - нулевой член разложения; k - порядковый номер соответствующей гармоники; a_k, b_k - коэффициенты ряда Фурье k -й гармоники.

Вместо рядов для фактических целей удобно пользоваться тригонометрическим полиномом

$$f(\varphi) = c_0/2 + \sum_{k=1}^n c_k (\cos k\varphi + \varphi_k),$$

где n - порядковый номер высшей гармоники полинома. Величина $c_0/2$ может быть принята за среднее значение функции $f(\varphi)$ в течение периода $T=2\pi$ и определяется расстоянием от базового значения текущего размера до средней линии отклонений профиля. Поэтому значение $c_0/2$ представляет собой отклонение размера.

Первый член разложения $c_1 \cos(\varphi + \varphi_1)$ характеризует расстояние между центром вращения O_1 и геометрическим центром O , т.е. эксцентриситет e . Он указывает на отклонение расположения поверхности и выражает его количественно. Последующие члены полинома, начиная со второго, характеризуют спектр отклонений формы детали в поперечном сечении. Второй член $c_2 \cos(2\varphi + \varphi_2)$ характеризует овальность сечения, а третий член $c_3 \cos(3\varphi + \varphi_3)$ -огранку с трехвершинным профилем и т.д. Поэтому сечение детали следует представлять очерченным контуром, имеющим отклонение размера с центром, смещенным от геометрического центра. Контур имеет овальную форму, на которую наложены огранки с различным числом вершин. Остальные члены ряда характеризуют соответствующие волнистость и шероховатость.

Приведенные рассуждения справедливы и для ступени В (см. рис. 3.1) вала длиной l_2 . Однако у этой ступени может оказаться своя ось, повернутая на угол θ в любой из плоскостей относительно оси z , а также могут возникнуть свои собственные погрешности. Отклонения профилей цилиндрических поверхностей целесообразно представлять и в продольных сечениях. Условие замкнутости контура здесь не соблюдается.

Тригонометрический полином для описания продольного сечения можно применить, используя цилиндрическую систему координат (координатами являются R, φ, z). Условно принимаем, что период $T = 2l$ (l - длина участка цилиндрической поверхности). Полином имеет вид

$$f(z) = c_0/2 + \sum_{k=1}^p c_k \sin k\pi z / (2l),$$

где k - порядковый номер члена разложения.

Первый член разложения показывает, что при $z = 0; f(z) = 0$, а при $z = l; f(z) = c_1$. Следовательно, этот член характеризует конусообразность, так как образующая профиля имеет соответствующий наклон. Второй член разложения $f_2(z) = c_2 \sin \pi z / l$ характеризует выпуклость контура, а при сдвиге фазы $f_2(z) = c_2 \sin(\pi z / l - \pi / 2) = c_2 \cos \pi z / l$, т.е. он характеризует вогнутость контура. Так, на ступени А вала возникла седлообразность величиной Δ , а на ступени - бочкообразность $\Delta 1$.

Профиль детали в продольном направлении также представляет собой сложное сочетание конических поверхностей с наложенными на них седлообразными, бочкообразными, волнистыми профилями. Таким образом, количественные показатели отклонения формы являются важным фактором в вопросе управления качеством.

Список литературы: 1. Качество машин: Справ. В 2 т. Т. 1 / А. Г. Сулов, Э.Д. Браун, Н.А. Виткевич и др. М.: Машиностроение, 1995. 256 с. 2. Дальский А.М. Технологическое обеспечение надежности высокоточных деталей машин. М.: Машиностроение, 1975. 223 с. 3. Технология машиностроения: В 2 т. Т. 1. Основы технологии машиностроения / Под ред. А.М. Дальского. М.: МГУ им. Н.Э. Баумана, 1999.–564 с. 4. Технология машиностроения: В 2 т. Т. 2. Производство машин / Под ред. Г.Н. Мельникова. М.: МГУ им. Н.Э. Баумана, 1999.–640 с. 5. Карпусь А.М., Клименко А.С. Автоматизированное проектирование обработки деталей с покрытиями // Современные технологии упрочнения, восстановления и механической обработки деталей с покрытиями: Тез. докл. науч.-техн. конф., ноябрь 1993, Киев. Киев: Об-во “Знание” Украины, 1993. С. 69.

Поступила в редколлегию 21.09.07

УДК 621:658:519.24

С.С. ФЕДИН, А.Н. КУЦЫН

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Проведен анализ проблемы управления качеством продукции машиностроения и предлагается использовать специальные системы управления данными об изделии - PDM технологии. Это повысит эффективность управления информацией за счет обеспечения доступности данных об изделии, необходимых для информационной поддержки процессов жизненного цикла продукции.

Вступление и постановка задачи исследования. Важнейшая категория, которая определяет уровень развития предприятия и стойкость его в занимаемом секторе рынка - качество продукции. Проблема определения содержания критериев качества одно из направлений искусственного интеллекта.

Это направление состоит в создании систем поддержки их практической реализации относится к числу ключевых проблем машиностроения в силу разных аспектов. К числу принципиально отличительных признаков качественного продукта в современном понимании относится его прямое влияние на формирование современной материально-технической базы путем модернизации и восстановления технологий и оборудования, а также повышение технического уровня квалификации и инновационной восприимчивости не только производителей, но и потребителей. Это приводит к повышению качества профессиональной и общеобразовательной подготовки всех участников жизненного цикла продукции и, как следствие, к развитию информационных технологий в управлении качеством.

В последнее время в области развития информационных технологий управления качеством машиностроительных предприятий появилось новое направление, которое характеризуется использованием методов и технологий принятия решений, которые способны приобретать новые знания и учиться на основе анализа накопленных данных и опыта, а также адаптации к динамично меняющейся окружающей среде с целью дальнейшего применения этих знаний для решения практических задач управления качеством на всех этапах функционирования машиностроительного производства [1,2].

Целью работы является исследование принципов информационной поддержки управления качеством продукции и целесообразность ее применения на машиностроительных предприятиях.

Формализация задачи информационного обеспечения процесса управления качеством продукции в машиностроении

Необходимость создания интеллектуальных производственных систем поясняется, прежде всего, возрастающей сложностью моделирующей информации и процессов, которые используются для поддержки решений в производстве. В современных условиях хозяйствования для эффективного управления производством необходимы знания обо всех процессах и функциях, которые целесообразно автоматизировать, оптимизировать и поддерживать. Таким образом, в данное время осуществляется постепенный переход от концепции обработки данных и накопления информации в базах данных, что характерно для компьютерных интегрированных производственных систем, к концепции накопления и обработки знаний. При этом используются знания, основанные на количественной, качественной, нечеткой, зашумленной или графической информации. Фактически знания представляют собой огромные массивы распределенных данных разных типов, собранных из разных источников. Иногда это трудно-формализованные, неполные, неточные или противоречивые объединенные структуры разных типов информации, которые очень сложно рационально применить к управлению производственным или технологическим процессом.

Поэтому одной из наиболее актуальных задач для современных предприятий машиностроения Украины есть обеспечение надежного управления всем объемом таких разнородных данных, которые образуются, сохраняются

и используются в разных информационных системах, существующих на предприятии и связанных с информационной поддержкой продукции на протяжении ее жизненного цикла (ЖЦ). С точки зрения любого участника ЖЦ продукции эта задача сводится к простой формуле: получать для дальнейшей обработки в нужное время, в нужном виде необходимую информацию, которая в свою очередь определяет сущность любой современной системы управления качеством, реализация функций которой направлена на повышение качества продукции [2].

В свою очередь сложность решения проблемы повышения качества продукции в современных рыночных условиях состоит в том, что в производстве изделий машиностроения принимают участие предприятия разных областей промышленности, а в рамках одного предприятия обеспечением качества занимаются специалисты разных профессиональных групп. Поэтому, для обеспечения высокой конкурентоспособности, машиностроительные предприятия должны применять высокоэффективные системы управления качеством, которые могут результативно функционировать только при условии своевременного обеспечения всех органов управления необходимой и достаточной для принятия решений информацией.

Информационная интеграция всех аспектов и иерархических уровней производственного процесса при реализации информационной поддержки системы управления качеством разрешит обеспечить стабильное качество изготовления изделий, что в свою очередь будет оказывать содействие снижению брака машиностроительной продукции. При этом одним из основных способов повышения качества изделий есть повышение эффективности процессов их ЖЦ, то есть повышение эффективности управления ресурсами, используемыми при выполнении этих процессов. В данное время существует большое количество методик [1,3-7], предназначенных для повышения эффективности управления ресурсами разного типа: материальными, финансовыми, кадровыми или информационными. Проведенный анализ таких методик установил, факт существования двух основных проблем, которые стоят на пути повышения эффективности управления информацией.

Во-первых, с увеличением сложности изделий и применением для их разработки современных компьютерных систем, значительно увеличивается объем информации об изделии. При этом бывшие методы работы с информацией уже не позволяют обеспечивать их точность, целостность и актуальность при сохранении приемлемых временных и материальных затрат.

Во-вторых, увеличение количества участников проекта по разработке изделия приводит к возникновению серьезных проблем при обмене информацией между участниками через наличие между ними коммуникационных барьеров (например, через несовместимость компьютерных систем).

Практическая реализация принципов информационной поддержки управления качеством продукции. Решение поставленных задач возможно на основе интеграции систем автоматизации при проектировании конструкции изделий и управлении технологией изготовления изделий, которое разрешит

сформировать на предприятии единое информационное пространство (ЕИП) для создания и поддержки информационной модели изделия на протяжении его ЖЦ - от проектирования к утилизации.

ЕИП должно иметь следующие свойства: вся информация представлена в электронном виде; ЕИП охватывает всю созданную об изделии информацию; ЕИП есть единым источником данных об изделии; ЕИП строится только на основе международных, государственных и отраслевых информационных стандартов; для создания ЕИП используются программно-аппаратные средства, которые есть у участников ЖЦ; непрерывное совершенствование ЕИП.

При автоматизации отдельных процессов ЖЦ изделия используются существующие прикладные программные средства (САПР, АСУП и т.п.), однако к ним предъявляется важное требование - наличие стандартного интерфейса к данным, которые представляются. При интеграции всех данных об изделии в рамках ЕИП применяются специализированные программные средства - системы управления данными об изделии (PDM - Product Data Management). Задачей PDM-системы есть аккумулирование всей информации об изделии, создаваемой прикладными системами, в единую логическую модель [8]. PDM - технология предназначенная для управления всеми данными об изделии и информационных процессах ЖЦ изделия, которые создают и используют эти данные.

Данные об изделии состоят из идентификационных данных (например, данных о составе или конфигурацию изделия) и данных или документов, которые используются для описания изделия или процессов его проектирования, производства и эксплуатации. Управление информационными процессами ЖЦ представляет собой поддержку разных процедур, которые создают и используют данные об изделии, то есть фактически поддержку электронного документооборота.

Основной идеей PDM-технологии есть повышение эффективности управления информацией за счет повышения доступности данных об изделии, необходимых для информационных процессов ЖЦ. Повышение доступности данных об изделии достигается за счет интеграции всех данных об изделии в логически единую модель. Существует большое количество задач, которые можно решить за счет применения PDM-технологии, среди которых можно выделить наиболее распространенные: создание ЕИП для всех участников ЖЦ изделия; автоматизация управления конфигурацией изделия; построение системы управления качеством продукции соответственно международным стандартам серии ISO 9000; создание электронного архива чертежей и другой технической документации.

Для реализации PDM-технологии существуют специализированные программные средства, называемые PDM-системами, то есть системами управления данными об изделии на разных этапах ЖЦ (рис. 1).

PDM-система должна контролировать все связанные с изделием информационные процессы и всю информацию об изделии, включая: состав и

структуру изделия, геометрические данные, чертежи, планы проектирования и производства, нормативные документы, программы для станков с ЧПУ, результаты анализа, корреспонденцию, данные о партиях изделий и отдельных экземплярах изделий и многое другое [8].



Рис. 1 Схема реализации PDM - системы

При создании ЕИП для всех участников ЖЦ изделия, PDM-система выступает как средство интеграции всего набора используемых прикладных компьютерных систем (САПР, АСУП и т.п.) путем аккумуляции данных, которые поступают от них, в логически единую модель на основе стандартных интерфейсов взаимодействия (рис. 2).

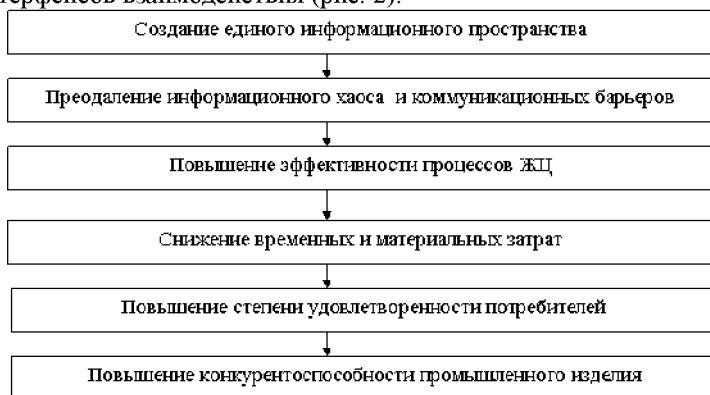


Рис. 2 Схема повышения эффективности процессов ЖЦ за счет применения ЕИП.

Вывод. Основным преимуществом при использовании на машиностроительном предприятии PDM-системы есть сокращение времени разработки изделия, то есть сокращение времени выхода изделия на рынок и повышение его качества. Сокращение времени выхода на рынок достигается в первую очередь за счет повышения эффективности процесса проектирование изделия, который может быть охарактеризован четырьмя аспектами: освобождение конструктора от непроизводительных затрат времени, связанных с поиском, копированием и архивацией данных, которые, при работе с бумажными

данными, составляют 25-30% его времени; улучшение взаимодействия между конструкторами, технологами и другими участниками ЖЦ изделия за счет поддержки методики параллельного проектирования, которое приводит к сокращению количества внесения изменений в конструкцию изделия; значительное сокращение срока проведения изменения конструкции изделия или технологии его производства за счет улучшения контроля за потоком работ в проекте; резкое увеличение части заимствованных или измененных компонентов в изделии (до 70%) за счет предоставления возможности поиска компонента с необходимыми характеристиками.

Список литературы: 1. Анализ и моделирование производственных систем / Б.Г.Тамм, М.Э.Пуусепп, Р.Р.Таваст и др.; Под ред. Б.Г.Тамма. -Г.: Финансы и статистика, 1987. -191 с. 2. Анцев В.Ю. Информационная поддержка системы управления качеством в машиностроительном производстве: Автореферат. дис. д-ра. техн. наук: 05.02.08, 08.00.20/ Тульский гос. ун-т. -Тула, 2000. - 41 с. 3. Горнев В.Ф., Емельянов В.В. Овсянников М.В. Оперативное управление в ГПС. Г.: Машиностроение, 1990. - 256 с. 4. Давыдов А.Н., Барабанов В.В., Судов Э.В. Основные направления развития информационных технологий сопровождения и поддержки наукоемкой продукции на всех этапах жизненного цикла // Компьютерные технологии сопровождения и поддержки наукоемкой продукции на всех этапах жизненного цикла: Материалы конф. - Г.: АНО НИЦ CALS-технологий "Прикладная логистика". - 2001. - С. 8-15. 5. Левин А.И., Судов Э.В. Концепция и технологии компьютерного сопровождения процессов жизненного цикла продукции // Информационные технологии в наукоемком машиностроении. Компьютерное обеспечение индустриального бизнеса / Под ред. А.Г. Братухина. - Киев: Техника. - 2001. - С.612-625. 6. Норенков И.П., Кузьмик П.К. Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии. - Г.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. - 320с. 7. Судов Э.В. Информационная поддержка жизненного цикла продукта // PC WEEK. - 1998. - №45. - С.15. 8. <http://www.calscenter.com/calstech.htm>

Поступила в редколлегию 21.09.07

УДК 621.753.5

В.А.БОРОДИНОВ, С.С. ДОБРОТВОРСКИЙ, С.В. ИВАЩЕНКО

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФРЕЗ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ВАКУУМНО-ДУГОВОЙ НАПЛАВКИ.

В статье изучаются особенности технологии изготовления фрез из быстрорежущей стали с использованием метода вакуумно-дуговой наплавки. Приведены практические рекомендации технологических режимов обработки на разных технологических этапах изготовления инструмента.

У статті вивчаються особливості технології виготовлення фрез із швидкоріжучої сталі з використанням методу вакуумно-дугової наплавки. Приведені практичні рекомендації щодо технологічних режимів обробки на різних технологічних етапах виготовлення інструменту.

Введение. Несмотря на более высокую износостойкость твердосплавного и керамического инструмента, в настоящее время значительная часть ме-

таллорезущего инструмента изготавливается из быстрорежущей стали /1/. Это объясняется лучшими технологическими свойствами и меньшей стоимостью быстрорежущей стали.

Традиционно металлорежущий инструмент из быстрорежущей стали изготавливается из кованой, катаной или литой заготовок, а также в биметаллическом исполнении при помощи сварки, пайки и наплавки.

Наплавка только режущих кромок инструмента, особенно многолезвийного, является одним из наиболее эффективных способов экономии высоколегированной, быстрорежущей стали. В качестве материалов для корпуса инструмента в этом случае используются конструкционные стали, такие как углеродистые (марки 40, 45, 50), так и легированные (40X, 451, 40XH, 30XГСА). Экономия быстрорежущей стали, при применении наплавки, может достигать 80...85% в зависимости от типа и размеров инструмента.

В связи с этим при производстве металлорежущего инструмента актуальны проблемы создания конструкций инструмента, позволяющих минимизировать расход дорогостоящих вольфрамсодержащих сталей и повышения показателей стойкости режущего инструмента.

1. Особенности обточки заготовок под наплавку.

Заготовки под наплавку следует обтачивать по контуру равному контуру режущих кромок инструмента, на универсальном токарном станке. Высоту наплавленного слоя рекомендуется принимать равной 1,5...2 мм выше контура режущих кромок инструмента (рис. 1).

2. Особенности подготовка канавок под наплавку зубьев.

В результате исследований установлено, что при вакуумно-дуговой наплавке быстрорежущей стали на углеродистую сталь для качественного смачивания и соединения металлов, заготовка инструмента должна быть предварительно нагрета до оптимальной температуры (в нашем способе до 900...1200°C). При этом площадь растекания жидкой быстрорежущей стали, по сравнению с холодной заготовкой, увеличивается почти в 3 раза, а краевой угол смачивания изменяется со 100° до 15°.

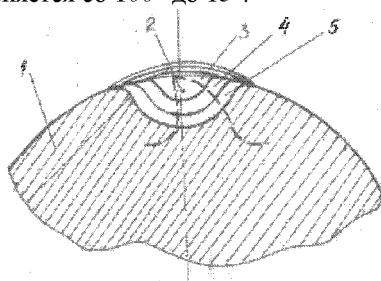


Рис. 1. Схема расположения режущего зуба в наплавленном металле, где 1 – заготовка инструмента; 2 – конфигурация режущего зуба; 3,4,5 – форма канавки, в зависимости от высоты наплаваемой части зуба.

Выполнение канавок на заготовках фрез обуславливается необходимостью удержания присадочного металла из-за увеличения его жидкотекучести

в вакууме на нагретой заготовке. Шаг канавок на цилиндрической части заготовок следует принимать равным шагу зубьев соответствующей фрезы у вершины зуба.

Форма поперечного сечения канавок имеет принципиальное значение, так как глубина канавки равна высоте наплавляемой части зуба, а ширина 2-м высотам. Таким образом, форма поперечного сечения канавки – полукруг, проведенный радиусом равным высоте наплавляемой части зуба, с центром на образующей готовой фрезы. Минимальное расстояние между краями соседних канавок – 8 мм.

Операция выполняется на фрезерном станке в делительной головке.

3. Подготовка поверхностей под наплавку.

Непосредственно перед установкой заготовок инструмента в вакуумную камеру для наплавки, необходимо их поверхность обезжирить. Присадочную проволоку перед загрузкой в вакуумную камеру также необходимо очистить от ржавчины и обезжирить. Для обезжиривания необходимо применять, антистатическую жидкость или бензин.

4. Наплавка.

Наплавка зубьев инструмента данным способом представляет собой дуговой переплав в вакууме присадочной проволоки из быстрорежущей стали и перенос ее в виде капель в канавку на заготовке инструмента предварительно нагретой до температуры смачивания в вакууме и получение неразъемного соединения.

Перед вакуумированием камеры необходимо проверить состояние поверхности наплавляемой заготовки инструмента и поверхности присадочной проволоки и, при необходимости, произвести дополнительную очистку загрязненных мест. Устанавливается взаимное расположение заготовки инструмента, формирователя дугового разряда с полым катодом, присадочной проволоки и, при необходимости, производится регулировка их пространственной ориентации.

После подготовительных операций вакуумная камера закрывается и создается разрежение порядка $533,3 \cdot 10^{-2} \dots 133,3 \cdot 10^{-3}$ Па. Включается подача охлаждающей воды для корпуса горелки и корпуса формирователя разряда, а также включается подача плазмообразующего газа – аргона 0,08...0,15 л/мин. Предварительно, при помощи балластных реостатов, в цепи основной и вспомогательной дуг устанавливаются необходимые величины токов.

Затем возбуждается дуговой разряд с полым катодом с помощью специального устройства и производится предварительный подогрев заготовки до 900...1200°C. При этом, для обеспечения равномерности нагрева, необходимы периодические перемещения и вращение заготовки вокруг горизонтальной оси.

В столб дугового разряда с полым катодом вводится присадочная проволока под потенциалом анода, при этом часть тока от источника питания через балластный реостат нагревает и расплавляет присадочную проволоку.

С этого момента начинается поступление жидкого сплава с присадочной проволоки в канавку на наплавляемой поверхности заготовки инструмента. Когда на заготовку поступит несколько капель присадочного материала, образуется сварочная ванна, подогреваемая дуговым разрядом с полого катода. Металл сварочной ванны заполняет канавку и растекается по ее поверхности. В этот момент включается перемещение заготовки манипулятором.

Процесс наплавки поддерживается все время таким образом, чтобы капли расплавленного металла поступали только в перемещающуюся по поверхности заготовки сварочную ванну на расстоянии 2...3 мм от ее головной части.

Наплавку можно вести при движении манипулятора с заготовкой слева направо и наоборот. Однако концевой инструмент необходимо наплавлять от головной части к хвостовику. При необходимости наплавки глубоких канавок на заготовке, процесс можно вести в несколько проходов. Для этого заготовка возвращается в начальное положение и производится наплавка следующего слоя.

Наплавка последующих канавок (рис. 2) на заготовках многолезвийного инструмента производится после поворота заготовки в манипуляторе вокруг горизонтальной оси и ориентации канавки под сварочной горелкой. Наплавка кольцевых канавок или конических углублений для получения режущих зубьев на торце фрезы производится после наплавки всех канавок по длине заготовки инструмента.

После наплавки всей заготовки инструмента выключается подача присадочной проволоки, сварочный ток, подача плазмообразующего газа. Наплавленная заготовка остывает в вакууме до температуры 250...300°C. С целью сокращения пребывания наплавленной заготовки в вакууме допускается разгерметизация камеры и помещение заготовки в песок, нагретый до температуры 400°C или помещается в печь для отжига.

Режим наплавки:

- динамический рабочий вакуум поддерживается в процессе наплавки в пределах $533,3 \cdot 10^{-2} \dots 133,3 \cdot 10^{-3}$ Па;

- диаметр полого катода – 8...12 мм;
- длина дуги (полый катод - заготовка) – 20...25 мм;
- расстояние от проволоки до заготовки – 10... 15 мм;
- расход плазмообразующего газа - аргона – 0,08...0,15 л/мин;
- ток дугового разряда (общий) – 120... 220 А;
- напряжение дугового разряда – 28...22 В;
- ток на присадочную проволоку – 40... 70 А;
- ток на заготовку инструмента - 80...150 А;
- диаметр присадочной проволоки- 2,5...4,0мм;
- скорость подачи присадочной проволоки -10,0...16,5 м/ч;
- скорость наплавки канавки- 2,0...3,5 м/ч.

Интервал между наплавкой и последующим отжигом заготовок инстру-

мента не должен превышать 48 ч.

Управление исполнительными механизмами осуществляется сварщиком-оператором с пульта управления, находящегося возле вакуумной камеры. Наблюдение за процессом наплавки сварщик-оператор осуществляет через окно в корпусе камеры.

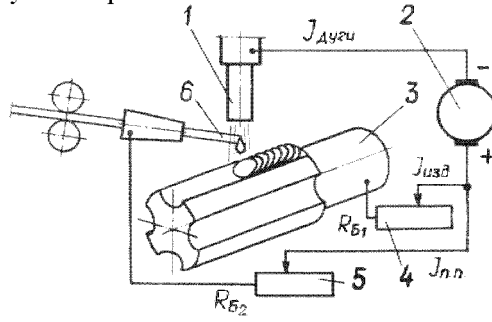


Рис. 2. Схема наплавки в вакууме с раздельной регулировкой тепловложения в заготовку инструмента и присадочную проволоку, где: 1 – полый катод; 2 – источник питания дуги; 3 – заготовка инструмента; 4,5 – ограничительные сопротивления; 6 – присадочная проволока.

5. Отжиг заготовок.

Для снижения твердости наплавленного слоя в целях облегчения последующей механической обработки и снятия внутренних напряжений в наплавленном слое, заготовки подвергаются отжигу.

Рекомендуется следующий режим отжига:

- загрузка в печь при 740°C ;
- выдержка при 740°C в течение 4 ч;
- нагрев до 860°C в течение 1,5 ч;
- выдержка при 860°C в течение 5 ч;
- охлаждение до 760°C в течение 4 ч;
- охлаждение с печью до 400°C с последующей выгрузкой на воздух.

Необходимо отметить, что наплавленная быстрорежущая сталь отжигается труднее кованой или катаной, поэтому режим отжига надо строго соблюдать. Сокращение времени выдержки при температуре 860°C не допускается. После отжига твердость наплавленного металла должна составлять в пределах HRCэ 33...35.

6. Механическая обработка заготовок фрез после отжига.

После отжига наплавленные заготовки поступают на механическую обработку. При выполнении операций механической обработки наплавленных заготовок особое внимание следует обратить на обеспечение заданного по чертежу расположения каждого режущего зуба в наплавленном слое.

После разрезки заготовок производят их тщательную центровку которую проверяют от наружной наплавленной поверхности корпуса заготовки. Смещение центров от наружной поверхности заготовки допускается не более

чем на 1 мм. После токарной обработки заготовок приступают к травлению наплавленной цилиндрической части заготовок для четкого различия наплавленного металла Р18 от материала заготовки – стали 40Х.

Перед фрезерованием зубьев необходимо проверить совпадение шага винтовой канавки с наплавкой, а затем на торце заготовки надо нанести риску для начала фрезерования первого зуба так, чтобы 0,3 ширины наплавленного слоя снять, а 0,7 ширины слоя оставить на зубе.

Как указывалось, фрезерование винтовых канавок под наплавку, а также фрезерование зубьев после наплавки необходимо производить одним и тем же набором сменных шестерен, приведенных в технологической карте. Несоблюдение этого условия приводит к неправильному фрезерованию инструмента. Дальнейшая механическая обработка наплавленного инструмента аналогичная обработке инструмента из ковanej стали или проката.

7. Термическая обработка наплавных фрез.

Наплавной многолезвийный инструмент подвергается закалке при следующем режиме:

а) 1-й подогрев до температуры 600...680°C с выдержкой при этой температуре 15...20 мин;

б) 2-й подогрев до температуры 800...860°C с выдержкой при этой температуре 10... 15 мин;

в) нагрев под закалку в хлорно-бариевой ванне до температуры 1260...1280°C с выдержкой при этой температуре 10...12 с на 1 мм наплавленного слоя;

г) охлаждение в масле, расплавленной соли или щелочи до температуры 300...400°C с выдержкой при этой температуре 20...30 мин, дальнейшее охлаждение при комнатной температуре;

д) двух-трехкратный отпуск при температуре 560...580°C с выдержкой после подогрева по 1 часу.

Основное назначение отпуска состоит в снятии внутренних напряжений и превращении остаточного аустенита в мартенсит.

8. Контроль качества наплавного режущего инструмента.

При изготовлении наплавного режущего инструмента особое внимание следует обратить на контроль операций технологического процесса, связанных с формированием наплавленных валиков в заготовках. К таким операциям относятся: фрезерование канавок под наплавку валиков и наплавка валиков. Основной целью указанных операций является обеспечение, в процессе дальнейшей обработки, заданного по чертежу расположения каждого режущего зуба, в наплавленном слое. Необходим эффективный контроль следующих параметров:

- глубины и ширины канавок под наплавку;
- закругление острых кромок и углов;
- взаимного расположения канавок;
- высоты и ширины наплавленных валиков на всем протяжении;
- взаимного расположения наплавленных валиков.

Визуальный контроль осуществляют при хорошем освещении с помощью таких вспомогательных оптических устройств как линзы и лупы с увеличением не более $\times 10$. Контроль выше указанных параметров рекомендуется осуществлять с помощью шаблонов.

Особенности контроля готового наплавленного инструмента заключается в следующем: интервал между наплавкой и отжигом заготовок не должен превышать 48 часов; твердость наплавки после отжига для механической обработки должна соответствовать HRCэ 33...35; внешний осмотр наплавленных валиков (наплавленный металл должен быть плотным без видимых пор, неметаллических включений, продольных или поперечных трещин и разрывов наплавленного валика).

Перед механической обработкой периодически производят металлографические исследования заготовок. В качестве образцов для исследования на макро- и микроструктуру и на определение химического состава наплавленного металла, используется отрезаемый при токарной обработке дефектный или краевой слой заготовки.

Эти исследования позволяют контролировать правильность выбранных режимов наплавки и качества наплавленного и основного металлов. Кроме того, точный химический анализ наплавленного инструмента дает возможность провести качественную термообработку,

Контроль готового инструмента на трещины и микротрещины, которые могут образовываться при наплавке или термообработке, рекомендуется производить люминисцентной дефектоскопией пригодной почти для всех материалов, когда их дефекты выходят на поверхность (один из видов капиллярной дефектоскопии). Правильный выбор метода капиллярной дефектоскопии, дефектоскопических материалов и подготовка поверхности обуславливают чувствительность метода (ГОСТ 18442-80).

Сущность люминисцентного метода состоит в следующем. Инструмент погружают в ванну, содержащую флуоресцирующий раствор и выдерживают в нем некоторое время. При больших габаритах инструмента можно раствор нанести кисточкой на контролируемую поверхность. В имеющиеся на инструменте микротрещины проникает раствор. После удаления с поверхности флуоресцирующего раствора инструмент рассматривают в ультрафиолетовом свете и по яркости флуоресценции устанавливают наличие раствора, остающегося в трещинах.

Твердость наплавленного металла после термической обработки (закалки и отпуска) равна HRCэ 62...64 для быстрорежущей стали P18. Твердость проверяется на образцах, сечение которых имитирует сечение наплавного инструмента.

Список литературы: 1. Верещака А.С., Третьяков И.П. Режущие инструменты с износостойкими покрытиями. - М.: Машиностроение, 1986г.,-192с.

Поступила в редколлегию 21.09.07

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУР РАБОЧИХ ЦИКЛОВ КРУГЛОГО НАРУЖНОГО ВРЕЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ

У статті представлено дослідження перехідних процесів у циклі круглого зовнішнього врізного шліфування. Результати даного дослідження можуть ефективно використатися при розробці технологічного процесу круглого зовнішнього врізного шліфування для обробки на верстатах з адаптивними системами керування.

In clause the research of transients in a cycle round outside grinding is submitted. The results of the given research can effectively be used by development of technological process round outside grinding for processing on machine tools with adaptive control systems.

В настоящее время для обработки высокоточных изделий используют круглошлифовальные станки с адаптивным управлением. Эксплуатация данных станков зависит от многих факторов, в частности, от правильности реализации цикла круглого наружного врезного шлифования. Современные адаптивные системы круглошлифовальных станков позволяют осуществлять шлифование изделий с учетом переходных процессов в цикле обработки.

Важным направлением по совершенствованию адаптивных систем управления является реализация многоступенчатых циклов обработки с учетом переходных процессов. Данное совершенствование позволит обеспечить высокие требования к точности размеров, формы и качеству поверхностного слоя деталей, обрабатываемых на круглошлифовальных станках.

Эффективное управление процессом шлифования на станках с адаптивными системами возможно в том случае, когда основные закономерности, присущие этому процессу представлены в виде математической модели.

Известно, что рабочий цикл процесса круглого наружного врезного шлифования может существенно меняться в зависимости от требований технологического процесса. Как следствие, при этом изменяется структура переходных процессов. Основной задачей при определении структуры цикла является обеспечение стабильных показателей по качеству шлифуемой поверхности при максимальной производительности и минимальных затратах времени на техническое обслуживание рассматриваемой операции. Исследования в этой области отражены в работах как отечественных, так и зарубежных ученых, таких как: Корчак С.Н., Лурье Г.Б., Эльянов В.Д., Филимонов Л.Н., Ящерицын П.И., Якимов А.В. и др.

