**II. МАШИНОБУДУВАННЯ ТА МАТЕРІАЛООБРОБКА**

Гаврильченко О. В.

УДК 621.924

Захаров В. М.

**Національний
університет
“Львівська
політехніка”****АНАЛІЗ ВЕРСТАТИВ
ВІБРОВИКІНЧУВАЛЬНОЇ
ДОВОДКИ**

Рассмотрены известные конструкции вибропроводочных станков и преимущества двухдисковых вибропроводочных станков с круговыми траекториями колебаний притирков.

The known methods of lap trueing of vibration development machine tools with circular trajectories of lap oscillations are analyzed. The theoretical studies of lap trueing with the truers placed in the area of circular sector are reduced in this paper.

При серійному виготовленні прецизійних деталей з твердих матеріалів, які масово використовуються у промисловості за рахунок поєднання їх спеціальних експлуатаційних якостей, необхідно забезпечити високу точність форми їх плоских поверхонь. Серед різноманітних фізико – механічних процесів та способів механічної обробки, які забезпечують виконання високих вимог до якості поверхневого шару, точності розмірів та форми поверхонь, що обробляються, важливе місце займає викінчувальна притирка.

Ця операція виконується на викінчувальних верстатах для механічної викінчувальної обробки плоских деталей, які дозволяють отримати шорсткість поверхонь R_a від 0,4 до 0,02 мкм та відхилення від площинності від 0,1 до 0,01 мкм.

Досягнення високих показників площинності робочих поверхонь деталей, що обробляються, при викінчувальній притирці знаходиться у прямій залежності від точності форми робочих поверхонь притирів викінчувального верстату.

Враховуючи це, дотримання у часі високої точності форми робочої поверхні притирів є важливою задачею. Найбільш досконалим її вирішенням є використання викінчувальних верстатів, які дозволяють застосування способу комбінованої та кінематичної правки робочих поверхонь притирів правниками та деталями, що обробляються.

Відомі існуючі конструкції викінчувальних верстатів у більшості випадків виконані без врахування можливості здійснення комбінованої та кінематичної правки, що

приводить до примусової зупинки та проведення правки спеціальними правниками.

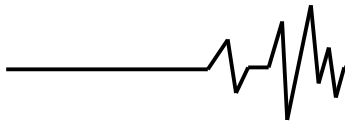
Це спонукало провести аналітичні дослідження викінчувального устаткування для подальшого удосконалення технологічних процесів викінчувальної притирки.

Мета роботи полягає у обґрунтуванні пропозиції можливості застосування комбінованої та кінематичної правки робочої поверхні притирів тільки на вібровикінчувальних верстатах з круговими траєкторіями коливань притирів, при цьому правильники та деталі розміщують у площі обмеженої кільцевим сектором на робочій поверхні притирів. [1].

Перспективним методом обробки деталей вважається вібраційна притирка, яка виконується на різних типах вібровикінчувальних верстатів.

У Пермському політехнічному інституті [2] розроблені вібровикінчувальні напівавтомати ВДП-4, ВДП-4М, в яких чавунний притир виконано по периферії з буртом. У дно притира, шарзоване абразивом, вільно закладають зібрані у пакет деталі, яким надаються складні рухи відносно дна притира під дією виникаючих сил тертя. Привід забезпечується електромагнітним віброзбудником кутових колових коливань. Ці верстати не складні у конструкції, негроміздкі та дешеві. Недоліками вважається мала точність і продуктивність притирки за рахунок кутових колових коливань, нерівномірність зношування робочої поверхні притира та нестабільність руху деталей по дну чашки-притира.

У верстатах ПДС-3 та ПДС-5 [3] коливання притира створюються за рахунок



складання двох взаємно перпендикулярних коливань різних частот та амплітуд, розташованих у площині притира. Два вали привода обертаються за рахунок електродвигуна через пасову передачу та варіатор. Шатуни привода здійснюють коливання з різною частотою, яка дозволяє отримати різні коливання шатунів, а від них – притира. При коливаннях притира виникають динамічні сили, що розгойдують весь верстат. Для зменшення впливу цих сил встановлені противаги. Верстати ПДС-3 та ПДС-5 мають складну конструкцію порівняно з верстатом ВДП-4М, та також не забезпечують рівномірність зношування робочої поверхні притира.

