

підтверджує можливість її використання в технології доочистки сточних вод підприємств.

4. Завод, проводивший испытание, заинтересован в применении предлагаемого способа биологической деструкции для очистки производственных стоков.

Список литературы

1. Материалы I Московского Международного Конгресса «Биотехнология: состояние и перспективы развития». – Москва: ЗАО «Пик Максима», 2002.
2. Материалы II Московского Международного Конгресса «Биотехнология: состояние и перспективы развития». – Москва: ЗАО «Пик Максима», Ч. 2, 2003.
3. Патент 12733 (Україна). Універсальний спосіб утилізації звичайних боєприпасів, що містять тротил і/або гексоген / А.Н. Баранов, М.В. Гавриш, Н.М. Дербасова, М.М. Кисельов, К.В. Ерьомін. – Надрук. в Бюл., 15.02.2006. – № 2.
4. Орлова Е.Ю. Химия и технология бризантных взрывчатых веществ. - Л.: Химия, 1981. – С. 227 – 244.
5. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов и средства их пожаротушения. Справочное издание в 2-х книгах; Кн. 2. / Л.Н. Баратов и др. – М.: Химия, 1990. – 384 с.
6. Новиков Ю.Ю., Ласточкина К.С., Волдина З.Н. Методы исследования качества воды водоемов. – М.: Медицина, 1990. – 400 с.
7. СЭВ. Унифицированные методы исследования качества воды. Ч. 1. – М.: СЭВ, 1987.
8. Лурье Ю.А. Аналитическая химия промышленных сточных вод. – М.: Химия, 1984. – 448 с.

УДК 621.83:621.9.06

**А.В. Кривошея¹, канд.техн.наук, В.В. Кривошея¹, канд.техн.наук,
Ю.М. Данильченко², д-р техн.наук, проф., С.І. Пастернак², асп.
1 – Інститут надтвердих матеріалів НАН України, м.Київ, Україна
2 – НТУ України “Київський політехнічний інститут”, м.Київ, Україна**

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ КОНТУРНОЇ ОБРОБКИ ЗУБЧАСТИХ ЛАНОК ДИСКОВИМ ІНСТРУМЕНТОМ

Разработана имитационная модель процесса контурной обработки зубчатых звеньев дисковым инструментом. На базе горизонтально-фрезерного станка мод. 6М82Ш с использованием фрезерной оправки со смещенным центром оси вращения фрезы проведено экспериментальное исследование процесса контурной обработки при нарезании периодических профилей на призматических заготовках. Получены эмпирические зависимости для определения составных сил резания.

A simulation model of spur gears' contour machining by the disk-shaped instrument was developed. By using a special tooling with eccentric axis of milling cutter rotation on the base of horizontal-milling machine 6M82Ш an experimental research of contour machining of periodic profiles on prismatic workpieces was conducted. An empirical dependence for cutting forces' components determination was obtained.

Сучасні металорізальні верстати характеризуються високою ступінню рухомості виконавчих органів, що в поєднанні з високою точністю відпрацювання траєкторій їх рухів дозволяє здійснювати контурну обробку складнопрофільних деталей із застосуванням стандартних інструментів простої форми. Саме до таких деталей належать зубчасті колеса, але їх обробка зазвичай здійснюється за методом обкату на

спеціально призначених для цього універсальних зубообробних верстатах із застосуванням інструментів складної форми. Але й це стосується лише зубчастих коліс із евольвентним профілем зубів. Виготовлення зубчастих коліс із профілем зубів, відмінним від евольвентного (циклоїдальним, синусоїдальним, профілем Новікова тощо), потребує застосування спеціального обладнання і/або спеціального інструменту. Це пояснюється специфікою самого процесу зубообробки, побудованого на імітації руху елементів зубчастих передач (циліндричних, конічних, черв'ячних, рейкових тощо), що накладає жорсткі умови як на спосіб реалізації рухів виконавчих органів верстата (внаслідок суміщення кінематики формоутворення і різання), так і на форму інструмента.