Анализ применяемых на практике циклов позволил сделать вывод, что их структура в основном определяется четырьмя вариантами (таблица 1).

Таблица 1 – Набор структур рабочих циклов

Этапы цикла							
N	форсированная подача	черновая подача	выхаживание с доводочной подачей	чистовая подача	выхаживание с доводочной подачей	доводочная подача	параметр, определяющий Ра
1	$S_{м1}$	$S_{м2}$	-	-	-	-	$S_{м2}$
2	$S_{м1}$	$S_{м2}$	есть	-	-	-	$S_{мдов1}$
3	$S_{м1}$	$S_{м2}$	-	$S_{м3}$	-	-	$S_{м3}$
4	$S_{м1}$	$S_{м2}$	есть	$S_{м3}$	-	-	$S_{м3}$
5	$S_{м1}$	$S_{м2}$	-	$S_{м3}$	есть	-	$S_{мдов2}$
6	$S_{м1}$	$S_{м2}$	есть	$S_{м3}$	есть	-	$S_{мдов2}$
7	$S_{м1}$	$S_{м2}$	-	$S_{м3}$	-	$S_{м4}$	$S_{м4}$
8	$S_{м1}$	$S_{м2}$	есть	$S_{м3}$	-	$S_{м4}$	$S_{м4}$

Рассмотрим процесс круглого врезного шлифования как систему управления с обратной связью рисунок 1.

На схеме обозначены: $\Pi(\tau)$ - общая толщина срезаемого слоя металла на сторону от начала шлифования до времени τ ; $S(\tau)$ - мгновенная номинальная величина задаваемого перемещения шлифовального круга относительно обрабатываемого изделия; $y(\tau)$ - деформация упругой системы; τ - текущее время; $a(\tau)$ - мгновенная толщина срезаемого металла; τ_n - время одного оборота изделия; $P_y(\tau)$ - мгновенная радиальная сила шлифования; $J\Sigma$ - суммарная жесткость системы СПЗИ; K - статический коэффициент резания; $f(\tau)$ - переходная функция радиальной силы, которая изменяется по переходной функции инерционного звена первого порядка.

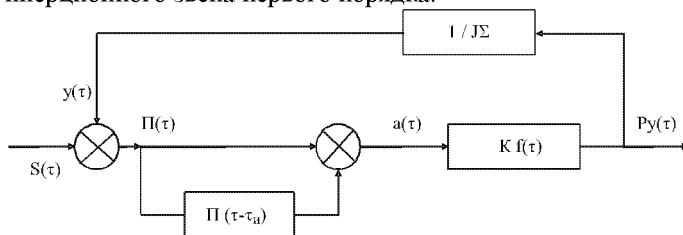


Рис. 1 Схема процесса круглого наружного врезного шлифования

На переходных процессах (врезание, выхаживание) меняющиеся P_y приводит к изменению величины срезаемого припуска. В систему введен учет величины снятого припуска на предыдущем обороте, так называемая "наследственность по изделию".

Для графического отображения элементов переходных процессов (рис.2) рассмотрим рабочий цикл обработки N 4, как один из наиболее полных по элементам цикла из рассматриваемых в данной работе, где изображены следующие этапы переходных процессов: 1 - врезание, 2 - черновой этап, 3 - переходной процесс, имеющий место при переходе от черновой к чистовой подаче, 4 - чистовой этап, 5 - окончательное выхаживание; соответственно $\tau_{вр}$ - время врезания, $\tau_{чер}$ - время чернового этапа, $\tau_{пер}$ - время переходного процесса, $\tau_{чист}$ - время чистового этапа, $\tau_{вых}$ - время выхаживания.

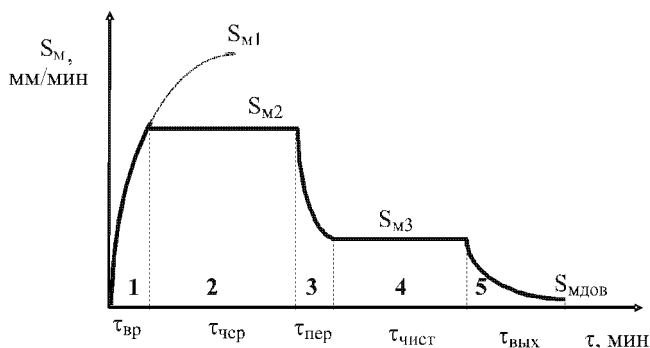


Рис. 2 Структура рабочего цикла

Математическая модель переходных процессов в цикле круглого наружного врезного шлифования представлена в работе [1].

Рассмотрим использование математической модели расчета параметров переходных процессов для способа шлифования с автоматическим регулированием поперечной подачи. Данный способ разрешает проводить шлифование с дискретным изменением подачи в функции текущего припуска от реального значения врезной подачи к ее конечному значению, которое завершает цикл обработки. Момент отключения подачи после каждого этапа обработки определяют по величине припуска, который контролируется прибором активного контроля.

Расчет будем вести для цикла N4 с такими исходными данными: деталь из стали 50Г закаленной, диаметром $d = 110$ мм, шириной $B = 56$ мм с припуском на диаметр $P_0 = 0.3$ мм, коэффициент режущей способности круга, $K_r = 18 \text{ мм}^3 / \text{мин} \cdot \text{Н}$, суммарная жесткость системы СПЗИ может изменяться через переменную жесткость детали $\Sigma C = 6.02 \cdot 10^5 \div 9.29 \cdot 10^5 \text{ Н/мм}$. Данная суммарная жесткость соответствует диапазону переменной жесткости трех деталей представителей, поставляемых к станку с адаптивным управлением модели 3M152ВФ20.

Расчет элементов переходных процессов для условия сменной жесткости деталей и таким образом системы СПЗИ в целом сводим в таблицу 1.

Согласно полученным результатам строим графики зависимости элементов переходных процессов от жесткости детали:

Таблица 1.

$C \cdot 10^5$	6.3	6.38	6.56	6.97	7.22	8.03	8.76	9.32	9.72	9.95
$T \cdot 10^{-3}$	1.78	1.76	1.71	1.61	1.56	1.41	1.3	1.23	1.18	1.15
$\tau_{\text{сп}} \cdot 10^{-4}$	1.87	1.85	1.8	1.7	1.65	1.49	1.37	1.29	1.24	1.21
$\Pi_{\text{сп}} \cdot 10^{-3}$	4.78	4.72	4.59	4.34	4.19	3.79	3.49	3.29	3.17	3.1
$\tau_{\text{пер}} \cdot 10^{-3}$	1.63	1.61	1.57	1.48	1.43	1.29	1.19	1.12	1.08	1.06
$\Pi_{\text{пер}} \cdot 10^{-4}$	5.35	5.28	5.14	4.85	4.69	4.24	3.91	3.69	3.54	3.47
$\tau_{\text{вых}} \cdot 10^{-3}$	4.61	4.56	4.44	4.19	4.05	3.66	3.37	3.18	3.06	2.99
$\Pi_{\text{вых}} \cdot 10^{-4}$	3.29	3.26	3.17	2.99	2.89	2.61	2.41	2.27	2.18	2.14

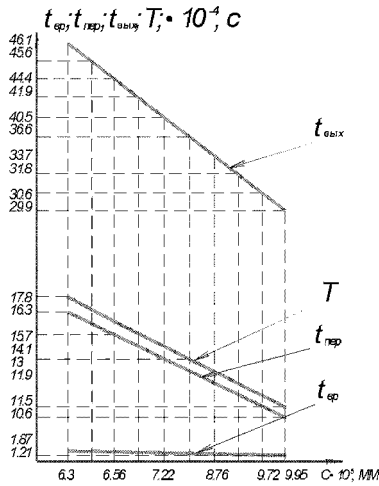


Рис. 3 Влияние жесткости детали на продолжительность этапов переходных процессов

Аналогично получены графики влияния других технологических параметров на переходные процессы цикла врезного шлифования (рис. 4-8).

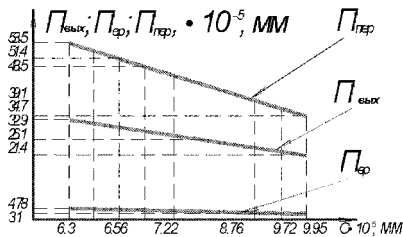


Рис. 4 Влияние жесткости детали на припуски, снимаемые на этапах переходных процессов

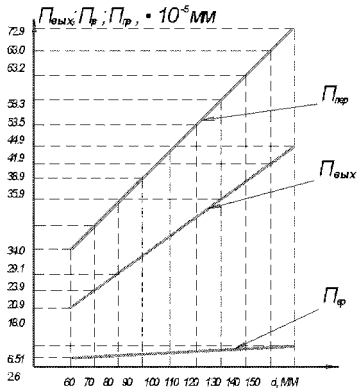


Рис. 5 Влияние диаметра детали на припуски, снимаемые на этапах переходных процессов

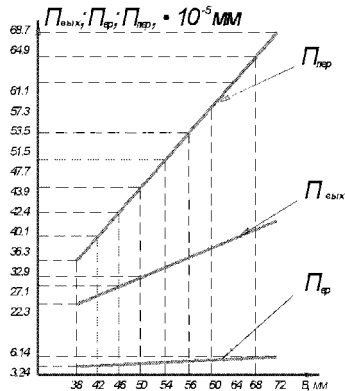


Рис. 6 Влияние ширины шлифования на припуски, снимаемые на этапах переходных процессов

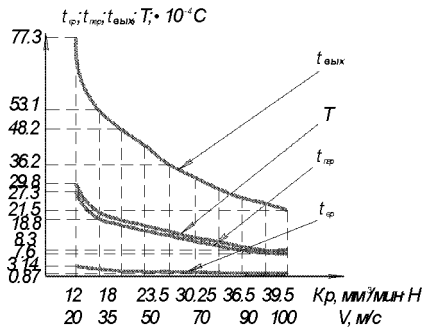


Рис. 7 Влияние коэффициента режущей способности круга и соответственно скорости резания на продолжительность этапов переходных процессов

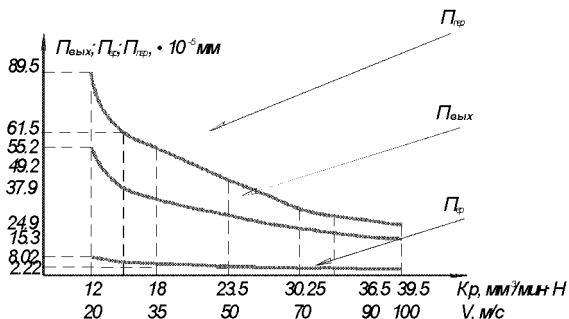


Рис. 8 Влияние коэффициента режущей способности круга и соответственно скорости резания на припуски, снимаемые на этапах переходных процессов

Таким образом, на основании выше проведенных расчетов можно рассчитать действительную продолжительность рабочего цикла обработки одной шейки, т.е. машинное время, для цикла № 4 по формуле:

$$\tau_0 = \tau_{ep} + \tau_1 + \tau_{nep} + \tau_2 + \tau_{вых} + \tau_3$$

где τ_1 - время на срезание чернового припуска

$$\tau_1 = \frac{P_1 - P_{BP}}{S_{M2}}$$

где P_1 - принятый припуск для чернового перехода; S_{M2} - принятая подача для чернового перехода; τ_2 - время на срезание чистового припуска

$$\tau_2 = \frac{P_2 - P_{nep}}{S_{M3}}$$

где P_2 - принятый припуск для чистового перехода; S_{M3} - принятая подача для чистового перехода; τ_3 - время на срезание припуска на доводочном переходе

$$\tau_3 = \frac{P_3 - P_{вых}}{S_{M3}}$$

где P_3 - принятый припуск для доводочного перехода; S_{M3} - принятая подача для доводочного перехода.

Тогда имеем

1) для минимального значения жесткости детали

$$\begin{aligned} \tau_{\max} &= 1.87 \cdot 10^{-4} + \frac{0.12 - 4.97 \cdot 10^{-5}}{0.5} + 1.63 \cdot 10^{-3} + \frac{0.026 - 5.62 \cdot 10^{-4}}{0.2} + \\ &+ 4.61 \cdot 10^{-3} + \frac{0.004 - 3.46 \cdot 10^{-4}}{0.015} = 0.6171 \text{ мин} \end{aligned}$$

2) для максимального значения жесткости детали

$$\tau_{\min} = 1.21 \cdot 10^{-4} + \frac{0.12 - 4.97 \cdot 10^{-5}}{0.5} + 1.06 \cdot 10^{-3} + \frac{0.026 - 5.62 \cdot 10^{-4}}{0.2} + 2.99 \cdot 10^{-3} + \frac{0.004 - 3.46 \cdot 10^{-4}}{0.015} = 0.61486 \text{ мин}$$

Выводы: Результаты проведенного исследования позволяют построить оптимальный по производительности цикл круглого наружного врезного шлифования.

Список литературы: 1. Ушаков А.Н., Серховец О.И., Фесенко А.В. Математическое моделирование переходных процессов в цикле круглого наружного врезного шлифования // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні.- Харків: НТУ"ХП".-2007. №1,- 144с, С.26-32.

Поступила в редколлегию 10.10.07

УДК 621.924.5

Ю.А. СИЗЫЙ, А.В. ЕВТУХОВ, Е.А. ГЛУЩЕНКО

СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ЦИКЛА КРУГЛОГО НАРУЖНОГО ВРЕЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ

The algorithm of structural and parametrical optimization of the round external in-feed grinding cycle, a considering temperature condition of process of handling, limitation on exactitude of the shape and a roughness of the treated surface is considered.

Анализ литературы [1] показал главные недостатки существующей методики нормирования процесса круглого наружного врезного шлифования (КНВШ): предусмотрена обработка по двухступенчатой программе изменения скоростей подачи (черновой и чистовой), переходные процессы не учтены в связи с трудоемкостью расчетов; сложность и неточность (усредненность) расчета податливости технологической системы.

В работе [2] представлены усовершенствованные зависимости по расчету фактического съема металла для переходных этапов цикла. Так, фактический съем металла x_n для этапа врезания может быть рассчитан по формуле

$$x_n = So \cdot [1 - q^n] \quad (1)$$

где So – подача на оборот; n – номер оборота изделия с начала этапа врезания;

$$q = Cp / (js + Cp) \quad [3],$$

где Cp – жесткость процесса шлифования, js – жесткость технологической системы.

Фактический съем металла на этапе выхаживания:

$$x_n = So \cdot q^n \quad (2)$$

где So – подача на этапе, предшествующем выхаживанию.

Фактический съем металла на переходном этапе при изменении подачи с $So1$ на $So2$, имеющем место при переходе с чернового на чистовое шлифование:

$$x_n = So2 \cdot [1 - q^n] + So1 \cdot q^n \quad (3)$$

Во всех указанных зависимостях содержится аргумент q , определяемый как обобщенная идентификационная характеристика динамической системы КНВШ или показатель жесткости системы. Определяемое экспериментально значение q позволяет учесть жесткость конкретной технологической системы и процесса шлифования наиболее полно и произвести расчет рабочего цикла КНВШ с наибольшей точностью.

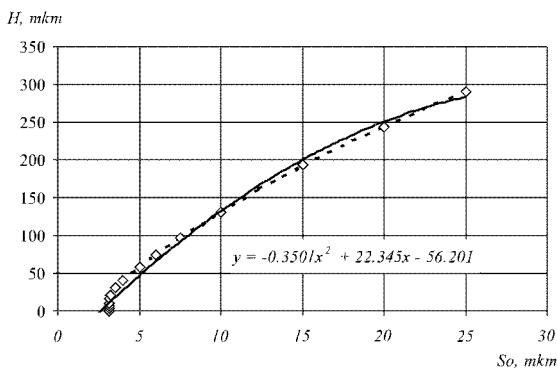


Рис. 1 – Зависимость глубины дефектного слоя H от величины врезной подачи So (сталь 40Х, 24А16НСМ1К, $d = 50$ мм, $B = 60$ мм, $n_d = 190$ мин⁻¹, $V_{кр} = 50$ м/с, $\Theta^* = 445^\circ$)

Одним из основных ограничивающих производительность процесса шлифования факторов является условие бездефектной обработки $H \leq [H]$, где $[H]$ - допустимая глубина дефектного слоя. Принимаем, что структурные превращения в поверхностном слое детали определяются температурой ее нагрева на протяжении всех фаз рабочего цикла. Для повышения производительности цикла возможно на черновых этапах вести обработку с образованием некоторой величины дефектного слоя так, чтобы она не превышала оставшийся припуск. Так же ясно, что температура нагрева обрабатываемой поверхности на заключающем этапе цикла не должна превышать некоторого критического значения Θ^* , что позволит выполнить условие $H \leq [H]$. Необходимо учитывать возможность дополнительной отделочной обработки после операции шлифования (например, размерное суперфиниширование по способу двойной осцилляции, который позволяет при достаточно высоком уровне производительности снимать припуск порядка 20...30 мкм при отсут-

ствии, как такового, дефектного слоя [4]), что позволит увеличить величину [Н]: режимы обработки и, соответственно, производительность процесса шлифования могут быть повышены. В работе [5] представлена методика теплофизического анализа цикла КНВШ. Расчет температурного поля в поверхностном слое обрабатываемой заготовки [6, 7] позволяет, при наличии значения критической температуры Θ^* , определить зависимость величины дефектного слоя Н от регулируемой по ходу рабочего цикла величины врезной подачи S_0 (см. рис. 1).

Из работы [8] следует, что исходная некруглость шлифуемой поверхности δ в процессе обработки стремится к величине $S_0/2$, а некруглость поверхности, формируемая самим процессом шлифования – к S_0 . Таким образом, контроль фактического съема металла на заключительном этапе рабочего цикла шлифования, определяющем качественные показатели поверхности детали, позволяет выполнить условие $\delta \leq [\delta]$, где $[\delta]$ - допустимое значение некруглости.

Литературный обзор [9, 10, 11] позволил выявить зависимость шероховатости поверхности от силы шлифования на заключительном этапе цикла. Так, при всех прочих равных условиях, для получения шероховатости $Ra = 0,8$ мкм удельное значение нормальной составляющей силы шлифования не должно превышать 8...12 Н/мм. Таким образом, контроль силы шлифования на заключительном этапе цикла позволит выполнить условие $Ra \leq [Ra]$, где $[Ra]$ - допустимое значение шероховатости. Сила шлифования может быть определена из эмпирической зависимости [6] для условий обработки среднеуглеродистых конструкционных сталей при скорости шлифования 50 м/с:

$$Pz = 2,254 \frac{\sigma_t^{0,342} \cdot H^{0,258} \cdot V_p^{0,945}}{Z^{0,051} \cdot S^{0,073} \cdot S_{pr}^{0,073} \cdot t_{pr}^{0,026}} \cdot H \quad (4)$$

где σ_t – предел прочности материала заготовки при высоких температурах (600°C), кгс/мм²; Н – звуковой индекс; Z – зернистость; V_p – скорость врезной подачи, мм/мин; S – окружная скорость вращения заготовки, м/мин; S_{pr} – продольная скорость правки, мм/мин; t_{pr} – глубина правки, мм.

Формула (4) определяет удельную силу резания (из расчета на 1 мм ширины шлифования). Установлено также, что радиальная составляющая P_y силы резания в диапазоне скоростей изделия 30...70 м/мин в 2,5 раза больше P_z . С учетом вышесказанного имеем:

$$P_y = 5,635 \frac{\sigma_t^{0,342} \cdot H^{0,258} \cdot V_p^{0,945}}{Z^{0,051} \cdot S^{0,073} \cdot S_{pr}^{0,073} \cdot t_{pr}^{0,026}} \cdot B, H \quad (5)$$

где B – ширина шлифования, мм.

В указанном выражении необходимо выявить подачу «на оборот» и представить ее в виде идентичного с моделью системы врезного шлифования аргумента x (глубина шлифования). Значение врезной подачи «на оборот»

может быть получено из выражения: $x = \frac{V_p \cdot p \cdot d}{1000 \cdot S}$.

В итоге имеем:

$$P_y = 1,244 \times 10^3 \times \frac{\sigma_f^{0,342} \cdot H^{0,258} \cdot S^{0,872} \cdot B}{Z^{0,051} \cdot S_{pr}^{0,073} \cdot t_{pr}^{0,026} \cdot d^{0,945}} \cdot x^{0,945}, \text{ Н} \quad (6)$$

Приведенные зависимости расчета фактического съема металла, а также указанные ограничивающие производительность процесса шлифования факторы, позволили разработать алгоритм структурно-параметрической оптимизации цикла врезного шлифования, который реализуется в три этапа.

Первый этап заключается в экспериментальном определении значения показателя жесткости q .

Второй этап заключается в выборе исходных данных, описывающих физико-механические и тепловые свойства материала заготовки, характеристики шлифовального круга, режимы правки круга, требования, предъявляемые к обрабатываемой поверхности детали (по чертежу).

Третий этап реализуется программно и заключается в выборе оптимальной структуры и параметров рабочего цикла КНВШ на основе расчета длительности отдельных этапов и суммарного времени рабочего цикла шлифования с учетом указанных условий, ограничивающих производительность шлифования. Укрупненный алгоритм 3-го этапа можно представить в виде блок-схемы, см. рис. 2.

Структурная оптимизация предусматривает выбор одного из трех вариантов рабочего цикла шлифования, см. рис. 3.

Цикл №1 включает этапы врезания на форсированной подаче (OA), черновое шлифование (AB) и выхаживание (DE). Цикл №2 включает этапы врезания (OA), черного шлифования (AB), чистовое шлифование (CD). При этом между этапами черного и чистового шлифования предусмотрен переходной этап (BC), в ходе которого происходит изменение подачи шлифования. Цикл №3 включает этапы врезания (OA), черного шлифования (AB), переходной этап (BC), чистовое шлифование (CD), а так же выхаживание (DE).

Таким образом, при оптимизации цикла круглого врезного шлифования необходимо исходить из следующего. При любом их трех представленных циклов можно добиться требуемого качества поверхности, выбирая соответствующие подачи на различных фазах цикла. Поэтому необходимо рассчитать параметры каждого цикла, обеспечивающие качество поверхности с минимальным временем, а затем, сравнив длительности цикла для всех трех структур – выбрать ту структуру, на реализацию которой затрачивается наименьшее время.

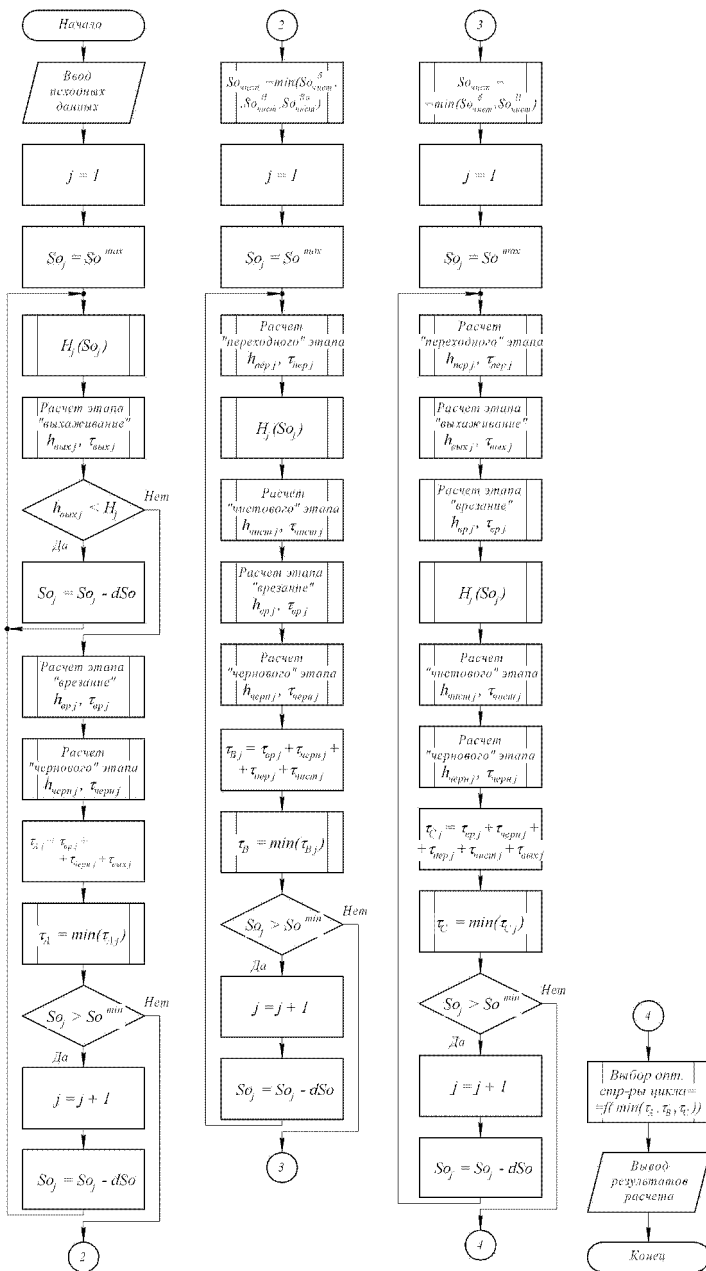


Рис. 2 – Алгоритм расчета рабочего цикла КНВП

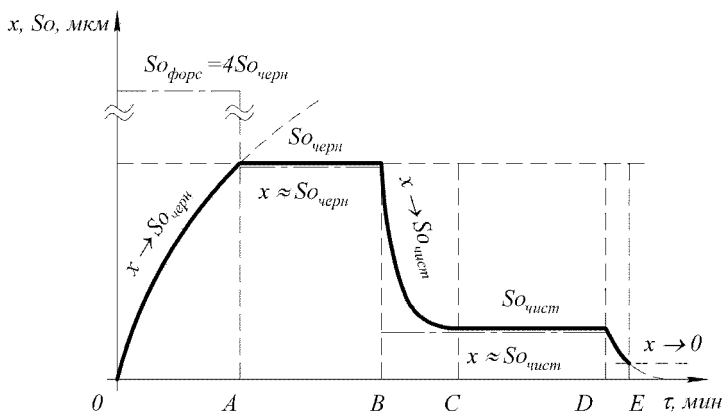


Рис. 3 – Рабочий цикл круглого шлифования

Рассмотрим первый из представленных врезных циклов. Этот цикл применим только если на фазе выхаживания будут достигнуты все требования к качеству: допуск формы поверхности δ , устранение дефектного слоя H , сформированного на предшествующих этапах цикла с учетом допустимого дефектного слоя $[H]$, а также обеспечение некоторого допустимого удельного значения нормальной составляющей силы резания $[Py]$, которая в свою очередь позволит получить требуемый уровень шероховатости Ra . Т.к. фактическая величина съема металла x_i на этапе выхаживания изменяется от подачи So на предшествующем этапе (для первого цикла – это черновая подача) до нуля, то очевидно, условия $x_i < \delta$ и $Py < [Py] = f(Ra)$, будут выполнены. Остается проверить условие $(H(So) - [H]) \leq h_{вых}$ обеспечения бездефектного шлифования, при этом $h_{вых}$ – есть величина суммарного припуска снятого на протяжении этапа выхаживания. Условно допускаем, что по ходу этапа выхаживания образование нового дефектного слоя не наблюдается или его значение не превышает допустимой величины. Значения изменяющихся по ходу переходных этапов врезания и выхаживания фактических величин съема металла рассчитываются по соответствующим формулам (1, 2). Припуски на указанных этапах рассчитываются как накопленные, суммированием глубин шлифования по оборотам детали ($h_{epk} = h_{epk-1} + x_k, h_{выхи} = h_{выхи-1} + x_i$). Припуск на черновое шлифование рассчитывается как разница между общим припуском P и суммарными припусками на этапах врезания и выхаживания. Длительности переходных этапов рассчитываются как накопленные, суммированием по оборотам ($\tau_{epk} = \tau_{epk-1} + 1/n_\delta, \tau_{epi} = \tau_{epi-1} + 1/n_\delta$). Длительность черногового этапа определим как отношение $\tau_{чёрн} = h_{чёрн} / So \times n_\delta$. Для обеспечения максимальной производительности цикла необходимо определить такое максимальное значение So из диапазона $So^{\max} \dots So^{\min}$, при котором все указанные условия были бы выполнены.

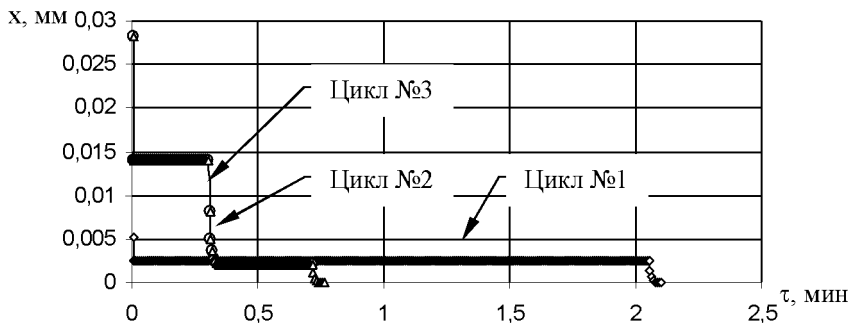


Рис. 4 – Изменение фактического съема металла по ходу цикла

Рассмотрим цикл №2. Установившееся чистовое шлифование должно обеспечить все указанные условия обеспечения требуемого качества поверхности. Поэтому значение чистой подачи $So_{чист}$ должно быть таковым, чтобы выполнялись условия:

$So_{чист} \leq \delta$, $H(So_{чист}) \leq [H]$, $P_y(So_{чист}) \leq [P_y(Ra)]$. Остается выбрать минимальное из указанных значений $So_{чист}$. По аналогии с циклом №1 рассчитываются соответствующие накопленные припуски и длительности этапов. Припуск на чистовой этап $h_{чист}$ определим как разность между величиной дефектного слоя, сформировавшегося на черновом этапе с учетом допустимого дефектного слоя ($H(So) - [H]$) и накопленным припуском $h_{пер}$. Припуск на черновое шлифование $h_{черн}$ теперь определяется как разность между общим припуском P , а также накопленными припусками на врезание $h_{вр}$, на переходной этап с уменьшением подачи с черновой на чистовую $h_{пер}$ и на чистовой этап $h_{чист}$. В качестве черновой подачи выбирается максимальное значение So из диапазона $So^{max} \dots So^{min}$.

Цикл №3. Чистовой этап шлифования обеспечивает выполнение требований по допустимой величине дефектного слоя и допуску формы поверхности, этап выхаживания – по шероховатости поверхности. Расчет припусков, длительности отдельных фаз цикла – производим по аналогии с циклами №1 и №2.

В качестве примера произведем расчет рабочего цикла круглого врезного шлифования для следующих исходных данных: материал детали – сталь 40X, предел прочности при температуре 600°C - $\sigma_t = 21,5$ кгс/мм², диаметр обрабатываемой поверхности - $d = 50$ мм, ширина шлифования - $B = 60$ мм, припуск на сторону - $P = 1,0$ мм, рекомендуемая частота вращения изделия (по нормативам) $n_d = 190$ мин-1, критическая температура - $\Theta^* = 445^\circ$, круг - 24A16HСМ1К, $V_{кр} = 50$ м/с, звуковой индекс - $H = 1,38$, зернистость - $Z = 16$, подача при правке круга - $S_{рг} = 150$ мм/мин; глубина правки - $tr_g = 0,01$ мм, минимальная и максимальная врезная подача (по паспорту станка) - $SM_{min} =$

0,1 мм/мин, $SM_{max} = 4$ мм/мин, дискретность – $dSo = 0,001$ мм, показатель жесткости ТС - $q = 0,5$, допуск на размер $Td = 0,05$ мм, требуемая шероховатость поверхности – $Ra = 0,8$ мкм, допуск формы поверхности - $\delta = 0,005$ мм, допустимая глубина дефектного слоя - $[H] = 0,008$ мм.

В результате расчета получены следующие данные: общее время цикла №1 составило – 2,10 мин, цикла №2 – 0,72 мин, цикла №3 – 0,76 мин. Таким образом, оптимальным циклом является цикл №2, на реализацию которого затрачивается наименьшее время. Рассчитаны оптимальные значения черновой и чистой подачи цикла №2: Сочерн = 14 мкм/об, Сочист = 2 мкм/об. Так на этапе врезания снимается припуск 0,028 мм, продолжительность этапа – 0,01 мин. На черновом этапе при номинальной установленной подаче 14 мкм/об снимается припуск 0,786 мм, продолжительность этапа – 0,29 мин. На переходном этапе снимается припуск 0,042 мм, время этапа – 0,05 мин. Чистойой этап реализуется при номинальной установленной подаче 2 мкм/об, снимается припуск – 0,144 мм, продолжительность этапа – 0,37 мин.

