

ПІДВИЩЕННЯ ЖОРСКОСТІ СУПОРТА ЗУБОФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТА

*М. М. Коротун, канд. техн. наук, доцент;
Д. П. Черевко, магістрант,
Сумський державний університет, м. Суми
E-mail: cherevkodp@gmail.com*

Виконаний аналіз факторів, що викликають вібрації супорта зубофрезерного верстата, встановлено, що генератором вібрацій є як черв'ячна фреза, так і оправка, запропонований пристрій, що підвищує жорсткість оправки фрези і знижує вібрації при зубофрезеруванні.

Ключові слова: вібрація, дослідження, жорсткість, зубофрезерування, оправка, супорт,

АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ

Підвищення якості зубофрезерування, особливо якості зубчастої поверхні після зубофрезерування, є однією з ключових проблем, що затримують підвищення продуктивності зубообробки у зв'язку з фізичною природою зубофрезерування, що має ті самі вихідні обмеження, що і фрезерування, тобто переривчастість процесу різання. Переривчастість процесу зубофрезерування забезпечує недостатню шорсткість зубчастої поверхні, що потребує використання у подальшій технології виробництва зубчастих коліс методи оздоблення, що підвищує собівартість виробництва як зубчастих коліс зокрема, так і машинобудування в цілому. Тому розгляд та вдосконалення принципів формоутворення зубчастих поверхонь на верстатах будь-якого типу залишається актуальним завданням не тільки на сьогодні, але й на майбутнє.

МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

При обробці заготовок на верстатах, зокрема зубофрезерних, виникають періодичні коливальні рухи (вібрації) елементів системи верстат-пристрій-інструмент-деталь (ВПІД). У цих умовах процес різання втрачає сталий характер. Коливання інструмента відносно заготовки різко знижують якість обробленої поверхні: шорсткість зростає, з'являється хвилястість, підсилюється динамічний характер сили різання, а навантаження на рухомі деталі й складальні одиниці верстата зростають у рази – особливо в умовах резонансу, коли частота власних коливань системи ВПІД збігається з частотою коливань при обробці різанням. Стійкість інструмента, особливо з пластинками з твердих сплавів, при коливаннях різко падає. За наявності вібрацій виникає шум, який негативно впливає на верстатників, і продуктивність праці знижується. Метою дослідження є пошук можливостей зменшення коливань елементів системи ВПІД. Завданнями дослідження є аналіз теоретичних та експериментальних результатів коливань елементів ВПІД та розроблення практичних рекомендацій щодо їх зменшення шляхом підвищення жорсткості супортної групи верстата.

РЕЗУЛЬТАТИ

Коливання (вібрації) елементів ВПІД, особливо коливання елементів фрези – оправка розглянуті у роботах [3; 5; 6]. У наведених роботах розглянуті теоретичні аспекти виникнення коливань та вібрацій, сутність яких зводиться до того, що якщо на нелінійну систему діє гармонічне збудження, то значення його можна подати так:

$$y(t) = A_y(\omega) \sin \omega t ,$$

де A_y – амплітуда коливань; ω – частота коливань.

Для зменшення вібрацій потрібно змінювати або частоту коливань, або амплітуду. Частоту коливань можна змінити підвищенням частоти обертання фрези. Але для верстатів типу 5К32, 5К324 та ін. існують обмеження щодо частоти обертання. Тому іншим елементом, на який можна впливати для його зменшення, є амплітуда коливань. Зменшити значення амплітуди можна підвищенням жорсткості системи ВПД. Найменш жорстким елементом у системі ВПД є пристрій, а у даному випадку оправка для фрези. Підвищити жорсткість оправки можна двома шляхами: збільшенням її діаметра при незмінному характеру напруженого стану оправки або зміною напруженого стану оправки при незмінному її діаметрі. Перший шлях підвищення жорсткості оправки не завжди можливий, тому що діаметр оправки пов'язаний із посадковим отвором фрези, а посадковий отвір фрез стандартизований і змінювати його без обґрунтування неможливо. Що стосується другого шляху підвищення жорсткості, тобто зміни напруженого стану оправки, то він можливий при оснащенні супорта верстата допоміжним пристроєм, який би забезпечував створення напруженого стану оправки. У такому разі гармонічне збудження системи зменшиться на значення зміни напруженого стану оправки:

$$y(t) = A_y(\omega) \sin \omega t - \Delta ,$$

$$\Delta = A_n(\omega_n) \sin \omega_n t ,$$

де A_n , ω_n – амплітуда та частота коливань відповідно за наявності напруженого стану оправки. У наведених вище роботах питання про підвищення жорсткості оправки шляхом зміни напруженого стану не розглядалося. Для реалізації ідеї підвищення жорсткості оправки шляхом зміни напруженого стану нами запропонований пристрій на супорт зубофрезерного верстата (рис. 1) [2].

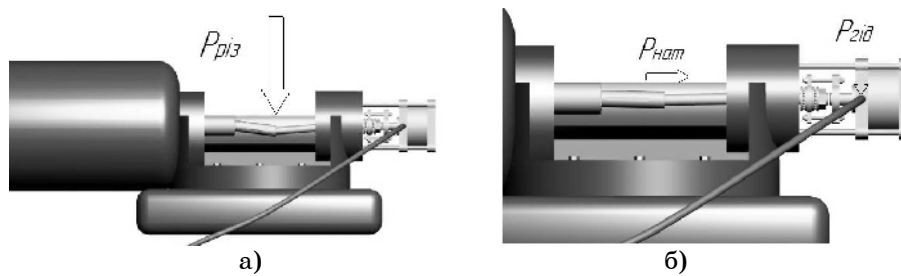


Рисунок 1 – Схема принципу підвищення жорсткості оправки шляхом зміни її напруженого стану за допомогою пристрою: а) пристрій вимкнений; б) пристрій увімкнений

Суть пояснюється рисунками, де на рис. 1 а подано вигляд зверху на супорт із деформованою оправкою від сил різання $P_{різ}$, а на рис. 1 б вигляд зверху на супорт із оправкою, що вирівняна силою натягу $P_{нат}$ від дії гідроциліндра пристрою, до якого подається тиск рідини $P_{гід}$. Під час дії такого пристрою можна прогнозувати підвищення жорсткості супортної групи верстата та за її наслідками зменшення коливань та вібрацій фрези, що підвищить продуктивність і якість обробки зубчастих поверхонь.

Для проведення досліджень із запропонованим пристроєм скористувалися експериментальними дослідженнями, поданими в [5]. Досліди проведені з припущенням, що фреза виконує один оберт. При цьому взяли до уваги, що залежно від конструкції фрези протягом одного обороту в різанні беруть участь декілька зубів фрези, і кожен зуб навантажується силою різання, яка відрізняється від попередніх сил різання. На рис. 2 зображена зміна складових сил різання за один оберт фрези при глибині різання $h=2,2\text{ м}$. У процесі брало участь 6 зубів черв'ячної фрези. За результатами різання сили визначалися для двох випадків: перший випадок із подачею $S=0,6\text{ мм/об.}$, а другий з $S=0,9\text{ мм/об.}$ Для проведення досліджень щодо жорсткості оправки нами були доопрацьовані результати експериментів [5] з метою визначення значення сил різання за визначений кут повороту фрези (рис. 2). Сили для складової P_z подані на рис. 2 а, і для складових P_y, P_x на рис. 2 б. Необхідно зазначити, що складові сили різання залежать в основному від положення зуба інструмента відносно оброблюваної заготовки. На рис. 2 відображено поступове збільшення, а потім зменшення P_z, P_y, P_x , що пояснюється нерівномірною товщиною зрізаного шару [5]. У табл. 1 подані максимальні та мінімальні показники складових сил різання за один оберт фрези.