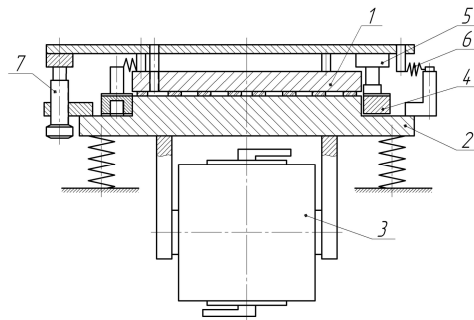
Для підвищення точності викінчувальної притирки та забезпечення рівномірного зношування робочої поверхні притира, в конструкції вібровикінчувального верстата розробленого у Львівському політехнічному інституті [4] деталі, що обробляються, здійснюють примусові планетарні рухи по віброуючому притиру. Привід обертального руху сепараторів з деталями здійснюється з допомогою електромагнітної муфти, яка використовує вібраційні коливання притира. Верстат оснащений електромагнітним притискачем, який дозволяє регулювати питомий тиск під час притирання.

Недоліком усіх вібровикінчувальних верстатів, які використовують кутові колові коливання є те, що амплітуда коливань, а внаслідок цього і швидкість зношування пропорційна радіусам центрів сепараторів з деталями, що зменшує точність та якість притирки за рахунок нерівномірності зношування робочої поверхні притира та деталей.

Цього недоліку позбавлений спосіб притирки деталей [5], використовуючи який притиру надаються рухи у двох взаємно-перпендикулярних напрямках з різними частотами. При цьому кожна точка притира описує траєкторію у вигляді растру, заповнюючи площу чотирьохкутника. Вібровикінчувальні верстати [6] розроблені у Пермському політехнічному інституті, які застосовують растровий спосіб притирки, дозволяють значно підвищити точність та якість притирки забезпечуючи високу продуктивність. Але застосування в якості приводів кривошипно-шатунних, важільних, рейкових механізмів знижують надійність верстатів, за рахунок присутності вузлів тертя та великих динамічних навантажень.

Всі розглянуті верстати для вібровикінчувальної притирки застосовуються для односторонньої притирки плоских деталей.

В НДІ годинникової промисловості розроблено спосіб вібраційної притирки [7], який полягає в тому, що притирам, між якими розміщуються деталі, надають направлені кругові рухи в площині робочої поверхні притирів. Для забезпечення додаткового поступового переміщення деталей навколо осі притирів, останнім одночасно надаються рухи, при яких їх осі описують конус.

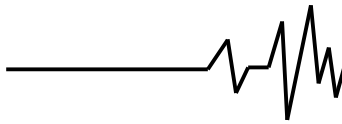


**Рис. 1. Принципова схема
вібровикінчувальних верстатів ПР 378
та ПР 379**

Згідно з цим способом СКБ годинникового верстатобудування розробило дводискові вібровикінчувальні верстати типу ПР 378 та ПР 379 конструкція яких зображена на рис. 1.

Один з притирів кріпиться на пружних амортизаторах та щільно зв'язаний з дебалансним вібратором 3. На торці кільця 4 закріплено чотири плоских кулачки 5, розміщені до центра кільця. Кільце 4 охоплює з деяким просвітом диск 2, впираючись на його основу. Радіальні пружини зв'язують притирочні диски 1 та 2 між собою. Для регулювання зазору між дисками передбачені упори 7. При вмиканні вібратора 3 притири здійснюють поступально-коловий рух, під дією якого кільце 4 котиться навколо диска 2. Кулачки 5 обертаючись разом з кільцем 4 примушують деталі рухатися за спіральними траєкторіями по робочій поверхні притирів.

Верстати ПР 378 та ПР 379 забезпечують високу продуктивність притирання, площинність деталей до 0,001 мм на діаметрі 30мм та шорсткість поверхонь, що обробляються $R_a = 0,16 - 0,04$. Недоліками цих верстатів вважається те, що вібробудник приводить до коливного руху тільки нижній притир, а також те, що дебалансний вібробудник зменшує надійність цих верстатів за рахунок вузлів



тертя, передачі динамічних навантажень на основу верстата та не забезпечує рівномірності зношування робочих поверхонь притирів у зв'язку з неможливістю керувати режимом притирання деталей у процесі доводки.

