

## ПИТАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ СИЛ РІЗАННЯ ПРОРІЗНИХ ФРЕЗ ІЗ ВРАХУВАННЯМ ДОПУСТИМИХ ВІДХИЛЕНЬ ЇХ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ

(Представлено д.т.н., проф. Равською М.С.)

*На основі комп'ютерного моделювання процесу фрезерування паза прорізною фрезою визначено миттєві значення складових сил різання, досліджено вплив радіального биття фрези на значення складових сил різання при різних схемах фрезерування. Встановлено, що при збільшенні радіального биття при попутному фрезеруванні значення складових сил різання може збільшуватись в 2 рази, в той час як при зустрічному – тільки в 1,5 рази.*

**Вступ. Постановка проблеми.** Прорізні фрези з дрібним та середнім зубом діаметром до 80 мм застосовуються в основному для прорізних робіт, переважно при обробці прямих шліців в головках гвинтів та прорізних і корончастих гайок.

Процес фрезерування здійснюється у важких умовах, які викликані переривчастим характером обробки, низькою жорсткістю технологічної системи та несприятливими умовами експлуатації. В процесі обробки радіальне биття поверхні різальних кромок прорізних фрез досягає значень, що у декілька разів перевищують подачу на зуб. Внаслідок цього деякі зубці при одному оберті фрези зовсім не беруть участь у різанні, деякі лише дотикаються до оброблюваної поверхні і цим зміцнюють її, а інші – виконують обробку по зміцненій поверхні із збільшеною товщиною зрізу.

Таким чином, погіршуються умови обробки, що призводять до нерівномірного завантаження різальних кромок фрези, і, як наслідок, до різких коливань сил різання, що, в свою чергу, викликає зменшення стійкості або і поломку інструмента.

Таким чином, постає задача дослідження впливу радіального биття поверхні різальних кромок фрези на величини сил різання.

**Метою роботи** є дослідження впливу величини радіального биття поверхні різальних кромок прорізних фрез на величини сил різання при різних схемах фрезерування.

**Викладення основного матеріалу.** Прорізні фрези діаметром 80 мм, відповідно до ГОСТу 2679-93 [1], мають діаметр посадкового отвору 22 мм і встановлюються на верстатах за допомогою оправок. Допуск радіального биття двох протилежних зубців прорізних фрез відносно осі отвору для фрез зазначеного діаметра складає 0,1 мм і вимірюється за допомогою контрольної оправки, допуск радіального биття якої не повинен перевищувати 0,01 мм на довжині 100 мм [1]. Проте обробка проводиться при встановленні фрез на оправки, допуск радіального биття яких значно перевищує допуски для контрольних оправок. З огляду на зазначене можна припустити, що допуск радіального биття двох протилежних зубців власне прорізних фрез не повинен перевищувати 0,09 мм.

Відповідно до ГОСТу 15068-75 [2], оправка діаметром 22 мм має довжину циліндричної частини 470 мм. Згідно з ГОСТом 17166-71 [3], довгі фрезерні оправки з цапфою або підтримуючою втулкою та конічними хвостовиками конусів Морзе і 7:24 повинні відповідати вимозі: допуск радіального биття оправки відносно осі центрових отворів при довжині її циліндричної частини 400...500 мм дорівнює 0,025 мм. Тобто допуск радіального биття цих оправок в 2,5 рази перевищує відповідний допуск для контрольних оправок.

Допуск радіального биття центральної шийки шпинделя консольно-фрезерного універсального верстата моделі 6Р81, відповідно до його паспорта, дорівнює 0,01 мм.

Для зазначених умов максимально допустиме значення реального радіального биття поверхні різальних кромок фрези дорівнюватиме 0,125 мм, що в 12,5 разів перевищує мінімальне значення подачі на зуб для прорізних фрез діаметром 80 мм.

За умови точного налагодження фрези на оправці верстата за допомогою індикатора, тобто при компенсуванні максимально допустимих значень радіального биття, що можливо лише для

фрез без шпонкового паза, допустиме значення реального радіального биття дорівнюватиме 0,055 мм. Це ж значення для фрез із шпонковим пазом складає 0,075 мм.

Тобто допуск реального радіального биття поверхні різальних кромek прорізної фрези без шпонкового паза за умови точного налагодження фрези на оправці верстата за допомогою індикатора дорівнюватиме 0,055 мм, що в 5,5 разів перевищує мінімальне значення подачі на зуб для прорізних фрез діаметром 80 мм. Отже при точному налагодженні інструмента на оправці є можливість суттєво зменшити радіальне биття.