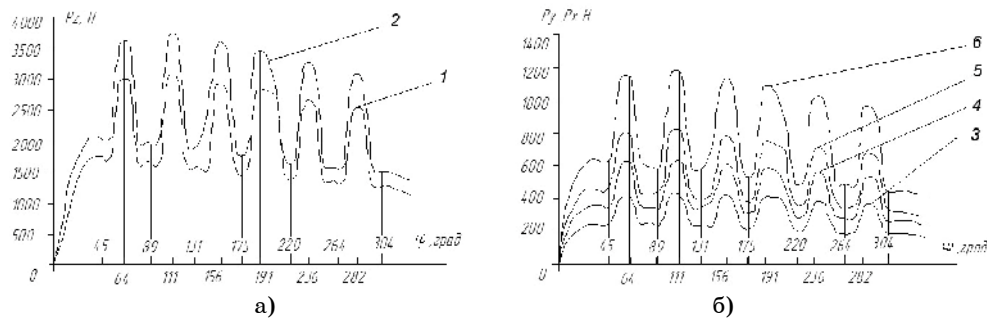


Рисунок 2 – Максимальні та мінімальні показники складових сил різання за один оберт фрези: а) складова P_z : 1 – $S=0,6\text{ мм/об.}$; 2 – $S=0,9\text{ мм/об.}$; б) складові P_y, P_x : 3 – P_x при $S=0,6\text{ мм/об.}$; 4 – P_x при $S=0,9\text{ мм/об.}$; 5 – P_y при $S=0,6\text{ мм/об.}$; 6 – P_y при $S=0,9\text{ мм/об.}$

Таблиця 1 – Максимальні та мінімальні показники складових сил різання за один оберт фрези

max	S, мм/об.	ϕ , град.						
		64	111	156	191	236	282	
P_z , Н	0,6	3005	3055	2985	2850	2690	2570	
	0,9	3590	3725	3575	3430	3250	3110	
P_y , Н	0,9	805	820	785	780	710	680	
	0,9	1160	1185	1140	1090	1010	960	
P_x , Н	0,6	420	430	415	405	390	390	
	0,9	625	620	610	595	560	540	
min	S, мм/об.	ϕ , град.						
		45	89	131	175	220	264	304
P_z , Н	0,6	1740	1690	1640	1480	1405	1310	1285
	0,9	2010	1980	1900	1760	1610	1550	1505
P_y , Н	0,9	460	435	400	390	350	340	335
	0,9	645	580	560	530	490	480	430
P_x , Н	0,6	255	245	220	205	200	190	185
	0,9	350	340	360	350	340	290	270

Дослідження жорсткості оправки здійснювали на 3D-моделі, виконаній у SolidWorks (рис. 3 а). На рис. 3 а подана також схема закріплення та навантаження оправок, а на рис. 3 б наведені результати дослідження прогину оправок за один оберт фрези. За матеріал для оправок були взяті сталь 45 та сталь 18ХГТ загартовані (остання ще й цементована). На рис. 3 б показана візуалізація одного з розрахунків. Кінцеві результати дослідження подані у табл. 2 та 3.

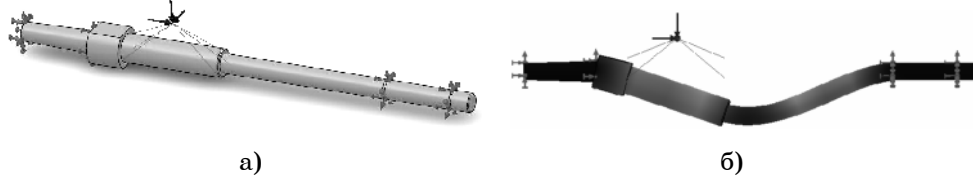


Рисунок 3 – Схема закріплення оправки і позначення складових сил різання (а) та візуалізація одного з розрахунків (б)

Таблиця 2 – Результати експериментів із визначення величини прогину оправки за один оберт фрези. Матеріал оправки: Сталь 45

S, мм/об.	$\Delta \times 10^{-2}$, мм												
	φ , град.												
	45	64	89	111	131	156	175	191	220	236	264	282	304
0,6	3,324	5,730	3,222	5,828	3,103	5,684	2,818	5,447	2,671	5,136	2,499	4,921	2,450
0,9	3,936	7,035	3,847	7,268	3,719	6,988	3,463	6,710	3,186	6,344	3,155	6,2345	2,992

