

### ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ГРАВІРУВАЛЬНО-ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТА З ЧПУ ПРИ ФРЕЗЕРУВАННІ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ

*У статті наведені результати експериментальних досліджень технологічних можливостей настільного гравірувально-фрезерного верстата з ЧПУ. Відображені результати вимірів точності позиціонування робочих органів верстата та його жорсткості. Досліджено можливість обробки алюмінієвих сплавів на такому верстаті й обмірювані значення шорсткості обробленої поверхні при різних подачах.*

**Вступ.** Гравірувально-фрезерні верстати, що використовуються в цей час у багатьох галузях виробництва, від ювелірної справи до виготовлення форм для лиття й оснащення, являють собою складне сучасне устаткування, що працює під управлінням комп'ютера. Для пересування шпинделя з інструментом для різання, у гравірувально-фрезерних верстатах часто застосовують мікрокрокові двигуни. Такі верстати добре зарекомендували себе в модельному виробництві, у виробництві реклами й декору для обробки інтер'єрів. Також верстати ідеально підходять для обробки одно- і двошарових пластиків, композитних матеріалів, оргскла, дерева, штучного каменю, кольорових металів, виготовлення кліше для тиснення, табличок, малих литтєвих форм, ювелірних виробів і оснащення для їхнього виробництва, моделей, прототипів і багато іншого.

У цей час ринок настільних верстатів з ЧПУ насичений різними пропозиціями, які в стані підняти рівень як ефективності, так і якості виробництва виробів декоративно-прикладного мистецтва. Виробники верстатів постаралися забезпечити оригінальність і надійність конструкції на основі найсучасніших технологій [1]. Особливо висока ефективність застосування таких верстатів при обробці складних 3D-поверхонь. Обробка таких поверхонь ведеться сферичними кінцевими фрезами по різних напрямках, що задаються траєкторіями переміщення інструмента. Тут особливо важливо витримати вимоги по якості обробленої поверхні, що повинна бути однаковою при будь-яких напрямках робочих подач. Для цього потрібно знати технологічні можливості таких верстатів і оптимальні режими різання. Ці параметри багато в чому залежать від конструкції верстата й оброблюваного матеріалу. Особливий інтерес являє обробка деталей з алюмінієвих сплавів, які широко застосовуються в різних сферах виробництва.

**Мета досліджень.** Для забезпечення високої якості при фрезеруванні 3D-поверхонь необхідно досліджувати технологічні можливості гравірувально-фрезерного верстата й визначити оптимальні режими різання при фрезеруванні алюмінієвих сплавів.

**Основна частина.** Настільний гравірувально-фрезерний верстат (рис. 1) оснащений мікрокроковими двигунами для приводів подач. Через передачу гвинт-гайка такі двигуни здійснюють переміщення робочих органів верстата. Як головний привід, верстат оснащений високошвидкісною фрезерною голівкою, що забезпечує швидкість обертання шпинделя від 10000 до 27000 хв<sup>-1</sup>. Розмір робочої зони стола верстата – 310x130 мм. Максимальне переміщення по вісі Z не більше 75 мм. Верстат оснащений системою керування Mach3Mill.

Дослідження точності позиціонування верстата показали, що по вісі X вона становить до 0,009 мм, по вісях Y і Z до 0,002 мм при подачі 500 мм/хв. При подачах до 100 мм/хв. погрішність позиціонування по осях не перевищувала 2 мкм.

Однак висока точність позиціонування не забезпечує високу точність обробки. У процесі різання більшу роль грає жорсткість верстата. Саме вона буде забезпечувати точність обробки. Тому були проведені виміри жорсткості верстата по вісях X та Y. Вимір жорсткості по вісі Z не проводилося через малу відстань між шпинделем і столом верстата. При дослідженні жорсткості верстата, навантаження на шпиндель здійснювалися за допомогою динамометра ДОСМ-3-0,05 з максимальним навантаженням до 500 н. Відхилення шпинделя вимірялися індикатором із ціною розподілу 0,001 мм.

Результати досліджень наведені в табл. 1 і на рис. 2 у напрямку вісі X та в табл. 2 і на рис. 3 у напрямку вісі Y відповідно.