Враховуючи аналіз існуючих конструкцій вібровикінчувальних верстатів у Львівському політехнічному інституті був розроблений двох масовий вібровикінчувальний верстат, зображений на рис. 2, який складається з двох притирів 1 та 2, які здійснюють коливні рухи за допомогою шести пар електромагнітних віброзбудників 3.

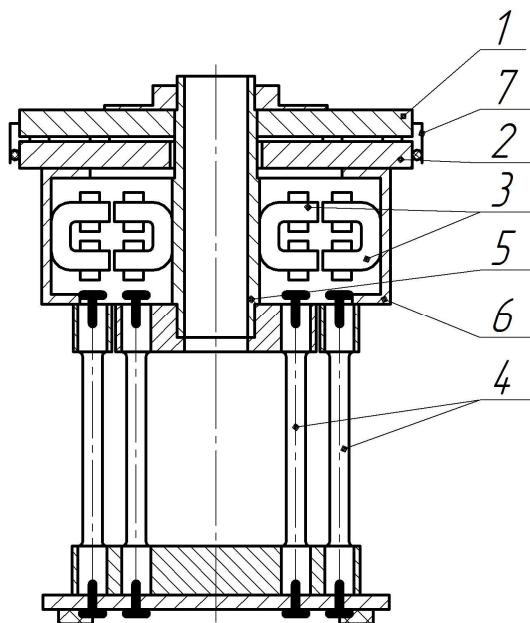


Рис. 2. Принципова схема вібровикінчувального верстату ЛПІ

Останні надають викінчувальним притирам антифазні поступові колювання з коловими траєкторіями, паралельними робочим поверхням притирів. Верстат складається з розміщених на одній осі двох притирів. Кожен притир встановлений на шести циліндричних пружних стрижнях 4, верхній та нижній кінці яких зафіксовані. Верхній викінчувальний притир з'єднаний з пружними стрижнями за допомогою колонки 5, до якої кріпиться плоска пружина, дозволяючи розвантажити вагу притира у процесі притирання.

Для електромагнітного приводу використали дві незалежні, вертикально розташовані пружні системи, закріплені знизу до кожного притиру, на шести вертикально розташованих по колу пружні стрижні, які забезпечують плоско паралельний рух у горизонтальній площині двох притирів.

Електромагнітний привід вібровикінчувального верстату складається з закріплених шести електромагнітів до колонки, розміщених під кутом 60° . Інші шість електромагнітів закріплені до кронштейнів 6.

Кожні протилежні дві пари електромагнітів утворюють двотактний вібратор та з'єднані з трьох фазною мережею живлення по двоперіодній схемі випрямлення струму.

При такій схемі включення в електромагнітних віброзбудниках виникає рівномірно обертова збуджуюча сила, під дією якої кожна точка викінчувальних притирів описує коло одного радіуса та амплітуди.

Через те, що збуджуючі сили цих двомасових механічних коливних систем, які діють на викінчувальні притири рівні за величиною, але протилежні за напрямком, при зрівноважених коливальних вагах та суміщенні центрів притирів, то обидва притира здійснюють антифазні колові колювання у площині перпендикулярній до осей циліндричних пружних стрижнів.

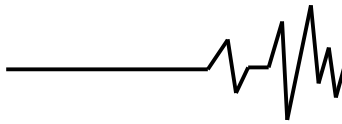
Складні планетарні рухи, деталей що обробляються, забезпечуються з допомогою використання колювань нижнього притира. Для цього до сепаратора, в якому розміщені деталі, ззовні закріплено кільце 7, а по центральній осі дві втулки з гумовим кільцем між ними та на торцевій зовнішній поверхні нижнього притиру закріплено гумове фрикційне кільце. При колових колюваннях нижнього притира, сепаратор з деталями або правниками буде здійснювати рівномірний обертовий рух.

У зв'язку з тим, що дві дотичні точки обох притирів рухаються у протилежних напрямках з однаковими амплітудами, то зусилля зношування на двох сторонах деталей, що обробляються, рівні за величиною, але протилежні за напрямком урівноважуються на поверхні деталей, що дозволяє обробляти тонкі та крихкі деталі.

Верстат працює на частоті 25Гц практично безшумно та не передає вібрації основі. Пружна система розрахована на роботу у режимі близькому до резонансу, що зменшує потужність приводу верстату.

При застосуванні способу [1] для розміщення деталей та правників на робочій поверхні притирів дає можливість застосовувати комбіновану та кінематичну правку та забезпечує рівномірність зношування робочих поверхонь притирів.

