

М. Білявський

Аспірант,
Українська академія друкарства,
м. Львів

УДК 621.914

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ФОРМУВАННЯ ОСЬОВИХ ВІБРАЦІЙ ШПИНДЕЛЯ І СКЛАДОВИХ СИЛ РІЗАННЯ ПРИ КОМБІНОВАНІЙ ОБРОБЦІ ПЛОСКИХ ПОВЕРХОНЬ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ТОЧНІСТЬ ОБРОБЛЕННЯ

Наведені результати експериментального дослідження формування осьових вібрацій шпинделя і складових сили різання та їх вплив на точність оброблення плоскої поверхні.

шпиндель, осьова вібрація, сила різання, комбіноване оброблення, точність

У машинобудуванні показники якості виробів достатньо тісно пов'язані з точністю оброблення деталей машин. Отримані при обробленні розмір, форма і розташування елементарних поверхонь визначають фактичні зазори та натяги в з'єднаннях деталей машин, а, відповідно, технічні параметри продукції, що впливає на її якість, надійність та економічні показники виготовлення й експлуатації.

Проблемі забезпечення точності оброблення плоских поверхонь присвячена низка праць вітчизняних та зарубіжних вчених: Соколовського А.П., Яхіна А.Б., Колева К.С., Корабльова П.А., Корсакова В.С., Monoronjak K.P., Okushima K. та інших [1 — 5].

У всіх працях, що присвячені цій проблемі, вказується на велику кількість складових загальної похибки оброблення, серед яких значну частку займають похибки, пов'язані з температурними деформаціями технологічної системи, оскільки частка цієї похибки постійно зростає у зв'язку з безперервним вдосконаленням верстатів і підвищенням їхньої енергоємності, що, безумовно, є основною тенденцією у верстатобудуванні.

Праці Захарова О.В., Горшкова В.В. [5] та інших присвячені забезпеченню точності шліфування плоских поверхонь шляхом регулювання температури в зоні оброблення. Батуєв В.В., Кирюшин І.Е. досліджували шляхи підвищення продуктивності і точності оброблених поверхонь фрезеруванням, було встановлено, що зміна режимів оброблення, а саме пошук раціональної швидкості різання і подачі інструмента за критерієм мінімуму вібрацій, здатна підвищити точність і продуктивність оброблення. Разом з цим, в працях Соколовського А.П., Корабльова П.А., Калініна М.А. розглянуті причини виникнення похибок геометричних параметрів деталей машин.

Останнім часом широкого поширення набули високопродуктивні процеси оброблення плоских поверхонь торцевими фрезами, оснащеними надтвердими матеріалами, тому автором у статті [6] був запропонований комбінований метод оброблення плоских поверхонь, який полягає у попередньому пластичному деформуванні оброблюваного матеріалу й подальшому зрізанні частини

зміцненого шару. На запропонований метод покладена задача технологічного забезпечення якості і точності оброблення плоскої поверхні.

Разом з цим, у проаналізованих літературних джерелах [1 — 5] не були розглянуті питання забезпечення точності оброблення плоских поверхонь комбінованими торцевими фрезами за схемою різання з попереднім пластичним деформуванням.

Отже, продуктивна реалізація запропонованого комбінованого методу оброблення у виробничих умовах можлива при експериментальному дослідженні параметрів цього процесу, зокрема складових сил різання, що визначають точність оброблення.

Мета статті полягає в експериментальному дослідженні формування осьових вібрацій шпинделя і складових сил різання при реалізації комбінованого методу оброблення, а також визначенні їх впливу на точність оброблення.

З аналізу літературних джерел [1 — 8] відомо, що підвищення точності оброблення досягається завдяки зменшенню деформацій у технологічній системі (внаслідок зниження сили й температури різання), а також завдяки високій розмірній стійкості інструмента з НТМ при істотно малому зносі, що сприяє стабілізації сили різання, а, відповідно, і точності оброблення.

Для досягнення поставленої мети оцінювання точності оброблення плоскої поверхні запропонованим технологічним методом та інструментом для його реалізації була розроблена методика для аналізу сил різання та осьових вібрацій технологічної системи.