Характер изменения величины фактического съема металла по ходу рабочего цикла представлен на рис. 4. Из рис. 4 видно, что на реализацию цикла №1 затрачивается наибольшее время. Циклы №2 и №3 практически идентичны и менее продолжительны.

Таким образом, представленный алгоритм структурно-параметрической оптимизации цикла КНВШ позволяет уже на этапе технологической подготовки производства прогнозировать технологические показатели операции шлифования.

Список литературы: 1. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением. Часть II: Нормативы режимов резания. М., Экономика, 1990 г., 473 с. 2. Сизый Ю.А., Евтухов А.В. Расчет глубины круглого врезного шлифования на основе его имитационной модели // Вісник Національного технічного університету “ХПІ”. – Х.: НТУ “ХПІ”. – 2001. - № 15. – С. 117-126. 3. Сизый Ю.А., Евтухов А.В. Статическая и динамическая характеристики технологической системы круглого врезного шлифования // Резание и инструмент в технологических системах. – Х.: НТУ «ХПИ», 2003. – Вып. 64. – С. 185-192. 4. Савчук В.И. Исследование технологических особенностей отделочной обработки валов способом двойной осцилляции брусков.: Дис. канд. техн. наук: 05.02.08 / ХПИ. – Харьков, 1979. – 179 с. 5. Сизый Ю.А., Евтухов А.В. Теплофизический анализ цикла круглого врезного шлифования // Вісник Сумського державного університету. – Суми.: СумДУ. – 2004. - № 13(72). – С. 141 – 147. 6. Сизый Ю.А., Степанов М.С. Математическое моделирование температурного поля в шлифуемой заготовке периферией круга. Восточно-европейский журнал передовых технологий. №2, 2004. 7. Сизый Ю.А., Степанов М.С. Тепловой баланс процесса шлифования. Резание и инструмент в технологических системах. Вып. 66., 2004 г. 8. Сизый Ю.А., Евтухов А.В. Некруглость детали, исправляемая и формируемая процессом круглого врезного шлифования // Вісник Національного технічного університету “ХПІ”. – Х.: НТУ “ХПІ”. – 2003. - № 16. – С. 88 – 93. 9. Корчак С.Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей. М., «Машиностроение», 1974. 10. Михелькевич В.Н. Автоматическое управление шлифованием. М., «Машиностроение», 1975. 11. Марчук В.І. Технологічні основи забезпечення якості робочих поверхонь кільця роликопідшипників: Дис. д-ра техн. наук: 05.02.08 / Луцький держ. технічний ун-т. – Луцьк, 2004. – 458 арк.

Поступила в редколлегию 10.10.07

А.В. ГАЙДАМАКА, Г.Г. КУЛИК, О.І. НАУМОВ, В.В. НЕМЧИК

ПРО ЗАВДАННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ЦИЛІНДРИЧНИХ РОЛИКОПІДШИПНИКІВ, ЩО МАЮТЬ ОСОБЛИВІСТЬ СПРИЙМАТИ ОСЬОВЕ НАВАНТАЖЕННЯ

The article presents about task of the provision to wear capability cylindrical roller bearing, which have a particularity to perceive axial voltages

Постановка проблеми. Радіальні підшипники з циліндричними роликами використовують для сприйняття підвищених радіальних навантажень [1]. Разом з цим підшипники типів 12000, 232000, 42000 можуть одночасно сприймати і помірне однобічне, а підшипники типів 52000, 62000, 92000 – двобічне осьове навантаження.

З вказаних типів циліндричних роликотпідшипників найбільш масовими і одночасно проблемними є підшипники 42726 і 232726 опорних вузлів колісних пар вагонів, для яких осьове навантаження ударного характеру сягають 60 кН [2]. Значні осьові навантаження підшипників колісних пар вагонів спричиняють появу задирів на торцях роликів і бортах кілець, які показані на рис. 1 та рис. 2 відповідно.

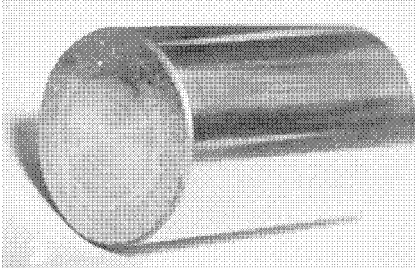


Рис. 1. Задири на торцях ролика Рис. 2. Задири і тріщини на бортах

В період 1998–2001 рр. майже третина цих підшипників від загального числа обстежених співробітниками УкрДАЗТ мала пошкодження торців роликів і бортів кілець (задири на торцях роликів – 18%, задири на бортах зовнішніх кілець – 13%) [3]. Вихід з ладу підшипників колісних пар вагонів внаслідок задирів на торцях роликів починаючи з 2001р. по дорогах України за даними Укрзалізниці наведено на рис. 3.

Задири на торцях роликів і бортах кілець підшипників 42726 і 232726 з наступним зародженням тріщин спричиняють їх руйнування, що погрожує безпеці руху на залізничному транспорті.

Отже, постає проблема забезпечення в першу чергу зносостійкості спряження торець ролика – борт кільця для наймасовіших циліндричних роликотпідшипників, що мають особливість сприймати осьові навантаження.

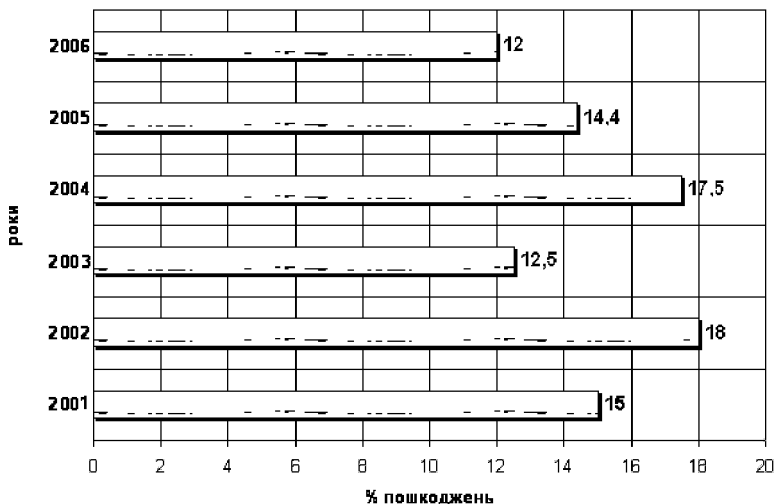


Рис. 3 Пошкодження торців роликів підшипників 42726 і 232726

Однак на теперішній час ефективного рішення вказаної проблеми не існує.

Аналіз останніх досліджень. Поява задирів на торцях роликів і бортах кілець свідчить про те, що їх зносостійкість визначається несприятливими умовами ковзання спряжених поверхонь. При цьому визначну роль грають величина та тривалість дії осевого навантаження, частота обертання та умови змащування. Керувати ситуацією зносу вищезазначеного спряження деталей, коли їх конструкція і технологія виготовлення достатньо вдосконалені, доцільно шляхом покращення властивостей мастильного матеріалу та підвищення ефективності його подавання до поверхонь тертя.

Покращення властивостей мастильного матеріалу здійснюють додаванням антифрикційних і протизадирних присадок та добавок. Перспективним для збільшення ресурсу підшипників кочення є використання добавок геомодифікаторів [4, 5]. Вони дозволяють окрім зменшення тертя одночасно захистити поверхні деталей від зносу завдяки утворенню антифрикційних покриттів. Найбільш ґрунтовне дослідження закономірностей утворення таких покриттів на основі геомодифікаторів на визначення їх реологічних і фізико-механічних характеристик виконано в роботі [6]. Натепер існує обмежена кількість публікацій щодо використання добавок геомодифікаторів в мастило підшипників кочення. Перевірка ефективності дії добавок геомодифікаторів до мастила підшипників кочення подано в роботі [7]. Про деякі результати застосування добавок геомодифікаторів до технологічного середовища промислового виробництва підшипників кочення йдеться в роботі [8]. Однак ґрунтовні теоретичні та експлуатаційні дослідження працездатності підшипників кочення з покриттями на основі

геомодифікаторів у відкритому друці відсутні.

Невирішені питання. Відоме дослідження працездатності зносостійкого покриття підшипників кочення виконано для певного виду покриття, що отримано традиційним способом [9], з урахуванням певної кінематики тіл кочення для їх точного контакту. Тому отримані результати важко поширити на інші види покриття (наприклад, неметалеві), типи контакту (наприклад, лінійний чи площинний), кінематику деталей (наприклад, з уриванням проковзування торців роликів по бортах кільця). Дотепер не досліджено на напружено-деформований стан контактної зони торця ролика з бортами кільця при наявності захисних покриттів, не встановлено зв'язку контактних напружень з фізико-механічними та геометричними параметрами покриття, не розроблено алгоритму вибору технологічного методу і режиму отримання зносостійкого покриття.

Мета статті. На основі аналізу стану експлуатації циліндричних роликотілопідшипників, що мають особливість сприймати осьові навантаження, та відомих публікацій з працездатності підшипників кочення зі зносостійкими покриттями стисло викласти відомості про напрямок та основні завдання роботи по підвищенню зносостійкості спряження торець ролика – борт кільця.

Основний матеріал. Підвищити зносостійкість спряження торець ролика – борт кільця циліндричних роликотілопідшипників, що мають особливість сприймати осьові навантаження, планується шляхом розробки методу вибору матеріалу та параметрів антифрикційного покриття і технології утворення такого покриття.

Для досягнення вказаної мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз основних чинників, що впливають на задиротворення поверхонь спряження торець ролика – борт кільця;
- встановити функціональний зв'язок зношування спряження торець ролика – борт кільця з кінематика – динамічними факторами роботи деталей підшипниками;
- дослідити міцність і зносостійкість тіл з покриттями та визначити потрібні фізико-механічні властивості антифрикційних покриттів;
- обрати технологію підвищення зносостійкості спряження торець ролика – борт кільця;
- експериментально перевірити ефективність вибраної технології підвищення зносостійкості циліндричного роликотілопідшипника, що мають особливість сприймати осьові навантаження;
- оцінити економічну ефективність проведених досліджень.

Визначення функціонального зв'язку інтенсивності зношування спряження торець ролика – борт кільця і кінематика-динамічним фактором роботи деталей підшипника здійснюватиметься методом фізичного моделювання із застосуванням критеріального планування експерименту.

Дослідження напружено-деформованого стану спряження торець ролика – борт кільця із захисним покриттям виконуватимуться на основі теорії

пружності для некласичної області та чисельного методу скінчених елементів.

Експериментальні дослідження працездатності підшипників із захисним антифрикційним покриттям поверхонь тертя деталей проводимуться на лабораторному стенді.

Висновки. Аналіз стану експлуатації роликопідшипників, що мають особливості сприймати осьові навантаження, показує високий відсоток пошкоджень (задрів) торців роликів і бортів кілець. Підвищити зносостійкість проблемних спряжень вказаних підшипників можна шляхом розробки методу обґрунтованого вибору матеріалу та параметрів захисних антифрикційних покриттів. Обрано методи та сформульовані основні задачі дослідження.

Список літератури: 1. Бейзельман Р.Д., Цыпкин Б.В., Перель Л.Я. Подшипники коченая : Справочник. – М.: Машиностроение, 1975. –574с. 2. Поляков А.И., Девятков В.Ф. Результаты испытаний подшипников повышенной прочности и долговечности из стали ШХ–4. // Труды ВНИИЖТ. –1982. –Вып. 654. –с. 31–37. 3. Головки В.Ф., Мартинов Г.Е., Волошин Д.И. До питання оцінки надійності буксових вузлів з роликowymi підшипниками // 36. Наук. Праць. / УкрДАЗТ, 2003. – Вип.54.–с.16–20. 4. Половинкин В.Н., Ляной В.Б., Аратский П.Б. Применение геомодификаторов трения для восстановления изношенных поверхностей узлов трения при эксплуатации. // Трение, износ, смазка (электр. ресурс). –www.tribo.ru. –2000.–№2.–с.15–18. 5. Войтов В.А., Стадниченко Н.Г., Джус Р.Н., и др. Технология триботехнического восстановления. Обзор и анализ перспектив. // Проблемы трибологии. –2005. –№2. –с.86–94. 6. Джус Р.Н. Повышение износостойкости узлов трения трансмиссий и использованием технологии триботехнического восстановления: Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. –Харьков, 2005.–21с. 7. Пат. 24442А Україна, МКІ С 23 С 26/00; С10М125/40. Спосіб безрозбірного відновлення тертьових сполучень / Агафонов А.К., Аратский П.Б., Бахматов С.І., та інші. –№97041916; Заявл. 22.04.97; Опубл. 30.10.98; Бюл. №5.–с. 8. Гайдамака А.В. Про ефективність нової технології підвищення довговічності підшипників // Вісник НТУ «ХП». –2007. –Вип. 21. –с.144–146.

Поступила в редколлегию 10.10.07

УДК 681.3

С.А. ТИМЧУК, А.В. ТИХОНОВ, А.Д. МАРТЫНЕНКО, Д.С. ТИМЧУК,

ТЕХНОЛОГИЯ ПРЕПОДАВАНИЯ САПР В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ

In the article is expounded three summer experience of teaching of discipline of the «SAPR agricultural machines» in an environment Autodesk Inventor.

При внедрении современных технологий проектирования в учебный процесс возникает проблема выбора программного обеспечения. Программные комплексы САПР условно делятся на: «легкие», «средние», «тяжелые». К «легким» САПР относятся программы, в основном предназначенные для оформления чертежной документации. Например, AutoCAD, Компас и др. Это не значит, что в данных программах невозможно осуществлять 3D проектирование. Просто в других программах этот процесс осуществляется бо-

лее эффективно. К «средним» САПР относятся программы, предназначенные для эффективной реализации технологии проектирования от 3D моделей изделий к 2D чертежам и эффективно взаимодействующие с САМ комплексами. Это, например Solid Works, Inventor, Solid Edge и др. К «тяжелым» САПР относятся программные комплексы, реализующие комплексное взаимодействие CAD-CAM-CAE-PDM, такие как CATIA, Unigraphics, Euclid и др.

Если в недалеком прошлом в нашей стране в основном внедрялись «легкие» САПР, в настоящее время резко возрос интерес к «средним» САПР и к применению передовых технологий проектирования. И в лидеры по продажам практически сразу вышла программа Solid Works. Однако, начиная с 2003 года, серьезную конкуренцию ей составила программа Inventor. И сейчас при возникновении проблемы выбора программного обеспечения САПР в основном решается альтернатива Solid Works или Inventor. По нашему мнению при оценке программы для учебного процесса необходимо брать во внимание следующие группы факторов: функциональные возможности, время, необходимое на изучение программы, чувствительность программы к "железу" и состоянию системы, степень распространения программы и цена программного продукта.

В настоящее время идеальных программ нет, есть программы наиболее подходящие к решению конкретных задач при определенном круге условий и в большинстве случаев зависящих от объекта проектирования. С нашей точки зрения, Inventor является наиболее перспективным программным продуктом будущих инженерных кадров для сельхозмашиностроения.

В Харьковском национальном техническом университете сельского хозяйства имени Петра Василенко преподавание Autodesk Inventor ведется с 2004 года. В настоящее время университет имеет лицензионные программные продукты 7, 8, 9, 10 – версий. Преподавание ведется на факультете технического сервиса, поэтому процесс обучения настроен на специфику ремонтного производства.

Особенностью преподавания является ограниченность учебного времени – 2 семестра соответственно 30 и 36 часов, то есть 1 пара в неделю. Поэтому пришлось отказаться от лекций. Занятия построены таким образом, что при выполнении практических заданий максимально используется «интуитивная понятность» интерфейса программы, а также написанный нами подробный учебник (все задания в электронном виде) /1/. Степень сложности от задания к заданию возрастает. Первый семестр посвящен освоению технологии трехмерного проектирования деталей и построения чертежей на основе трехмерных деталей. В конце семестра студенты самостоятельно разрабатывают трехмерную модель предложенной детали и ее чертеж.

Второй семестр посвящен освоению технологии создания изделий. Вначале 16 часов на обучающих примерах студенты учатся собирать изделия из готовых трехмерных моделей деталей, разрабатывать трехмерные модели деталей в контексте сборки, используя геометрию соседних деталей, параметризацию и адаптивность, а также пользоваться библиотеками стандарт-

ных элементов. Далее студенты учатся технике полуавтоматической разработки сборочных чертежей, спецификаций и разработке схем разборки – сборки. Последние 20 часов даются студентам для выполнения индивидуального задания по разработке конструкции приспособления. Как правило, приспособления не очень сложные, поскольку студенты должны успеть их сделать в аудиторное время. На выходе проектирования студент представляет паспорт разработанного приспособления с полным комплектом конструкторской документации. Преподаватель в данный период играет роль консультанта.

В качестве примера приведено одно из самых простых заданий на разработку нестандартного технологического приспособления. Задание выдается в виде ксерокопии эскиза нестандартного приспособления (рис. 1).

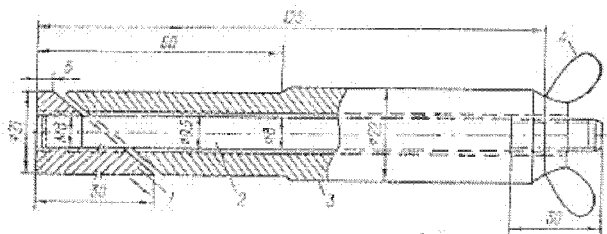


Рис. 1 Пример задания на разработку съемника золотников гидрораспределителей зерноуборочных комбайнов: 1 - короткая клиновидная часть; 2- стержень; 3 – корпус; 4 – гайка барашек.

Далее разрабатываются трехмерные модели деталей (рис. 2), «собирается» изделие и разрабатывается схема разборки – сборки.

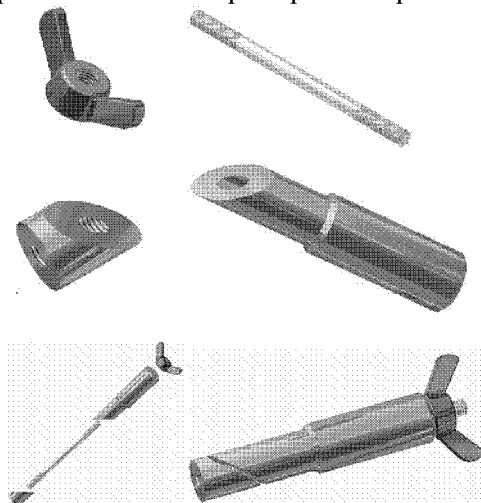


Рис. 2 Трехмерные модели деталей и изделия

Затем разрабатываются и оформляются чертежи, спецификация и титульный лист. Особое внимание обращается на автоматический обмен ин-

формацией между документами через поле свойств, автоматическое оформление спецификации, заполнение штампов, простановку размеров и пр. На рис. 3 показан комплект конструкторской документации. Чертежи приводятся без коррекции, то есть со всеми ошибками и огрехами, которые студент допустил при выполнении задания, поскольку в данном случае важно использование студентов возможностей Autodesk Inventor по автоматизации проектирования.

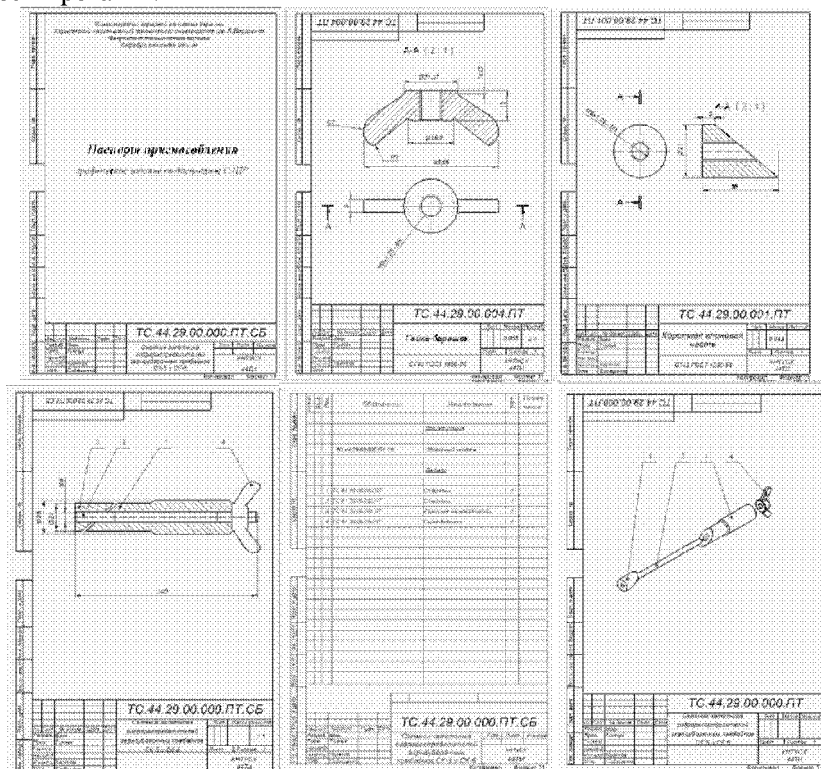


Рис. 3 Образец комплекта конструкторской документации

По результатам трех лет обучения студентов можно сделать следующие выводы: Autodesk Inventor осваивается студентами намного быстрее и полнее чем AutoCAD или Компас; работать в Autodesk Inventor гораздо интереснее, чем в упомянутых программах; на разработку чертежей тратится не более 10% времени, практически все студенты справляются с заданием.

Список литературы: 1.Тимчук С.А., Науменко А.А., Тихонов А.В., Мартыненко А.Д. Автоматизированное проектирование сельскохозяйственной техники в среде . Autodesk Inventor. -Харьков: 2005.-368 с. (Информация на сайте www.arcada.com.ua/infot/261005.html)

Поступила в редколлегию 10.10.07

А.Н. КИРСАНОВ, А.В. ХАУСТОВА

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОСТОЯННЫХ ЦИКЛОВ МНОГОПРОХОДНОЙ ОБРАБОТКИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МОДУЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЯХ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ

Рассмотрена возможность использования постоянных циклов многопроходной обработки для станков с ЧПУ при проектировании модульных технологических операций, что позволяет уменьшить объем вводимой в управляющие программы информации и унифицировать модули управляющих программ.

В основе организации проектирования технологических процессов механической обработки лежит их элементарная база, т.е. методы обработки, технологические переходы, оборудование, приспособления, режущий инструмент и контрольно-измерительные средства, обработанность элементов средств технологического обеспечения, их состав и степень унификации определяют качество и эффективность технологических процессов, а также сроки технологической подготовки производства.

Применение различных методов для обработки одинаковых поверхностей, многообразие технологического оснащения приводит к недопустимо огромному сочетанию допустимых технологических переходов, а, следовательно, и большому числу технологических процессов обработки детали, имеющей от одного до нескольких десятков поверхностей.

Это большое многообразие технологических процессов (ТП) можно сократить во много раз, если строить модульные технологические процессы из элементной базы, в состав которой входят такие модули, как технологические блоки (ТБИ) под соответствующие интегральные модули поверхностей (МПИ), технологические базы (БТ), модули приспособлений (МПр) под соответствующие БТ, модули станочные (МО) и модули инструментальной наладки (МИ) под соответствующие ТБИ, модули контрольно-измерительных средств (МКИ) под соответствующие МПИ [2].

В основу проектирования модульных технологических процессов положены следующие основные принципы [2]:

Деталь должна быть представлена совокупностью интегральных поверхностей (МПИ).

Все поверхности одного МПИ должны обрабатываться на одной операции, за один установ.

Маршрут изготовления детали должен быть индивидуальным и учитывать ее особенности.

Операция модульного процесса должна компоноваться из типовых или унифицированных технологических блоков (ТБИ) изготовления соответствующих МПИ.

На основании вышеизложенного следует, что проектирование технологического процесса изготовления детали, представленной в виде совокупности МПИ, сводится к компоновке его из унифицированных ТБИ, каждый из которых охватывает обработку набора поверхностей, объединенных размерными связями.

При такой организации проектирования технологических процессов основным элементом представляется технологический блок (ТБИ) – законченная часть модульного технологического процесса по изготовлению всех поверхностей МПИ на одном рабочем месте. При этом обязательным условием является изготовление каждой поверхности МПИ за один рабочий ход.

Использование станков с ЧПУ позволяет смену позиций инструмента и детали, выполнение технологических переходов, рабочих и вспомогательных ходов осуществлять автоматически устройствами числового программного управления, что значительно расширит возможности ТБИ. При этом тезис об изготовлении каждой поверхности МПИ за один рабочий ход не является обязательным. Структура технологического блока при использовании станков с ЧПУ представлена на рис. 1.

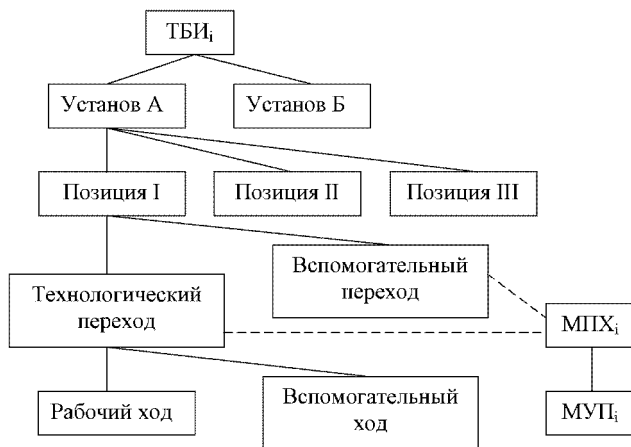


Рис. 1. Структура технологического блока: МПХ_і – модуль переходов для обработки МПИ_і; МУП_і – модуль управляющей программы для выполнения МПХ_і; і – номер модуля поверхностей по классификатору б.М. Базрова.

Модуль переходов МПХ_і представляет собой совокупность технологических и вспомогательных переходов, необходимых для обработки всех поверхностей МПИ_і. Модуль управляющей программы МУП_і – составная часть управляющей программы, вводимая и обрабатываемая как единое целое для обработки МПИ_і. Управляющая программа для выполнения технологической операции будет состоять из n МУП_і, где n – число обрабатываемых на данной операции МПИ.

Хранящееся в постоянной памяти устройстве ЧПУ функциональное про-

граммное обеспечение, включающее сложные циклы многопроходной обработки, позволяет уменьшить объем вводимой информации и унифицировать МУП [3].

Предлагаемая методика проектирования технологического блока апробирована при разработке токарной операции с ЧПУ для обработки детали «муфта зубчатая» (рис. 2), станок 16K20Ф32 с ОПУ 2Р22.

Модули поверхностей 1 и 4 представляют собой сочетание двух плоских и одной наружной поверхности вращения. По классификации Б.М. Базрова – это модули поверхностей связующие МПС 22. Модули переходов для обработки этих поверхностей будут отличаться только выполняемыми размерами:

1МПС 22 – проточить канавку шириной 18 мм с внутренним диаметром 168 мм, резцом с шириной кромки 6 мм;

4МПС 22 – проточить канавку шириной 50 мм с внутренним диаметром 135 мм, резцом с шириной кромки 6 мм.

Эскизы обработки 1МПС 22 и 4МПС 22 показаны на рис. 3 и 4.

Модуль управляющей программы будет представлять собой программу протачивания канавок с автоматическим разделением на проходы по постоянному циклу L02.

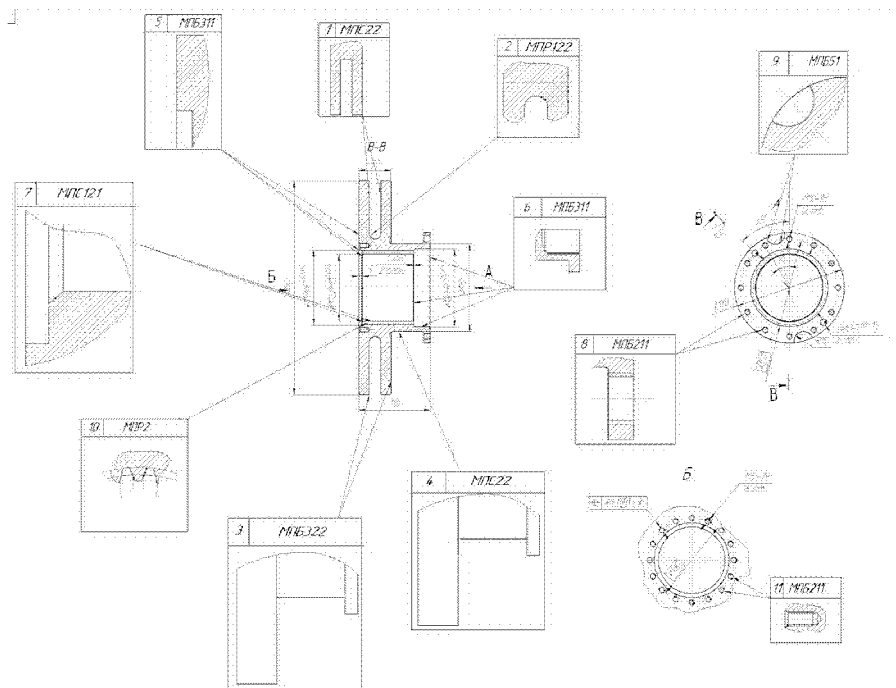
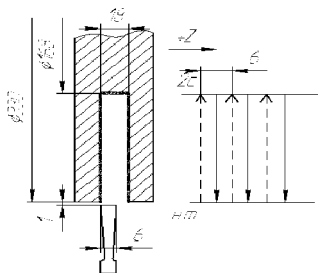


Рис. 2. Представление детали «муфта зубчатая» в виде комплекта модулей поверхностей

Структура цикла имеет вид: L02, D, X, A, P, где D – выдержка времени в конце рабочего хода; X – внутренний диаметр канавки, мм; A – ширина канавки, мм; P – ширина режущей кромки резца, мм.

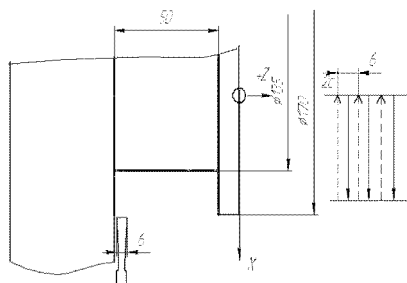
Цикл включает перемещение резца на рабочей подаче до координаты X, выдержку времени (адрес D), его возврат в исходную точку на быстром ходу, смещение по координате Z в положительную сторону на величину P (процесс повторяется столько раз, сколько нужно для достижения ширины канавки A).

Модуль поверхностей 5 (см. рис. 2) представляет собой сочетание двух плоскостей и отверстия. По классификации Б.М. Базрова – модуль поверхностей базирующих МПБ 311.



1МУП 22
N...X332 Z-34*
N...L02 D2 X168 A18 P6*

Рис. 3. Эскиз обработки 1МПБ 22



4МУП 22
N...X172*
N...L02 D2 X135 A50 P6*

Рис. 4. Эскиз обработки 4МПБ 22

Модуль переходов МПХ 311:

подрезать торец 1 с постоянной скоростью резания;

расточить отверстие 2;

подрезать торец 3.

Модуль управляющей программы МУП 311 состоит из цикла внутреннего точения по схеме “петля” L04 и цикла торцовой обработки по схеме “петля” L05. Для обеспечения постоянной скорости резания используется подготовительная функция G10. Эскиз обработки и МУП 311 представлены на рис. 5.

При разработке модулей управляющих программ для других модулей поверхностей МПИ использовались постоянные циклы: наружная обработка по схеме “петля” L03; черновая обработка с припуском L08; чистовая обра-

ботка L10; обработка фасок под углом 45° и галтелей.

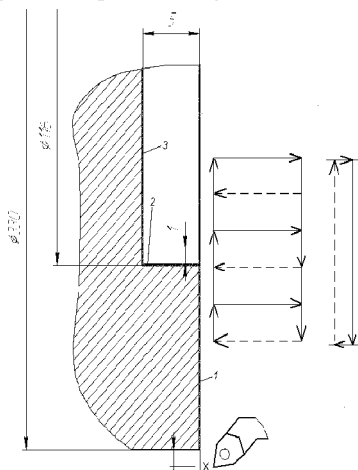


Рис. 5. Эскиз обработки МПУ 311

МУП 311
 N...X102 Z + 1E*
 N...X109*
 N...L04 W – 6*
 N...X115*
 N...L04 W – 6*
 N...X116*
 N...L04 W – 6*
 N...X332 Z 2E*
 N...Z0*
 N...G10*
 N...L05 X114*
 N...X116 Z – 5*
 N...L05 X102*

Разработанные по предложенной методике технологические блоки (ТБИ) и модули управляющих программ (МУП) позволяют производить многопроходную обработку поверхностей и уменьшить трудоемкость разработки модульных технологических операций.