Застосування методу контурної обробки при виготовленні зубчастих коліс має ряд переваг, які насамперед полягають у підвищенні універсальності самого процесу обробки та можливості його інтенсифікації за рахунок використання сучасних інструментальних матеріалів (мінералокераміки, полікристалічних надтвердих матеріалів), що робить дослідження в цьому напрямку актуальними.

Принципова можливість контурної обробки зубчастих коліс, як різновиду деталей з фасонним, періодично повторюваним профілем, не викликає сумніву, але способи реалізації такої обробки можуть бути різними [1]. На сучасних фрезерних верстатах таку обробку можна здійснити із використання кінцевих фрез [2], але її точність і продуктивність буде значною мірою визначатись жорсткістю і діаметром цих фрез, обмеженим шириною западин зубчастого колеса. Перспективність контурної обробки зубчастих коліс дисковими фрезами вперше була доведена І. Когановим [3]. На даний час такий вид обробки використовується при виготовленні зубчастих коліс із циклоїдальним [4] і синусоїдальним [5] профілями, але інформація про силові характеристики самого процесу обробки – відсутні.

Теоретичному обґрунтуванню можливості контурної обробки циліндричних зубчастих коліс з довільним, наперед заданим профілем зубів із використанням інструментів простої форми присвячені роботи [6, 7, 8]. В них розроблено узагальнену математичну модель кінематики формоутворення таких коліс на фрезерному верстаті з поворотним столом, розраховано траєкторії рухів його виконавчих органів, визначено характер і діапазон змін кінематичних характеристик (переміщень, швидкостей та прискорень) цих рухів.

Наступним кроком в дослідженні цього методу є встановлення силових характеристик процесу контурної обробки циліндричних зубчастих коліс дисковим інструментом. Безпосереднє визначення силових характеристик цього процесу ускладнене відсутністю відповідної експериментальної бази і може проводитись шляхом імітаційного моделювання процесом, подібним за кінематикою рухів інструмента і заготовки. Проведенню такого дослідження і присвячується ця стаття.

Метою цієї роботи є встановлення залежності складових сил різання від параметрів процесу обробки та визначення діапазону зміни цих сил при нарізанні періодичних профілів дисковою фрезою за методом контурної обробки.

Для реалізації цієї мети було поставлено задачі:

1. Розробити імітаційну модель процесу контурної обробки зубчастих ланок дисковим інструментом.

2. Провести експериментальне дослідження процесу контурної обробки при нарізанні періодичних профілів на призматичних заготовках.

3. Провести обробку і аналіз результатів експерименту з отриманням емпіричних залежностей для розрахунку складових сил різання.

Дослідження було проведено в лабораторії відділу «Перспективних ресурсозаощаджуючих технологій в механообробці інструментами» Інституту надтвердих матеріалів НАН України.

Для імітації процесу контурної обробки зубчастих ланок дисковим інструментом було обрано схему, яка при комбінації планетарного руху дискової фрези (n) з неперервним поступальним рухом призматичної заготовки поздовж вісі фрези (s) забезпечує отримання на заготовці періодичних контурів (рис.1).

Цю схему було реалізовано на базі горизонтально-фрезерного верстата мод. 6М82Ш із використанням фрезерної оправки із зміщеним центром осі обертання фрези (рис.2).

Для вимірювання складових сил різання використовувався універсальний динамометр УДМ. Заготовка закріплювалась на оправці динамометра, а він сам жорстко кріпився на столі верстата (рис. 3). Тарування динамометра проводилось безпосередньо на верстаті за допомогою еталонного динамометра ДОСМ-3-01. Реєстрація сигналу проводилась за допомогою спеціального інформаційно-вимірювального модуля, розробленого в ІНМ НАН України. Результати вимірювання виводились на ПЕОМ.

Обробка проводилась дисковою відрізною фрезою із сталі Р6М5 $\varnothing 100$ мм, шириною $h = 2,4$ мм і числом зубів $z = 50$. Заготовки виготовлялись з сортового прокату і попередньо оброблялась. Матеріал заготовок – сталь 45, твердість НВ195. Ширина заготовки $B = 22$ мм (рис. 1).