Раніше, у праці [7] був наведений лабораторний комплекс для дослідження сил різання при чистовій обробці плоских поверхонь загартованих сталей і чавунів комбінованими торцевими фрезами. Але цей лабораторний комплекс не дає можливості оцінити рівень осьових вібрацій шпинделя, тому має бути розроблена методика і лабораторний комплекс, що дасть змогу оцінити паралельно складові сили різання та осьові вібрації шпинделя при реалізації комбінованого методу. У розроблений комплекс для визначення осьових вібрацій шпинделя і складових сил різання при комбінованому торцевому фрезеруванні мають входити: верстат вертикально-фрезерний з ЧПУ і автоматичною зміною інструмента — ГФ2171С6; комбінована торцева фреза, оснащена НТМ; динамометр фрезерний з блоком сенсорів і блоком спряження; динамометр зразковий ДОСМ-3-1; аналого-цифровий перетворювач (АЦП) «Крейт»; операційна плата, сумісна з АЦП серії L-1250; п'єзоакселерометр ДН-13; крейт LTC; підсилювач заряду; персональний комп'ютер (ПК); програмне забезпечення — пакет оброблення сигналів (ПОС).

Дослідження залежності осьових вібрацій шпинделя і складових сил різання від комбінованої схеми торцевого фрезерування та режиму оброблення мають проводитись на доведеному до підвищених норм точності вертикально-фрезерному консольному верстаті з ЧПК ГФ2171С6. Заготовки мають бути розмірів 150×40×15, що виготовлені з незагартованої сталі 40 (200 НВ).

Комплекс для визначення осьових вібрацій шпинделя і складових сил різання при торцевому фрезеруванні зміцненої незагартованої сталі зображений на рис. 1.

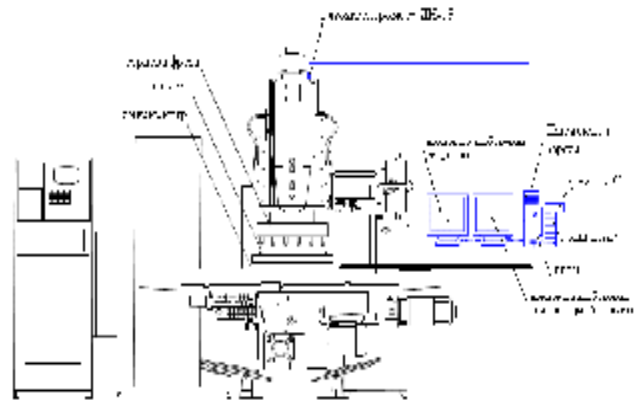
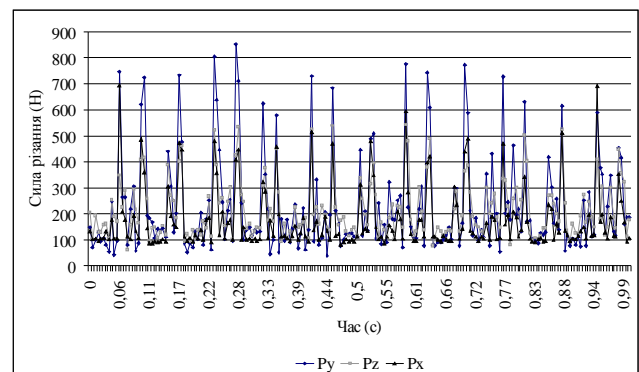
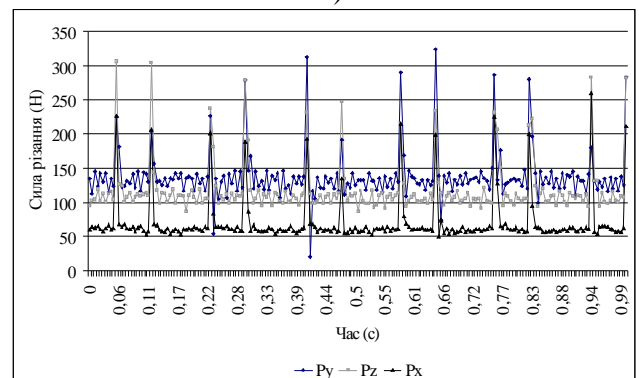