Відсутність вузлів тертя у робочій зоні робить верстат надійним та забезпечує високу чистоту поверхонь деталей, що обробляються.



Недоліком цієї конструкції вважається:
 - мала продуктивність за рахунок невеликої швидкості обертання сепаратора з деталями – до 5 об/хв.,
 - втрати ККД електромагнітного віброзбудника за рахунок споживання електроенергії при збільшенні амплітуди коливань притирів, яка залежить від повітряного зазору між якорем та осердям з котушкою електромагнітного віброзбудника.

На сьогоднішній день існуючі двомасові вібровикінчувальні верстати [8,9,10] конструктивно складні та енерговитратні.

Розроблення та конструювання енергоощадних вібраційних верстатів можна вирішити застосувавши теорію синфазних коливань[11], діючі синфазні рухи дають можливість зробити повітряний зазор у електромагнітному віброзбуднику мінімальним, за рахунок відсутності відносних амплітуд коливань між двома суміжними масами, що дає можливість значно знизити величину струму, що протікає в обмотках віброзбудників, як показано на рис. 3.

Верстат складається з верхнього 1 та нижнього 2 притирів, встановлених концентрично один відносно другого, кільцеподібної реактивної маси 3, яка з'єднана з нижнім притиром 2 за допомогою гумових пружних кілець 7. Якорі 4 електромагнітного віброзбудника встановлені симетрично по колу та зафіксовані на кільцеподібній реактивній масі 3, а осердя з котушками 5 встановлені симетрично по колу та зафіксовані під нижнім притиром 2. Середина вертикально розташованого пружного стрижня 6 жорстко заземлена у нижньому притирі 2, на кінцях стрижня закріплені фланці 9 та 10, які з'єднані між собою порожнім циліндром 8, закріпленому до верхнього притиру 1. Основа верстату встановлена на віброізоляторах 11, які кріпляться до нижнього притиру. Між притирами встановлюється сепаратор з деталями, що обробляються.

Такий вібровикінчувальний верстат з електромагнітним приводом утворює резонансну три масову коливальну систему в якій встановлено тільки один пружний стрижень, виконуючий роль одної резонансної пружної системи. Замість другої пружної використано гумові ущільнення, що значно спрощує конструкцію. Підібравши інерційні параметри реактивної маси, які дозволять їй рухатися синфазно відносно нижнього притира, можна мінімізувати вплив амплітуди рухів обох притирів на повітряний зазор електромагнітного віброзбудника, що значно підвищує корисне

тягове зусилля електромагнітів та взагалі до ККД вібровикінчувального верстату.

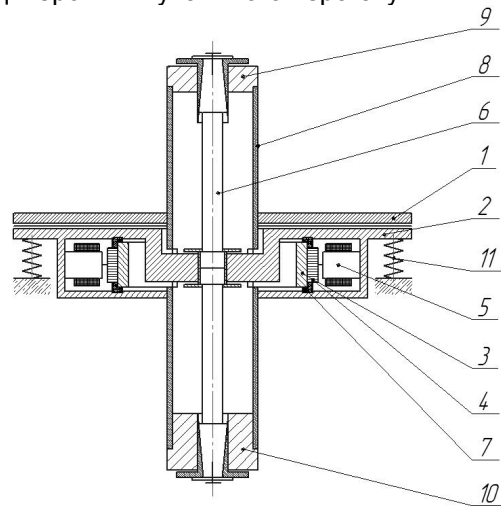
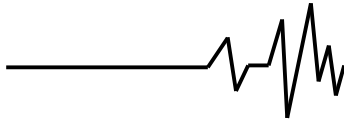


Рис. 3. Трьох масовий вібровикінчувальний верстат

Таблиця 1
Траєкторії руху деталей при притиранні на вібраційних викінчувальних верстатах

№ групи	Траєкторія руху	Недоліки
1	Циклоїди, епіциклоїди	Нерівність швидкостей зношування, нерівномірне зношування робочої поверхні притирів та деталей
2	Циклоїди, епіциклоїди	Нерівність швидкостей зношування, нерівномірне зношування робочої поверхні притирів та деталей
3	Циклоїди, епіциклоїди	Нерівність швидкостей зношування, нерівномірне зношування робочої поверхні притирів та деталей
4	Растр, синусоїда	нерівномірне зношування робочої поверхні притирів та деталей
5	евольвенти	нерівномірне зношування робочої поверхні притирів та деталей



На основі аналізу існуючих одно та двох дискових конструкцій вібровикінчувальних верстатів для плоско-паралельної притирки поверхонь прецизійних деталей пропонується розробляти вібровикінчувальні верстати, що складаються з двох притирів, які отримують коливальні рухи від електромагнітних вібробудників, котрі надають притирам анти-фазні поступальні коливання у формі колових траєкторій однакової амплітуди, паралельних робочим площинам притирів. В табл.1 наведено траєкторії руху деталей, які можна досягнути у розглянутих верстатах.

