

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

ВІБРАЦІЙНІ ВЕРСТАТИ
(еволюція обладнання вібраційної обробки)

Монографія

Київ 2026

УДК 621.9.048

В 71

Рекомендовано Вченою радою Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля
(Протокол № 12 від 29.05.2026 року)

Рецензенти:

Пермяков Олександр Анатолійович, д.т.н., проф., завідувач кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”.

Пилипенко Олександр Михайлович, д.т.н., проф., професор кафедри механічної інженерії та автомобільного транспорту Державного університету “Житомирська політехніка”.

В 71 Вібраційні верстати (еволюція обладнання вібраційної обробки): монографія / О.В. Романченко, Т.О. Шумакова, О.В. Шевченко, О.М. Логунов, А.П. Ніколаєнко. – Київ: Вид-во Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, 2026. – 240 с.

ISBN 978-617-11-0266-8

У монографії розглянуто сучасні конструктивні рішення обладнання для вібраційної обробки. Розглянуто питання впливу конструктивних особливостей верстатів на продуктивність обробки. Приділено увагу питанням інтенсифікації процесу вібраційної обробки за рахунок змін конструкції вібраційних верстатів, додаткового хімічного, електрохімічного, електрофізичного впливу, а також механізації та автоматизації допоміжних операцій. Монографія призначена для студентів, аспірантів, інженерно-технічних і наукових працівників.

УДК 621.9.048

© Романченко О.В., Шумакова Т.О.,
Шевченко О.В., Логунов О.М.,
Ніколаєнко А.П., 2026

© Східноукраїнський національний
університет імені Володимира
Даля, 2026

ISBN 978-617-11-0266-8

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВІБРАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ.....	8
2. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ТА ОБМЕЖЕНЬ ВІБРАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ	31
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СХЕМИ ГЕНЕРАЦІЇ ТА ПЕРЕДАЧІ КОЛИВАНЬ У РОБОЧУ ЗОНУ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ВІБРАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ.....	42
4. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКЦІЇ КОНТЕЙНЕРІВ ВІБРАЦІЙНИХ ВЕРСТАТІВ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ОБРОБКИ.....	72
4.1. Дослідження впливу конструкції контейнерів універсальних вібраційних верстатів на продуктивність обробки.....	72
4.2. Дослідження впливу конструкції контейнерів спеціалізованих вібраційних верстатів на продуктивність обробки	100
4.2.1. Дослідження особливостей вібраційної обробки довгомірних деталей.....	100
4.2.2. Дослідження особливостей обробки в верстатах прохідного типу	116
4.2.3. Дослідження особливостей обробки в верстатах з контейнером тороїдального типу, у віброшпиндельних та вібротурбоабразивних верстатах	134

5. РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРОЦЕСУ ВІБРАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ.....	151
5.1. Вдосконалення конструкції контейнерів з метою підвищення продуктивності вібраційної обробки.....	151
5.2. Розробка та дослідження конструктивних рішень, що підсилюють вплив робочого середовища на оброблювані деталі.....	171
5.3. Оцінка продуктивності методів хімічної, електрохімічної та електрофізичної обробки у вібраційних верстатах.....	195
5.4. Розробка та дослідження методів оптимальної інтеграції пристроїв для розділення деталей і гранул робочого середовища у вібраційну систему верстата	204
ВИСНОВКИ	228
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	230

ВСТУП

Конкуренція та людська цікавість – двигун наукового прогресу. Раніше для потенційного споживача одним з найбільш важливих факторів при виборі виробника було його географічне розташування. Сьогодні при виборі виробника споживач в першу чергу віддає переваги тому підприємству, яке може запропонувати продукцію найвищої якості і при цьому забезпечити максимально низьку ціну. До сучасних промислових виробів пред'являються високі вимоги якості та товарного вигляду, і відповідно виникає необхідність у підвищенні продуктивності процесу обробки при одночасному зниженні витрат. Отже, високі вимоги пред'являються до фінішної обробки деталей, тому що саме на цьому етапі забезпечується якість поверхні, частково формуються та закріплюються експлуатаційні властивості та естетичний вигляд виробу.

Під час виконання оздоблювальних операцій для деталей складних форм дуже часто доводиться застосовувати спеціальне обладнання. При дрібносерійному виробництві, коли розміри партії малі, ці операції найчастіше здійснюються на електричних точилах з подальшою обробкою шліфувальними та повстяними колами, а на ряді підприємств вручну.

Такий підхід відповідає принципам сучасного промислового виробництва.