Рис. 1. Комплекс для визначення осьових вібрацій шпинделя та складових сили різання при обробці зміцненої незагартованої сталі торцевою фрезею, оснащеною НТМ



а)



б)

Рис. 2. Результати експериментальних досліджень зміни складових сили різання: а – традиційне торцеве фрезерування; б – комбінована обробка

Перевагою наведеного лабораторного комплексу перед існуючим є те, що одночасно можна оцінити і порівняти величину осьової вібрації шпинделя металорізального верстата і силу різання зміцненого шару. Для проведення експериментальних досліджень з визначення сил зрізання зміцненого шару використовується динамометр [12], підключений до апаратного комплексу, який містить АЦП «Крейт», систему керування сигналами, операційну плату сумісну з АЦП серії L-1250, ПК. Для вимірювання осьових вібрацій шпинделя використано стандартний п'єзоакселерометр ДН-13, встановлений на шпинделі верстата, як показано на рис. 2. П'єзоакселерометр під'єд-

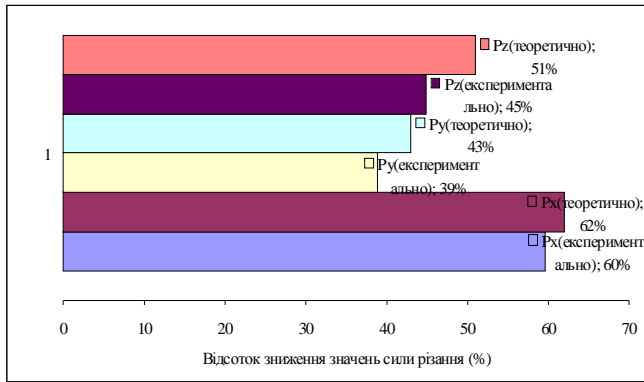


Рис. 3. Відсотковий аналіз значень складових сили різання

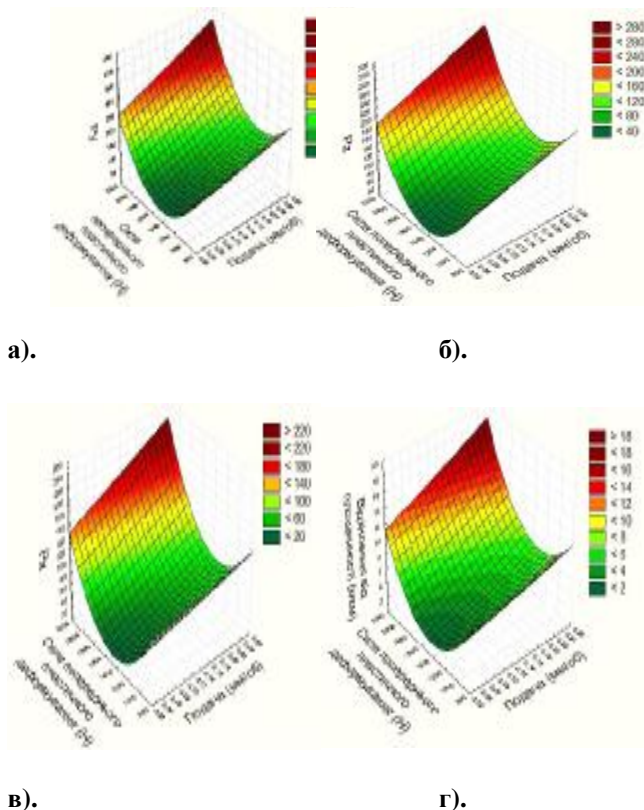


Рис. 4. Оброблення в системі Statistica результатів експериментальних досліджень впливу сили попереднього пластичного деформування і подачі комбінованого інструмента на формування складових сили різання: а — P_z ; б — P_y ; в — P_x ; г — величини відхилення від площинності) при реалізації запропонованого технологічного методу $V=200$ м/хв, $t=0,1$ мм

наний до підсилювача заряду, який підключений до крейта LTC, що з'єднаний з ПК через операційну плату сумісну з АЦП серії L-1250. Експериментальна установка й результати досліджень вібрацій комбінованого інструмента при реалізації методу оброблення різанням з попереднім пластичним деформуванням автором наведені у [8].