Список литературы: 1. Базров Б.М. Концепция модульного построения механосборочного производства // Станки и инструмент, 1989, №11. – С. 16-19. 2. Базров Б.М. Организация проектирования модульных технологических процессов изготовления деталей // Вестник машиностроения, 1995, №5. – С. 23-28. 3. Стискин Г.М., Гаевский В.Д. Токарные станки с оперативным программным управлением. – К.: Техника, 1989. – 176 с.

Поступила в редколлегию 10.10.07

УДК 621.753.5

В.А. БОРОДИНОВ, В.Н. ВЛАСЕНКО, С.С. ДОБРОТВОРСКИЙ, Л.Г. ДОБРОВОЛЬСКАЯ, В.М. ПОЛТАВСКАЯ

ОСОБЕННОСТИ ШЛИФОВАНИЯ СФЕРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ С КЕРАМИЧЕСКИМИ ГАЗОДЕТОНАЦИОННЫМИ ПОКРЫТИЯМИ

В работе рассмотрены особенности шлифования сферических поверхностей после нанесения на них керамического слоя методом газодетонационного напыления.

Уроботі розглянуто особливості шліфування сферичних поверхонь після нанесення на них керамічного шару методом газодетонаційного напилювання.

В настоящее время наиболее перспективным методом повышения надежности и работоспособности шаровых кранов, получающих все более широкое применение в газодобыче, химическом машиностроении и других отраслях, является нанесение газодетонационным методом керамических покрытий на основе оксида алюминия Al_2O_3

Поскольку указанная керамика обладает повышенной износостойкостью, хорошими антифрикционными свойствами, химически инертна, то определяющим фактором, регламентирующим герметичность крана, его надежность, является качество рабочих поверхностей шаров и седел после шлифования.

Следует отметить, что поскольку некоторые конструкции шаровых кранов рассчитаны на длительный срок эксплуатации при рабочих давлениях 35 МПа и более, то требования к шероховатости и геометрической форме сферических поверхностей шаров и седел довольно жесткие. Так, шаровые краны, применяемые в фонтанных арматурах газовых скважин и работающие при давлениях более 35 МПа, должны иметь отклонения от круглости в пределах 0,01 мм, а шероховатость поверхности Ra 0,32-0,16.

Требуемая шероховатость сферических поверхностей с керамическим покрытием достигается применением рациональных режимов шлифования с последующей притиркой.

Точность же геометрической формы при шлифовании сферической поверхности шаров и седел зависит от нескольких факторов, к основным из которых относятся: жесткость используемого оборудования и оснастки, а также точность позиционирования обрабатываемой детали.

При механической обработке тонкого (0,2 ... 0,3 мм) детонационного покрытия необходимо обеспечить минимально возможную его разнотолщинность. Допустимая разнотолщинность, по нашему мнению, не должна превышать 0,05 мм. Тогда допуск на величину смещения, получаемого в результате обработки поверхности покрытия, относительно поверхности заготовки шара (подложки) составит $\pm 0,025$ мм. Заметим, что эта величина определяет допустимую точность позиционирования обрабатываемого шара с покрытием вдоль горизонтальной оси его вращения – “Х”. Что же касается точности позиционирования шара в поперечном направлении, перпендикулярном горизонтальной оси, то эта точность определяется исключительно требованием к шарообразности (круглости). Приняв допуск некруглости равным 0,01 мм, оценим допустимую точность поперечного позиционирования шара с покрытием или, другими словами, смещение горизонтальной оси вращения шара относительно вертикальной оси его поворота - ΔY . На рис. 1 приведена расчетная геометрическая схема, где $Rш$ - радиус шара, $Ош$ - вертикальная ось заготовки шара, $Х$ - горизонтальная ось вращения шара, $А$, $В$ - точки на поверхности шара (крайние точки в пределах угла обработки); α - угол обработки поверхности шара, $Оп$ - вертикальная ось поворота шара, $гп$ - радиус поворота точек $А$, $В$ вокруг вертикальной оси, ϵ - величина, равная половине отклонения от круглости, ΔY - смещение горизонтальной оси вращения шара

относительно вертикальной оси его поворота.

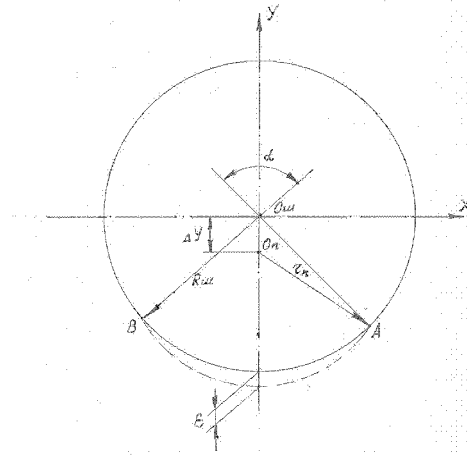


Рис.1. Геометрическая схема.

Получена следующая математическая зависимость:

$$\Delta Y = \frac{\epsilon(2R + \epsilon)}{2R(1 - \cos(\alpha/2)) + 2\epsilon}$$

Расчетным путем установлено, что величина ΔY весьма незначительно зависит от величины радиуса шара – Rш.

На рис. 2 приведены расчетные зависимости $\Delta Y = f(\epsilon)$ для различных углов α (от 90° до 110°).

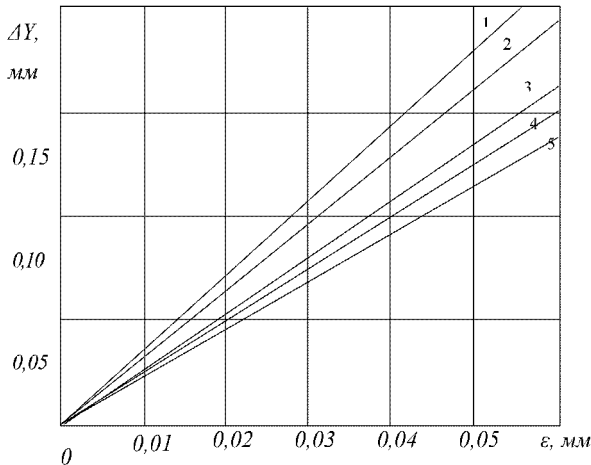


Рис.2 1- $\alpha=90^\circ$; 2- $\alpha=95^\circ$; 3- $\alpha=100^\circ$; 4- $\alpha=105^\circ$; 5- $\alpha=110^\circ$.

Анализ полученных графиков показал, что с допустимой степенью точности эти зависимости можно представить в виде линейной функции $\Delta Y = K \epsilon$, где K - коэффициент, зависящий от величины угла « α ». Значения K для углов от 90° до 110° приведены в таблице

α	K
90°	3,39
95°	3,07
100°	2,79
105°	2,54
110°	2,34

Таким образом, при допуске некруглости, равном $0,01$ мм ($\epsilon=0,005$ мм), величина поперечного смещения оси шара ΔY для углов в диапазоне от 90° до 110° не должна превышать значений от $0,017$ мм до $0,012$ мм. Такая точность требует столь же точных механизмов, обеспечивающих позиционирование и обработку шара с покрытием.

В Государственном предприятии «Харьковский научно-исследовательский институт технологий машиностроения» (ГП ХНИИТМ) было спроектировано и изготовлено механизированное устройство для шлифования шаров и седел с керамическим детонационным покрытием Al_2O_3 . Устройство обеспечивает: закрепление заготовки шара на оси шпинделя с помощью цангового зажима, одновременное вращение шара вокруг горизонтальной оси и поворот его вокруг вертикальной оси в процессе обработки его шлифовальным кругом, выполнение продольной и поперечной коррекции положения шара относительно вертикальной оси его поворота. Винты продольной и поперечной коррекции обеспечивают "сочетную" подачу, контролируемую с помощью постоянно закрепленных индикаторов часового типа ИЧ-10. При этом индикатор поперечной коррекции регистрирует величину смещения осей - ΔY . Путем измерения крутости, получаемой при шлифовании шара, и определения величины « ϵ », по формуле $\Delta Y = K \epsilon$, определяется величина необходимой поперечной коррекции. После выполнения коррекции суппорты фиксируются зажимными винтами.

Скорость поворота шара вокруг вертикальной оси составляет от $0,2$ до $0,6$ об/мин. Сменная оснастка позволяет производить также шлифование внутренней сферической поверхности седел.

С использованием алмазного круга на различных режимах были шлифованы более 200 шаров и седел диаметром от 80 до 132 мм, а также шаровые шарниры с керамическим детонационным покрытием Al_2O_3 . Некруглость не превышала $0,01$ мм, шероховатость поверхности находилась в пределах $Ra 0,3 \dots 0,1$.

Для шаровых кранов с рабочим давлением до 6 МПа последующей притирки шаров и седел не требовалось, для кранов с рабочим давлением 21 и 35 МПа требовалась незначительная притирка с использованием алмазной пасты.

Таким образом, можно сделать вывод, что разработанная технология

шлифования сферических поверхностей с керамическим детонационным покрытием удовлетворяет всем техническим требованиям и позволяет повысить надежность и работоспособность шаровых кранов.

Механизированное устройство для шлифования сферических поверхностей запатентовано в Украине.

Список литературы: 1. Бартев С.С., Федько Ю.П., Григоров А.И. «Детонационные покрытия в машиностроении», Л. 1982,-215 с.

Поступила в редколлегию 10.10.07

УДК 389.64

О.Е. МАЛЕЦКАЯ, Р.М. ТРИЦ

ОЦЕНИВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ ПРОГРАМНО-ТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Для оцінки величини поля розсіювання похибок вимірювальних каналів програмно-технічних комплексів запропоновано застосовувати оптимальні лінійні незміщені оцінки розмаху для рівномірного закону розподілу. Розроблено алгоритм оцінки величини їх похибки, який апробований при проведенні метрологічної атестації.

Введение и постановка задачи исследования.

В настоящее время для управления различными технологическими процессами широко применяются автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП). Функционирование таких систем обеспечивает оперативное получение достоверной информации о контролируемых параметрах технологического процесса и состоянии технологического оборудования, принятие на основе полученной информации оптимальных управляющих воздействий на устройства управления.

Для получения информации о контролируемых параметрах технологического процесса и состоянии технологического оборудования, используются измерительные каналы АСУ ТП, которые представляют собой совокупность датчиков, линий связи и программно-технического комплекса. Метрологические характеристики измерительных каналов АСУ ТП оказывают непосредственное влияние на эффективность функционирования этих систем.

Программно-технический комплекс (ПТК) представляет собой гибкую структуру аппаратных и программных средств, обеспечивающих управление и контроль объектами. Надежный контроль и управление технологическими процессами достигается применением при разработке ПТК современных контроллеров - микропроцессорных модулей, которые изготавливаются различными иностранными фирмами: «Tomson», «Serck Controls», «Emerson», «Motorolla», «MOSCAD», «ABB», «Octagon Systems», «Advantech», «ICP

DAS», «GE FANUC» и другими, а также и украинскими предприятиями.

В состав ПТК входят:

устройства пунктов управления (ПУ);

устройства базовых контролируемых пунктов (КП), в том числе и модули измерения аналоговых сигналов (аналоговые модули);

программное обеспечение;

сервисное оборудование.

Функциональные возможности ПТК обеспечивают такие задачи контроля и управления, как:

автоматический контроль технологических параметров;

вычисление расхода и объема веществ и материалов при реализации технологического процесса;

дистанционного автоматизированного и (или) автоматического управления технологическими объектами.

При выборе конструктивных и схемных решений ПТК учитываются следующие факторы:

гибкая структура аппаратных и программных средств контролируемого пункта;

максимальная универсальность канального модуля связи с объектом, позволяющая обеспечить любую необходимую конфигурацию аналоговых и дискретных каналов;

обеспечение подключаемыми модулями измерения и управления необходимым количеством параметров КП;

обеспечение модулем центрального контроллера КП обработки информации с высокой скоростью и наличие достаточного числа внешних портов для работы с модулями КП, различными внешними устройствами (например, счетчиками учета электроэнергии, вычислителями расхода материала и т. д.) и модулями основного и аварийного каналов связи с пунктом управления.

Применяемое в ПТК программное обеспечение является открытым и универсальным для любой конфигурации измерительных и управляющих каналов, позволяет легко тестировать и настраивать оборудование, обеспечивает архивацию событий и действий оператора.

В связи с тем, что ПТК разрабатываются под конкретные АСУ ТП, то для установления метрологических характеристик измерительных каналов ПТК проводится их метрологическая аттестация. Целью метрологической аттестации является установление метрологических характеристик измерительных каналов ПТК и подтверждение их соответствия требованиям технического задания на разработку АСУ ТП [1].

Однако проведение метрологической аттестации измерительных каналов ПТК влияет на стоимость этого оборудования в целом, т.к. чем больше количество измерительных каналов, тем больше трудоемкость проведения экспериментальных исследований, необходимых для оценки метрологических характеристик этих каналов. Количество исследуемых точек в диапазоне измерений измерительного канала и число наблюдений в исследуемых

точках диапазона измерений при экспериментальных исследованиях устанавливается в соответствии с приложениями 5 и 6 МИ 2002 [1]. Проведение метрологической аттестации представительной выборки измерительных каналов также не устраняет эту проблему, т.к. при этом уменьшается достоверность контроля измерительных каналов.

Оценка метрологических характеристик измерительных каналов.

В соответствии с теорией погрешности средств измерительной техники погрешность измерительных каналов представляет собой совокупность случайной и систематической составляющих погрешности, которые нормируются и оцениваются в соответствии с ГОСТ 8.009 [2].

Практика проведения метрологической аттестации измерительных каналов ПТК показала, что погрешность измерительных каналов ПТК представлена систематической составляющей, зависящей от погрешности эталонного средства измерительной техники, которое применяется для имитации выходных сигналов датчиков, и от точности преобразования измерительного сигнала в модулях измерения аналогового сигнала, которые входят в состав ПТК. Пример результатов наблюдений при проведении экспериментальных исследований измерительных каналов ПТК, в котором использованы аналоговые модули «MOSCAD», в диапазоне измерения одной измеряемой величины, приведен в таблице 1.

Таблица 1. – Пример результатов наблюдений при проведении экспериментальных исследований измерительных каналов ПТК

Диапазон измерения физической величины, ед. изм.	Диапазон входного сигнала ПТК, соответствующий измеряемой величине, мА	4 мА/ 0 ед. изм.	8 мА/ 15 ед. изм.	12 мА/ 30 ед. изм.	16 мА/ 45 ед. изм.	20 мА/ 60 ед. изм.
0-60	4-20	0,04	15,06	30,04	45,03	60,06
		0,04	15,06	30,04	45,03	60,06
		0,04	15,06	30,04	45,03	60,06
		0,04	15,06	30,04	45,03	60,06

Как видно из приведенного примера, случайная составляющая погрешности настолько мала, что при требуемой точности измерительных каналов ПТК не наблюдается и значит этой составляющей можно пренебречь. Таких примеров можно привести достаточное количество для аналоговых модулей различных фирм. Однако, в настоящее время не разработана методика оценки погрешности средств измерительной техники, представляющих собой программно-техническое средство. Если использовать классический метод оценки погрешности средств измерительной техники, например, методику расчета погрешности средств измерительной техники, приведенную в [2], то предполагается проведение достаточно большого количества наблюдений

при экспериментальных исследованиях – не менее 10 при подходе со стороны меньших значений и не менее 10 при подходе со стороны больших значений. Такая методика для измерительных каналов (ИК) ПТК может быть целесообразной исходя из их конструктивной особенности, которая определяется применением программно-технических средств.

На основании выше изложенного можно сделать вывод, что проблема оценки погрешности ИК ПТК в настоящее время достаточно актуальна. В соответствии с [3], проведение многократных наблюдений необходимо при наличии случайной составляющей погрешности, а систематические погрешности не уменьшаются при любом числе усредняемых отсчетов. В результате проведенных экспериментальных исследований было сделано предположение, что уменьшение количества наблюдений в каждой исследуемой точке диапазона измерений ИК ПТК может дать положительные результаты и не уменьшит достоверность установления и контроля их метрологических характеристик.

Для установления возможности применения малой выборки при оценке погрешности ИК ПТК, прежде всего, рассмотрим закон распределения их погрешности. Если предположить, что погрешность ИК ПТК в основном представлена систематической составляющей, то в соответствии с [2] и [3] можно принять равномерный закон ее распределения. Функция распределения равномерного закона принимает значения в пределах некоторого конечного интервала от X_1 до X_2 с постоянной плотностью вероятностей. Плотность распределения определяется по формуле (1):

$$P(X) = 1/(X_2 - X_1) = \text{const} \text{ при } X_1 < X < X_2 \quad (1)$$

$$P(X) = 0 \text{ при } X < X_1, X > X_2.$$

Измеренное ИК ПТК значение параметра при такой функции плотности распределения находится в интервале:

$$X_d - \Delta \leq X \leq X_d + \Delta, \quad (2)$$

где X_d - действительное значение измеряемого ИК ПТК параметра (значение, задаваемое с помощью эталонного СИТ на вход модулей измерения аналогового сигнала);

X - измеренное ИК ПТК значение параметра;

Δ - абсолютная погрешность измерения ПТК.

Поле рассеивания погрешности ИК ПТК можно оценить по формуле (3)

$$w = 2\sqrt{3} \cdot \sigma, \quad (3)$$

где σ - средне квадратическое отклонение погрешности.

В общем случае при измерениях оценка поля рассеивания является состоятельной и смещенной, при чем смещение уменьшается с ростом n . Это смещение в среднем составляет, для равномерного закона распределения при $n = 5$ - 4%, при $n = 10$ - 1,5%, и при $n = 50$ - 0,4%.

В соответствии с методом Ллойда по способу наименьших квадратов А. Сарханом и Б. Гринбергом найдены оптимальные линейные несмещенные

оценки для равномерного закона распределения [4], которые представляют собой функции только экстремальных значений выборки:

$$\theta_1^* = \frac{1}{2}(X_{(n)} + X_{(1)}), \quad (4)$$

$$\theta_2^* = \frac{n+1}{n-1}(X_{(n)} - X_{(1)}), \quad (5)$$

где θ_1^* - несмещенная оценка математического ожидания результатов измерения;

θ_2^* - несмещенная оценка размаха результатов измерения,

$X_{(1)}$ - наименьшее значение из ряда результатов n наблюдений;

$X_{(n)}$ - наибольшее значение из ряда результатов n наблюдений,

Дисперсии этих оценок равны:

$$D[\theta_1^*] = \frac{\theta_2^2}{2(n+1)(n+2)} \quad (6)$$

и

$$D[\theta_2^*] = \frac{2\theta_2^2}{(n+2)(n-1)}, \quad (7)$$

а ковариация оценок $\text{Cov}[\theta_1^*, \theta_2^*] = 0$.

На рисунках 1 и 2 показано, что начиная с объема выборки $n = 10$, при фиксированном эмпирическом размахе $w = X_{(n)} - X_{(1)}$, оценка поля рассеивания практически не изменяется. Отсюда следует, что данная оценка применима при малых объемах выборки n .

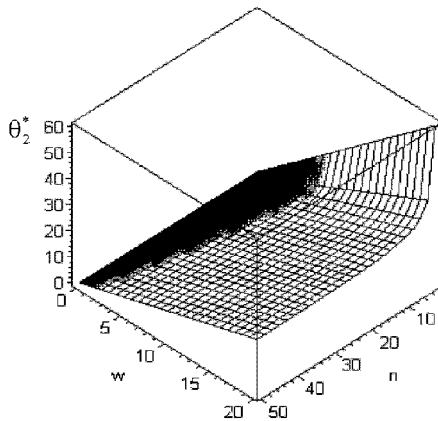


Рис. 1 - Оценка поля рассеивания (5) в зависимости от эмпирического размаха w и объема выборки n .

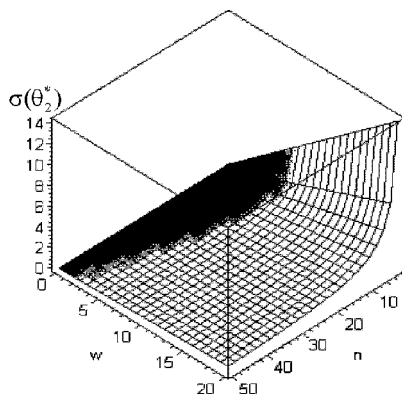


Рис. 2 - Величина ошибки оценки поля рассеивания (5) в зависимости от эмпирического размаха w и объема выборки n .

На рисунке 2 представлена величина ошибки поля рассеивания, по которой, при заданной ошибке и величине эмпирического размаха w можно найти необходимый объем выборки n .

В [4] было показано, что для равномерного распределения экстремальные значения $X_{(1)}$ и $X_{(n)}$ являются достаточные статистики. Поэтому оценки θ_1^* и θ_2^* оказываются наилучшими среди всех возможных.

Статистический анализ показал, что наименьшую дисперсию для равномерного распределения имеет оценка (5), вычисляемая по формуле (7). Эффективность оценки (5) определяемая как отношение дисперсий оценок (5) к дисперсиям оценки (3) при $n = 5$ - равна 0,93, при $n = 10$ - 0,67, а при $n = 50$ - равна 0,19. Отсюда следует, что оценка (3) с ростом n уменьшает ошибку оценки фактического поля рассеивания результатов измерения, но не так быстро, как оценка (5). Следовательно, для решения задач оценки погрешности измерений в условиях ограниченного количества статистических данных, нужно применять оценку поля рассеивания результатов измерения (5). Это позволит получить большую достоверность результата.

При проведении экспериментальных исследований, результаты которых используются для оценки погрешности ИК ПТК, одному измерению соответствует n наблюдений, которые получены как результат измерения измерительным каналом ПТК одного и того же значения, задаваемого эталонным средством измерительной техники для имитации выходного сигнала датчика ИК. По результатам метрологической аттестации устанавливается соответствие погрешностей ИК ПТК требованиям технического задания на разработку АСУ ТП.

Для оценки количества наблюдений при одном измерении используем формулу (5), в которой примем размах равным удвоенному значению требуемой в техническом задании погрешности соответствующего ИК ПТК. При

этом количество наблюдений при измерении определяется по формуле:

$$n = \frac{(X_{(n)} - X_{(1)}) + 2\Delta}{2\Delta - (X_{(n)} - X_{(1)})}, \quad (8)$$

где Δ – значение абсолютной погрешности соответствующего ИК ПТК по техническому заданию;

$(X_{(n)} - X_{(1)})$ – возможное максимальное расхождение между наблюдениями при одном измерении, если случайная погрешность не существенна, которое равно единице младшего разряда индицируемого на выходе ПТК значения измеряемой физической величины.

Применение формулы (8) для расчета необходимого количества наблюдений в одной исследуемой точке диапазона измерения позволяет учесть требуемую точность измерения контролируемого параметра и установить оптимальное количество наблюдений. Однако необходимо иметь ввиду, что минимальное количество наблюдений в одной исследуемой точке должно быть не менее 2.

Таким образом, имеем алгоритм оценки погрешности ИК ПТК:

1– установление требований технического задания на разработку или модернизацию АСУ ТП к погрешности каждого измерительного канала ПТК;

2– выбор эталонного средства измерительной техники для каждого ИК ПТК, которое используется для имитации выходного сигнала датчика, входящего в состав данного ИК;

3– формирование перечня ИК ПТК, которые образованы каждым модулем измерения аналоговых сигналов КП, и представления в виде таблицы функции преобразования ПТК – соответствие входного сигнала ПТК информационному сигналу об измеряемом параметре на пульте управления (автоматизированном рабочем месте оператора);

4 – проведение исследований одного ИК ПТК по каждому модулю измерения аналогового сигнала на существенность случайной составляющей погрешности и наличие вариации. При установлении существенности случайной составляющей погрешности и/или наличия вариации, дальнейшие экспериментальные исследования проводятся в соответствии с [2]. При установлении несущественности случайной составляющей погрешности и/или вариации переходим к шагу 5;

5 – установление количества наблюдений в соответствии с формулой (8);

6 – проведение экспериментальных исследований;

7 – расчет погрешности ИК ПТК.

Предложенный алгоритм оценки погрешности ПТК был опробован при проведении метрологической аттестации ИК ПТК. Полученные и проанализированные результаты доказывают, что применение такого алгоритма значительно сокращает время, необходимое на проведение метрологической аттестации ИК ПТК, при сохранении достоверности полученных оценок погрешности ИК.

Выводы.

1. Для оценки поля рассеивания ИК ПТК предложено применять оптимальные линейные несмещенные оценки размаха для равномерного закона распределения.
2. Разработан пошаговый алгоритм оценки погрешности ИК ПТК
3. Предложенный алгоритм оценки погрешности ПТК был опробован при проведении метрологической аттестации ИК ПТК.

Список литературы: 1. МИ 2002-89 ГСИ. Системы информационно-измерительные. Организация и порядок проведения метрологической аттестации. 2. ГОСТ 8.009-84 ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений. 3. П.В.Новицкий, И.А.Зограф Оценка погрешности результатов измерений.-2-е изд., перераб. - Л.: Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1991.-304с. 4. Введение в теорию порядковых статистик. Под ред. А.Я. Боярского, М.: Статистика, 1970, 416 с.

Поступила в редколлегию 10.10.07

УДК 621. 9.

В. Е. КАРПУСЬ, А. В. КОТЛЯР

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИНТЕНСИВНОСТИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПА ВАЛ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ СТАНКОВ

В статті представлений порівняльний аналіз інтенсивності формоутворення деталей типу вал для різних верстатів. Проведено порівняльне співвідношення режимів різання за допомогою коефіцієнту напруження режимів різання. Приводяться значення коефіцієнта циклової та нормативної інтенсивності формоутворення для різних методів і характерів обробки.

The article describes the analysis of the details type shaft forming intensity for different machine tools. The comparison of the cutting conditions with assistance the tension cutting conditions coefficient are make. The meaning of the cycle and normative coefficient forming intensity for different methods and character processing are given.

В конструкциях узлов, механизмов и агрегатов многих объектов машиностроительного производства детали типа вал (вал, палец, шток, ось) составляют значительную часть номенклатуры всех деталей. Наибольшее распространение получили валы, которые являются основными деталями для передачи вращательного движения и крутящего момента. Они представляют собой различные по форме, размерам, назначению, сложности и трудоемкости изготовления конструкции. Основными представителями среди них являются ступенчатые валы малых и средних размеров ($d < 100\text{мм}$; $L < 1000\text{мм}$), изготавливаемые из различных материалов. Основу конструкции таких деталей составляют наружные поверхности вращения (цилиндрические, конические, сферические), среди которых преобладают цилиндрические поверхности с различными требованиями, предъявляемыми к ним по

точности, шероховатости и взаимному расположению.

Основным оборудованием для изготовления валов являются станки токарной и шлифовальной групп, которые в зависимости от производственных условий, программы выпуска и конструктивно-технологических особенностей детали могут располагаться на отдельных участках, компоноваться в гибкие производственные модули (ГПМ), встраиваться в поточные и автоматические линии (АЛ). Различные типы металлорежущих станков существенно отличаются друг от друга, как по производительности, так и по технологическим возможностям. Это усложняет задачу выбора оптимальной структуры технологического процесса с учетом принятых критериев оптимальности, к числу которых относится, например, максимальная производительность, себестоимость изготовления единицы продукции с учетом амортизационных отчислений на оборудование и производственные площади, которые оно занимает. Необходимо учитывать возможность изготовления детали в рамках действующего производства. Следует отметить, что на сегодняшний день последний фактор может иметь решающее значение, так как возможность приобретения и внедрения нового более совершенного и производительного оборудования может быть неосуществима ввиду отсутствия средств и производственных условий, необходимых для его эксплуатации.

Наибольшее количество технологических переходов, выполняемых при изготовлении деталей типа вал, осуществляется на станках токарной группы, которая отличается существенным многообразием и обеспечивает многовариантность выбора структуры технологического процесса. В зависимости от программы выпуска и конструктивно-технологических особенностей валы могут изготавливаться на токарно-винторезных станках с ручным управлением (РУ), токарных станках с ЧПУ, многорезцовых и копировально-многорезцовых токарных полуавтоматах, а также токарно-револьверных автоматах и полуавтоматах. В качестве оборудования для обеспечения высоких требований к точности и шероховатости отдельных поверхностей деталей типа вал используются шлифовальные станки. К числу наиболее часто применяемых шлифовальных станков относятся круглошлифовальные станки с ручным управлением, круглошлифовальные с ЧПУ и бесцентрово-шлифовальные станки. Каждый тип станка характеризуют определенные технологические возможности, гибкость и производительность, которые определяют область его наиболее эффективного применения. Основными факторами, определяющими потенциальные производственные возможности станка являются: время переналадки на изготовление другого типоразмера детали; время на установку, закрепление и снятие заготовки; время на подготовку станка к пуску; время на холостые перемещения рабочих органов; время на обслуживание рабочего места, отдых и личные надобности рабочего.

К числу факторов, от которых зависит производительность оборудования, относится возможность выполнения обработки на расчетных (нормативных) режимах резания (скорость, подача), которая обеспечивается кинематикой станка.

На рис. 1 показаны соотношения значений режимов резания, рассчитанных по нормативах [1,2,3] и принятых по паспорту станка при черновой обработке валов на различных типах токарных станков.

Оценить возможность выполнения обработки на расчетных режимах резания можно с помощью коэффициентов напряженности режимов резания, определенных по формулах:

$$K_{HV} = V/V_p ; K_{HS} = S/S_p$$

где V_p, S_p – параметры режимов резания, рассчитанные по нормативам; V, S – параметры режимов резания, принятые по паспорту станка.

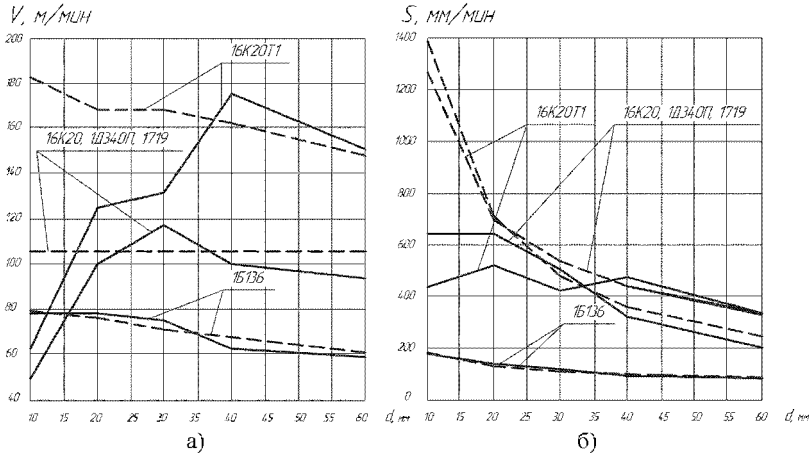


Рис. 1 – Уровни режимов резания (а – скорость резания; б – минутная подача) при черновой обработке стального вала на различных типах токарных станков: (—) – рассчитанные по нормативам; (---) – принятые по паспорту станка

На рис. 2 показаны значения коэффициента напряженности режимов резания при черновой обработке стальной детали типа вал для различных типов токарных станков.

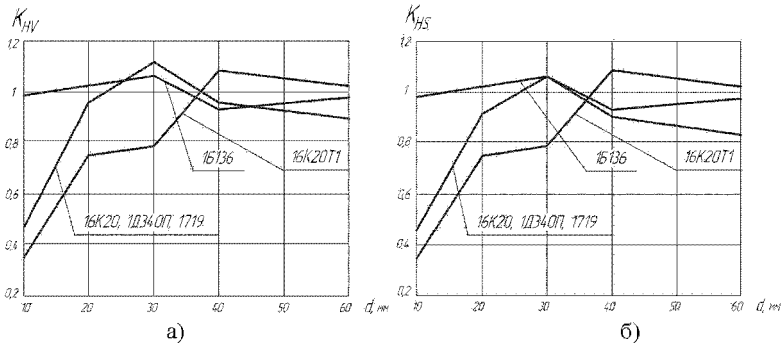


Рис. 2 – Значения коэффициента напряженности режимов резания (а – скорость резания; б – подача на оборот) при черновой обработке стального вала на различных типах токарных станков

Анализ показал, что почти все станки (кроме токарно-револьверного автомата) не обеспечивают установку расчетных режимов резания на малых диаметрах обработки из-за отсутствия высоких значений частоты вращения шпинделя и подачи на станке. Такое несоответствие увеличивается с увеличением значений расчетных режимов резания (получистовая и чистовая обработка легкообрабатываемых материалов). Этому недостатка лишен окарно-револьверный автомат, основным предназначением которого является обработка деталей из прутка небольшого диаметра.

Технический уровень металлорежущего оборудования позволяет оценить критерий "интенсивность формообразования"[6]. Интенсивность формообразования является системным показателем, соответствующим структуре технологической системы и представляющим собой фиктивную скорость рассредоточенного воздействия режущих инструментов на заготовку с учетом влияния технологических, конструктивных и эксплуатационных факторов. Различают технологическую W_T , мм/мин цикловую $W_{Ц}$, мм/мин и нормативную W_H , мм/мин интенсивности формообразования. Технологическая интенсивность формообразования учитывает только значения режимов резания, а цикловая и нормативная определяется с учетом внутрицикловых и внецикловых потерь времени.