Якщо величина радіального биття оправки, шпинделя верстата та поверхні різальних кромek фрези буде дорівнювати половині їх максимально допустимих значень та при можливості теоретично максимально точного налагодження технологічної системи для фрез без шпонкового паза можна досягти значення допуску радіального биття у 0,0275 мм, що в 2,7 рази перевищує мінімальне значення подачі на зуб для прорізних фрез зазначеного діаметра. Для фрез із шпонковим пазом це значення буде вдвічі більшим.

Такі великі значення радіального биття, порівняно зі значеннями подачі на зуб, погіршують процес обробки різанням, призводячи до нерівномірного завантаження різальних кромek фрези, і, як наслідок, до різких коливань сил різання, що, в свою чергу, призводить до зменшення стійкості або до поломки інструмента.

Таким чином, постає задача дослідження впливу радіального биття поверхні різальних кромek фрези на величини сил різання.

В роботі [4] розроблена математична та імітаційна модель процесу відрізання та програмне забезпечення для її реалізації, на основі якої визначаються розрахункові значення теоретичних часових реалізацій сил різання (рис. 1) при відрізанні дисковими фрезами. Дане програмне забезпечення дозволяє також моделювати процес прорізання прямих шліців та пазів дисковими фрезами. Вхідними параметрами моделювання є: радіус фрези в середньому перерізі, ширина, кількість зубців, значення інструментального переднього та заднього кутів, кута в плані, режимів різання, ексцентриситет фрези, профіль заготовки, схема відносного розташування фрези і заготовки, радіус заокруглення різальної кромки, ширина фаски на задній поверхні зубця, механічні властивості матеріалу заготовки, коефіцієнт тертя заготовки по задній поверхні інструмента тощо.

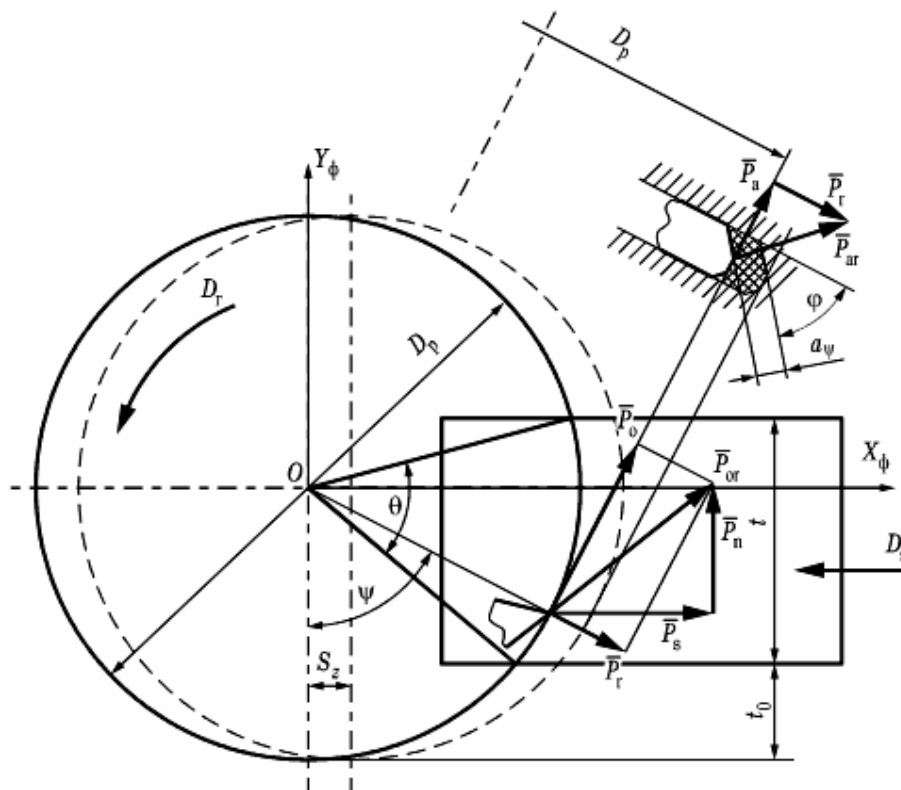


Рис. 1. Схема дії сил на зубці при фрезеруванні дисковою фрезою

Використовуючи зазначене програмне забезпечення, було здійснено комп'ютерне моделювання процесу прорізання паза шириною 0,5 мм та глибиною 4 мм у заготовці зі сталі 40 типу пластини при супутньому та зустрічному фрезеруванні. Режим різання:  $s_z = 0,02$  мм/зуб,  $n = 160$  хв.<sup>-1</sup>,  $s_m = 400$  мм/хв.