Слід зазначити, що в якості деформівних елементів були вибрані сталеві кульки ($r = 5$ мм), виготовлені з ма-

теріалу ШХ-15. Кут нахилу різальної кромки $\lambda = -35 - 45^\circ$. Режими комбінованої обробки, за яких проводились дослідження, були такими: $V=40 - 580$ м/хв; $P=500 - 2000$ Н; $S=0.05 - 0.2$ мм/об; $t=0.1$ мм.

Отримані графіки зміни складових сили різання у часі (частота вимірів становила 1кГц) в період фрезерування подані нижче.

За результатами експериментальних досліджень (див. рис. 2) проведемо кількісний аналіз.

Бачимо (рис. 3), що реалізація запропонованого технологічного методу дає можливість зменшити складові сил різання до 60 %.

Розглянемо встановлені експериментально середньоарифметичні значення складових сили різання і розраховані значення відхилення від площинності обробленої плоскої поверхні.

За наведеними значенням (табл. 1) визначимо вплив технологічних чинників процесу фрезерування на формування складових сили різання.

Отримані поверхні (див. рис. 4) апроксимуються залежностями, наведеними в табл. 2. Апроксимаційні математичні залежності (див. табл. 2), що визначають вплив сили попереднього пластичного деформування, подачі комбінованого інструмента і швидкості різання на значення складових сили різання й відхилення від площинності, будуть використанні в подальшому для оптимізації запропонованого технологічного методу.

Результати експериментальних досліджень впливу сили попереднього пластичного деформування на

Таблиця 1

Експериментальні середньоарифметичні значення складових сили різання та розраховані величину відхилення від площинності обробленої плоскої поверхні

v , м/хв	P , кН	S , мм/об	P_y , Н	P_z , Н	P_x , Н	Δ , мкм
200	1	0,1	139	119	75	6,32
		0,2	151,5	131	77	6,89
	1,5	0,1	90	70	39	4,095
		0,2	102,6	98	54,6	4,66
	2	0,1	179	160	121	8,14
		0,2	202,2	179	135	9,2
350	1	0,1	137,8	110	81,8	6,27
		0,2	155,9	145	89,1	7,09
	1,5	0,1	96,8	83,6	42,7	4,41
		0,2	116	102	55,6	5,27
	2	0,1	239,5	182	142	10,9
		0,2	285,2	192	150	12,96
500	1	0,1	142,2	108	83,1	6,5
		0,2	155,6	126	87,7	7,1
	1,5	0,1	91,8	78,2	54,4	4,2
		0,2	109,7	97,5	60,9	4,99
	2	0,1	256,6	195	148	11,7
		0,2	293,7	203	152	13,4

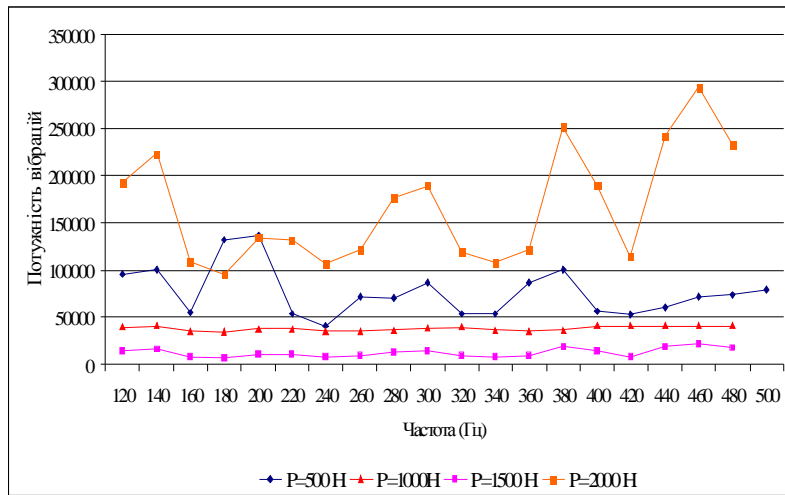


Рис. 5. Результати: а - експериментальних досліджень впливу сили попереднього пластичного деформування на потужність осьових вібрацій шпинделя верстата ГФ2171С6, в діапазоні 0 – 500 Гц, при реалізації запропонованого технологічного методу