Таблиця 3 – Результати експериментів з визначення величини прогину оправки за один оберт фрези. Матеріал оправки Сталь: 18ХГТ (цементована)

S, мм/об.	$\Delta \times 10^{-2}$, мм												
	φ , град.												
	45	64	89	111	131	156	175	191	220	236	264	282	304
0,6	3,336	5,765	3,231	5,718	3,113	5,715	2,834	5,482	2,676	5,156	2,506	4,932	2,459
0,9	3,957	7,074	3,854	7,318	3,711	7,029	3,452	6,744	3,168	6,371	3,044	6,093	2,925

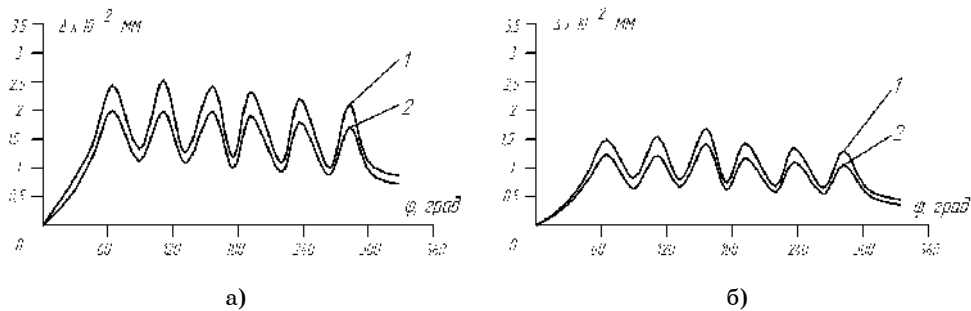


Рисунок 4 – Зменшення коливань оправки при силі натягіння 10кН (а) та 15 кН (б) при подачах: 1 – S=0,9 мм/об.; 2 – S=0,6 мм/об.

Як бачимо з результатів дослідження, коливання оправки, перенесені на показники складових сил при силі натягу 10 кН та 15 кН та при подачах S=0,9 мм/об. та S=0,6 мм/об. (рис. 4) зменшуються на 10–15 %,

що дає можливість прогнозувати покращання шорсткості зубчастої поверхні, зменшення хвилястості та покращання динамічного характеру сил різання та навантаження на рухомі деталі й верстата. Разом з тим підвищується стійкість інструмента, особливо з пластинками з твердих сплавів, зменшується шум, тобто підвищується продуктивність праці.

Для практичної реалізації запропонована конструкція модернізованого супорта зубофрезерного верстата із пристроєм (рис. 5) [2].

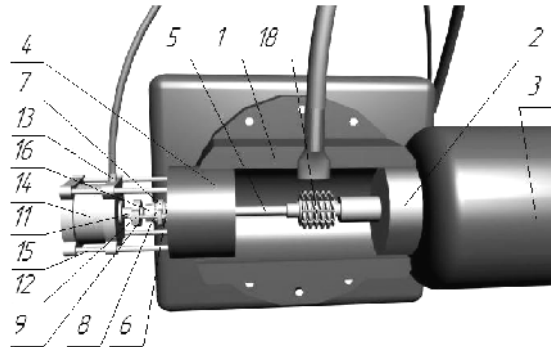


Рисунок 5 – Супорт зубофрезерного верстата з пристроєм для підвищення жорсткості

Супорт зубофрезерного верстата із запропонованим пристроєм містить корпус 1, постійний кронштейн 2, привід 3 обертання оправки 5, знімний кронштейн 4, оправку 5, упорні підшипники 6 та 8, двоплечі важелі 7 та 12, тяги 9 та 10, шток 11 гідроциліндра 14, штуцер 13, гідроциліндр 14, шпильки 15, гайку 16, шайбу 17, черв'ячну фрезу 18. Робота зубофрезерного супорта здійснюється таким чином.