Конструктивні та геометричні параметри фрези: діаметр 80 мм, товщина 0,5 мм, кількість зубців 128, інструментальні кути (передній  $\gamma = 0^\circ$ , задній  $\alpha = 27,8125^\circ$ , кут в плані  $\varphi = 90^\circ$ , кут нахилу різальної кромки  $\lambda = 0$ ). Інструментальний матеріал – швидкорізальна сталь Р6М5.

На рисунку 2 наведено миттєві значення сил різання, що отримані в результаті моделювання за відсутністю радіального биття фрези при зустрічній схемі фрезерування.

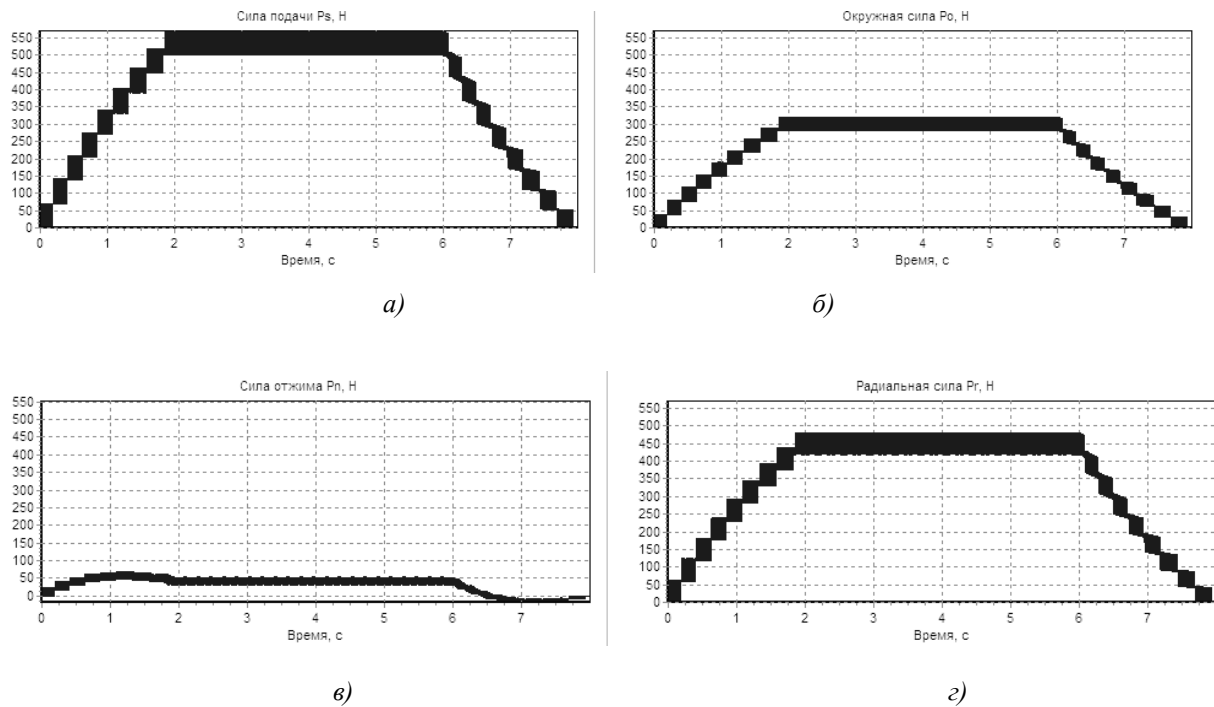


Рис. 2. Часові реалізації сил різання прорізної фрези за відсутністю радіального биття при зустрічній схемі фрезерування, Н:

*a* – сила подачі; *б* – колова сила; *в* – сила відтиску; *г* – радіальна сила

На рисунку 3 наведено часові реалізації сил різання прорізної фрези при максимально допустимому значенні радіального биття (0,125 мм), всі інші параметри без змін.