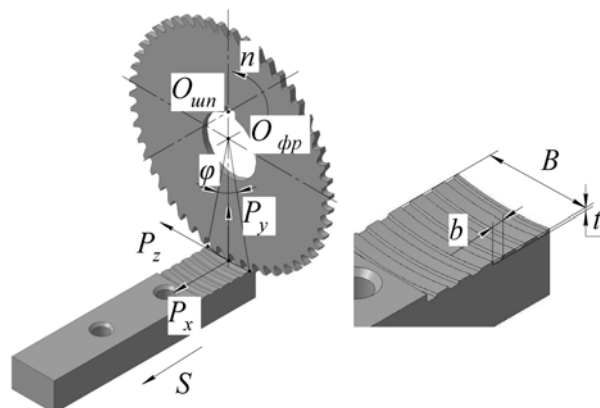


Рис. 1. Імітаційна модель процесу контурної обробки зубчастих ланок дисковим інструментом



Рис. 2. Фрезерна оправка із зміщеним центром осі обертання фрези

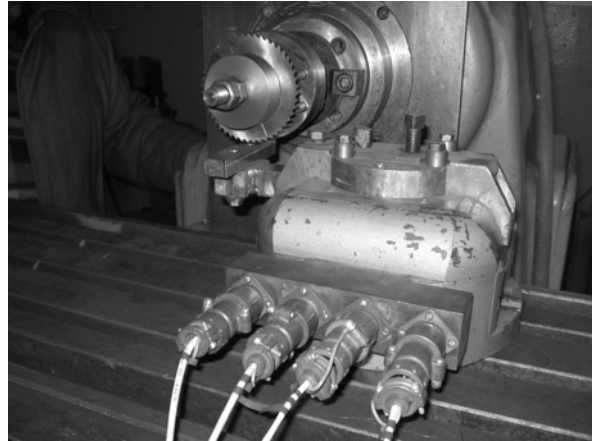


Рис. 3. Схема вимірювання складових сил різання

Дослідження проводились на таких режимах процесу обробки: діапазон частот обертання фрезерної оправки $n = 40 \dots 100$ об/хв ($v_p \approx 13 \dots 32$ м/хв); діапазон подач $s = 200 \dots 400$ мм/хв; глибина різання $t = 0,1 \dots 0,25$ мм.

За результатами вимірювань складових сил різання P_x, P_y, P_z встановлено, що їх зростання спостерігається при зменшенні частоти обертання фрези (рис. 4,а) та збільшенні глибини різання (рис. 4,б) і подачі (рис. 4,в). Це повністю відповідає особливостям кінематики формоутворення за даним методом обробки. Так, завдяки планетарному руху фрези, за один її оберт нарізується одна западина. При цьому ширина западини b залежить від величини подачі заготовки і кута охоплення фрези φ (рис 1), тобто $b = \frac{s}{n} \cdot \frac{\varphi}{360}$ і, відповідно, існує пропорція виду $P \rightarrow b \cdot t \rightarrow \frac{s \cdot t}{n}$.

Таблиця 1.