Таблиця 2

Апроксимаційні математичні залежності, що визначають вплив технологічних параметрів комбінованого методу обробки на формування складових сили різання та величини відхилення від площинності

v_s , М/хв	P_y , Н	P_z , Н	P_x , Н	Δ , МКМ
200	$P_y(S,P)=739,1+54,9S+0,9P+360,9S^2+0,28SP+0,0003P^2$	$P_z(S,P)=512,5+209,8S-0,7P-37,8S^2+0,1SP+0,02P^2$	$P_x(S,P)=480-30,3S+0,6P+67S^2+0,2SP+0,02P^2$	$\Delta(S,P)=33,633+2,4S+0,04P+16,4S^2+0,013SP+1E-5S^2$
350	$P_y(S,P)=739,1+54,9S+0,9P+360,9S^2+0,28SP+0,0003P^2$	$P_z(S,P)=425+114,6S-0,5P-32,3S^2+0,03SP+0,01P^2$	$P_x(S,P)=378-22,5S+0,4P+58,4S^2+0,15SP+0,032P^2$	$\Delta(S,P)=35,7-1,8S+0,03P+16,2S^2+0,011SP+1E-5S^2$
500	$P_y(S,P)=739,1+54,9S+0,9P+360,9S^2+0,28SP+0,0003P^2$	$P_z(S,P)=312,5+99,4S-0,3P-22,3S^2+0,04SP+0,01P^2$	$P_x(S,P)=290-20,3S+0,7P+47S^2+0,005SP+0,2P^2$	$\Delta(S,P)=24,6-1,4S+0,05P+12,4S^2+0,02SP+1E-6S^2$

потужність осьових вібрацій шпинделя, окремо по кожній частоті в діапазоні 0 — 500 Гц наведені на рис. 5.

Представлені результати експериментальних досліджень (рис. 5) потребують математичного оброблення.

З результатів експериментальних досліджень впливу сили попереднього пластичного деформування на потужність осьових вібрацій шпинделя (рис. 5) випливає, що збільшення сили попереднього пластичного деформування до значення 1000 і 1500 Н дає можливість зменшити рівень і амплітуду вібрацій порівняно з силою попереднього пластичного деформування 500, а відтак, забезпечити стабільність технологічного процесу комбінованого

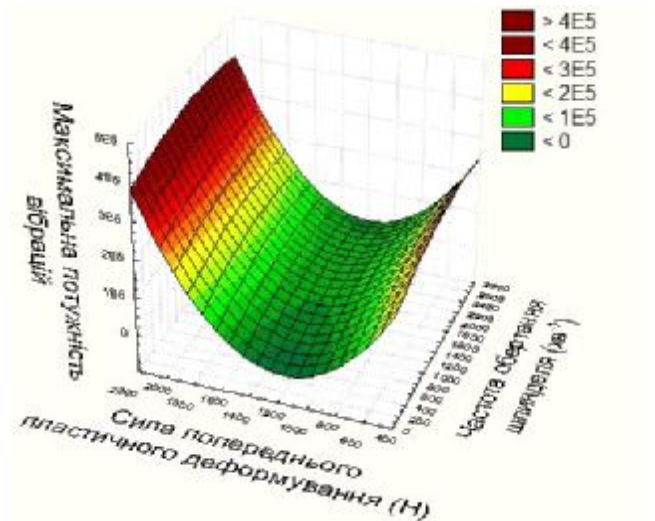


Рис. 6. Математичне оброблення експериментальних результатів впливу сили попереднього пластичного деформування та частоти обертання шпинделя на максимальну потужність вібрацій при реалізації запропонованого методу обробки $S=0.2$ мм/об; $t=0.1$ мм

оброблення плоскої поверхні. Проте при силі попереднього пластичного деформування 2000 Н спостерігається різке зростання потужності осьових вібрацій шпинделя верстата, що можна пояснити перегартуванням поверхневого шару і зниженням рівня стійкості комбінованого інструмента.