Аналогічним чином визначено миттєві значення складових сил різання для інших значень радіального биття фрези, отримані результати наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Максимальні значення складових сили різання при зустрічному фрезеруванні прорізними фрезами

Складові сили різання, Н	Радіальне биття, мм				
	0	0,0275	0,055	0,075	0,125
Сила подачі $P_s$	570	612	653	680	742
Сила відтиску $P_n$	68	76	85	91	108
Колова сила $P_o$	321	338	356	367	390
Радіальна сила $P_r$	482	521	559	586	647

Також проведено визначення миттєвих значень складових сил різання для різних значень радіального биття фрези при попутній схемі фрезерування. На рисунку 4 наведено миттєві значення сил різання, що отримані в результаті моделювання за відсутністю радіального биття фрези при зустрічній схемі фрезерування.

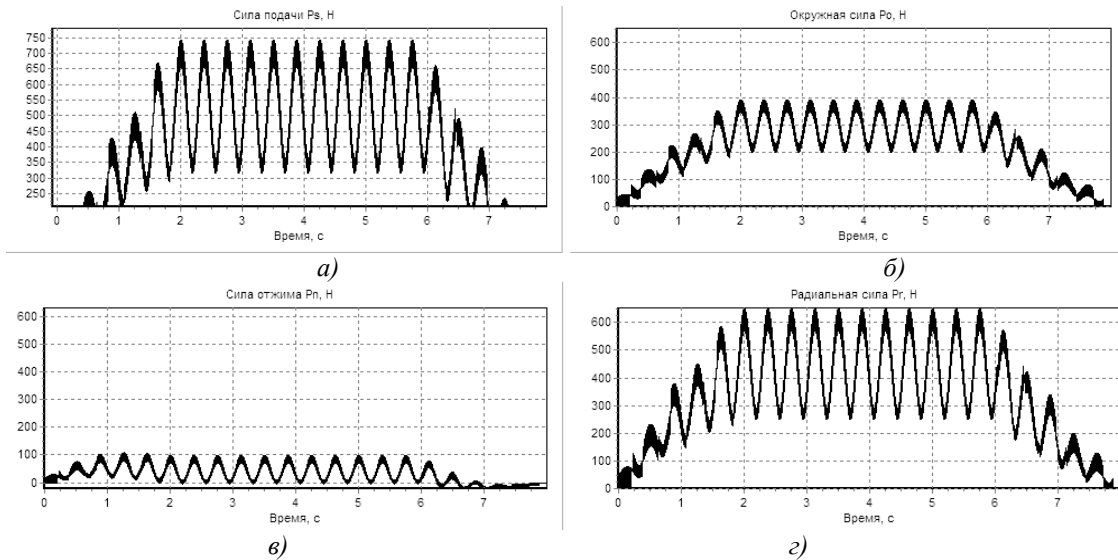


Рис. 3. Часові реалізації сил різання прорізної фрези при максимально допустимому значенні радіального биття при зустрічній схемі фрезерування, Н:  
 а – сила подачі; б – колова сила; в – сила відтиску; г – радіальна сила