Наибольший практический интерес представляет нормативная интенсивность формообразования, которая учитывается при определении производительности металлорежущих станков.

При выборе оптимальной структуры технологического процесса изготовления деталей необходимо располагать количественными показателями интенсивности формообразования различных типов металлорежущих станков, применяемых для их изготовления. Имея эти данные можно оценивать возможные варианты технологических процессов на начальных этапах проектирования, в том числе и при многокритериальной оптимизации.

Для объективной оценки и сравнения интенсивности формообразования различных типов металлорежущих станков следует проводить ее анализ с учетом характера обработки (черновая или чистовая) и материала заготовки. В дальнейшем с помощью этих данных можно выявить лимитирующие переходы и операции в рамках всего технологического процесса и при необходимости изменить или заменить на другие, более производительные, с целью оптимизации и сокращения времени, затрачиваемого на обработку детали.

Для определения значений интенсивности формообразования на основании аналитических расчетов по общемашиностроительным нормативам времени и режимов резания[1-5] путем аппроксимации с помощью прикладной программы MathCAD получены полиномиальные зависимости для различных типов станков, характера обработки (черновая или чистовая) и материалов (сталь, чугун, алюминий). При этом учитываются конструктивные параметры детали и обрабатываемых поверхностей, а также технологические особенности обработки и степень концентрации технологических пере-

ходов.

В общем случае эти зависимости имеют вид:

$$W = (a \cdot e^{b \cdot d} + c) \cdot (m \cdot \ln(L + f) + g) \cdot (h + k \cdot N)$$

где a, b, c, f, g, h, k, m – числовые значения, характеризующие тип станка, характер и условия обработки, материал заготовки; d – диаметр обработки, мм; L – длина обработки, мм; N – количество инструментов в наладке, шт.

Предложенные полиномиальные зависимости обеспечивают получение значений интенсивности формообразования с допустимой величиной погрешности по сравнению со значениями, полученными аналитически, которая в некоторых случаях составляет $\pm 10\%$, а в большинстве случаев находится в пределах $\pm 5\%$. Данные результаты позволяют использовать полиномиальные зависимости при укрупненных расчетах интенсивности формообразования.

На рис. 3 показаны зависимости нормативной интенсивности формообразования от диаметра и длины обработки для различных моделей токарных станков при черновой одноинструментной обработке стальных валов.

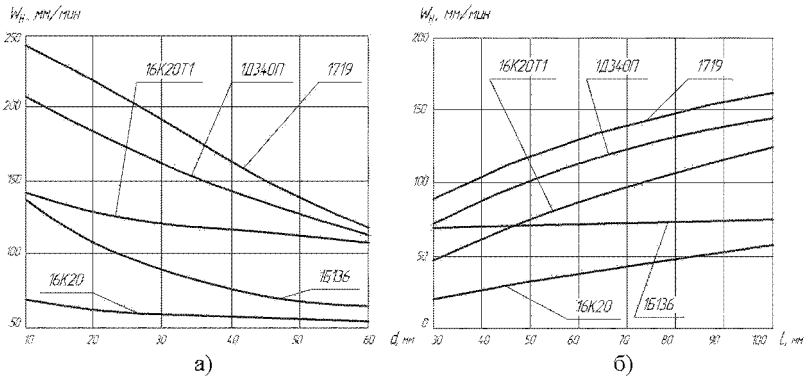


Рис. 3 – Зависимость нормативной интенсивности формообразования от диаметра (а) ($L = 100\text{мм}$) и длины обработки (б) ($d = 40\text{мм}$) для различных моделей токарных станков при черновой одноинструментной обработке стальных валов

Как видим, наибольшую интенсивность формообразования обеспечивает многолезцово-копировальный станок мод. 1719, основным предназначением которого является высокопроизводительная обработка деталей типа вала. Универсальный токарно-винторезный станок с ручным управлением мод. 16K20 имеет одно из наименьших значений интенсивности формообразования ввиду больших затрат вспомогательного времени. Невысокий уровень интенсивности формообразования имеет токарно-револьверный автомат мод. 1B136 из-за занижения нормативных значений режимов резания, которое обусловлено конструктивными (менее жесткие конструкции режущего и

вспомогательного инструментов и станка в целом) и технологическими (обработка деталей небольших размеров) особенностями станков данного типа.

Изменения диаметра и длины обработки влияют на величину интенсивности формообразования. При увеличении диаметра обработки интенсивность формообразования уменьшается из-за снижения величины подачи, при увеличении длины обработки – увеличивается из-за увеличения величины основного времени по отношению к вспомогательному. Характер и уровень изменения величины интенсивности формообразования в зависимости от диаметра и длины обработки зависит также от типа станка. Существенное влияние на величину интенсивности формообразования оказывает многорезцовая обработка (рис. 4).

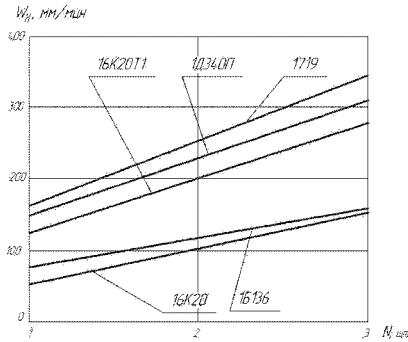


Рис. 4 – Зависимость нормативной интенсивности формообразования от количества резцов в наладке для различных моделей токарных станков при черновой обработке стального вала ($d = 40\text{мм}$; $L = 100\text{мм}$)

Масштабное соотношение величины нормативной интенсивности токарной обработки для различных типов станков с учетом характера обработки (черновая или чистовая) и типа материала заготовки показано на диаграмме (рис. 5.)

Для сравнения интенсивности формообразования валов на различных типах шлифовальных станков, определяется объемная интенсивность формообразования в $\text{мм}^3 / \text{мин}$. Зависимости объемной нормативной интенсивности формообразования от диаметра и длины обработки для различных моделей шлифовальных станков при черновом шлифовании стальных деталей, показаны на рис. 6. Как видим, наибольшее влияние на величину объемной интенсивности формообразования при шлифовании оказывает диаметр обрабатываемой поверхности. Уровень интенсивности формообразования зависит от модели станка и способа шлифования (с продольной или поперечной подачей). На величину интенсивности формообразования при шлифовании влияет также количество обрабатываемых поверхностей на заготовке. Это влияние наиболее существенно проявляется при обработке на бесцентровошлифовальном станке мод. 3А184 (рис. 7), который позволяет осуществлять одновременное шлифование нескольких поверхностей детали.

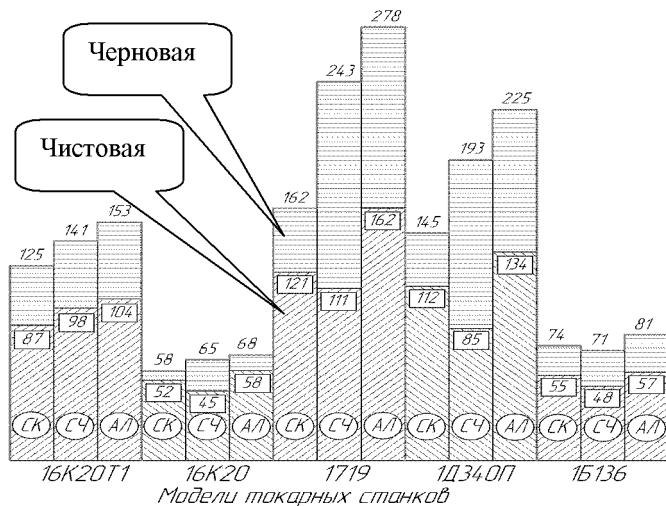


Рис. 5 – Диаграмма нормативной интенсивности (W_n , мм³/мин) токарной обработки вала ($d = 40$ мм; $L = 100$ мм): СК – сталь конструкционная; СЧ – серый чугун; АЛ – алюминий

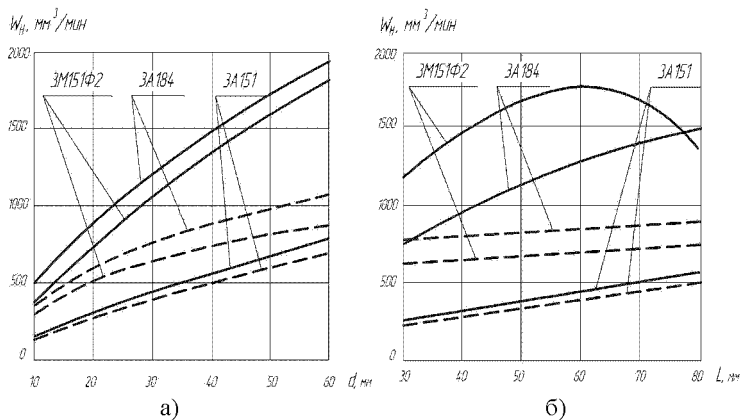


Рис. 6 – Зависимости объемной нормативной интенсивности формообразования от длины (а) ($d = 40$ мм) и диаметра обработки (б) ($L = 80$ мм) для различных моделей шлифовальных станков при черновом шлифовании стальных деталей:

(—) – с поперечной подачей; (---) – с продольной подачей

Сопоставить и сравнить уровни интенсивности токарной обработки (технологическая, цикловая, нормативная) различных типов станков позволяет диаграмма, представленная на рис. 8.

На производительность станка существенное влияние оказывают вели-

чины внутрицикловых и внецикловых потерь времени, которые зависят от параметров (диаметр, длина) и характера (черновая или чистовая) обработки, а также материала заготовки и типа станка. Определить и сопоставить их величины на отдельных этапах производственного цикла позволяют коэффициенты цикловой и нормативной интенсивности формообразования, определяемые по формулам:

$$K_{Ц} = W_{Ц} / W_T; \quad K_H = W_{Ц} / W_H$$

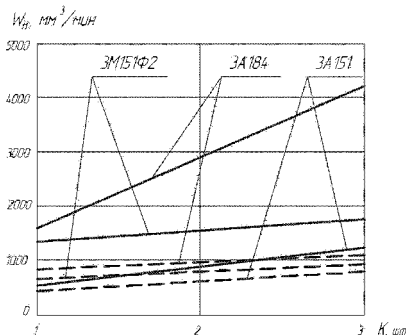


Рис. 7 – Зависимость объемной нормативной интенсивности

формообразования от количества обрабатываемых поверхностей на заготовке для различных моделей шлифовальных станков при черновой обработке стальной детали ($d = 40\text{мм}$; $L = 80\text{мм}$)

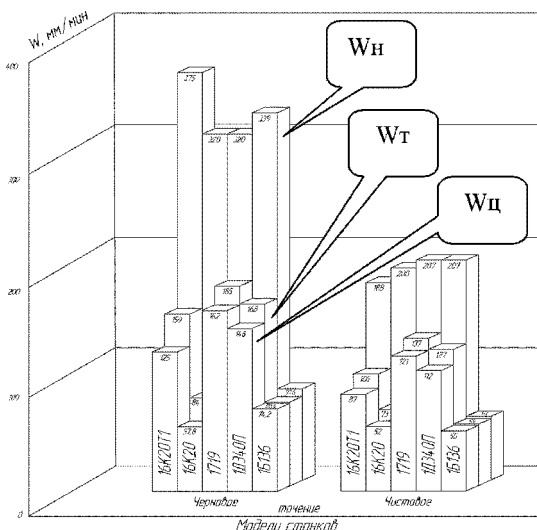


Рис. 8 – Соотношение уровней интенсивности токарной обработки для различных типов станков при обработке стального вала ($d = 40\text{мм}$; $L = 100\text{мм}$)

На рис. 9, 10, 11 показаны зависимости коэффициентов цикловой и нормативной интенсивности формообразования от диаметра и длины обработки, а также твердости обрабатываемого материала при черновом точении стального вала.

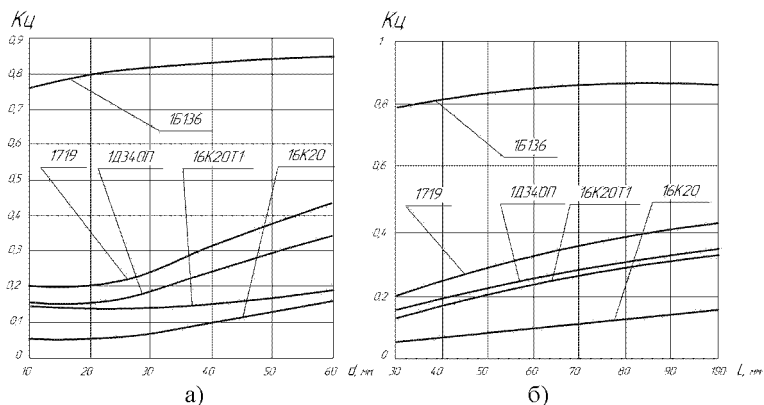


Рис. 9 – Зависимость коэффициента цикловой интенсивности формообразования от диаметра (а) и длины (б) при черновой обработке стального вала на различных типах токарных станков

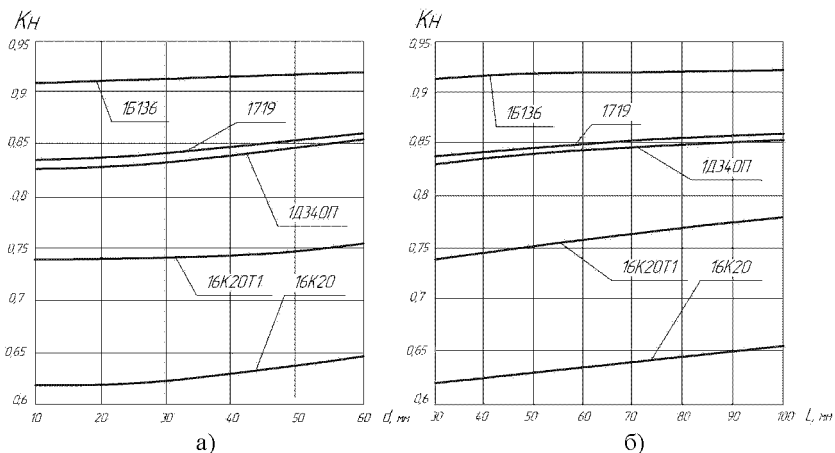


Рис. 10 – Зависимость коэффициента нормативной интенсивности формообразования от диаметра (а) и длины (б) при черновой обработке стального вала на различных типах токарных станков

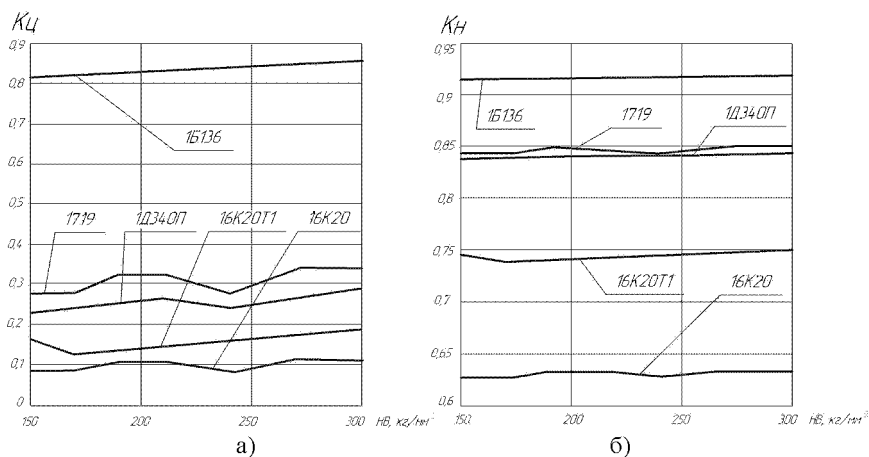


Рис. 11 – Зависимость коэффициента цикловой (а) и нормативной (б) интенсивности формообразования от твердости заготовки при черновой обработке стального вала ($d = 40\text{мм}$; $L = 100\text{мм}$) на различных типах токарных станков

Исходя из графических зависимостей видим, что уровень коэффициентов цикловой и нормативной интенсивности формообразования и соответственно величины внутрицикловых и внецикловых потерь времени главным образом, зависит от степени автоматизации станка. С увеличением степени автоматизации станка внутрицикловые потери времени уменьшаются.

Диаметр и длина обрабатываемой поверхности также влияют на величины коэффициентов цикловой и нормативной интенсивности формообразования, которые возрастают с их увеличением. Наиболее существенно они влияют на коэффициент цикловой интенсивности формообразования.

Незначительное влияние на величину коэффициентов цикловой и нормативной интенсивности формообразования оказывает твердость материала обрабатываемой заготовки.

Величина коэффициента цикловой интенсивности формообразования имеет значительно меньшие значения по сравнению с коэффициентом нормативной интенсивности формообразования за счет существенного влияния вспомогательного времени. Этому влияния лишен токарно-револьверный автомат мод. 1Б136, структура рабочего цикла которого наиболее оптимальна и обеспечивает наименьшие внутрицикловые потери времени.

Наглядно оценить и сравнить уровни значений коэффициентов цикловой и нормативной интенсивности формообразования при точении и шлифовании на различных типах станков позволяют диаграммы, показанные на рис. 12, 13.

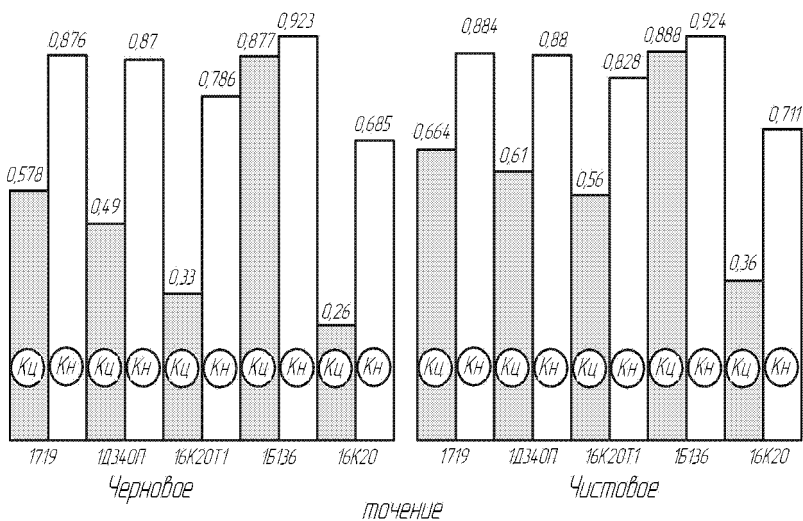


Рис. 12 – Значения коэффициентов цикловой и нормативной интенсивности формообразования при обработке стального вала ($d=40$; $L=100$ мм) на различных моделях токарных станков

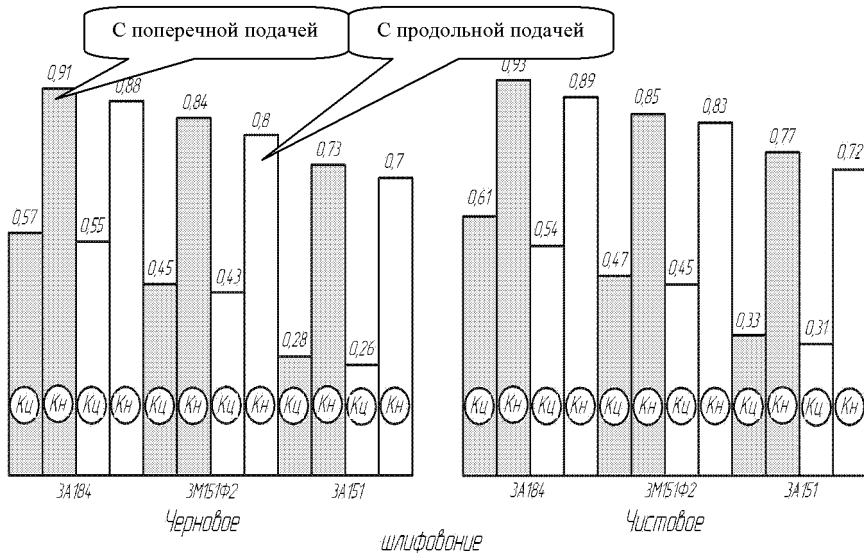


Рис. 13 – Значения коэффициентов цикловой и нормативной интенсивности формообразования при обработке стального вала ($d=40$; $L=80$ мм) на различных моделях шлифовальных станков

Выводы:

1. Величина внутрицикловых потерь времени в большей степени зависит от параметров обрабатываемой детали (диаметр и длина) чем от характера обработки (черновая или чистовая) и твердости материала заготовки.
2. На величину внецикловых потерь времени параметры обрабатываемой детали и характер обработки оказывают меньшее влияние.
3. Основное влияние на величину потерь времени оказывает степень автоматизации станка.

Список литературы: 1. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с ЧПУ. В 2-х ч. – М.: Экономика, 1990. – 208 с. 2. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания на токарно-автоматные работы. Среднесерийное, крупносерийное и массовое производство. – М.: Экономика, 1990. – 299 с. 3. Режимы резания металлов: Справочник / Под ред. Ю.В.Барановского. – М.: Машиностроение, 1972. – 407 с. 4. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. – М.: Машиностроение, 1978. – 360 с. 5. Общемашиностроительные нормативы вспомогательного времени на обслуживание рабочего места и подготовительно-заключительного для технического нормирования станочных работ. – М.: Машиностроение, 1974. – 421 с. 6. Карпусь В.Е. Интенсивность формообразования технологических систем // Вестник машиностроения. - М., 2000.- №2.- С. 30-34.

Поступила в редколлегию 04. 10. 07

УДК 621.9

А.Н. ШЕЛКОВОЙ, О.Ю. ПРИХОДЬКО, А.Р. РУЗМЕТОВ

МЕТОДИКА АДАПТАЦИИ ТИПОВОГО ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПЕРЕХОДА К УСЛОВИЯМ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ

У цій статті розглядається спосіб подання операційного технологічного процесу за допомогою нечітких семантичних мереж, які описують об'єктне наповнення й реляційні зв'язки ситуацій на робочому місці. Наведено методику внесення змін у типові структури технологічних процесів виконання допоміжних переходів на рівні мікроелементів.

In this article the way of representation of operational technological process by means of fuzzy semantic networks which describe objective structure and relational connections inside of situations on a workplace is considered. The technique of modification in typical structures of technological processes of performance of auxiliary transitions at a level of microelements is produced.

Постановка задачи. Одной из основных задач проектирования вспомогательного перехода технологического процесса является определение наиболее эффективного варианта последовательности выполнения его элементов. Процесс реализации вспомогательного перехода может быть представлен в виде последовательности элементарных составных частей (микроэлементов), а критерием выбора рационального варианта этого процесса является мини-

мальное время, затрачиваемое на его выполнение.

Микроэлементы с требуемой степенью точности отражают содержание и описывают временные характеристики соответствующих им трудовых движений. Базовая система микроэлементов (БСМ) [1,2] позволяет создавать различные комбинации элементов вспомогательного процесса, а это дает возможность описать и весь процесс.

Проектирование вспомогательного процесса работы непосредственно из микроэлементов является не рациональным из-за значительного усложнения математической модели и значительного увеличения объема сопутствующей информации, для которой необходимо резервировать соответствующие ресурсы памяти. При агрегировании же микроэлементов получаются более крупные модели: переходов, операций и даже совокупного вспомогательного процесса изготовления определенной детали без проблем, связанных с вычислительными ресурсами. Таким образом, получается некоторая конечная совокупность элементов работы, обобщающая ряд типичных ситуаций, характерных для определенных технико-организационных условий и которым в технологическом отношении соответствуют технологические переходы. Построить модель технологического перехода — это значит с помощью микроэлементов описать его состав, и тем самым определить время, затрачиваемое на его выполнение.

Описание переходов целесообразно производить с помощью фреймов – сценариев ввиду того, что они совмещают как структуру производственной единицы (рабочего места), так состав и порядок работ по реализации технологического процесса:

$$FHCC_j = (NCЦ_j, HCC_{pr}, Fd_1, HCC_1, Fd_2, HCC_2, \dots, Fd_i, HCC_i, \dots, Fd_n, HCC_n) \quad (1)$$

где $NCЦ_j$ – имя j-го типового фрейма - сценария; HCC_{pr} – активная сеть текущего состояния рабочей среды (ситуация); Fd_i – фрейм i-го микроэлемента сценария; HCC_i – активная сеть состояния рабочей среды после выполнения i-го микроэлемента j-го сценария; HCC_n – активная сеть целевого состояния рабочей среды; n – число ситуаций РС, составляющее множество этапов развертывания j-го сценария по ходу технологического процесса.

Соответствие типового фрейма - сценария фрагменту операционной технологии зависит от соответствия его опорных сетей, обобщенно представляющих состояния рабочей среды начала и конца его реализации, рассматриваемой ситуации на рабочем месте.

Обзор литературных источников. В рассмотренной литературе [3, 5, 6] не найдено способов редактирования уже существующих сценариев работы с учетом порядка следования составляющих общий фрейм – сценарий элементарных работ. Поэтому целью исследования является решение данной задачи в общем виде, которое сводится к выработке определенных правил, на основе которых следует производить соединение элементов в единый вспомогательный технологический процесс. Элементарным фреймам – действиям можно

соотнести микроэлементы действия системы БСМ-1 [1,2].

Из-за высокого уровня детализации БСМ, система построения не может достаточно успешно выполнять долгосрочное планирование деятельности рабочего, а ситуационное определение комплекса является гарантией его дееспособности.

Поэтому является целесообразным наращивание базы методов работы разной степени укрупнения, которые представлены в виде типовых комплексов, полученных эвристическим путём, или путём разработки в имитационном режиме при учете технических характеристик технологических объектов.

Математическая модель. Целевая ситуация, соответствующая выполнению перехода, содержит в себе сумму преобразований, полученных в результате достижения локальных целевых ситуаций рабочей среды. Переход из одной локальной ситуации в следующую, в направлении достижения целевой, является этапом в реализации технологического процесса основанном на логике внутриоперационных организационно - технических мероприятий.

Декларативное представление целевой ситуации, диктуемой конкретной фразой, включенной в формулировку перехода, можно осуществить в виде ряда нечетких сетей – характеризующих промежуточные состояния рабочего места:

$$HCC_j^s = \{HCC_1^j, HCC_2^j, \dots, HCC_i^j, \dots, HCC_k^j\}; \quad (2)$$

где HCC_j^s – нечеткая семантическая сеть, характеризующая состояние рабочего места в период выполнения j-го перехода; HCC_1, HCC_2, HCC_k – нечеткие семантические сети, характеризующая состояние рабочего места в период выполнения первого, второго, i-го и k-го действий (работ) j-го перехода соответственно, $i = 1, \dots, k$, k – количество работ определенного уровня сложности, способствующих достижению целевой ситуации.

Каждая из сетей - действий является некоторой подцелью перехода и представлена двумя множествами:

$HCC_i^j(V, R)$ – одно из подсостояний j-го перехода, соответствующее i-му действию (работе);

$V = \{v_{i1}\}$, $i1 = 1, \dots, n1$, $n1$ – множество вершин, соответствующих объектам рабочей среды;

$R = \{r_{i2}\}$, $i2 = 1, \dots, n2$, $n2$ – множество отношений, определяемые лингвистическими переменными Lp , между объектами рабочей среды.

Адаптация комплекса может происходить по таким направлениям как:

Функциональное наращивание – если результат работы комплекса, по объему менее чем достаточный, что требует наращивания его содержания. Например есть необходимость отключения станка перед тем как взять деталь, хотя первоначальная структура вспомогательного перехода этого не предусматривала. Наращивание комплекса будет идти по такой схеме (см. рис 1):

Как видно из примера, нам не достаточно просто добавить нужный микроэлемент, нужно добавить дополнительный – для стыковки цепи технических моментов реализации работы.

Функциональное сокращение – если результат, по объему работ, комплекса более чем достаточный, что требует уменьшения его содержания. Для сокращения функциональности, нужно удалить из комплекса все действия, зависящие от удаляемых структурных элементов подsituаций;

Функциональное смещение – если нужно откорректировать комплекс с некоторым изменением состава объектов и отношений (как комбинированный вариант первых двух). Происходит по таким этапам: 1. поиск расположения; 2. внедрение действий.

Например, для того, что бы взять деталь со станка достаточно просто удалить защитный экран, но не выключать станок (см. рис 2):

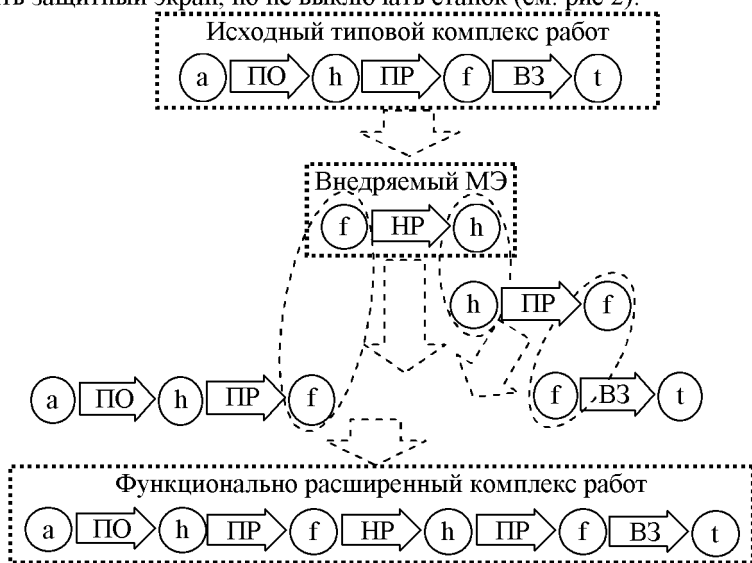


Рис. 1.- Нарращивание содержания комплекса микроэлементов. a, h, f, t – обозначение (здесь и далее в рисунках) подsituаций, необходимых для выполнения того или иного микроэлемента.

Результаты работы нескольких комплексов над одной рабочей ситуацией взаимно пересекаются, что может потребовать функционального сокращения одного комплекса в пользу другого.

1. извлечение действий
2. стыковка разорванной цепи комплекса

Все направления в адаптации технологического комплекса разрешаются с помощью операций внедрения и извлечения из него соответствующих действий.

Внедрение в комплекс дополнительного действия.

в сети, соответствующие условиям и результатам выполнения комплек-

са, вносятся объекты и отношения, имеющиеся в опорных сетях внедряемого действия;

расположение внедряемого действия внутри комплекса находится на основании таких условий:

а) сеть результатов выполнения внедряемого действия нечетко вложена в общую сеть с условиями выполнения следующего действия комплекса;

б) сеть условий выполнения внедряемого действия нечетко вложена в общую сеть с результатами выполнения предыдущего действия комплекса.

в) если среди множества ситуаций, порождаемых работой комплекса нет совместимой с условиями выполнения внедряемого действия, то необходимо достраивать комплекс поиском в базе работ, элементарных действий и ситуаций технологического процесса таких фрагментов процесса, которые будут способствовать интеграции внедряемого действия в комплекс.

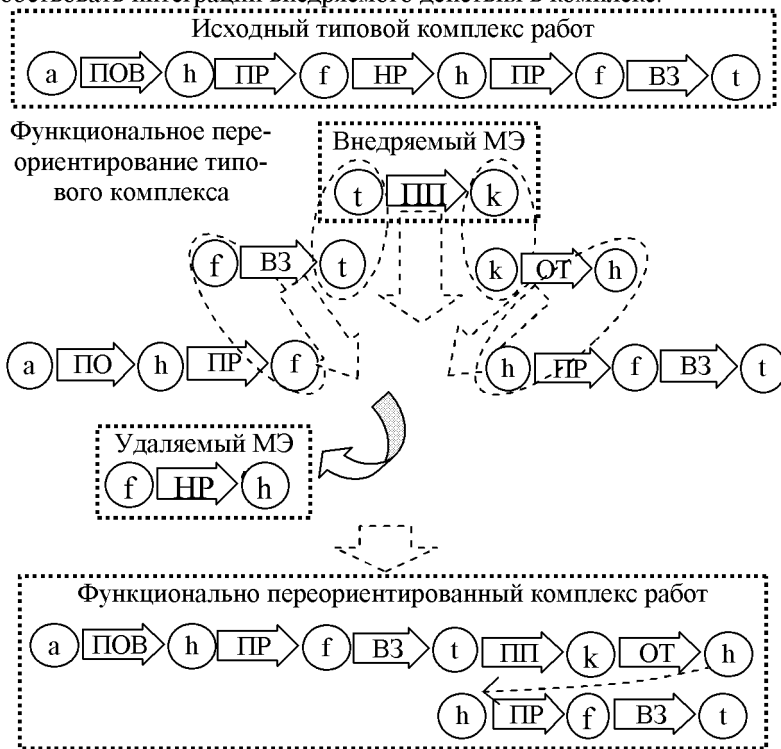


Рис. 2. Замена микроэлементов в комплексе.