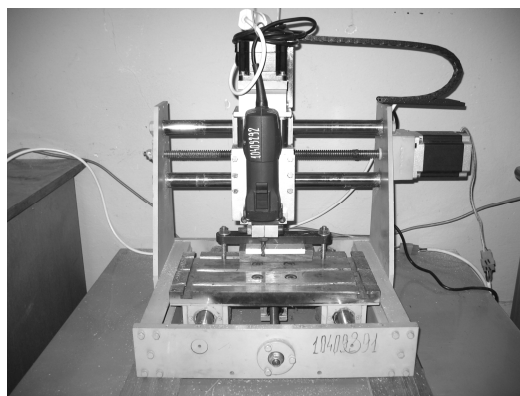


Рис. 1. Гравірувально-фрезерний верстат з ЧПУ

Таблиця 1

Вимір деформацій верстата в напрямку вісі X

Навантаження $P$ , н	Показники індикатора, мм	
	навантаження	розвантаження
0	0	0,02
50	0,093	0,154
100	0,213	0,264
150	0,341	0,341

З наведених даних видно, що верстат має малу жорсткість і, відповідно, не може забезпечити високу точність обробки. Крім того, верстат має більш високу жорсткість у напрямку вісі Y, ніж по вісі X. Це необхідно враховувати при розробці стратегії обробки.

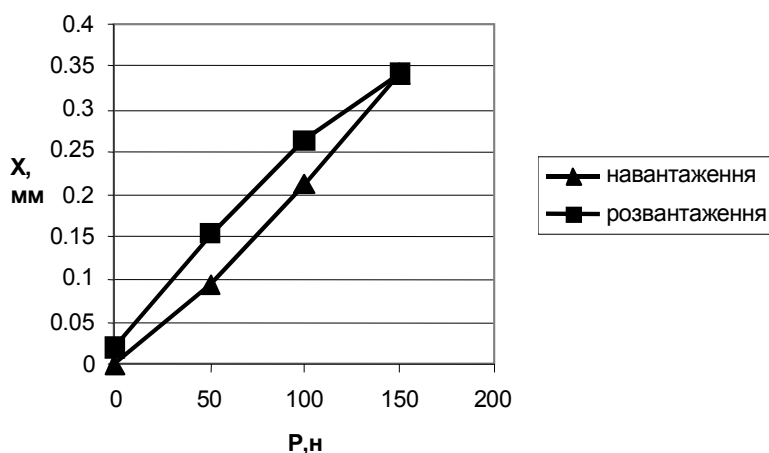


Рис. 2. Гістограма жорсткості верстата в напрямку вісі X

Таблиця 2

Вимір деформацій верстата в напрямку вісі Y

Навантаження $P$ , н	Показники динамометра, мм	
	навантаження	розвантаження
0	0	0,012
50	0,089	0,11
100	0,171	0,188
150	0,24	0,24

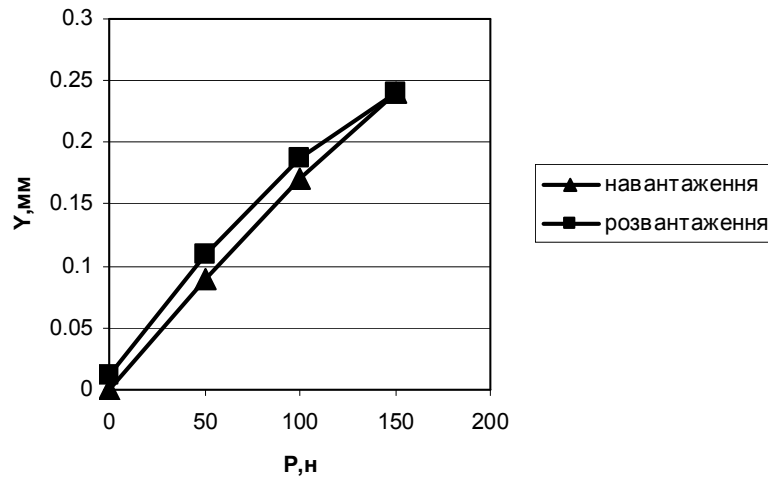


Рис. 3. Гістограма жорсткості верстата в напрямку вісі Y

Необхідно так будувати траєкторію переміщення інструмента, щоб максимальна складова сили різання була спрямована по вісі Y. Крім того, режими різання повинні бути такими, щоб сили різання були не більше 50 н, що забезпечить точність обробки в межах до 0,1 мм. Для тих деталей, для обробки яких призначений такий верстат, це цілком прийнятна точність. Такі сили різання виникають, в основному при обробці м'яких матеріалів, таких як модельний віск, різні пластмаси тощо.