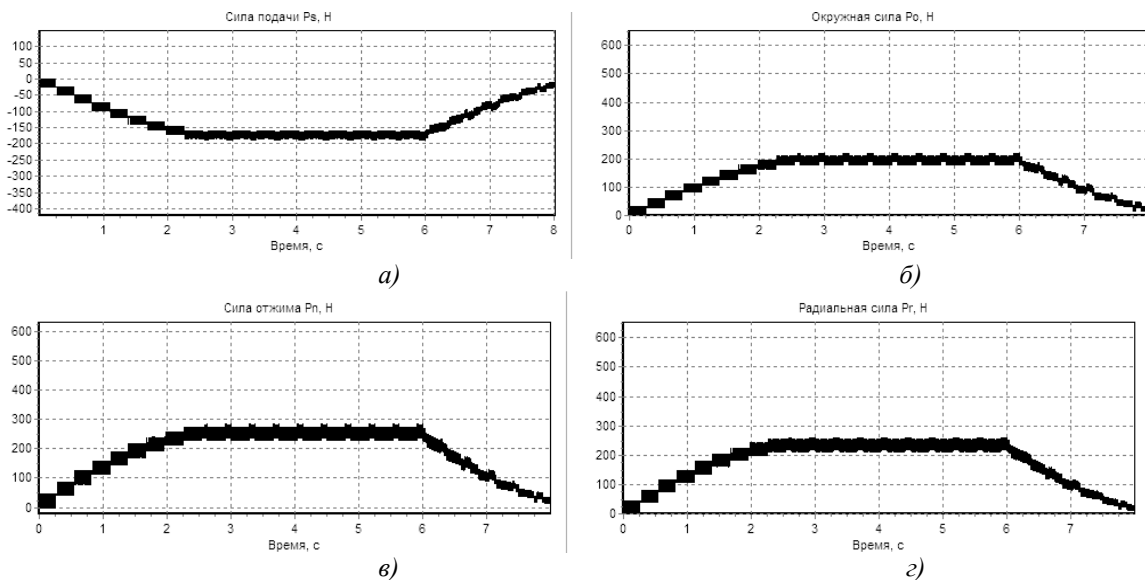


Рис. 4. Часові реалізації сил різання прорізної фрези за відсутністю радіального биття при попутному фрезеруванні, Н: а – сила подачі; б – колова сила;  
 в – сила відтиску; г – радіальна сила

На рисунку 5 наведено часові реалізації сил різання прорізної фрези при максимально допустимому значенні радіального биття (0,125 мм), всі інші параметри без змін.

Також визначено миттєві значення складових сил різання для інших значень радіального биття фрези, отримані результати наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Максимальні значення складових сили різання при попутному фрезеруванні прорізними фрезами

Складові сили різання, Н	Радіальне биття, мм				
	0	0,0275	0,055	0,075	0,125
Сила подачі $P_s$	188	241	300	349	390
Сила відтиску $P_n$	283	331	378	417	405
Колова сила $P_o$	219	259	299	334	342
Радіальна сила $P_r$	259	318	379	431	451

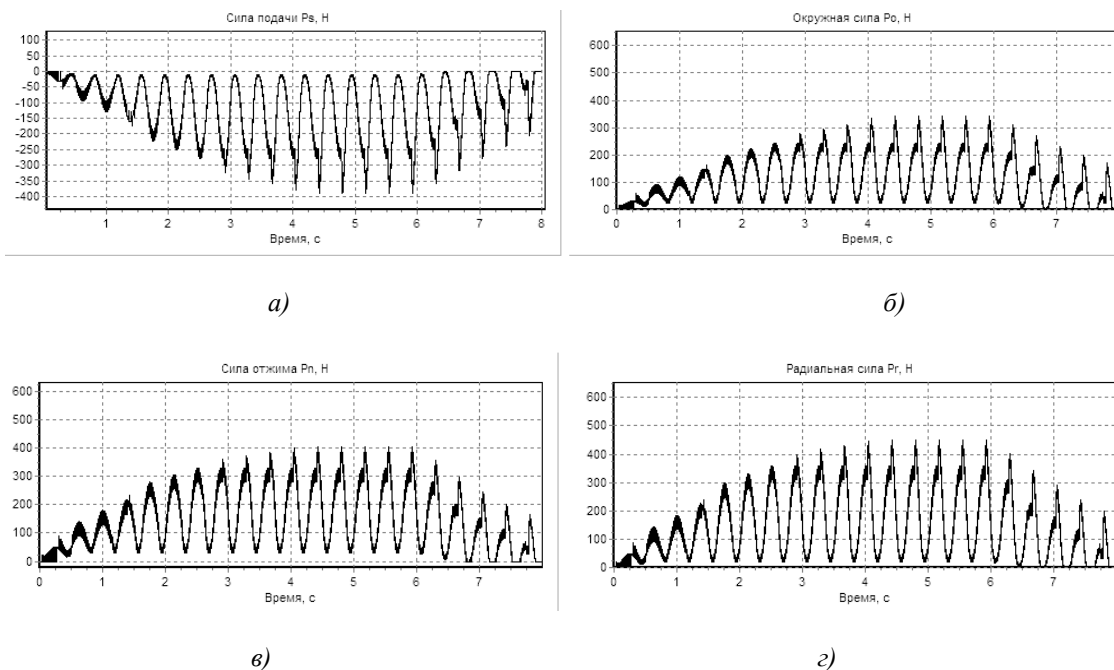


Рис. 5. Часові реалізації сил різання прорізної фрези при максимально допустимому значенні радіального биття при попутному фрезеруванні, Н:  
а – сила подачі; б – колова сила; в – сила відтиску; г – радіальна сила

Проаналізувавши дані таблиць 1 та 2, можна зробити висновок, що при зустрічному фрезеруванні прорізними фрезами зазначеного типорозміру максимальні значення складових сил різання значно перевищують аналогічні значення для попутного фрезерування, проте виключення складає сила відтиску, яка при зустрічному фрезеруванні значно менша. Крім того, необхідно зазначити, що збільшення величини радіального биття прорізної фрези викликає збільшення значень всіх складових сил різання. Ці результати повністю узгоджуються з відомими закономірностями фрезерної обробки.