При этом дополнительные фрагменты выбираются на основании таких условий:

$$HCC_{цель}^{\delta} \subseteq HCC_{i+1}^j \ \& \ \delta(HCC_{цель}^{\delta}, HCC_{i+1}^{j'}) \geq \delta_{\min}; \quad (3)$$

где δ_{\min} – минимально допустимое соответствие опорных сетей;

$HCC_{\text{цель}}^{\delta}$ – целевая сеть подбираемого действия (работы); HCC_{i+1}^j – ситуация нечетко

соответствующая условиям выполнения внедряемого действия;
 $\delta(HCC_{\text{цель}}^{\delta}, HCC_{i+1}^{j'}) = \max$, где $\delta(HCC_{\text{цель}}^{\delta}, HCC_{i+1}^{j'})$ – степень близости целевой сети подбираемого действия (работы) $HCC_{\text{цель}}^{\delta}$ к начальным условиям его выполнения $HCC_{i+1}^{j'}$, вложенным в ситуацию, порождаемую процессом.

Если при всех заданных условиях существуют альтернативные варианты, то наиболее соответствующее процессу действие выбирается из соображения:

$$\delta(HCC_{\text{начало}}^{\delta}, HCC_{i-1}^{j'}) = \max \quad (4)$$

где $\delta(HCC_{\text{начало}}^{\delta}, HCC_{i-1}^{j'})$ – степень близости начальной сети подбираемого действия (работы) $HCC_{\text{цель}}^{\delta}$ к начальным условиям его выполнения $HCC_{i-1}^{j'}$, вложенным в ситуацию, порождаемую рабочим процессом.

Извлечение действия из комплекса сопряжено с такими работами:

из сетей, соответствующих условиям и результатам выполнения комплекса, извлекаются объекты и отношения, имеющиеся в опорных сетях извлекаемого действия;

произвести стыковку действий, соседствующих с извлекаемым.

Стыковка, скорее всего, не может быть осуществима из-за несовпадения результатов предыдущего действия с условиями выполнения последующего. Для восстановления работоспособности комплекса нужно:

а) изменить порядок следования действий комплекса. Для корректного изменения порядка следования действий нужно произвести поиск среди звеньев комплекса таких, что результаты и условия их выполнения не влияют на выполнение соседних с ними звеньев и тех, которые стоят по времени выполнения после них, вплоть до связываемых действий, и в то же время способствуют стыковке разорванной цепи;

б) если “свободные” стыкующие действия в комплексе не найдены, или они находятся в комплексе, по времени, после места разрыва то нужно внедрять компенсирующие действия из базы работ (действий) При этом внедряемые действия (работы) должны быть: независимыми от удаляемых частей общей сети; ситуативно совместимыми со стыкуемыми действиями.

Практическая реализация. Модуль адаптации структур типовых фреймов – сценариев нашел применение в составе подсистемы «Нормирование вспомогательных переходов», которая интегрирована в программный комплекс моделирования и имитации поведения производственной системы в целом.

Процесс проектирования и нормирования временных показателей структуры вспомогательного перехода основывается на таких входных данных как формулировка перехода, лимит времени и текущее состояние испол-

нителя. Получая необходимую технологическую информацию из модуля «Диспетчер производственных заданий» она производит её интерпретацию на язык процедур, проектирует, нормирует и анализирует структуру вспомогательного перехода. Результаты работы передаются в «Генератор имитационных моделей производственных модулей».

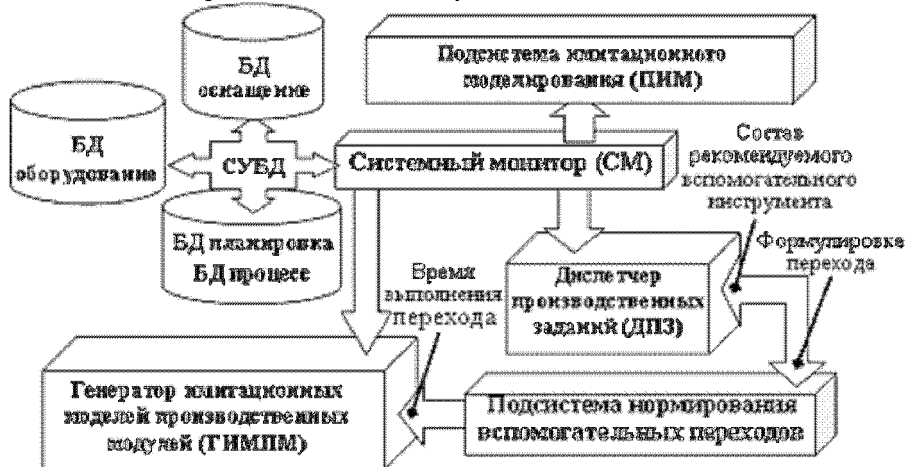


Рис. 3. Общая структура системы GPS

В генераторе производственных моделей эта информация она определяет время перемещений и пауз объекта – исполнителя в ходе имитации его работы.

Вывод. Таким образом, следуя этой методике можно изменять типовые структуры внутриоперационных технологических процессов на уровне перехода, адаптируя их к ситуации, когда имеет место не совсем типичная организация рабочего места или применяется оригинальное по технике эксплуатации оснащение.

Список литературы: 1. Общемашиностроительные нормативы вспомогательного времени и времени на обслуживание рабочего места на работы, выполняемые на металлорежущих станках. массовое производство //М: Экономика 1988 . – 453с. 2. Базовая система микроэлементных нормативов времени (БСМ-1) //Методические и нормативные материалы. М.: Экономика, 1989 г. 3 Бернштейн Л.С., Мелехин В. Б. “Структура представлений декларативных знаний интеллектуального робота.” // Управляющие системы и машины. 1990 г . № 6 С. 75-83. 4. Шелковой А.Н. Система имитационного моделирования поведения гибких производственных систем в режиме реального времени //Резание и инструмент в технологических системах. - Межд. Научн.-техн. сборник. - Харьков: ХГПУ, 2000, вып.56, С.164-170; 5. Осипов Г.С. Построение моделей предметных областей. Ч. I. Неоднородные семантические сети. - Техническая кибернетика, 1990, N 5, 32 - 45. 6. Алиев Р.А., Абдикеев Н.М., Шахназаров М.М. Производственные системы с искусственным интеллектом.- М: Радио и связь. 1990. - 264 с.

Поступила в редколлегию 04. 10. 07

*З.Я. ЛУР'Є, П.М. АНДРЕНКО***РОЗРАХУНОК СИЛИ ТЕРТЯ НА ЗАПОРНО-РЕГУЛЮЮЧОМУ ЕЛЕМЕНТІ ГІДРОАПАРАТА З ВІБРАЦІЙНОЮ ЛІНЕАРИЗАЦІЄЮ**

Приведен обзор аналитических зависимостей для расчета силы трения на запорно-регулирующих элементах гидроаппаратах. Уточнена формула для расчета силы трения на запорно-регулирующем элементе гидроаппарата, выполненного в виде плунжер-гильза. Обосновано ее применение в математических моделях гидроаппаратов с вибрационной линеаризацией.

The review of analytical dependences for calculation of force of friction on shutoff-and-regulation elements hydraulic valves is resulted. The formula for calculation of force of friction on a shutoff-and-regulation element of the hydraulic valves executed in the form of a plunger-sleeve is specified. Its application in mathematical models hydraulic valves with vibrating linearisation is proved.

Вступ. У світовій і вітчизняній практиці створення гідроапаратури визначилася тенденція використання гідроапаратів (ГА) з вібраційною линеаризацією. Запорно-регулюючі елементи (ЗРЕ) таких ГА здійснюють осцилюючий рух з великою частотою і малою амплітудою, усуваючи, таким чином, силу сухого тертя. Вони застосовуються в високодинамічних та високоточних слідкуючих гідроагрегатах, значно покращуючи характеристики останніх. В процесі проектування таких ГА виникає необхідність в докладному визначенню окремих складових їх математичних моделей, в тому числі і сили тертя.

Аналіз публікацій. Одним з основних параметрів пари плунжер-гільза, що визначає її якість, є сила тертя спокою, величина якої для реальної пари залежить від величини тиску в гідроагрегаті, збільшуючись зі збільшенням останнього, а також від правильності геометричних форм плунжеру і гільзи, співвісності їх розташування [1]. Крім цього, на величину сили тертя впливає радіальний зазор у парі плунжер-гільза, матеріал, з якого вони виготовлені, якість їх обробки, форма, фізико-хімічні властивості робочої рідини (РР), що використовується в гідроагрегаті, її температура, а також наявність у ній абразивних часток. Вплив на силу тертя матеріалу і якості його обробки досить докладно розглянуті в роботах [2, 3, 4, 5] та інших. Можливості зменшення за їх рахунок сили тертя, на сьогодні, практично вичерпані, тому далі їх розглядати не варто.

При визначенні сили тертя, яка діє на ЗРЕ ГА, виконаного у вигляді пари плунжер-гільза, більшість дослідників виходили з того, що плунжер в гільзі чи корпусі розташовано ексцентрично, виконано з невеликою конусністю та прямий контакт плунжера з гільзою відсутній [1, 6]. Таке припущення дозволяє отримати точні математичні залежності для визначення сили тертя. Однак, розрахунок сил тертя згідно отриманих залежностей не

співпадав з даними, отриманими експериментальним шляхом, що доведено в статті [7]. У відповідності з експериментальними даними, наведеними в цій роботі, встановлено, що дійсне положення плунжера в гільзі, незалежно від його форми, при подачі РР – розташування безпосередньо біля однієї зі стінок.

Більшість дослідників [8, 9, 10] та інші, при розрахунках сили тертя в пристроях гідроагрегатів, в тому числі й ГА, визначають її з залежності:

$$P_{\text{тр}}(t) = P_{\text{тр}0} \text{sign } \dot{x}_{\text{зпе}}, \quad (1)$$

де t – час; $P_{\text{тр}0}$ – сила сухого тертя; $x_{\text{зпе}}$ – переміщення ЗРЕ; $\text{sign } \dot{x}_{\text{зпе}}$ – функція Кронекера.

У загальному випадку, точне визначення сили $P_{\text{тр}0}$ є неможливе. Вона може бути визначена, з достатнім ступенем наближення, якщо відомі умови роботи ГА, точні геометричні виміри і форма ЗРЕ, матеріал пари тертя, якість його обробки та ряд інших факторів. Зазвичай, цю силу для конкретного ГА визначають експериментальним шляхом.

У роботі [2] силу тертя в ГА пропонується розраховувати за залежністю:

$$P_{\text{тр}} = k_{\text{тр}}^* p_{\text{т}} \pi d_{\text{зпе}} H^*, \quad (2)$$

де $k_{\text{тр}}^*$ – коефіцієнт тертя, що в попередніх розрахунках приймають рівним 0,1 – 0,2 [2]; $p_{\text{т}}$ – радіальний тиск, що визначають у залежності від тиску в гідравлічній системі, за таблицями, наведеними у роботі [2]; $d_{\text{зпе}}$ – діаметр ЗРЕ; H^* – висота ущільнення.

Розрахувати силу тертя за формулою (2) можна лише приблизно, оскільки заздалегідь невідомо точне значення радіального тиску $p_{\text{т}}$. Отже, використання формули (2) для розрахунку сили тертя обмежено.

Розглядаючи сили, що діють на золотники ГР, у роботі [11], силу тертя пропонується розраховувати за формулою:

$$P_{\text{тр}} = k_{\text{тп}} P_{\text{Qп}}, \quad (3)$$

де $k_{\text{тп}}$ – коефіцієнт тертя, що у роботі [11] визначений на підставі проведених експериментів; $P_{\text{Qп}}$ – поперечна сила, що діє на золотник ГР і виникає внаслідок погрішностей виготовлення, несиметричності розподілу тиску уздовж щілини та розраховується за залежністю [11]

$$P_{\text{Qп}} = \frac{\pi l r K \Delta p}{2 e} \left(1 - \frac{2 \Delta r + K}{\sqrt{(2 \Delta r + K)^2 - 4 e^2}} \right), \quad (4)$$

де l – довжина поверхонь тертя; r – радіус втулки поршня золотника; K – конусність поршня золотника на довжині перекриття; Δp – перепад тиску, що діє на бічні поверхні золотника, який визначається на підставі експериментальних даних; e – ексцентриситет поршня золотника щодо втулки;

Δr – радіальний зазор між поршнем і втулкою золотника.

Розрахунок сили тертя за формулою (4), також викликає певні труднощі, зв'язані з необхідністю знання значень коефіцієнта тертя і перепаду тиску, що діє на бічні поверхні золотника. Отже, і використання формули (4) для розрахунку сили тертя обмежено.

У статті [12] силу тертя розраховують згідно залежності:

$$P_{\text{тр}}(t) = P_{\text{трп}} \text{ при } \dot{x}_{\text{зпе}} = 0 \quad P_{\text{тр}}(t) = P_{\text{трв}} \text{ sign } \dot{x}_{\text{зпе}} \text{ при } \dot{x}_{\text{зпе}} \neq 0 \quad (5)$$

де $P_{\text{трп}}$ и $P_{\text{трв}}$ – відповідно сила тертя при знаходженні рухомого елемента в стані спокою та при його русі.

У статті [13] силу тертя пропонується розраховувати за залежністю:

$$P_{\text{мп}} = P_{\text{мпн}} \delta(\dot{x}_{\text{зпе}}) + P_{\text{мпк}} \text{ sign } \dot{x}_{\text{зпе}} + P_{\text{мпв}}, \quad (6)$$

де $P_{\text{трк}}$ – сила контактного тертя; $\delta(\dot{x}_{\text{зпе}})$ – дельта функція Кронекера.

В [13] сила тертя спокою $P_{\text{трп}}$ визначена експериментально, для конкретного ГА, що істотно обмежує область застосування формули (6).

У роботі [14] силу контактного тертя в ГА пропонується розраховувати за залежністю:

$$P_{\text{трк}}(t) = \begin{cases} k_2 \text{ sign } \dot{x}_{\text{зпе}} \text{ при } \dot{x}_{\text{зпе}} \neq 0 \\ + k_2 \text{ при } \dot{x}_{\text{зпе}} = 0 \text{ та } F_0 > k_2 \\ - k_2 \text{ при } \dot{x}_{\text{зпе}} = 0 \text{ та } F_0 < -k_2 \\ F_0 \text{ при } \dot{x}_{\text{зпе}} = 0 \text{ та } |F_0| \leq k_2 \end{cases}, \quad (7)$$

де F_0 і k_2 знаходяться з рівняння

$$m \ddot{x}_{\text{зпе}} = F_0 - k_2, \quad (8)$$

де m – маса ЗРЕ та пов'язаних з ним частин.

Залежність (7) точно визначає силу контактного тертя на рухливих елементах ГА. Однак її використання на попередніх етапах проектування ГА ускладнено, тому що в загальному випадку не завжди відомі конструктивні параметри ГА необхідні для розрахунку сили F_0 , що входить до рівняння (8).

Ряд дослідників зневажають силою сухого тертя і розглядають силу тертя як силу рідинного тертя, яку розраховують згідно залежності [15]:

$$P_{\text{тр}}(t) = k_{\text{тр}} \dot{x}_{\text{зпе}}, \quad (9)$$

де $k_{\text{тр}}$ коефіцієнт тертя.

Це дозволяє значно спростити рівняння руху рухомих елементів пристроїв, яке входить до математичних моделей, згідно яких визначають динамічні характеристики цих пристроїв, однак може бути використане лише як розв'язок першого наближення.

Залежності (1) – (9) носять загальний характер. Точність розрахунку, згідно з ними, сили тертя визначається точністю розрахунку їх окремих скла-

дових.

В роботі [16] силу тертя в ГА розглядають як суму сил: сили тертя, породжуваної зрушенням шарів рідини в зазорах пари тертя, в умовах її перекосу – $P_{\text{тр}v}$, і сили сухого (контактного) тертя – $P_{\text{тр}к}$ у зонах контакту ЗРЕ і гільзи.

$$P_{\text{тр}}(t) = P_{\text{тр}к}(t) + P_{\text{тр}v}(t). \quad (10)$$

При цьому, силу сухого тертя, коли швидкість руху ЗРЕ не перевищує критичної – $\dot{x}_{\text{зр}е\text{к}}$, розраховують згідно залежності, яка враховує ексцентричне розміщення ЗРЕ в гільзі:

$$P_{\text{тр}}(t) \approx P_{\text{тр}к} = 2 P_{\text{г}} k_{\text{тр}к0}, \quad (11)$$

де $k_{\text{тр}к0}$ – коефіцієнт тертя, значення якого мало змінюється і знаходиться в межах 0,19 – 0,21; $P_{\text{г}}(t)$ – радіальна сила, що діє на ЗРЕ та розраховується згідно залежності:

$$P_{\text{г}} = \frac{2 P_{\text{пр}} e_{\text{пр}}}{L_{\text{ЗРЕ}}}, \quad (12)$$

де $P_{\text{пр}}$ – сила пружини; $e_{\text{пр}}$ – зсув пружини; $L_{\text{ЗРЕ}}$ – загальна довжина ЗРЕ.

Значення $\dot{x}_{\text{зр}е\text{к}}$ розраховували за формулою [16]:

$$\dot{x}_{\text{зр}е\text{к}} = \frac{2 P_{\text{г}} k_{\text{тр}к0}}{\mu k_{\text{т}р} k_{\text{т}}}, \quad (13)$$

де $k_{\text{т}р} = \frac{1.8}{0.47 + v_t} + 1$, v_t – коефіцієнт кінематичної в'язкості РР

($v_t = \frac{cM^2}{c}$) – коефіцієнт, що характеризує положення ЗРЕ в гільзі; μ – коефіцієнт динамічної в'язкості РР; $k_{\text{т}} = 2 \pi d_{\text{зр}е} \frac{L_{\text{ЗРЕ}}}{\delta}$ – коефіцієнт тертя [16];

δ – радіальний зазор.

Розрахована, згідно залежностей (11) і (12), сила сухого тертя не враховує дійсне розміщення ЗРЕ в гільзі (радіальний зазор, зсув контактних витків пружини), що знижує точність розрахунків, а отже, потребує уточнення. Крім того, формула, наведена в [16], не зовсім коректна, так як містить розмірний коефіцієнт.

В останніх публікаціях [13, 17] силу тертя розраховують згідно залежності:

$$P_{\text{тр}}(t) = P_{\text{тр}0} \text{sign } \dot{x}_{\text{зр}е} + P_{\text{тр}v}(t), \quad (14)$$

яка враховує як силу сухого – $P_{\text{тр}0}$, так і силу рідинного тертя – $P_{\text{тр}v}(t)$, відображає фізику процесу та правомірно може бути використана в подальших розрахунках. Слід відзначити, що, як і більшість дослідників, при

визначенні сили тертя автори робіт [13, 17] використовували коефіцієнти, отримані експериментальним шляхом, що накладає певні обмеження на область використання отриманих результатів.

В роботі [18] силу рідинного тертя розраховують за залежністю:

$$P_{\text{тр в}}(t) = 8 \pi \mu \left[\frac{l_{\text{е зре}} (d_{\text{зре}} \delta + \delta^2)}{(d_{\text{зре}}/2 + \delta)^2 + (d_{\text{зре}}/2)^2 - (d_{\text{зре}} \delta + \delta^2) / \ln(1 + 2\delta/d_{\text{зре}})} \right] \dot{x}_{\text{зре}}, \quad (15)$$

де $l_{\text{е зре}}$ – ефективна довжина контакту між ЗРЕ і гільзою.

Однак, формула (15), хоч и враховує розміри пари тертя, не враховує дійсне розміщення ЗРЕ в гільзі, а отже також потребує уточнення.

Таким чином, для розрахунку сили тертя ЗРЕ в гільзі правомірно використовувати залежність (14), яка враховує як силу сухого тертя, так і силу рідинного тертя. При цьому, для визначення складових рівняння (14) можна використати залежності (11), (12) і (15), які повинні враховувати дійсне розміщення ЗРЕ в гільзі, його форму і потребують уточнення.

Ціль і завдання дослідження. Уточнення аналітичної залежності для розрахунку сили тертя на ЗРЕ ГА з вібраційною лінеаризацією, обґрунтування правомірності її використання.

Аналітична залежність для розрахунку сили тертя на ЗРЕ ГА з вібраційною лінеаризацією. При визначенні цієї сили вважаємо, що розташування ЗРЕ відносно втулки завжди асиметричне а основним фактором, що визначає таке положення ЗРЕ, є пружина. При русі ЗРЕ сила тертя, з достатньою для практичних розрахунків точністю, може бути описана за допомогою кривої Штрибекка [19], ідеальний вид половини якої показаний на рис. 1. Залежність $P_{\text{тр}}(t)$ в області $0 < \dot{x}_{\text{зре}} < \dot{x}_{\text{зре к}}$ неоднозначна, тому що сила тертя при $\dot{x}_{\text{зре}} = 0$ (сила тертя спокою), залежить від швидкості, при якій ЗРЕ починає рухатися в протилежний бік (рис. 1). Найкращим є випадок, коли рух у протилежний бік почнеться в точці б, тому що при цьому, сила тертя в точці $\dot{x}_{\text{зре}} = 0$ прагне до свого мінімального значення. Отже, оптимальна швидкість осциляції ЗРЕ ГА повинна дорівнювати $\dot{x}_{\text{зре к}}$. Сила тертя, значною мірою, залежить від ексцентриситету пружини, який залежить від її розміщення в ГА, та може бути визначений з залежності [20]:

$$e_{\text{пр}} = 0,56 D_{\text{пр}} \left(\frac{0,504}{n_{\text{пр}}} + \frac{0,121}{n_{\text{пр}}^2} + \frac{2,06}{n_{\text{пр}}^3} \right), \quad (16)$$

де $D_{\text{пр}}$ – середній діаметр пружини; $n_{\text{пр}}$ – число робочих витків пружини.

Розрахунок сили тертя будемо проводити, використовуючи залежність (14). Уточнимо окремі її складові. Вважаємо, що ЗРЕ займає асиметричне положення і має точки контакту з гільзою, а кут перекоосу зневажливо малий. Використовуючи залежність (16), радіальну силу розраховуємо згідно залежності:

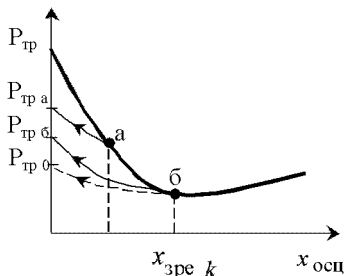


Рис. 1. Вид половини кривої Шґрибека

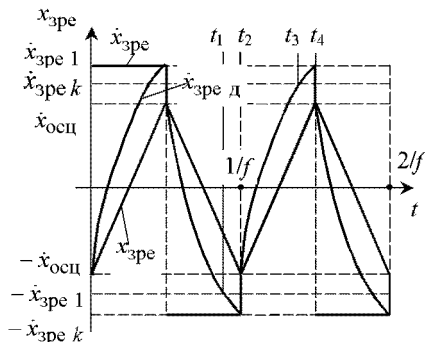


Рис. 2. Вид траєкторії руху та зміни швидкості осциляції ЗРЕ

$$P_r = \frac{c_{пр \Sigma} x_{пр 0} \left[\delta + 0,56 D_{пр} \left(\frac{0,504}{n_{пр}} + \frac{0,121}{n_{пр}^2} + \frac{2,06}{n_{пр}^3} \right) \right]}{L_{ЗРЕ}}, \quad (17)$$

де $c_{пр \Sigma}$ – сумарна жорсткість пружини; $x_{пр 0}$ – попередній підтиск пружини.

Тоді, залежність для розрахунку сили сухого тертя (11) може бути записана у вигляді:

$$P_{тр к} = \frac{2 k_{т ко} c_{пр \Sigma} x_{пр 0} \left[\delta + 0,56 D_{пр} \left(\frac{0,504}{n_{пр}} + \frac{0,121}{n_{пр}^2} + \frac{2,06}{n_{пр}^3} \right) \right]}{L_{ЗРЕ}}. \quad (18)$$

Уточнимо також залежність для розрахунку сили рідинного тертя (15), в яку підставимо коефіцієнт – $k_{т р}$, який враховує положення ЗРЕ в гільзі, і розрахується за уточненою нами залежністю з роботи [16]:

$$k_{т р} = \frac{1,8}{0,47 + \bar{v}_t} + 1,$$

де \bar{v}_t – відносний коефіцієнт кінематичної в'язкості РР, $\bar{v}_t = v_{50} / v_{10}$. Враховуючи цей коефіцієнт, залежність для розрахунку сили рідинного тертя матиме вигляд:

$$P_{т р в} (t) = 8 \pi \mu k_{т р} \left[\frac{l_{е зре} (d_{зре} \delta + \delta^2)}{(d_{зре} / 2 + \delta)^2 + (d_{зре} / 2)^2 - (d_{зре} \delta + \delta^2) / \ln \left(1 + \frac{2\delta}{d_{зре}} \right)} \right] \dot{x}_{зре}. \quad (19)$$

Підставляючи в (14), (18) і (19) отримали уточнену нами залежність для

розрахунку сили тертя ЗРЕ ГА з вібраційною лінеаризацією:

$$P_{\text{тр}}(t) = \left\{ \frac{2 k_{\text{т ко}} c_{\text{пр } \Sigma} x_{\text{пр } 0} \left[\delta + 0,56 D_{\text{пр}} \left(\frac{0,504}{n_{\text{пр}}} + \frac{0,121}{n_{\text{пр}}^2} + \frac{2,06}{n_{\text{пр}}^3} \right) \right]}{L_{\text{ЗРЕ}}} \right\} \text{sign } \dot{x}_{\text{зре}} +$$

$$+ 8 \pi \mu k_{\text{т пр}} \left[\frac{l_{\text{е зре}} (d_{\text{зре}} \delta + \delta^2)}{\left(\frac{d_{\text{зре}}}{2} + \delta \right)^2 + \left(\frac{d_{\text{зре}}}{2} \right)^2 - \frac{d_{\text{зре}} \delta + \delta^2}{\ln \left(1 + \frac{2\delta}{d_{\text{зре}}} \right)}} \right] \dot{x}_{\text{зре}}. \quad (20)$$

Відзначимо, що знаючи значення критичної швидкості руху ЗРЕ (залежність (13)), можемо визначити характер процесу тертя. Якщо при максимальній швидкості руху ЗРЕ змащування рідинне, то його зворотно-поступальний рух починається в умовах змішаного змащування, а в середині полуперіоду відбувається перехід до рідинного змащування. Зміна сили тертя відбувається так, як показано на рис. 1 пунктирною лінією.

Обґрунтування правомірності застосування уточненої залежності для розрахунку сили тертя на ЗРЕ ГА з ГВК у їх математичних моделях. З появою пакетів прикладних програм, з'явилася можливість одержання характеристик ГА та інших гідравлічних пристроїв, шляхом розв'язку нелінійних рівнянь, які описують процеси, що відбуваються в них. У таких математичних моделях, для розрахунку сили тертя, можуть бути використані формули (6) і (7), що більш повно відповідають фізиці процесу тертя.

Для правомірності використання уточненої нами формули, для розрахунку сили тертя, в математичних моделях ГА з вібраційною лінеаризацією провели порівняльну оцінку близькості отриманих рішень з використанням різних залежностей для розрахунку сили тертя. Порівняння проводили за допомогою графіків перехідних процесів у гідроагрегаті з клапаном прямої дії з ГВК, отриманих в пакеті прикладних програм, математична модель якого наведена в статті [21].

Для оцінки близькості перехідних процесів клапана використовували відносну інтегральну оцінку:

$$J_Q = \frac{\int_0^{t_p} |Q1(t) - Q2(t)| dt}{\int_0^{t_p} Q1(t) dt} 100 \%, \quad (21)$$

де, як приклад, взяли $Q1(t)$ і $Q2(t)$ – відповідно витрати через клапан,

розраховані з використанням уточненої нами залежності для розрахунку сили тертя (20) і згідно залежностей з літератури; t_p – час перехідного процесу.

Оцінка (21) характеризує відношення значень різних площ під кривими $Q1(t)$ і $Q2(t)$ до площі під кривою $Q1(t)$ за час перехідного процесу t_p . Проведені попередні розрахунки перехідних процесів клапана показали, що $t_p \leq 1$ с. Для розрахунку відносної інтегральної оцінки приймали $t_p = 0,75$ с.

Характер перехідних процесів зміни сили тертя на ЗРЕ клапана, витрати через нього і тиску в гідроагрегаті, розраховані з використанням різних залежностей для розрахунку сили тертя показали досить гарний збіг (рис. 3).

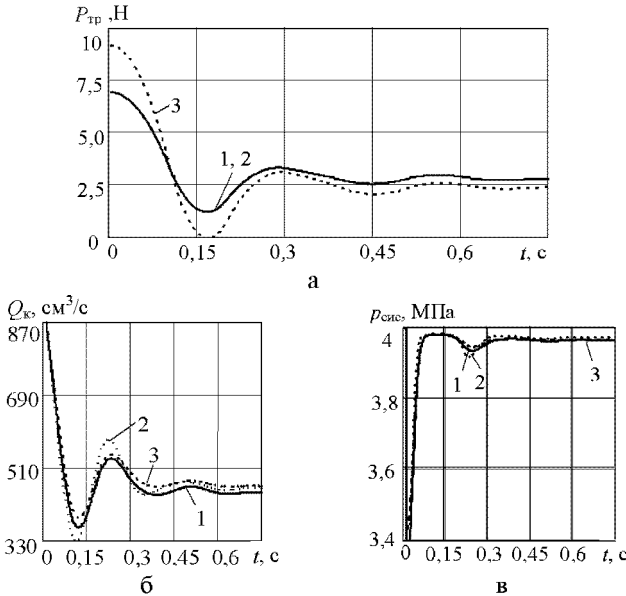


Рис. 3. Графіки перехідних процесів клапана, розраховані з використанням різних залежностей для розрахунку сили тертя, при $Q_{Hcp} = 901 \text{ см}^3/\text{с}$, $Q_{нав} = 1/2 Q_{Hcp}$: а – сили тертя; б – витрати на виході клапана, в – тиску в гідроагрегаті; 1 – уточнена залежність; 2 – формула (6) [13]; 3 – формула (7) [14]

Таблиця – Результати розрахунку відносної інтегральної оцінки сили тертя на ЗРЕ клапана з вібраційною лінеаризацією, витрати через нього і тиску в гідроагрегаті, розраховані з використанням різних залежностей для розрахунку сили тертя, $Q_{Hcp} = 901 \text{ см}^3/\text{с}$, $f = 200$ Гц

Залежність для розрахунку сили тертя	$J_{P_{тр}}$, %	J_Q , %	J_p , %
(6) [13]	0,2	5,7	1,45
(7) [14]	20,9	6,4	1,42

Максимальне значення відносної інтегральної оцінки сили тертя (табл.), отримане при використанні для її розрахунку формули (7). Однак, відносна інтегральна оцінка витрати через клапан і тиску в гідроагрегаті, відповідно, складають 6,4 % і 1,42 %. Це дозволяє стверджувати, що використання, для розрахунку сили тертя в ГА з вібраційною лінеаризацією, уточненої нами залежності є цілком обґрунтованим.

Висновки. Уточнена аналітична залежність для розрахунку сили тертя ЗРЕ ГА з вібраційною лінеаризацією, при його зворотно-поступальному русі, яка, крім параметрів осциляції його ЗРЕ, враховує його розташування в гільзі та конструктивні параметри пари тертя. Обґрунтовано правомірність її застосування в математичних моделях ГА з вібраційною лінеаризацією.