Показники ступеневих залежностей складових сил різання P_i

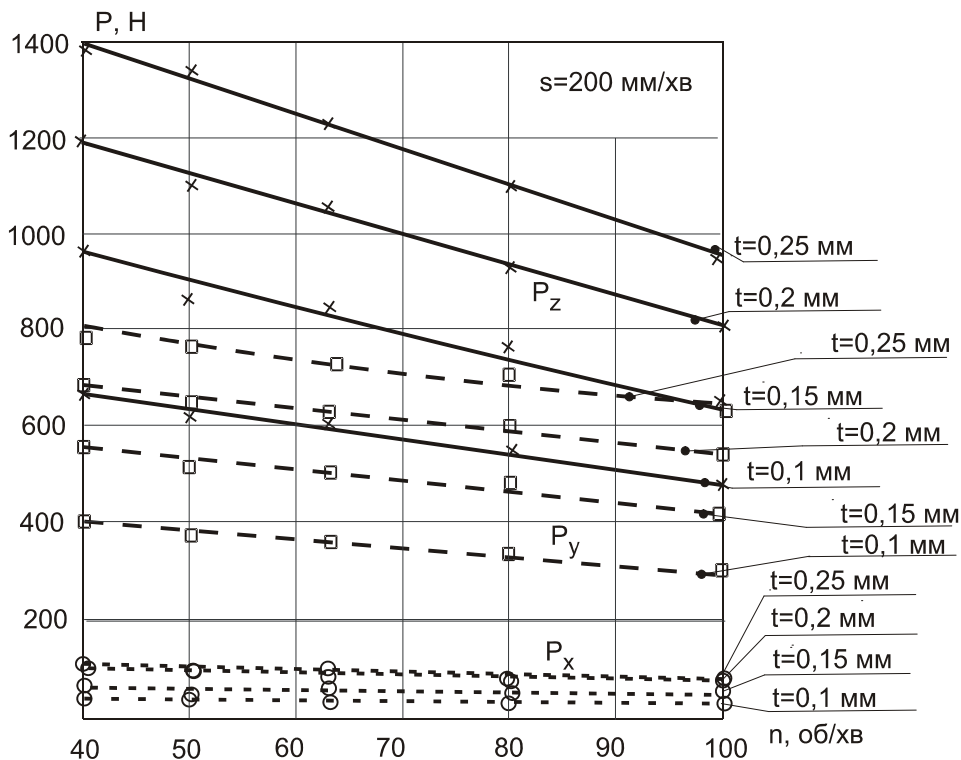
Показники $a_{j,i}$	P_x	P_y	P_z
$a_{0,i}$	854,3	1957	4141
$a_{1,i}$	-0,389	-0,253	-0,263
$a_{2,i}$	0,228	0,213	0,263
$a_{3,i}$	1,192	0,789	0,780

Аналітичні залежності складових сил різання від параметрів процесу обробки були отримані шляхом апроксимації експериментальних даних степеневими залежностями типу:

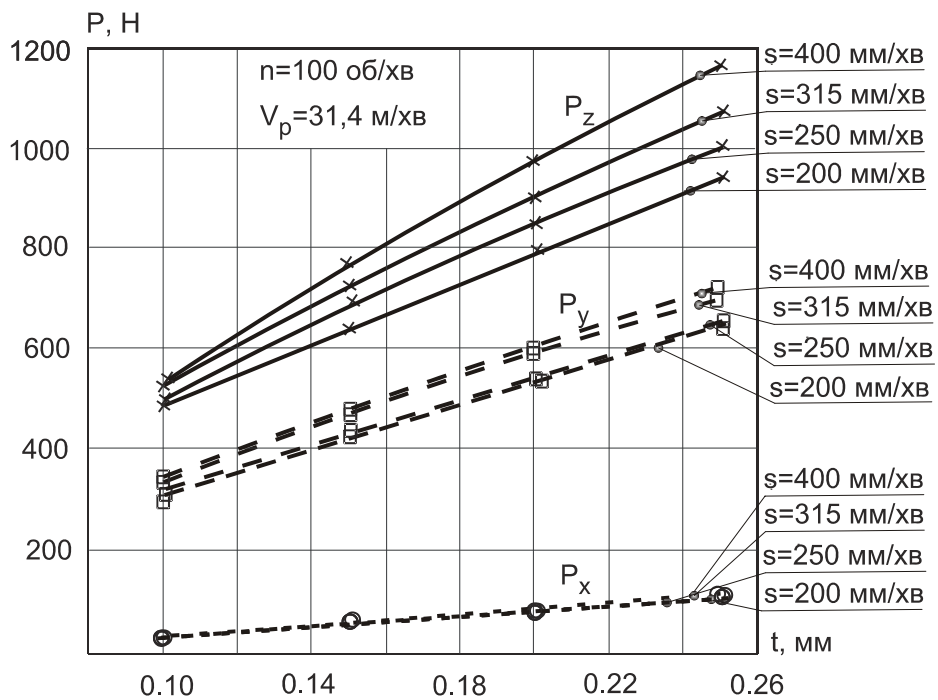
$$P_i = a_{0,i} \cdot n^{a_{1,i}} \cdot s^{a_{2,i}} \cdot t^{a_{3,i}}, \quad i = x, y, z. \quad (1)$$

Результати визначення показників a_{ij} залежностей (1) наведено в табл. 1.