При обробці алюмінієвих сплавів, такі сили різання виникають при малих глибинах різання й малих подачах. Якщо розглянути технологію обробки 3D-поверхонь, то вона складається не менше, ніж з трьох видів обробки [2]. При чорновій обробці відбувається зняття основного обсягу матеріалу. Обробка ведеться за схемою "петля" або "зигзаг" на максимально припустимих режимах різання. Зрозуміло, що цей вид обробки не можливий на даному верстаті, тому що сили різання будуть досягати значень більших 50 н навіть при малих значеннях подач.

При напівчистовій обробці відбувається формування 3D-поверхні, але залишаються так звані гребінці після проходів кінцевою фрезою. Глибина різання при цій обробці становить 1–3 мм. Тут так само можуть виникати сили різання більші, ніж 50 н. І тільки при чистовій обробці, при якій відбувається зачищення гребінців і яка виконується із глибинами різання до 0,5 мм, сили різання можуть не перевищувати припустимих значень.

Отже, обробка алюмінієвих сплавів на такому гравірувально-фрезерному верстаті може відбуватися тільки на чистових режимах різання. Звичайно, це вимагає окремої перевірки. Однак вимір сил різання при обробці алюмінієвих сплавів на гравірувально-фрезерному верстаті не входило до поставленого завдання. Спочатку необхідно визначити граничні значення подач, на яких можлива обробка таких сплавів при чистових глибинах різання.

Для цих цілей був обраний заготівля у вигляді листа, товщиною 10 мм із алюмінієвого сплаву Д16. Обробка велася циліндричною частиною кінцевої фрези діаметром 8 мм із робочою частиною зі сплаву Р6М5. Було обране попутне фрезерування при глибині різання  $t = 0,4$  мм і частоті обертання фрезерної голівки  $n = 25000$  хв.<sup>-1</sup>, що відповідало швидкості різання  $v = 628$  м/хв. Після обробки на подачах від 7 мм/хв. до 100 мм/хв. проводився вимір шорсткості обробленої поверхні. Визначався параметр Ra за допомогою приладу "профілометр 296". Тому що при обробці 3D-поверхонь дуже часто змінюється напрямок подачі на різних ділянках формованої поверхні, то вимір шорсткості вироблялося як уздовж подачі, так і поперек. Результати експериментальних досліджень наведені в таблиці 3 і на рис. 4.

Отримані дані показують, що на чистових режимах можлива обробка деталей з алюмінієвих сплавів. Причому гравірувально-фрезерний верстат може вести обробку й на досить високих подачах. Якщо обробка буде виконуватися сферичною кінцевою фрезою, коли площа контакту робочої частини фрези з оброблюваною поверхнею буде мінімальною, то можливо виконувати обробку й на більш високих подачах. Аналогічні результати були отримані й при інших швидкостях обертання шпинделя. Тільки шорсткість поверхні зі зменшенням швидкості різання погіршувалася.

Таблиця 3

Шорсткість поверхні залежно від подачі

S, мм/хв.	7	10	15	20	25	35	40	45	50	55	60

Ra, мкм (впоперек подачі)	1,13	1,35	1,35	1,36	1,48	1,5	1,46	1,64	1,19	1,09	1,3
Ra, мкм (уздовж подачі)	0,75	0,76	0,76	0,99	0,8	0,87	1,06	1,08	1,54	1,97	1,93
S, мм/хв.	65	70	75	80	85	87	90	92	95	97	100
Ra, мкм (впоперек подачі)	1,3	1,58	1,4	1,64	1,3	1,51	1,45	1,69	1,5	1,83	2
Ra, мкм (уздовж подачі)	1,77	2,03	1,96	1,69	2,35	2,62	2,23	2,04	3,54	2,26	2,7