Список літератури: 1. Башта Т.М. Гидравлические приводы летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1967. – 495 с. 2. Абрамов Е.И., Колисниченко К.А., Маслов В.Т. Элементы гидропривода. Справочник. – К.: Техника, 1977. – 320 с. 3. Войтов В.А., Лурье З.Я., Жерняк А.И. Масштабный фактор пары трения и его учет на этапе проектирования гидромашин // Вестник машиностроения. – № 6, 1995. – С. 15 – 18. 4. Подшипники скольжения / Н. Типей, В.Н. Константинову, А.Л. Ника, О. Биц, – Бухарест: Академия РСН, 1964. – 457 с. 5. Проектирование гидростатических подшипников / Под ред. Г. Риппела. Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1967. – 136 с. 6. Навроцкий К.Л. Теория и проектирование гидро- и пневмоприводов. – М.: Машиностроение, 1991. – 384 с. 7. Gwiazda I.B., Gwiazda A.S. Przynociny zakleszczania cylindrcznych rozdzielaczy hydraulicznych. // Maszyny gornicze. – № 3/74 – Gliwice, wresien 1998, – s. 25–34. 8. Гамынин Н.С. Гидравлический привод систем управления. – М.: Машиностроение, 1972. – 376 с. 9. Коробочкин Б.Л. Динамика гидравлических систем станков. – М.: Машиностроение, 1976. – 240 с. 10. Машиностроительный гидропривод. Л.А. Кондаков, Г.А. Никитин, и др. Под ред. В.Н. Прокофьева. – М.: Машиностроение, 1978. – 495 с. 11. Wanner K. Messung und Untersuchung der axiellen Kräfte an olhydraulischen Stenershibern Technische. – Hochschule, 1960. – 123 s. 12. Шамберов В.Н. Фрикционные колебания в гидравлических системах // Гидравлика и Пневматика. Информ. техн. журнал. – Санкт-Петербург, 2005. – №21. – С. 15 – 17. 13. Korzeneniowski R., Pluta J. Identyfikacja sil tarcia w serwonapedzie elektropneumatycznym // International scientific-technical conference HYDRAULIC AND PNEUMATICS '2005. – Wroclaw, 2005. – P. 283 – 292. 14. Скляревский О.М. Об'ємний гідропривід: Навчальний посібник Запоріжжя: ЗНТУ. 2001. – 212 с. 15. Машиностроительный гидропривод. Л.А. Кондаков, Г.А. Никитин, и др. Под ред. В.Н. Прокофьева. – М.: Машиностроение, 1978. – 495 с. 16. Данилов Ю.А., Кирилловский Ю.Л., Колпаков Ю.Г. Аппаратура объемных гидроприводов: Рабочие процессы и характеристики. – М.: Машиностроение, 1990. – 272 с. 17. Зайончковський Г.Й. Оцінка стійкості і протифлатерних властивостей гідромеханічних рульових слідувачих приводів // Промислова гідравліка і пневматика. – Вісник ВДАУ, 2006. – №1 (11). – С. 53 – 58. 18. Красов Н.М. Гидравлические элементы в системах управления. – М.: Машиностроение, 1967. – 255 с. 19. Mednis W. Využitie brumového signálu v prevádzkových jednotkách proporcionálnej techniki. // Hydraulika a pneumatyka 2/2000, – S. 25 – 27. 20. Хвингия М.В., Богданова А.М., Габарадзе Д.Т. и др. Колебания и устойчивость упругих систем машин и поборов. – Тбилиси: Мецниереба, 1974. – 284 с. 21. Лур'є З.Я., Андренко П.М. Обґрунтування правомірності дослідження характеристик гідроапаратів з гідрравлічним вібраційним контуром по їх лінеарізованим математичним моделям // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків, 2006. – № 6/3 (24). – С. 15 – 19.

Поступила до редколегії 12.09.07

Ю.А. СИЗЫЙ, Д.В. СТАЛИНСКИЙ, А.Ю. ПИРОГОВ, Е.В. ХАРЧЕНКО

ВЫБОР МОДЕЛИ ИСТОЧНИКА ТЕПЛА ПРИ РЕЗАНИИ ЕДИНИЧНЫМ АБРАЗИВНЫМ ЗЕРНОМ

Анализируются модели теплового источника от работы деформации при резании единичным абразивным зерном и решается задача температурного поля.

The models of heat source of deformation works abrasive process with single grain is analysed and task of temperature field is solved.

Анализ работ по исследованию тепловых процессов резания единичным абразивным зерном [1, 2, 3, 4, 5] показывает, что исследователи по разному подходят к выбору модели источника тепла. Наиболее глубокие исследования в этом направлении выполнены в работах Редько С.Г. [1] и Корчака С.Н. [5].

Редько С.Г. принимает источник тепла в виде сферы с радиусом несколько большим радиуса закругления вершины зерна. На поверхности этой сферы выделяется тепло за счет работы деформации по вдавливанию сферы в обрабатываемый материал и работы трения ее по поверхности обрабатываемого материала. Работа деформации (вдавливания) принимается как произведение удельной силы вдавливания ($P_{уд}$) на половину глубины (h) вдавливания. При этом ($P_{уд}$) определяется из формулы расчета микротвердости при внедрение алмазной пирамиды в металл, который обрабатывается резанием абразивным зерном.

Корчак С.Н. [5] принимает модель зерна в виде усеченного конуса. Плоская вершина этого конуса является площадкой износа. Источниками тепла при такой модели абразивного зерна являются работа деформации на поверхности сдвига и работа трения на площадке износа. При этом поверхность действия работы деформации принимается совпадающей с обработанной поверхностью, т. е. не учитывается наклонное под углом сдвига β положение источника тепла относительно обработанной поверхности.

Общим для работ [1, 5], как и для всех упомянутых, является то, что они не учитывают тепло уносимое стружкой.

Температуры резания зерном рассчитанные в [1, 5] принципиально разнятся. У Корчака С.Н. они достигают величины в $3000\div 3500^\circ\text{C}$, а у Редько С.Г. они находятся в пределах до 1000°C .

Учитывая, что задача механики резания абразивным зерном у Корчака С.Н. решена достаточно убедительно, соответствует современным взглядам, то нереальные высокие температуры резания более 3000°C следует объяснить тем, что в [5] не учитывается тепло уносимое стружкой и принимается работа деформации не на поверхности сдвига, а на плоскости совпадающей с обра-

ботанной поверхностью. В результате такой модели источника тепла от работы деформации Корчак С.Н. получает источник тепла при резании зерном как плоский, совпадающий с обработанной поверхностью и состоящий из двух участков с различной плотностью теплового потока.

Первый, фронтальный участок, это плоскость, на которой выделяется тепло от работы деформации, а второй, сразу же примыкающий к первому, является плоскость пары трения – площадки износа на зерне и обработанной поверхности. При этом интенсивность источника тепла на участке работы трения по Корчаку С.Н. составляет всего 4% от интенсивности источника на участке работы деформации.

У Редько С.Г. участки источников тепла от работы деформации и трения совпадают и находятся на сферической поверхности вершины зерна.

У всех других исследователей резания единичным абразивным зерном [2, 3, 4] оба источника тепла, как работы деформации, так и работы трения, отдельно не рассматриваются. Принимается модель источника в виде плоскости и плотность теплового потока рассчитывается как произведение тангенциальной составляющей силы резания единичным зерном на скорость резания. Таким образом, через силу резания учитывается как бы два источника тепла за счет преодоления сопротивлений деформации и трения.

Следовательно, во всех рассмотренных работах источник тепла от работы деформации принимается плоским параллельным вектору скорости резания зерном, в то время как тепло от работы деформации выделяется на плоскости сдвига. Поэтому представляет интерес сравнить температурные поля от таких источников при одинаковой их интенсивности.

Известно [2], что при описании температуры в детали от плоского движущегося на ее поверхности источника тепла для учета отсутствия теплоотдачи конвективным теплообменом в окружающую среду, плотность теплового потока удваивается. Если учитывать отсутствие теплоотдачи в окружающую среду от наклонного под углом β к вектору скорости плоского источника тепла, то необходимо добавлять фиктивный источник тепла симметричный наклонному относительно поверхности заготовки с одинаковой с наклонным интенсивностью.

На рис. 1 показана схема расположения источников тепла от работы деформации при резании единичным абразивным зерном.

Рис. 1 выполнен в плоскости перпендикулярной плоской поверхности заготовки (линия AO_2). Абразивное зерно движется со скоростью резания V , с глубиной (толщиной среза) az и работа деформации происходит на плоскости сдвига OA . Источник тепла от работы деформации это плоскость OA . Сравним его с плоским источником тепла находящимся на обработанной поверхности, т. е. с плоским источником OD . Сравнение источников производим по температурным полям, формируемым ими в обработанной поверхности.

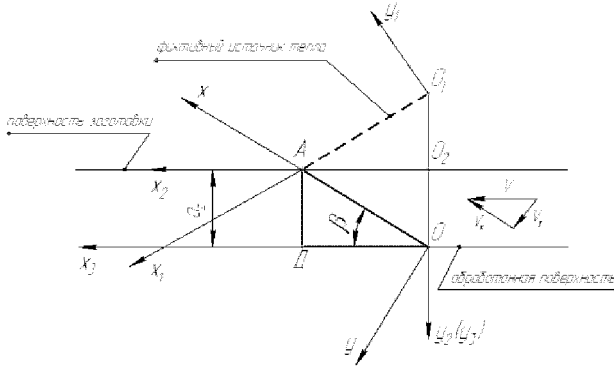


Рис. 1. Схема расположения источников тепла от работы деформации

Задачу теплопроводности от наклонного источника тепла OA решаем в системе координат XOY движущейся вместе с источником со скоростью V . Решаем эту задачу методом источников [2, 3]. При этом температурное поле от наклонного источника тепла OA движущегося в бесконечном пространстве представляем как поле от точечных источников тепла образующих наклонный. Известно [2, 3] решение для точечного источника тепла, всплывшего и мгновенно потухшего в бесконечном теплопроводящем пространстве в момент времени t :

$$T(x, y, z, \tau) = \frac{q}{C\gamma[4\Pi a(\tau-t)]^{3/2}} \exp\left(-\frac{(x-x_u)^2 + (y-y_u)^2 + (z-z_u)^2}{4a(\tau-t)}\right), \quad (1)$$

где τ – момент времени наблюдения за температурой; $C\gamma$ – объемная удельная теплоемкость среды; a – коэффициент температуропроводности среды; q – количество мгновенно выделившегося тепла; x_u, y_u, z_u – координаты точечного источника тепла; z – координата по оси перпендикулярной плоскости XOY .

Так как наклонный источник тепла движется вдоль оси X со скоростью $V_x = V \cos \beta$, а вдоль оси $Y - V_y = V \sin \beta$, то учет движения источника учитываем заменой [2, 3] $(x-x_u)^2$ на $[(x-x_u)^2 + V \cos \beta(\tau-t)]^2$, а $(y-y_u)^2$ на $[y + V(\tau-t) \sin \beta]^2$ (имеется ввиду что $y_u = 0$). Кроме учета движения источника, необходимо выражение (1) проинтегрировать по x_u, y_u, z_u , в соответствующих пределах, и по t в пределах от 0 до времени наблюдения τ :

$$T(x, y, z, \tau) = \frac{q}{C\gamma[4\Pi a]^{3/2}} \int_0^{\tau} dx_u \int_{-\infty}^{+\infty} dz_u \int_0^{\tau} \frac{dt}{(\tau-t)^{3/2}} \times \exp\left[-\frac{[x-x_u + V \cos \beta(\tau-t)]^2 + [y + V(\tau-t) \sin \beta]^2 + [z-z_u]^2}{4a(\tau-t)}\right], \quad (2)$$

где l_1 – размер источника тепла вдоль оси X (длина ОА).

В приведенном выражении принимаем источник тепла бесконечным вдоль оси Z, т. е. решаем плоскую задачу теплопроводности.

Выполнив интегрирование по z_u получим окончательно следующее решение и рассматривая решение для $Z=0$ получим:

$$T(x, y, \tau) = \frac{q}{4 \cdot \lambda \cdot \pi} \int_0^\tau dt \int_0^{l_1} \frac{dx_u}{\tau - t} \times \exp \left[-\frac{[x - x_u + V(\tau - t) \cos \beta]^2 + [y + V(\tau - t) \sin \beta]^2}{4a \cdot (\tau - t)} \right] \quad (3)$$

Чтобы учесть отсутствие теплоотдачи в окружающую среду конвективным теплообменом введем фиктивный источник тепла, показанный пунктирной линией на рис. 1, симметричный наклонному относительно поверхности заготовки. Решение для этого источника тепла будет как и (3) только вместо координат X и Y будут координаты x_1 и y_1 (см. рис. 1):

$$T_1(x_1, y_1, \tau) = \frac{q}{4 \cdot \lambda \cdot \pi} \int_0^\tau \int_0^{l_1} \frac{1}{\tau - t} \times \exp \left[-\frac{[x - x_u + V(\tau - t) \cos \beta]^2 + [y + V(\tau - t) \sin \beta]^2}{4a(\tau - t)} \right] dx_u dt \quad (4)$$

Чтобы решения (3) и (4) суммировать не необходимо от координат X, Y и x_1, y_1 перейти к общей для обоих источников системе координат например $X_2 O_2 Y_2$. Для того, чтобы выразить координаты X и Y через x_2 и y_2 необходимо систему $X_2 O_2 Y_2$ сначала повернуть на угол β , а затем центр системы, т. е. точку O_2 , перенести в точку O. Выполнив эти переходы получим:

$$\begin{cases} x = x_2 \cos \beta + (a_z - y_2) \sin \beta, \\ y = (y_2 - a_z) \cos \beta + x_2 \sin \beta. \end{cases} \quad (5)$$

Координаты x_1 и y_1 аналогичными действиями выражаем через x_2 и y_2 :

$$\begin{cases} x_1 = x_2 \cos \beta + (y_2 + a_z) \sin \beta, \\ y_1 = x_2 \sin \beta - (y_2 + a_z) \cos \beta. \end{cases} \quad (6)$$

Справедливость формул (5) и (6) была проверена сравнением геометрического построения и расчета.

Введение фиктивного источника тепла позволяет учесть отсутствие теплоотдачи конвективным теплообменом от поверхности заготовки. Его влияние на температурное поле в обработанной поверхности, очевидно, будет большим при малых значениях толщины среза a_z . Поскольку выполненные исследования предполагается использовать для обдирочного шлифования,

при котором толщины среза единичным зерном большие, то наверно возможно не учитывать фиктивный источник тепла, начиная с каких-то значений a_z . Сравнение температуры от суммарного воздействия наклонного и фиктивного источников с одним наклонным выполним для точки выхода обработанной поверхности из-под наклонного источника, т. е. для $x_2 = 0$, $y_2 = a_z$. Прочие условия расчета следующие: $\lambda = 0,226$ Дж/см·с·град, $a = 0,05$ см²/с, $V = 4000$ см/с, $q = 0,4 \cdot 10^7$ Дж/см²·с. Толщина среза в см, $\beta = 0,3837$ рад.

Расчет выполнен в пакете “Mathcad”. Протокол расчета и графики результатов приведены на рис. 2. Из рис. 2 видно, что при толщинах среза менее 1 мкм ($1 \cdot 10^{-4}$ см) расчет температуры без учета фиктивного источника тепла ведет к погрешности порядка 10%, а для толщин среза $a_z > 2$ мкм погрешность уже мене 1%. Таким образом, для обдирочного шлифования можно не учитывать адиабатичность поверхности заготовки.

Замена наклонного источника тепла плоским может быть осуществлена либо поворотом наклонного (линия ОА) вокруг точки О до обработанной плоскости, либо проекцией ОА на обработанную плоскость. В случае поворота источника его размер остается равным ОА, т. е. $az \sin \beta$, а в случае проектирования – $az / \tan \beta$.

$$i := 0..4 \quad az_i := 0.0001 + 0.0001 \cdot i \quad \lambda := 0.226 \quad a := 0.05 \quad v := 4000$$

$$x2 := 0 \quad q := 0.4 \cdot 10^7 \quad \beta := 0.3837 \quad \tau := 2 \cdot 10^{-6}$$

$$T1(az) := \frac{q}{4 \cdot \pi \cdot \lambda} \cdot \int_0^{\frac{az}{\sin(\beta)}} \frac{e^{-\frac{[x^2 \cos(\beta) + \sin(\beta) \cdot (az - az) - xv(\tau - t) \cos(\beta)]^2 - [\cos(\beta) \cdot (az - az) + x2 \sin(\beta) + v(\tau - t) \sin(\beta)]^2}{4 \cdot v(\tau - t)}}}{\tau - t} dx dt$$

$$T2(az) := \frac{q}{4 \cdot \pi \cdot \lambda} \cdot \int_0^{\frac{az}{\sin(\beta)}} \frac{e^{-\frac{[x2 \cos(\beta) + \sin(\beta) \cdot (az + az) - xv(\tau - t) \cos(\beta)]^2 - [x2 \sin(\beta) - (az + az) \cos(\beta) + v(\tau - t) \sin(\beta)]^2}{4 \cdot v(\tau - t)}}}{\tau - t} dx dt$$

$$T3(az) := T1(az) + T2(az) \quad \delta(az) := \frac{T3(az) - T1(az)}{T3(az)} \cdot 100$$

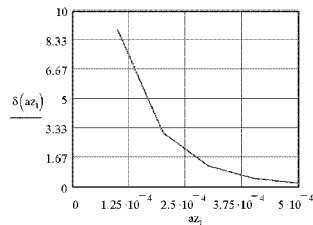
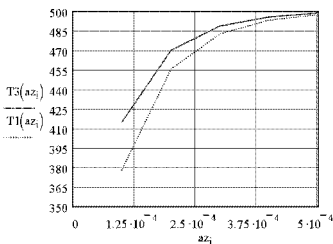


Рис. 2. Протокол расчета и графики результатов

В обоих случаях задачу надо решать в системе координат ХЗΟΥЗ. При-

чем, нужно учесть, что $y_3 = y_2 - a_z$, чтобы на одном графике сравнивать решения для наклонного и плоского источников в зависимости от y_2 . Решение задачи для плоского источника длиной $az/\sin\beta$, будет следующим:

$$T_2(y_2) = \frac{q}{4 \cdot \lambda \cdot \pi} \int_0^{\tau} \int_0^{a_z/\sin\beta} \exp\left\{-\frac{[x_3 - x_u + V(\tau-t)]^2 + [y_2 - a_z]^2}{4a(\tau-t)}\right\} dx_u dt \quad (7)$$

Решение $T_3(y_2)$ для плоского источника длиной $a_z/tg\beta$ будет аналогично, только верхний предел интегрирования по x_u будет не $a_z/\sin\beta$, а $a_z/tg\beta$.

Протокол расчета температуры в точке $x_2 = x_3 = 0$, т. е. на выходе обработанной поверхности из-под источника на глубине равной от 0 ($y_2 = a_z$) до 2 мкм ($y_2 = a_z + 0.0002$ см) и результаты расчета в виде графиков приведены на рис. 3. Из графиков видно, что температура на поверхности детали сразу за источником при наклонном источнике равна $\approx 450^\circ\text{C}$, а при плоских источниках полученных поворотом наклонного вокруг точки О или проекцией наклонного равна $\approx 1150 \dots 1200^\circ\text{C}$, т. е. почти в 2,5 раза больше.

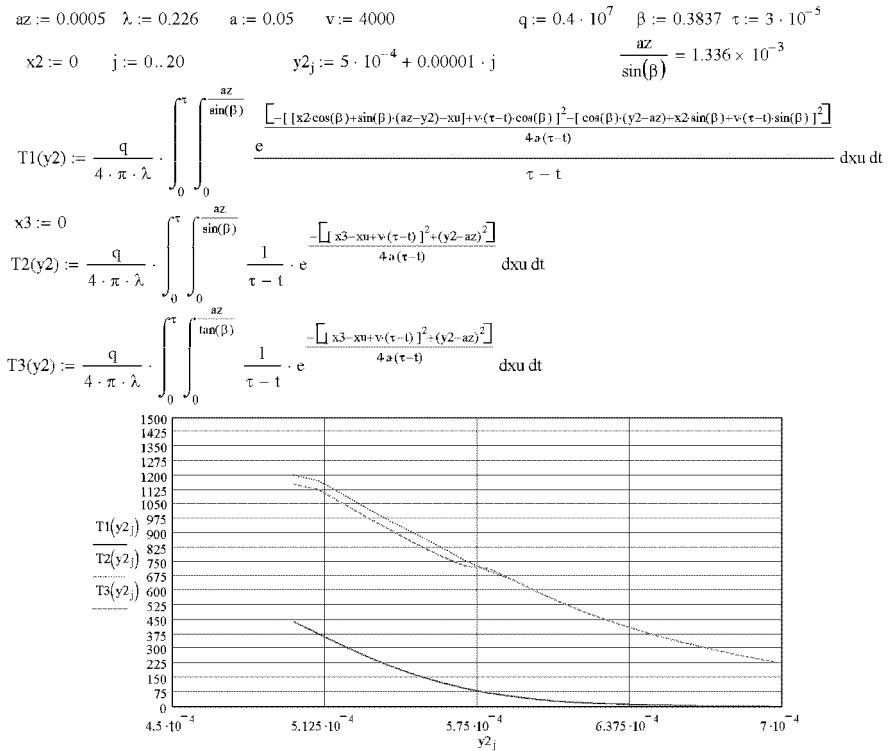


Рис. 3. Протокол и результаты расчета температуры

Такой результат объясняется тем, что, применяя наклонный источник тепла, автоматически учитывается, то, что часть теплоты деформации уносится стружкой, причем как очевидно это значительная часть тепла. Полученный результат объясняет необычно большие температуры при резании единичным зерном полученные в [5].

Таким образом, модель источника тепла при резании единичным абразивным зерном должна состоять из наклонного источника, в котором выделяется тепло от работы деформации на плоскости сдвига, и плоского непосредственно следующего за наклонным, на котором выделяется тепло от работы трения площадки износа по обработанной поверхности.

Список литературы: 1. Редько С.Г. Процессы теплообразования при шлифовании металлов. Изд-во саратовского университета, 1962, 231 с. 2. Резников А.Н. Теплофизика резания - М.: Машиностроение, 1969, 288с. 3. Сипайлов В.А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности - М.: Машиностроение, 1978, 167 с. 4. Островский В.И. Теоретические основы процесса шлифования. Изд-во ленинградского университета, 1981, 141 с. 5. Корчак С.Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей. - М.: Машиностроение, 1974, 280 с.

Поступила до редколлегии 12.12.07

УДК 621.833:621.7.04:519.876.5

Б.А. ПЕРЕПЕЛИЦА, Ю.Г. ГУЦАЛЕНКО

АНАЛОГОВОЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В СИСТЕМЕ САД-ПОДГОТОВКИ STL-ФАЙЛОВ RPTM-ТЕХНОЛОГИЙ

Розглядається паралельне геометричне моделювання у системі cad-підготовки stl-файлів rptm-технологій із переважною орієнтацією на віссесиметричні вироби, зокрема із зубчастим вінцем.

Parallel geometric modelling in the system of cad-preproduction of stl-files of rptm-technology with primary orientation to axisymmetric goods, especially with a ring gear, is considered.

Введение.

Серьезное внимание разработчиков теории и методики 3D моделирования объектов, инструментов и процессов обработки на основе математического аппарата многопараметрических отображений в последние годы привлекает передовая технология RPTM, являющаяся интегрированной технологией ускоренного изготовления прототипов Rapid Prototyping, инструментального обеспечения Rapid Tooling и производства изделий Rapid Manufacturing. Кафедра интегрированных технологий машиностроения НТУ "ХПИ" стала инициатором приобретения для Украины этой технологии. С 2001 года НТУ "ХПИ" и ЗАО "Конструкторско-технологическое бюро верификационного моделирования и подготовки производства" (ЗАО "Верифика-

ционные модели") последовательно создают учебно-научно-производственный Центр интегрированной технологии ускоренного формообразования изделий на базе технологии быстрого прототипирования и комбинированных процессов обработки. С 2003 года Центр укомплектован оборудованием порошкового лазерного спекания - SLS-системой Vanguard производства фирмы "3D Systems" (США), а также системой объемного сканирования Iscan Didinging производства фирмы Imetric SA (Швейцария). Реализации Центром этой технологии на предприятиях авиационной и машиностроительной промышленности свидетельствуют о ее большом потенциале и возможностях обеспечить принципиальное повышение технологического уровня производства и выпуск конкурентоспособной продукции [1].

Опыт НТУ "ХПИ" подтверждает возможность успешной интеграции теоретических 3D моделей на основе многопараметрических отображений и методик их использования с новейшими зарубежными разработками. С 2003 года в Центре выполняются работы по параллельному представлению геометрических моделей сложнопрофильных объектов с зубчатым венцом в системе CAD-технологий формирования STL-файлов для ускоренного прототипирования. Первая подобная разработка зуборезного долбяка выполнена магистром Филимоновым Е.В. (выпускник 2003 года) при участии студентки Кондусовой Н.В. (выпускник 2004 года) и ассистента Кушнаренко О.Н., а также при методической поддержке руководителя ЗАО "Верификационные модели" к.т.н. Витязева Ю.Б. [2].

Последовательность аналоговой cad-подготовки stl-файлов применительно к сложнопрофильным осесимметричным изделиям, в том числе с зубчатым венцом.

Метод объёмного сканирования позволяет сформировать базу данных о топографии исследуемого объекта в виде массива измеренных точек (облако точек). Решение подобных задач связано с разработкой и использованием определенной системы алгоритмов измерения, моделирования, контроля.

Рассмотрим возможную последовательность моделирования процесса обмера с параллельным представлением моделей для сканирующего измерительного устройства с вращающимся столом.

На начальном этапе определяется система координат измеряемого объекта и выполняется ее совмещение с системой координат математической модели. Осуществляется выбор плотности обмера или угловой скорости при обмере наклонных участков и участков, требующих повышенной точности измерений. Для этого необходимо общее параметрическое описание объекта исследования.

С этой целью выделяются характерные локальные участки, дифференцируются по геометрической сложности, определяются их границы и характерные опорные точки. По аналитическим зависимостям рассчитываются координаты границ этих участков, а также, при необходимости, координаты промежуточных опорных точек. Переход от аналитического описания к локальной сплайн-аппроксимации позволяет приближенно отобразить поверх-

ность модели набором точек, вычисляемых с заданным шагом между узлами сплайна. Локальная аппроксимация сплайнами по точности приближения близка к сплайн-интерполяции и в то же время существенно проще с точки зрения численной реализации. Сущность данного подхода заключается в том, что в определенных (переходных) зонах геометрической модели соответствующие им конструктивные элементы объекта исследования подлежат дополнительному субописанию для получения точности результата в соответствии с постановкой задачи.

Количество краевых условий (узловых точек) определяется базисом и степенью сложности аппроксимируемых поверхностей объекта исследования. Кривые степенного базиса порядка меньше трех и дуги окружностей (например, галтели, окружности впадин и выступов профиля инструмента) аппроксимируются по четырем узлам. Эвольвента, являясь протяженной кривой нестепенного базиса, требует большего числа опорных точек (или других условий).

Шаг измерений, равномерный в пределах каждого из выделенных участков, варьируется в зависимости от геометрической сложности и функциональной важности участка.

В общем случае построения модели измеряемого объекта выбор опорных точек для позиционирования зависит от его типа, локализации и характера износа. В случае зуборезного долбяка [2] в качестве опорных целесообразно принять точки, соответствующие диаметру делительной окружности.

После определения позиции инструмента определяются параметры процесса измерения. В основе описания модели может лежать модифицированный алгоритм аппроксимации полученных посредством измерения данных.

Дальнейший анализ и обработка информации предполагает переход от точечной модели к полигональной поверхностной, с использованием алгоритмов триангуляции или перехода к сетчатому дискретному каркасу поверхности. Чтобы представить результаты как твердотельную модель, для триангуляции необходимо провести ряд тестов, которые могут исправить или дополнить исходную информацию, а для перехода к сетчатому каркасу выполнить процедуры по построению и упорядочиванию его узлов.

Если исключается искажение информации и снижение или «усреднение» точности, то описание может передаваться в САД-систему и дальнейшие 2D и 3D построения осуществляются ее средствами. В этом случае необходимо обеспечить единообразие представления внешних данных – структуры, формата и т. д.

Универсальные STL-файлы программного обеспечения технологии ускоренного прототипирования обеспечивают адекватный процесс чтения-записи результатов триангуляции и передачи измеренной информации. Возможность экспорта системой форматов для описания геометрии поверхности на субуровне в виде массива треугольников позволяет избежать ее искажения и корректно оценивать погрешности и износ в объекте исследования.

Анализ результатов измерений заключается в сравнении реальной поверхности с теоретической. Основываясь на точной математической модели, при помощи специальных алгоритмов разделения измеренных точек, определяются отдельные фрагменты-образы для контроля измеренных координат действительной поверхности объекта исследования. Для этого контролируемые фрагменты совмещаются с математически описанными и определяются их характеристики и отклонения. При оценке результатов обмера, основываясь на математическом описании расположения геометрических элементов и их параметров, можно определить номинальные величины и отклонения, исследовать интенсивность износа интересующих участков, восстановить их геометрию, представить результат визуально и дать его оценку.

Выводы.

Современные прецизионные технологии механообработки, сложность геометрической формы и возросшие требования к качеству изделий обуславливают необходимость нового подхода к оценке геометрической точности обрабатываемого и обрабатывающего объектов. Такой подход может быть рассмотрен на примере параллельного (по натурному образцу-аналогу) представления геометрических моделей сложнопрофильных объектов, например с зубчатым венцом (зубчатые колеса, зуборезные долбяки и т.д.), в системе CAD-технологий формирования STL-файлов для ускоренного прототипирования. Изменение или искажение геометрии инструмента и обрабатываемой детали, обусловленные технологией изготовления, эксплуатацией, вызванные износом или восстановлением, можно выявить достаточно точно лишь при наличии параллельного 3D-описания измеренной и моделируемой поверхностей. Например, моделирование формообразования на основе реальных измеренных параметров инструмента с последующей имитацией обкатки колес до начала обработки на станке позволяет практически полностью исключить брак. Причем моделирование процесса обмера поверхности и изменяемая при этом пошаговая дискретизация могут обеспечить, например, повышенную точность для изношенных или перетачиваемых участков зуборезного инструмента.

Математические модели сложнопрофильных объектов, например зубчатых колес усовершенствованных передач крутящего момента [3], и соответствующие им численные реализации в матричной форме, параметрическими уравнениями или массивом точек закладываются в экспертные системы (информационную базу) CAD/CAM систем соответствующих объектов, инструментов и процессов формообразования. Создание в НТУ "ХПИ" теории унифицированной многопараметрической информационной базы CAD/CAM систем зубообработки предусмотрено очередным проектом исследований на ближайшие 2-3 года.

Список литературы: 1. Интегрированные технологии ускоренного прототипирования и изготовления /Под ред. Л.Л.Товажнянского и А.И.Грабченко. – Харьков: ОАО "Модель Вселенной", 2005. – 224 с. 2. Создание теории и методики моделирования процессов резания в трехмерном (3D) пространстве на основе многопараметрических аффинных отображений: Отчет о НИР

(заключит.) /Нац. техн. ун-т "Харьк. политехн. ин-т"; рук. Перепелица Б. – Харьков, 2004. – 227 с. – № ГР 0102U000976. – Инв. № 0205U002336. 3. Обобщение 3D-моделирования инструментов и формообразования усовершенствованных зубчатых зацеплений с использованием интегрированной технологии RPTM: Отчет о НИР (заключит.) /Нац. техн. ун-т "Харьк. политехн. ин-т"; рук. Перепелица Б. – Харьков, 2007. – 246 с. – № ГР 0105U000575. – Инв. № 0208U.

Поступила в редколлегию 17.12.07

УДК 661.5:544.4

В.В. КАЗАКОВ

ЗДОБУТКИ НАУКОВОЇ ШКОЛИ В ГАЛУЗІ ТЕХНОЛОГІЇ ЗВ'ЯЗАНОГО АЗОТУ У ВИРОБНИЦТВІ НІТРАТНОЇ КИСЛОТИ

Показано здобутки та внесок учених ХПІ в створення нових технологічних схем виробництва HNO_3 у 60-80-ті роки ХХ століття. Наведено основні показники та техніко-економічні характеристики створених технологій. З'ясовано основні тенденції розвитку виробництва нітратної кислоти.

The paper shows the main achievements and contribution of KhPI scientists to the creation of new technological schemes of HNO_3 production in the 60s-80s of the XXth century. Basic indicators and technical economic characteristics of the developed technologies were presented. Principal tendencies of development of nitric acid production were revealed.

Метою дослідження є з'ясування здобутків наукової школи В.І.Атрошенка у розвиток і створення нових технологій виробництва нітратної кислоти.

Дослідження вчених при створенні технологій HNO_3 .

У 20-30-ті роки ХХ ст. в основному HNO_3 одержували в схемах під атмосферним тиском на всіх стадіях процесу. Такий тиск позитивно впливає на окиснення NH_3 до NO ($\alpha=97-98\%$), але ступінь поглинання оксидів азоту водою в баштах кислотної абсорбції складає лише 92–94 %, що приводило до значної втрати зв'язаного азоту. Тому І.Є. Адауров, В.І. Атрошенко К.Г. Седашева та ін. запропонували поглинати оксиди азоту в лужних абсорберах, які працювали за принципом протитечії: у другий апарат за ходом газів подавали розчин соди (200–250 г/л) або вапняне молоко (80–100 г/л) і одержані розчини перероблювали в нітрит-нітратні солі. При цьому загальний ступінь поглинання оксидів азоту підвищувалась до 98 %, різко зменшувались втрати зв'язаного азоту [1,2].

У 1941–43 рр. під керівництвом В.І. Атрошенка співробітники ХХПІ, ДІАП та Чирчикського електромеханічного комбінату розробили й упровадили метод очищення електротехнічного кисню від краплинок лугу й застосовували O_2 у виробництві HNO_3 . Це дозволило збільшити потужність цеху HNO_3 на 30 %, знизити видаткові коефіцієнти, збільшити концентрацію HNO_3 і зменшити викиди NO_x в атмосферу [1]. Абсорбційна колона

тарілчастого типу із сітчастими тарілками запропонована співробітниками ХПІ, ДІАП та Лисичанського хімкомбінату В.І. Конвісаром, В.І. Атрощенком, С.Н. Сороко, П.В. Сичковим та ін. У такій колоні при охолодженні середньої частини до 0–10 °С одержували HNO_3 із концентрацією 65–68 % (раніше біля 50 %) [1].