На основі даних таблиць 1 та 2 було досліджено вплив величини радіального биття прорізної фрези при різних схемах фрезерування. У таблиці 3 показаний вплив радіального биття прорізної фрези на значення складових сил різання при зустрічному та попутному фрезеруванні.

Таблиця 3

Вплив радіального биття прорізної фрези на максимальні значення складових сил різання при різних схемах фрезерування

Складові сили різання, Н	Схема фрезерування					
	зустрічне			попутне		
	Радіальне биття, мм					
	0	0,125	$\Delta$ , %	0	0,125	$\Delta$ , %
Сила подачі $P_s$	570	742	+30	188	390	+107
Сила відтиску $P_n$	68	108	+59	283	405	+43
Колова сила $P_o$	321	390	+21	219	342	+56
Радіальна сила $P_r$	482	649	+35	259	451	+74

Аналіз таблиці 3 дозволяє зробити висновок про необхідність особливо ретельного контролю радіального биття при попутному фрезеруванні прорізними фрезами, оскільки в цьому випадку максимальні значення складових сил різання можуть збільшуватися до 2 разів і призводити до зменшення стійкості або поломки інструмента.

**Висновки.** Встановлено, що при збільшенні радіального биття при попутному фрезеруванні значення складових сил різання може збільшуватись в 2 рази, в той час як при зустрічному – тільки в 1,5 рази.

**Список використаної літератури:**

1. ГОСТ 2679-93. Фрезы прорезные и отрезные. Технические условия. – Введ. 01.07.97. – К. : Госстандарт Украины, 1996.
2. ГОСТ 15068-75. Оправки с поддерживающей втулкой и хвостовиком конусностью 7:24 для горизонтально-фрезерных станков. Конструкция и размеры.
3. ГОСТ 17166-71. Инструмент вспомогательный к металлорежущим станкам. Общие технические требования.
4. *Панчук В.Г.* Теоретичні основи проектування відрізних фрез : дис. ... докт. тех. наук : 05.03.01 / *В.Г. Панчук.* – К., 2009. – 360 с.

БАЛИЦЬКА Наталія Олександрівна – старший викладач кафедри технології машинобудування та конструювання технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- теорія проектування дискових фрез;
- процеси фрезерування;
- підвищення працездатності різальних інструментів.

Стаття надійшла до редакції 24.07.2012

**Балицька Н.О.** Питання визначення сил різання прорізних фрез із врахуванням допустимих відхилень їх конструктивних параметрів

**Балицкая Н.А.** Вопросы определения сил резания прорезных фрез с учетом допустимых отклонений их конструктивных параметров.

**Balitskaya N.A.** The problems of determination of a slot mill cutting forces considering admissible deflexions of their construction parameters.

УДК 621.914

**Вопросы определения сил резания прорезных фрез с учетом допустимых отклонений их конструктивных параметров / Н.А. Балицкая**

На основе компьютерного моделирования процесса фрезерования паза прорезной фрезой определены мгновенные значения составляющих сил резания, исследовано влияние на них радиального биения фрезы при разных схемах фрезерования. Установлено, что при встречном фрезеровании значения составляющих сил резания значительно превышают аналогичные значения для попутного фрезерования, за исключением силы отжатия, которая при встречном фрезеровании значительно меньше. Установлено, что при увеличении радиального биения при попутном фрезеровании значения составляющих сил резания могут увеличиваться в 2 раза, в то время как при встречном – только в 1,5 раза.

УДК 621.914

**The problems of determination of a slot mill cutting forces considering admissible deflexions of their construction parameters / N.A. Balitskaya**

On the basis of computer simulation of slot cutting with the help of a slot mill instantaneous values of cutting component forces were determined; at the same time we studied the influence of radial wobble of the mill upon them in various milling schemes. It was ascertained that in counter milling the values of cutting component forces exceed similar values in climb milling except for squeezing force, which decreases in counter milling. It was found out that if we increase radial wobble in climb milling, the values of cutting component forces may double, while in counter milling they have 1.5 increase in power.