Визначений в результаті проведеного дослідження діапазон зміни складових сил різання та встановлені залежності зміни цих сил від параметрів процесу обробки в подальшому будуть використані для вибору конструктивних параметрів експериментального стенду, призначеного для дослідження процесу контурної обробки власне циліндричних зубчастих коліс.



a)



б)

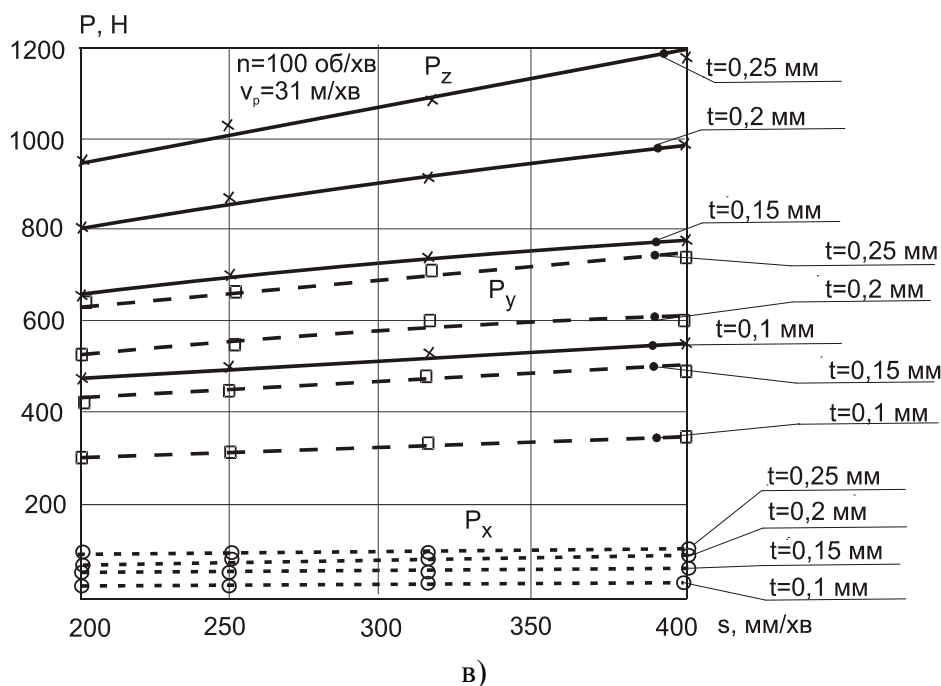


Рис. 4. Залежність складових сил різання від частоти обертання фрези (а), глибини різання (б), подачі (в)

Висновки

1. Впровадження нових, прогресивних процесів обробки зубчастих коліс потребує проведення попередніх теоретичних і експериментальних досліджень по визначенню кінематичних і силових характеристик цих процесів. Безпосереднє визначення силових характеристик процесу контурної обробки циліндричних зубчастих коліс дисковим інструментом ускладнене відсутністю відповідної експериментальної бази і може проводитись шляхом імітаційного моделювання цього процесу подібним за кінематикою рухів інструмента і заготовки.

2. Процес контурної обробки періодичних профілів дисковою фрезою імітовано процесом нарізування канавок на призматичній заготовці шляхом комбінування планетарного руху дискової фрези з неперервним поступальним рухом заготовки поздовж її осі та реалізовано на базі горизонтально-фрезерного верстата мод. 6М82Ш із використанням фрезерної оправки із зміщеним центром осі обертання фрези.

3. Отримані в результаті проведеного дослідження дані щодо діапазону зміни складових сил різання та встановлені залежності зміни цих сил від параметрів процесу обробки дають змогу обґрунтовано підійти до проектування експериментального стенду, призначеного для дослідження процесу контурної обробки власне циліндричних зубчастих коліс.