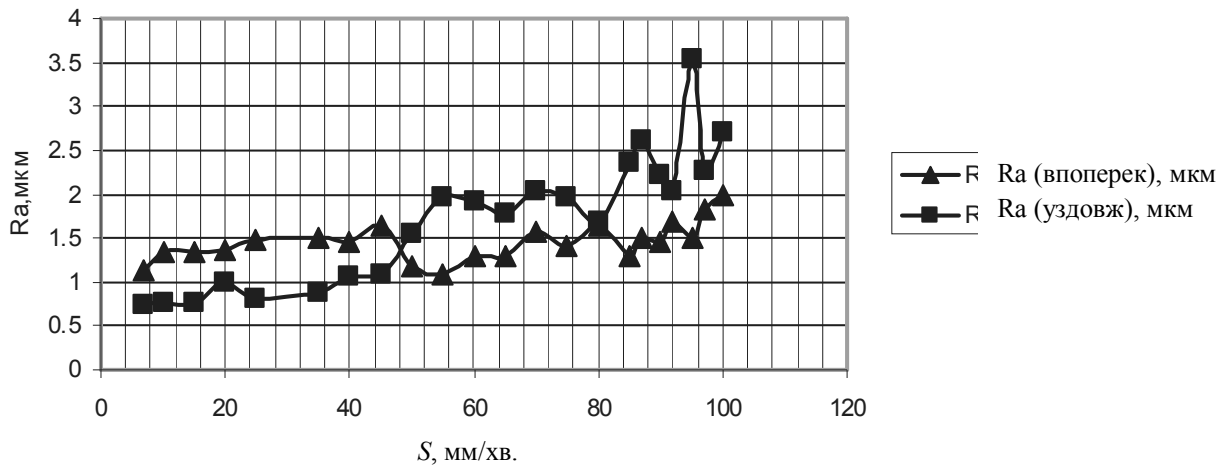


Рис. 4. Шорсткість поверхні залежно від подачі при  $t = 0,4$  мм і  $v = 628$  м/хв.

Із графіка шорсткості (рис. 4) видно, що при подачах близьких до 50 мм/хв. і 80 мм/хв. шорсткість поверхні як уздовж напрямку подачі, так і поперек практично збігаються. Обробка на таких подачах забезпечить однакову шорсткість при різних напрямках траєкторій переміщення інструмента. Це особливо важливо при обробці 3D-поверхонь.

**Висновки.** Експериментальні дослідження технологічних можливостей настільного гравірувально-фрезерного верстата з ЧПУ показали, що на такому верстаті можлива обробка деталей з алюмінієвих сплавів. Верстат може забезпечити точність обробки 3D-поверхонь до 0,1 мм із однаковою шорсткістю поверхні в різних напрямках, незалежно від напрямку переміщень інструмента по робочих траєкторіях.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Феоктистов В. Декоративно-прикладное искусство с ЧПУ // САПР и графика. – 2002. – № 12.
2. Ашев Р. Составление оптимальной ЧПУ-программы для высокоскоростного фрезерования // САПР и графика. – 2002. – № 11.

ЮМАШЕВ Володимир Євгенович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування та конструювання технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:  
– робототехніка.

Подано 09.09.2009

**Юмашев В.С.** Дослідження технологічних можливостей гравірувально-фрезерного верстата з ЧПУ при фрезеруванні алюмінієвих сплавів.

**Юмашев В.Е.** Исследование технологических возможностей гравировально-фрезерного станка с ЧПУ при фрезеровании алюминиевых сплавов.

**Yumashev V.E.** Research of the technological capabilities of the engraving-milling CNC machine at the aluminium alloys milling.

УДК 621.914

**Исследование технологических возможностей гравировально-фрезерного станка с ЧПУ при фрезеровании алюминиевых сплавов / В.Е. Юмашев**

В статье приведены результаты экспериментальных исследований технологических возможностей настольного гравировально-фрезерного станка с ЧПУ. Представлены результаты измерений точности позиционирования рабочих органов станка и его жесткости. Исследована возможность обработки алюминиевых сплавов на таком станке и измерены значения шероховатости обработанной поверхности при различных подачах.

УДК 621.914

**Research of the technological capabilities of the engraving-milling CNC machine at the aluminium alloys milling / V.E. Yumashev**

The results of experimental researches of technological capabilities of the desktop engraving-milling CNC machine are adduced in this article. The results of the measurements of accuracy of the working bodies positioning in the CNC machine and its rigidity are presented. The capability of machining of aluminium alloys is investigated in the CNC machine. The meanings of the machining surface roughness are measured at the various feeds.