Був проведений аналіз впливу сили попереднього пластичного деформування і частоти обертання системи «шпиндель — інструмент» на потужність осьових вібрацій шпинделя. Отримана апроксимаційна поверхня (рис. 6) апроксимується виразом

$$W(n, P) = 4,8 \cdot 10^5 + 69,8 \cdot n - 868,1 \cdot P -$$

$$-0,02 \cdot n^2 - 0,01 \cdot nP + 0,4P^2. \quad (1)$$

За результатами математичного оброблення експериментальних досліджень (рис. 6) встановлено, що існують раціональні частоти обертання шпинделя ($n=575, 1265, 2415 \text{ хв}^{-1}$) при яких спостерігається мінімальна потужність осьових вібрацій.

Залежність (1) і встановлену закономірність треба враховувати у подальшому при оптимізації запропонованого технологічного методу оброблення плоских поверхонь.

Висновки. 1. Розроблена методика досліджень осьових вібрацій шпинделя вертикальнофрезерного верстата й формування складових сил різання, що впливають на точність оброблення плоскої поверхні.

2. Проведені дослідження підтвердили можливість підвищення точності оброблення плоских поверхонь запропонованим технологічним методом, оскільки складові сили різання й осьові вібрації шпинделя зменшуються відповідно до 60 і 82 %.

3. Встановлені математичні залежності, що пов'язують режими комбінованого оброблення зі складовими силами різання, значенням відхилення від площинності та максимальною потужністю вібрацій.

Література

1. Соколовский А.П. Расчеты точности обработки на металлорежущих станках. — М.: Машгиз, 1952. — 360 с.

2. Яхин А.Б. Технология приборостроения. — М.: Машиностроение, 1985. — 350 с.

3. Колев К.С., Горчаков Л.М. Точность обработки и режимы резания. — М.: Машиностроение, 1976. — 175 с.

4. Коробльов П.А. Точность обработки на металлорежущих станках в приборостроении. — М.: Машиностроение, 1982. — 228 с.

5. Корсаков В.С. Точность механической обработки. — М.: Машиностроение, 1986. — 380 с.

6. Виговський Г.М., Громовий О.А., Білявський М.Л. Розширення області використання торцевих фрез, оснащених НТМ // Процеси механічної обробки в машинобудуванні. — Житомир: ЖДТУ, 2007. — Вип. 2. — С. 35—40.

7. Громовий О.А. Розробка чистових косокутних торцевих фрез з комбінованими схемами різання. Дис. канд. техн. наук: 05.03.01. ЖІТІ. — К., 2002. — 172 с.

8. Виговський Г.М., Громовий О.А., Степчин Я.А., Білявський М.Л. Дослідження вібрацій при різанні незагартованої сталі інструментом, оснащеним НТМ // Вісник СумДУ. Серія «Технічні науки». — 2008. — №2. — С. 48—52.

Отримана 25.05.09

M. Bilavsky

Experimental investigation of axial vibration and spindle components of cutting forces in the combined treatment of flatsurfaces and their impact on the precision processing

Ukrainian Academy of Printing, Lviv

Experimental researches of formation of axial vibrations of a spindle and components of forcecutting, and also their influence on accuracy of processing are presented in work.

21 01 01 003y

Науково-технічна конференція

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В МЕТАЛУРГІЇ ТА МАШИНОБУДУВАННІ

30 березня – 2 квітня 2010 р., м. Дніпропетровськ, Україна

Тематика конференції

Системний аналіз і синтез процесів у металургії та машинобудуванні.

Інформаційні технології в процесах одержання матеріалів із заданими властивостями.

Математичне моделювання сучасних енергозберігаючих металургійних процесів.

Інформаційне та програмне забезпечення процесів проектування в машинобудуванні.

Інтелектуальні інформаційно-управляючі системи.

Прогресивні інформаційні технології та організація сучасного виробництва.

Адреса

ІТММ, НМетАУ,
кафедра Інформаційних технологій і систем,
проспект Гагаріна, 4,
м. Дніпропетровськ, 49005,
Україна.