Список літератури

1. Лашнев С. И., Юликов М. И. Расчет и конструирование металлорежущих инструментов с применением ЭВМ. – М.: Машиностроение, 1975. – 392 с.
2. Пангелов И. Н., Метев Х. Ц., Куманов И. В., Динев С. Д. Нарязване на зъби на зъбни колела върху обработващи центри. Известия на ТУ-Габрово, т.30, 2004. – С. 121-134.
3. Коганов И.А. Прогрессивная обработка зубчатых профилей и фасонных поверхностей. – Тула: Приокское книжн. из-во, 1970. – 180 с.

4. Формообразование рабочего профиля сателлита трохонидной передачи // Dr. Eng. Jankevich M., Ass. Dziatkovich V., National Academy of Science – Minsk, Belarus. Опубликовано в Интернеті: <http://www.gears.ru/transmis/zaprogramata/2.139.pdf>.
5. Грицай І.С., Благут Е.М., Яворський В.З. Синусоїдальні зубчасті колеса та новий ефективний метод їх виготовлення // УИЦ «Наука. Техника. Технологія», — К., 2004. – С. 47-50.
6. Кривошея А.В., Данильченко Ю.М., Мельник В.Е., Благут Э.М. Перспективы применения твердосплавных отрезных дисковых фрез при обработке цилиндрических зубчатых колес // Резание и инструмент в технологических системах: Межд. научн.-техн. сборник. – Харьков: НТУ “ХПИ”, 2005. – Вып.69. – С. 115-120.
7. Данильченко Ю.М., Кривошея А.В., Пастернак С.І., Короткий Є.В. Кінематика формоутворення циліндричних зубчастих коліс з заданим профілем дисковим інструментом // Вестник НТУУ “Киевский политехнический институт”, сер. Машиностроение. – 2005. – № 46. – С. 104-108.
8. Данильченко Ю.М., Кривошея А.В., Пастернак С.І. Математичне моделювання законів руху дискового інструменту при обробці зубчастих коліс довільного профілю // Вестник НТУУ “Киевский политехнический институт”, сер. Машиностроение. – 2006. – № 49. – С. 104-108.

УДК 621.9

**О.И. Драчев, д-р техн.наук, Д.А. Расторгуев, канд.техн.наук,
Тольяттинский государственный университет, Россия**

ДИНАМИЧЕСКАЯ НАСТРОЙКА ПОДСИСТЕМЫ ИНСТРУМЕНТА ПРИ ОБРАБОТКЕ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ

В статті наведено опис технології для вібраційного свердлення/розточування глибоких отворів на станках токарного типу. Розглядаються результати багатофакторного експерименту з частотного аналізу підсистеми інструменту. Наведено обґрунтування вибору параметрів технологічної системи для вібраційної обробки.

The vibration drilling/boring technology for lathes is described. The results of The frequency analysis processing complex experiment are submitted. Paper also contents reasoning of technological system characteristics assignment, needed to vibration processing.

Снижение материалоемкости конструкций современных механизмов при ужесточающихся конструкторских и эксплуатационных требований требует пересмотра традиционных методов обработки. Значительная доля маложестких деталей приходится на втулки, гидро- и пневмоцилиндры с высокоточными отверстиями. Повышение точности обработки отверстий, особенно глубоких, связано с уменьшением увода оси обработанного отверстия и огранки в поперечном сечении.

Если сверлится или растачивается отверстие в маложесткой заготовке типа вал или втулка на станке токарного типа, обеспечение соосности отверстия наружной поверхности и прямолинейности его оси может достигаться стабилизацией положения оси стебля инструмента, стабилизацией оси вращающейся заготовки, уменьшением радиальных составляющих сил резания и демпфированием поперечных колебаний формообразующих подсистемы заготовка - опоры и инструментальной подсистемы [1].

Разработана технология обработки глубоких отверстий, основанная на применении волноводного преобразователя – борштанги, выполненной со сквозными