Черв'ячну фрезу 18 монтують на оправці 5 і установлюють у постійному кронштейні 2 для обертання оправки за допомогою привода 3 обертання. На знімному кронштейні 4 на шпильках 15 установлюють та закріплюють гідроциліндр 14 із штоком 11, на якому розміщений двоплечий важіль 12 з тягами 9. Знімний кронштейн 4 із гідроциліндром та двоплечим важелем установлюють на корпусі, при цьому на кінці оправки монтують шайбу 17, упорний підшипник 6, двоплечий важіль 7, упорний підшипник 8. При цьому тягами 9 з'єднують двоплечі важелі 7 та 12. З'єднання затискають гайкою 16, а у гідроциліндр загвинчують штуцер 13. Подачею тиску рідини до штуцера забезпечується переміщення штока гідроциліндра, зусилля від якого через двоплечий важіль 12 та тяги 9 передається до двоплечого важеля 7, а з нього через упорний підшипник 8 та гайку 16 на оправку. Оправка отримує навантаження розтягнення, тобто зміну її напруженого стану, при цьому упорний підшипник забезпечує обертання оправки. При знятті тиску рідини у гідроциліндрі знімається і напружений стан оправки, при цьому супорт переходить у первісне положення обертаний рух оправки не передається на двоплечий важіль 12 за наявності упорного підшипника 6.

ВИСНОВКИ

Досліджений вплив складових сил різання на величину прогину оправки. Встановлено, що прогин можна зменшити зміною напруженого стану оправки при незмінному її діаметрі.

Запропонований пристрій для супорта верстата, що дозволяє зменшити амплітуду коливань та величини прогину оправки в процесі зубофрезерування, що в цілому підвищує жорсткість супорта зубофрезерного верстата.

ПОВЫШЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ СУППОРТА ЗУБОФРЕЗЕРНОГО СТАНКА

Н. Н. Коротун, Д. П. Черевко,
Сумський державний університет, г. Сумы

Выполнен анализ факторов, вызывающих вибрации суппорта зубофрезерного станка, установлено, что генератором вибраций является как червячная фреза, так и оправка, предложено устройство, повышающее жесткость оправки фрезы и снижающее вибрации при зубофрезеровании.

Ключевые слова: *вибрация, исследования, жесткость, зубофрезерование, оправка, суппорт.*

INCREASING OF SLIDE'S RIGIDITY OF THE GEAR HOBBIING MACHINE

M. M. Korotun, D. P. Cherevko,
Sumy State University, Sumy

Having done the analysis of the factors causing the vibrations of the slide gear hobbing machine; we found that the vibration is generated by the hob as well as the mandrel. It was suggested that a device which increases the rigidity of the mill's mandrel and reduces the vibration whilst hobbing process takes place is used.

Key words: *vibrations, researches, inflexibility, gear milling, mandrel, support.*

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кучер А. М. Металлорежущие станки / А. М. Кучер - Л.: Машиностроение, 1972. – 307 с.
2. Коротун М. М. Патент на корисну модель № 73069 Україна МПК В23С 3/00. Супорт зубофрезерного верстата / М. М. Коротун, А. О. Гребченко, Д. П. Черевко, заявник та власник патенту Сумський державний університет. – № u201202353; заявл. 28.02.2012; опубл. 10.09.2012. Бюл. № 17.
3. Полохин О. В. Определение динамических характеристик процесса нарезания зубьев инструментами червячного типа / О. В. Полохин, А. С. Тарапанов, Г. А. Харламов // Известия Орел ГТУ. Машиностроение и приборостроение. – Орел: ОрелГТУ, 2000. – №4. – С. 156-160.
4. Сильвестров Б. Н. Конструкции и наладка зуборезных и резбофрезерных станков / Б. Н. Сильвестров, И. Д. Захаров. – М.: Высшая школа, 1979. – 255 с.
5. Сухарский И. Н. Повышение эффективности зубофрезерования червячных и спироидных колес посредством комплексного управления процессом / И. Н. Сухарский: автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Орел, 2009. – 16 с.
6. Тарапанов А. С. Математические основы виртуального представления и анализа лезвийной обработки / А. С. Тарапанов, Г. А. Харламов, В. С. Шоркин // Справочник. Инженерный журнал. – 2003. – № 2.– С. 11-17.

Надійшла до редакції 22 травня 2012 р.