Зробивши аналіз існуючих конструкцій викінчувальних верстатів можна зробити висновки, що вібровикінчувальні верстати з коловими траєкторіями коливань притирів мають такі переваги:

- за рахунок незмінної амплітуди коливань забезпечують стабільну швидкість зношування у кожній точці викінчувального притира;

- застосувавши спосіб [7] розміщення деталей на робочій поверхні притирів, який забезпечує рівномірність зношування, комбіновану та кінематичну правку, дають можливість значно збільшити період між двома плановими правками робочої поверхні притирів;

- дозволяють виконувати механічну обробку плоских тонких та крихких деталей у не зафіксованому вільному стані.

- мають мінімальні габаритні розміри та потужності приводу.

- зростання продуктивності притирки у 2 – 2,5 рази;

- високий клас шорсткості поверхонь, що обробляються;

- відхиленням площинності від 0,1 до 0,01 мкм.

При розгляді різних способів та конструкцій викінчувальних верстатів інтенсивність знімання матеріалу визначалось часом обробки t , за умови однакового шляху переміщення деталей

$$t = \frac{1}{K \cdot \ln \left[\frac{R_a^z - R_a^c}{R_a^b - R_a^c} \right]},$$

де K – коефіцієнт профілю вихідної шорсткості.

R_a^B, R_a^z, R_a^C – середнє арифметичне відхилення профілю відповідно до вихідної, завданої і сталої шорсткості.

Література

1. А.с. № 1759609 СССР. Способ доводки деталей. В.А. Повидайло, В.Н. Захаров, В.Ф. Завадская. И.-№ 33,-1992.
2. А.с. № 180451. Многомагнитный силовой вибрационный привод. И.С. Каракулов, Ю.Б. Серебренник. И.-№ 6,-1966.
3. Абразивная доводка. /З.И. Кремень, А.И. Павлюк, Л., Машиностроение, 1967.
4. А.с. № 218691. Вибрационная установка для плоской притирки деталей. В.А. Повидайло, Р.И. Силин. И.-№ 17,-1968.
5. А.с. № 361061. Способ доводки деталей. В.П. Некрасов. И.-№ 37,-1972.
6. А.с. № 499099. Плоскопроводочный станок. В.П. Некрасов, Г.Ф. Трубников, Ю.Б. Серебренник. И.-№ 2,-1976.
7. А.с. № 181516. Способ виброобработки плоских мелких деталей. Д.Д. Малкин. И.-№ 9,-1966.
8. Вібраційні процеси та обладнання. / В.А. Повидайло, Навч. Посібник, Львів, вид-во НУ «Львівська політехніка», 2004.
9. Автоматические загрузочные устройства вибрационного типа. / А.Н. Рабинович, В.А. Яхимович, Б.Ю. Боечко, К.,Техніка, 1965.
10. Розрахунок три масових механічних коливальних систем вібраційних машин з електромагнітним приводом та синфазним рухом коливальних мас. / О.С.Ланець, Український між від. Наук.- техн.. зб. Автоматизація вироб. Проц. у машино- та приладобудуванні, Львів, НУ «Львівська політехніка», Вип..39, С76-82.
11. Теорія синфазних коливань у вібраційних машинах з електромагнітним приводом. / О.С. Ланець, Вібрації в техніці та технологіях, 2005,№2(40), с.46-59.
12. Міжрезонансні вібраційні притиральні машини з електромагнітним приводом, розроблені на основі ефекту «Нульової жорсткості», / О.С. Ланець, Я.В. Шпак, Ю.П. Шоловій, Український між від. Наук.- техн.. зб. Автоматизація вироб. проц. у машино- та приладобудуванні, Львів, НУ «Львівська політехніка», Вип.41.