Розроблення абсорбційних колон нового типу, які працюють під тиском, дозволило створити нову технологічну схему одержання HNO_3 у комбінованих системах, де окиснення NH_3 відбувається під атмосферним тиском, а абсорбція – під тиском 3,5–4,0 ат. Так, уже в 1965 р. у СРСР 23 % HNO_3 вироблялось в системах, які працювали під атмосферним тиском, 27 % – у системах під високим тиском на всіх стадіях і 50 % – у комбінованих системах 1–3,5 ат. На теренах Радянського Союзу такі схеми впроваджено на 16 підприємствах хімічної промисловості й за кордоном у 8 країнах. При одержанні HNO_3 підвищеної концентрації комбіновані системи мають цілий ряд суттєвих переваг. Технологічна схема 1–3,5 ат одержання HNO_3 впроваджена на більше 100 установках хімічних підприємств Радянського Союзу [1, с. 122]. Таким чином, у 50-ті роки ХХ ст. для одержання 45–48 %-ної HNO_3 були створені агрегати, які працювали за комбінованою схемою 1–3,5 ат, потужністю 45–50 тис. т/рік. Але з необхідністю зростання виробництва мінеральних добрив, які вміщують азот, необхідно було збільшувати виробництво HNO_3 . Це вимагало вдосконалення технології, збільшення потужності агрегатів виробництва HNO_3 , підвищення концентрації кислоти й зменшення викидів NO_x в атмосферу.

У 60-ті роки ХХ ст. були розроблені й впроваджені агрегати з потужністю 120 тис. т/рік під єдиним тиском 0,716 МПа, які виробляли HNO_3 із концентрацією 56–58 % [2]. Значний внесок у створення потужного агрегату УКЛ зробили вчені наукової школи В.І. Атрощенка. За науково-технічну розробку й впровадження агрегату виробництва HNO_3 під єдиним тиском 0,716 МПа в 1969 р. В.І. Атрощенку разом із співробітниками ДІАП, Дніпродзержинського хімічного комбінату, Северодонецького заводу присуджено Державну премію СРСР у галузі науки і техніки. В основу цих агрегатів положено так звана енерготехнологічна схема, у якій використовувалась енергія хімічних реакцій перетворення NH_3 у HNO_3 . У технологічну схему було включено високотемпературну каталітичну очистку викидних газів від NO_x із використанням CH_4 у якості відновлювача, а також газова турбіна для рекуперації енергії стиснутих газів. Це дозволило зменшити концентрацію NO_x у викидних газах до 0,002–0,005 % (порівняно з 0,1–0,3 % у комбінованій схемі) [4, 5]. У 60–70-ті роки ХХ ст. було побудовано більше 120 агрегатів у СРСР і за кордоном. Сьогодні на Україні працює 34 агрегати УКЛ, які повністю забезпечують країну в HNO_3 і ще на протязі 10–15 років будуть виробляти необхідну хімічну продукцію [1].

Для проектування й розробки агрегату виробництва HNO_3 під тиском 0,716 МПа було використано значну кількість результатів досліджень В.І.

Атрощенко та його учнів: кінетичне рівняння окиснення NH_3 до NO ; математичну модель та оптимальні технологічні умови процесу окиснення NH_3 ; оптимальні технологічні умови; оптимальні умови окиснення NO до NO_2 ; розрахунок ступені переробки оксидів азоту; рівняння для знаходження к.к.д. тарілок та ін.

За результатами розробки й упровадження в промислове виробництво технологічних схем 1–3,5 та 7,3 ат частка економічного ефекту кафедри ТНР ХПІ в 9-й п'ятирічці становила 9,0 млн. крб., а тільки за 3 роки 10-ї п'ятирічки – 11,5 млн. крб. Таких результатів у впровадженні наукових досліджень не мала жодна кафедра в СРСР [1, с. 129].

У 70-ті роки ХХ ст. розроблено й упроваджено ДІАПОМ разом із науковцями ХПІ потужні агрегати виробництва HNO_3 за комбінованою енерготехнологічною схемою АК-72 (АК-72М) із тиском на стадії окиснення NH_3 і абсорбції оксидів азоту відповідно 0,392 і 1,079 МПа (360–380 тис. т/рік HNO_3) [3-5]. У схемі АК-72М каталітична очистка за допомогою природного газу замінена на селективну аміачну очистку від NO_x . Такі агрегати дозволяють отримувати 58–60 % HNO_3 з умістом у викидних газах не більше 0,005 % оксидів азоту [551].

У 70-80-ті роки ХХ ст. потужні агрегати АК-72, АК-72М побудовані в містах Чирчик (Узбекистан, 1979 р.), Новгород (Росія, 1980 р.), Дорогобуж (Росія, 1980 р.), Россош (Росія, 1981 р.), Руставі (Грузія, 1981 р.), Кемерово (Росія, 1981 р.), Кірово-Чепецьк (Росія, 1983 р.) та ін. На Україні виробництво HNO_3 за схемою АК-72, АК-72М відсутнє.

В.І. Атрощенко разом зі співробітниками кафедри ТНР ХПІ запропонували оптимальні параметри на стадії окиснення NH_3 в агрегаті АК-72 (АК-72М): тиск 0,28–0,45 МПа; температура 840–860 °С; об'ємна концентрація NH_3 у суміші з повітрям 9,6–10,5 %; лінійна швидкість газу 2,4–2,6 м/с. При цих умовах є можливість досягти ступінь перетворення NH_3 у NO на рівні 96,5 %, а при високій чистоті повітря й NH_3 ступінь конверсії NH_3 складає 97 % [2-4]. Науковою школою досліджено й запропоновано технологічні фактори, які впливають на процес взаємодії оксидів азоту з H_2O на стадії абсорбції в схемі АК-72.

У таблиці наведено характеристику розроблених технологічних схем виробництва HNO_3 у СРСР після 40-х років ХХ ст. за участю наукової школи В.І. Атрощенко. Показано, що, починаючи з 50-х років завдяки результатам діяльності наукової школи, потужність кожної наступної схеми зростала в 3–4 рази, а остання технологія виробництва HNO_3 АК-72 у 32–36 разів має більшу потужність, порівняно зі схемою під атмосферним тиском [2].

Для створення ефективних технологій виробництва HNO_3 , підвищення продуктивності агрегатів, збереження енергії й ресурсів В.І. Атрощенко разом зі співробітниками кафедри ТНР ХПІ було запропоновано використовувати кисень для окиснення NH_3 , NO і абсорбції NO_2 [2]. Це дозволило на стадії окиснення NH_3 підвищити концентрацію аміаку в АПС до 35 %, отри-

мувати концентрацію кислоти до 70 % HNO_3 , зменшити викиди в атмосферу NO_x , значно спростити технологічну схему. При цьому об'єм апаратів контактного вузла зменшиться в 4, а абсорбційної колони – в 360 разів [2, с. 73].

Таблиця – Характеристика технологічних схем виробництва HNO_3

Упровадження технології, роки	40-ві	50–60-ті	1965	1976
Потужність однієї технологічної лінії, тис. т/рік HNO_3	10–12	45–50	120	360–380
T Тиск на стадії, ат: окиснення NH_3 абсорбції NO_2	1 1	1 3,5	7,3 7,3	4,5 11
Збільшення потужності однієї лінії, рази	1	4,2–4,5	10–12	31,7–36,0

Результати наукових досліджень В.І. Атрощенко, В.Т. Єфімова, І.І. Литвиненка, В.В. Кутового, Т.І. Печенко, В.І. Конвісара, К.Г. Седашової, В.М. Каута та ін. [2] широко використано для розробки, проектування й побудови технологічної схеми великої потужності для виробництва концентрованої (98–99 % HNO_3) кислоти прямим методом безпосередньо з оксидів азоту. За цією технологією також отримують розчини $\text{HNO}_3\text{-NO}_2$ із масовою концентрацією NO_2 до 35–42 %, які використовують як окиснювачі в ракетній техніці [2, с. 296–301]. Для цієї технології В.І. Атрощенко, В.Т. Єфімов, І.І. Литвиненко розробили нову конструкцію автоклава, що дозволило підвищити продуктивність апарату в 2 рази, знизити витрати O_2 на 15 %, зменшити тиск процесу [1, с. 122].

Висновки.

Грунтовні й фундаментальні дослідження наукової школи дозволили розробити наукові засади та вирішити практичні проблеми при створенні нових технологій та апаратів, що дозволило інтенсивно розвиватись хімічній науці й технології, зробити вагомий внесок у науково-технічний процес.

Список літератури: 1. Наукова та науково-організаційна діяльність академіка В.І. Атрощенко в хімічній технології //Л.Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, Г.І. ГРИНЬ, О.Я. ЛОБОЙКО, С.О. ГРИНЬ, П.В. КУЗНЕЦОВ. – Х.: НТУ «ХП», – 2006. – 264 с. 2. Атрощенко В.И., Каргин С.И. Технология азотной кислоты. – М.: Химия, 1970. – 496 с. 3. Катализаторы в азотной промышленности /Под ред. В.И. Атрощенко. – Х.: Вища шк., 1977. – 144 с. 4. Кинетика абсорбционных процессов /Под ред. В.И. Атрощенко. – Х.: Вища школа, 1976. – 182 с. 5. Кинетика гетерогенно-каталитических реакций под давлением /Под ред. В.И. Атрощенко. – Харьков, Вища шк. – 1974. – 168 с.

Надійшла до редакції 15.11.07.

В.В. ФРОЛОВ

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ МОДУЛИ РАСЧЕТА РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ НА МНОГОЦЕЛЕВЫХ СТАНКАХ С ЧПУ

В статье рассматриваются разработка интегрируемых модулей автоматизированного расчета режимов резания для многоцелевых станков с ЧПУ сверлильно-фрезерно-расточной группы на основе фреймово-продукционных моделей знаний.

У статті розглядаються розробка інтегрованих модулів автоматизованого розрахунку режимів різання для багаточільових верстатів з ЧПУ свердлильно-фрезерно-розточувальної групи на основі фреймово-продукційних моделей знань.

Широкое применение многоцелевых станков для нужд многономенклатурного производства – одна из основных тенденций современного машиностроительного производства. Подходы к технологическому проектированию для данного типа оборудования должны давать возможность технологу быстро и эффективно решать задачи технологической подготовки производства на этапе разработки технологического процесса. Одной из таких задач, которая решается в комплексе с другими, является расчет режимов резания на конкретные технологические переходы. Вопросам автоматизации этого этапа технологического проектирования посвящено большое количество работ, поскольку здесь наблюдается наибольшая формализация предметной области, что позволяет максимально эффективно применять программные средства. При современном уровне развития программных средств технологического проектирования остро возникает вопрос интеграции САПР различных разработчиков в единую инструментальную среду, обеспечивающую максимальную эффективность работы технолога.

Решение проблемы видится в разработке функционально независимых модулей, которые затем объединяются в единую инструментальную среду для конкретного производства. Интеграция на этом уровне решается за счет разработки протоколов передачи данных между модулями различных разработчиков. [1-7] Это направление сейчас широко используется в конструкторских САПР, где передача информации выполняется за счет специальных форматов STEP, IGES, SAT, DXF, STL, или за счет функций API, OLE. Наиболее характерным примером является система SolidWorks, где разработаны специальные протоколы, обеспечивающие не только передачу информации во внутрь модели, но и управление построением модели. Такой подход позволяет широко использовать эту систему при разработке интегрированных приложений. При передаче технологической информации такого широкого внедрения указанных технологий не наблюдается, поскольку не разработаны на уровне стандартов структуры по передаче технологической информации.

Это объясняется сложностью взаимосвязей и разным уровнем детализации информации на различных предприятиях. В протоколах STEP AP-238 и AP-224 разработчики предлагают одно из направлений передачи технологической информации в контексте разработки единой информационной модели изделия при применении CALS технологий.[8]

Структурирование или разметка технологической информации для интеграции может быть выполнена на основе использования фреймово-продукционных моделей знаний. Один из таких подходов предлагается для решения задач автоматизации расчета режимов резания в данной статье.

На этой основе разработана система расчета режимов резания для обработки отверстий. Она состоит из типовых модулей для различных методов обработки, где используются данные по расчету режимов резания из [9]. Рассмотрим основы построения и реализацию типового модуля на примере расчета режимов резания для сверления.

Фрейм расчета режимов резания для сверления (см. рис 1) состоит из одного субфрейма 2 и одного слота 1. Слот 1 содержит данные об интенсивности формообразования для различных условий функционирования технологической системы. Каждый слот имеет опорное множество, с помощью которого фрейм адаптируется к конкретной ситуации. Опорное множество включает в себя производственные правила с детерминированными ядрами. Каждое производственное правило содержит информацию о применимости к конкретной ситуации и режимные параметры процесса обработки, характерные для нее.

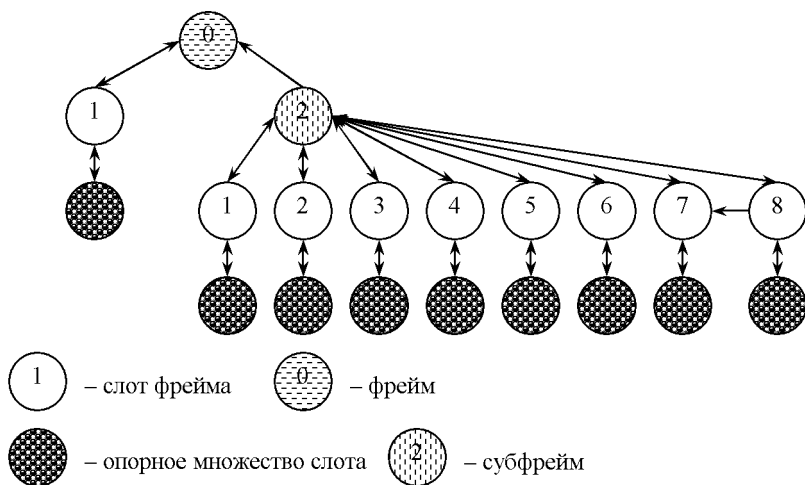


Рис. 1 – Фреймовая структура модуля автоматизированного расчета режимов резания для сверления.

Субфрейм состоит из слотов, которые конкретизируют условия формообразования для возникающей стереотипной ситуации: в зависимости от

механических свойств обрабатываемого материала (1); применения охлаждения (2); состояния поверхности заготовки (3); инструментального материала (4); формы заточки (5); длины рабочей части сверла (6); в зависимости от фактической стойкости инструмента (7). Эти слоты также связаны с опорными множествами. Слот 7 связан отношением со слотом 8, поскольку здесь необходимы данные о нормативной стойкости инструмента.

Стратегия обработки производственных правил одинакова для всех элементов фрейма (см. рис. 2). Продукция представляется в виде фрейма (1) (см. рис. 2б), в слотах которого содержится ссылка на субфрейм правил применения продукции (1) и слота, содержащего информацию, которая используется при активации продукции. Общий алгоритм процедуры отбора продукции выглядит следующим образом (см. рис. 2а): информация передается (2) от слота «родителя» (3); заполняются слоты условий каждой продукции из опорного множества, при этом продукция активизируются или не активизируются (4); производится отбор активных продукций из множества по алгоритму на рис. 2в – условие 5 определяет активна продукция для конкретной ситуации или нет, и осуществляет отбор активных продукций; данные из слота 2 активной продукции передаются фрейму «родителю» (6) см. рис. 2а.

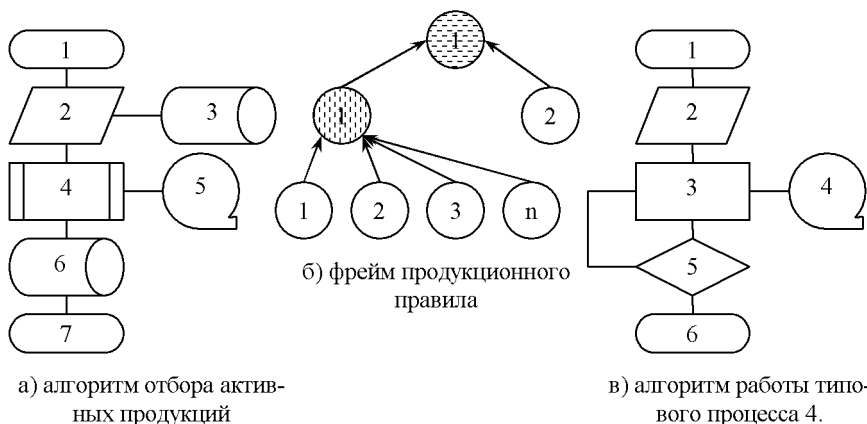


Рис. 2 – Схемы работы с производственными правилами

Во фрейме 0 рис. 1 выполняется расчет режимных параметров, таких как: скорость резания; подача; мощность резания; осевое усилие. При детальном рассмотрении (см. рис. 3) фрейм 0 состоит из слотов, которые можно разбить на несколько крупных блоков: исходные данные; данные субфреймов; результаты расчета. Причем такой подход позволяет оптимально с точки зрения интеграции в другие системы САПР использовать расчет режимов резания.

На примере субфрейма 2 (см. рис. 3) рассмотрим типовые структуры субфреймов 2, 3, 4, 5: подача; скорость резания; мощность; осевое усилие. Слоты 1,2 получают данные от субфреймов базы знаний и передают данные в слот 3, где осуществляется расчет подачи, для конкретных условий работы,

также этот слот исполняет роль стыковочного слота, за счет которого осуществляется интеграция с другими фреймами технологического проектирования.

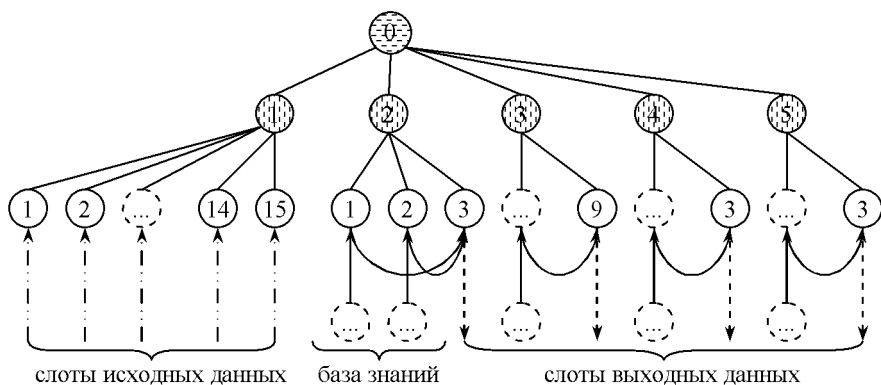


Рис. 3 – Стыковочный фрейм расчета режимов резания

Вышеуказанный подход был реализован при проектировании отдельных модулей автоматизированного расчета режимов резания для операций обработки отверстий: сверления; рассверливания; зенкерования; развертывания; нарезания резьбы метчиком. Наиболее удобная программная реализация этого подхода возможна при использовании электронных таблиц, поскольку ячейку таблицы можно идентифицировать со слотом фрейма, а так же связать с ней необходимые процедуры расчета, обеспечивающие обработку информации при фреймово–продукционной организации информационного обеспечения технологического проектирования для многоцелевых станков с ЧПУ сверлильно–фрезерно–расточной группы. Другой аспект, который повлиял на выбор электронных таблиц для программной реализации подхода, это очень широкое применение данного программного обеспечения на отечественных предприятиях и, что очень важно, в САПР различных разработчиков. Здесь электронные таблицы интегрируются в САПР для различных целей, например, при конструкторском проектировании обеспечивается передача данных для конкретных конфигураций параметрической модели машиностроительной детали; при технологическом проектировании электронные таблицы используются для хранения данных и для формирования отчетности по технологической документации.

Структура программной реализации модуля при использовании табличных алгоритмов выглядит следующим образом: 1) Каждый модуль реализован в виде книги Excel; 2) Книга состоит из трех листов, реализующих фреймово–продукционный подход: лист 1 – бланк (используемый для интеграции); лист 2 и 3 – базы продукционных правил; 3. Слот – ячейка таблицы. Взаимосвязь слотов реализована на основе вышеуказанных теоретических положений.

Каждый программный модуль можно ассоциировать с функцией от многих переменных, поэтому можно провести анализ чувствительности модели к воздействию внешних факторов. Проведем анализ чувствительности на примере модуля сверления. Будем изменять следующие исходные данные в диапазоне от -10% до +10%: твердость обрабатываемого материала по Бриннелю; диаметр сверла; длина рабочей части сверла; период фактической стойкости сверла. На выходе модуля получаем значение минутной подачи. Изменяя поочередно каждый параметр, считаем значение минутной подачи и сравниваем его с базовым значением. Исходные данные сводим в таблицу 1.

Таблица 1 – Исходные данные для анализа чувствительности

Модуль:	Расчет режимов резания
Исходные данные:	
Переход:	СВЕРЛЕНИЕ
Использование охлаждения:	ДА
Заготовка:	
наличие корки	ДА
вид заготовки	ПОКОВКА
Материал обрабатываемой поверхности:	
вид	СТАЛЬ
разновидность	ХРОМИСТАЯ
твердость по Бриннелю	163
Сверло:	ГОСТ 10903
диаметр, мм	10
длина рабочей части, мм	90
отношение длины к диаметру	9
материал режущей части	
тип	БС
марка	Р6М5
форма заточки режущей части	Н
Период стойкости, мин	90
Параметры для анализа устойчивости	
твердость по Бриннелю	163
диаметр, мм	10
длина рабочей части, мм	90
Период стойкости, мин	90
Минутная подача	57,06817834

Результаты анализа чувствительности модели приведены на рисунке 4. Анализ показывает, что модель наиболее чувствительна к изменению твердости обрабатываемого материала и диаметру обработки.

Блок данных для графика

	- изменение Smin	Smin	изменение Smin
твердость по Бриннелю	-10%	0	10%
диаметр, мм	-21,08086624	0	11,49630573
длина рабочей части, мм	-6,340908705	0	0,681502721
Период стойкости, мин	0	0	0
			2,282727134

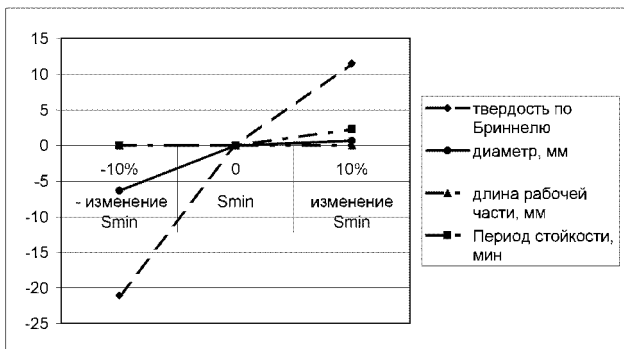


Рис.4 – Анализ чувствительности модели

Достоинства интегрируемых программных модулей, основанных на фреймово-производственных моделях знаний, могут быть выражены в следующем: 1. Открытость алгоритмов с возможностью дополнения и изменения существующей системы производственных правил; 2. Функциональная независимость модулей позволяет использовать их как в одной системе, так и для отдельных расчетов, а так же появляется возможность для развития системы расчета в дальнейшем; 3. Повышается эффективность адаптации данной системы к конкретным производственным условиям; 4. Возможность интеграции в различные системы САПР за счет средств операционной системы, как отдельных модулей, так и всей системы.

Список литературы: 1. Материалы компании STEP Tools Inc. / <http://www.steptools.com/> 2. ISO/DIS 10303-1 Industrial automation systems and integration - Product data representation and exchange - Part 1: Overview and fundamental principles / ISO TC184/SC4/ WG7 3. ISO/DIS 10303-11 Industrial automation systems and integration - Product data representation and exchange - Part 11: Description methods: The EXPRESS language reference manual / ISO TC184/SC4/ WG7 4. ISO/DIS 10303-22 Industrial automation systems and integration - Product data representation and exchange - Part 22: Standard Data Access Interface / ISO TC184/SC4/ WG7 5. ISO/DIS 10303-24 Industrial automation systems and integration - Product data representation and exchange - Part 24: Standard data access interface - C language late binding / ISO TC184/SC4/ WG7 6. ISO/DIS 10303-41 Industrial automation systems and integration - Product data representation and exchange - Part 41: Integrated generic resources: Fundamentals of product description and support / ISO TC184/SC4/ WG7 7. ISO/DIS 10303-203 Industrial automation systems and integration - Product data representation and exchange - Part 203: Configuration Controlled Design / ISO TC184/SC4/ WG7 8. Martin Hardwick, Blair Downie, David Loffredo Build Anywhere using STEP-NC: http://www.steptools.com/library/stepnc/tech_resources/omac.pdf 9. Гузев В.И., Батуев В.А., Сурков И.В. Режимы резания для токарных и сверлильно-фрезерно-расточных станков с ЧПУ: Справочник/ Под. ред. В.И. Гузеева. –М.: Машиностроение, 2005.– 368с.

Поступила в редколлегию 17.12.07

СОДЕРЖАНИЕ

В.С. КАРПУСЬ, Ю.Р. ГАВРИЛЮК, А.М. ЦИМБАЛ ЗАСТОСУВАННЯ АГРЕГАТНО-МОДУЛЬНОГО ПРИНЦИПУ В КОНСТРУКЦІЯХ СУЧАСНОГО МЕТАЛОРІЗАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ.....	3
Г.Л. ХАВІН ЧИСЕЛЬНИЙ АНАЛІЗ ІНТЕНСИВНОСТІ НАПРУЖЕНЬ ТРІЩИНИ РУЙНУВАННЯ ПРИ РІЗАННІ АРМОВАНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ 9	
Н.Э. ТЕРНЮК, В.Ф. СОРОКИН, О.В. ДЕМЧЕНКО СТРУКТУРЫ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ТОЧНОСТИ В ВАРИАТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ.....	13
В.С. МАРЦИНКОВСКИЙ ОПТИМИЗАЦИЯ НАПРАВЛЕННОГО ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ТУРБОКОМПРЕССОРНЫХ АГРЕГАТОВ	21
В.Б. ТАРЕЛЬНИК, А.В. БЕЛОУС ТЕХНОЛОГИЯ УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ.....	27
Н.П. ЮХИМЕНКО ЭНТРОПИЙНЫЙ ПОДХОД К ОПИСАНИЮ МЕХАНИЗМА УНОСА ЧАСТИЦ В АППАРАТАХ ВЗВЕШЕННОГО СЛОЯ.....	31
Е.В. КОНОПЛЯНЧЕНКО, О.В. РАДЧУК, С.Г. НИКОНОРОВ ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РАЗБОРКИ ИЗДЕЛИЙ С ЖЕСТКИМ ВРЕМЕННЫМ ДОПУСКОМ.....	36
М.Н. ЗАХАРОВ, Ю.В. ТИМОФЕЕВ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ МНОГОПОЗИЦИОННОГО АГРЕГАТИРОВАННОГО МЕТАЛОРЕЖУЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ.....	40
О. Б. ПАНАМАРЬОВА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПІДЙОМНОГО МЕХАНІЗМУ СТІЛОЧНОГО КРАНУ З АВТОМАТИЧНИМ РЕГУЛЯТОРОМ ШВИДКОСТІ.....	46
М.С. СВИНАРЕНКО МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ МОДЕРНІЗОВАНОГО ГІДРОБЛОКУ З ПАСИВНИМ ГАСИТЕЛЕМ ПУЛЬСАЦІЙ З АВТОМАТИЧНИМ РЕГУЛЮВАННЯМ ПАРАМЕТРІВ.....	52
В.А. ФАДЕЕВ, Е.В. НАБОКА АНАЛИЗ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ КАЧЕСТВА	58
С.С. ФЕДИН, А.Н. КУЦЫН ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ.....	63
В.А.БОРОДИНОВ, С.С. ДОБРОТВОРСКИЙ, С.В. ИВАЩЕНКО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФРЕЗ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ВАКУУМНО-ДУГОВОЙ НАПЛАВКИ.....	68
А.Н.УШАКОВ, О.И. СЕРХОВЕЦ, А.В. ФЕСЕНКО ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУР РАБОЧИХ ЦИКЛОВ КРУГЛОГО НАРУЖНОГО ВРЕЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ.....	75

Ю.А. СИЗЫЙ, А.В. ЕВТУХОВ, Е.А. ГЛУЩЕНКО СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ЦИКЛА КРУГЛОГО НАРУЖНОГО ВРЕЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ	81
А.В. ГАЙДАМАКА, Г.Г. КУЛИК, О.І. НАУМОВ, В.В. НЕМЧК ПРО ЗАВДАННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ЦИЛІНДРИЧНИХ РОЛИКОПІДШИПНИКІВ, ЩО МАЮТЬ ОСОБЛИВІСТЬ СПРИЙМАТИ ОСЬОВЕ НАВАНТАЖЕННЯ.....	89
С.А. ТИМЧУК, А.В. ТИХОНОВ, А.Д. МАРТЫНЕНКО, Д.С. ТИМЧУК ТЕХНОЛОГИЯ ПРЕПОДАВАНИЯ САПР В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ	92
А.Н. КИРСАНОВ, А.В. ХАУСТОВА ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОСТОЯННЫХ ЦИКЛОВ МНОГОПРОХОДНОЙ ОБРАБОТКИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МОДУЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЯХ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ.....	96
В.А. БОРОДИНОВ, В.Н. ВЛАСЕНКО, С.С. ДОБРОТВОРСКИЙ, Л.Г. ДОБРОВОЛЬСКАЯ, В.М.ПОЛТАВСКАЯ ОСОБЕННОСТИ ШЛИФОВАНИЯ СФЕРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ С КЕРАМИЧЕСКИМИ ГАЗОДЕТОНАЦИОННЫМИ ПОКРЫТИЯМИ	100
О.Е. МАЛЕЦКАЯ, Р.М. ТРИЦ ОЦЕНИВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ ПРОГРАМНО-ТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ.....	104
В. Е. КАРПУСЬ, А. В. КОТЛЯР СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИНТЕНСИВНОСТИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПА ВАЛ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ СТАНКОВ.....	111
А.Н. ШЕЛКОВОЙ, О.Ю. ПРИХОДЬКО, А.Р. РУЗМЕТОВ МЕТОДИКА АДАПТАЦИИ ТИПОВОГО ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПЕРЕХОДА К УСЛОВИЯМ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ	122
З.Я. ЛУР'Є, П.М. АНДРЕНКО РОЗРАХУНОК СИЛИ ТЕРТЯ НА ЗАПОРНО-РЕГУЛЮЮЧОМУ ЕЛЕМЕНТІ ГІДРОАПАРАТА З ВІБРАЦІЙНОЮ ЛІНЕАРИЗАЦІЄЮ	129
Ю.А. СИЗЫЙ, Д.В. СТАЛИНСКИЙ, А.Ю. ПИРОГОВ, Е.В. ХАРЧЕНКО ВЫБОР МОДЕЛИ ИСТОЧНИКА ТЕПЛА ПРИ РЕЗАНИИ ЕДИНИЧНЫМ АБРАЗИВНЫМ ЗЕРНОМ.....	138
Б.А. ПЕРЕПЕЛИЦА, Ю.Г. ГУЦАЛЕНКО АНАЛОГОВОЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В СИСТЕМЕ САД- ПОДГОТОВКИ STL-ФАЙЛОВ РРТМ-ТЕХНОЛОГИЙ.....	144
В.В. КАЗАКОВ ЗДОБУТКИ НАУКОВОЇ ШКОЛИ В ГАЛУЗІ ТЕХНОЛОГІЇ ЗВ'ЯЗАНОГО АЗОТУ У ВИРОБНИЦТВІ НІТРАТНОЇ КИСЛОТИ.....	148
В.В. ФРОЛОВ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ МОДУЛИ РАСЧЕТА РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ НА МНОГОЦЕЛЕВЫХ СТАНКАХ С ЧПУ	152

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

ВІСНИК НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ "ХПІ"

Збірник наукових праць

Тематичний випуск

Технології в машинобудуванні

Випуск №4

Науковий редактор д-р.техн.наук Тимофієв Ю.В.

Технічний редактор канд.техн.наук Фролов В.В.

Відповідальний за випуск канд.техн.наук Обухова І.Б.

Обл.вид. № 39-08

Підп.до друку 11.03.2008 р. Формат 60x84 1/16. Папір Сору Рарег.
Друк-ризографія. Гарнітура Таймс. Умов. друк. арк. 9,94.
Облік.вид. арк. 10,14. Наклад 300 прим. 1-й завод 1-100. Зам. № 0
Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ "ХПІ"

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 116 від 10.07.2000 р.
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Издательство: Технологический центр

Редакция «Восточно-европейского журнала передовых технологий»
Украина, 61145, г. Харьков, ул. Новгородская, 3-а
(057) 730-32-92