З вітчизняного та зарубіжного досвіду відомо, що в сучасному машинобудівному виробництві частка оздоблювально-зачистних операцій досягає 10-20% загальної трудомісткості виготовлення деталей.

Поверхні будь-якої деталі, що пройшла механічну обробку, не виходять ідеальним і її необхідно доробляти за допомогою оздоблювально-зачистних операцій. Основні з них: видалення задирок, заокруглення кромek, зачистка від окалини, обробка поверхонь. Крім цього, сучасне виробництво пред'являє серйозні вимоги до якості поверхневого шару деталей: шорсткості, мікротвердості тощо

Для вирішення даних завдань у вітчизняній та світовій практиці розроблено великий арсенал методів, що використовують абразивні інструменти та середовища, гнучкі металеві інструменти, лезовий інструмент, методи поверхневого деформування, ультразвукову обробку, хімічні та електрохімічні методи.

За даними останніх досліджень частка найбільш значимих методів оздоблювально-зачистних операцій у промисловому виробництві така [104]:

- віброабразивна обробка – 23%;
- струминно-абразивна обробка – 18%;
- стрічкове шліфування – 11%;
- галтування – 6%;
- полірувальні кола – 5%;
- обробка ущільненими абразивами – 2-3%.

З цього видно, що найбільш значуще місце в області обробно-зачистних операцій займає віброабразивна обробка або, ширше, вібраційна обробка.

Вібраційна обробка – це метод з величезними технологічними можливостями. Крім зачистних функцій, застосування вібраційної обробки дозволяє домогтися значного поліпшення параметрів якості поверхні. Даний метод відрізняється різноманітністю конструктивних, технологічних рішень, що дозволяють отримати максимально досяжний результат.

У монографії представлено безліч інженерних розробок, починаючи з кінця шістдесятих років минулого століття і до теперішнього часу. Вони проілюстровані схемами та малюнками, що розкривають їхню сутність. За роки розвитку методу сформувався величезний обсяг

різних конструкторських та технологічних рішень, які лежать в основі створення обладнання вібраційної обробки. У чомусь ці установки мають схожість, у чомусь відмінність. Це зумовило необхідність виділення основних ознак конструкції верстатів та їх подальшої структурної класифікації, що дає можливість краще зрозуміти принципи, закономірності процесу та конструкцію обладнання.

У монографії розглянуто сучасні конструктивні рішення обладнання для вібраційної обробки. Розглянуто питання впливу конструктивних особливостей верстатів на продуктивність обробки. Приділено увагу питанням інтенсифікації процесу вібраційної обробки за рахунок змін конструкції вібраційних верстатів, додаткового хімічного, електрохімічного, електрофізичного впливу, а також механізації та автоматизації допоміжних операцій.

Основним завданням, яке ставилося при написанні монографії – викласти системний аналіз досліджень впливу конструкції вібраційних верстатів на продуктивність обробки, а також на характер взаємного руху абразивних часток та деталей, що обробляються; проаналізувати взаємозв'язок цього руху із продуктивністю обробки; розробити та дослідити методи підвищення продуктивності обробки деталей в вібраційних верстатах.

1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВІБРАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ

Проблеми обробки деталей на етапі оздоблювально-зачистних операцій цікавили людей з моменту виникнення товарного виробництва. З перших кроків розвитку цивілізації люди використовували абразивну обробку для заточування своїх знарядь праці шляхом безпосереднього контакту деталі з абразивним середовищем, найчастіше піском. У кожному з історичних періодів розвитку людства доведення виробу до необхідної якості продукту здійснювалося шляхом обробки вільними абразивами [1].

Сьогодні наждачний папір (з'єднання вільного абрази-ва з носієм) присутній у кожному будинку, без нього не обходиться жодне підприємство. Класичний наждачний папір був запатентований в 1834 Ісаком Фішером в США [2]. Вперше в якості абразиву використовувалися карбід кремнію, оксид алюмінію і дрібні камінці, що в той час повністю підходило для обробки різних поверхонь. Людина, особливо на початкових етапах розвитку засобів виробництва, запозичив багато принципів перетворення матеріального світу у природи. Так, найчастіше, відбувалося і з появою різних методів оздоблювально-зачистних операцій. Про виникнення і розвитку одного з них, не претендуючи на абсолютну повноту історії, розповідається в цій книзі.

Досить широке застосування на фінішних етапах обробки в сучасному виробництві отримали технічні засоби та машини, що працюють з використанням вібрації. Походження цієї технології засноване на процесах, що відбуваються в природі, де завдяки постійному впливу піску і води з каменю грубої форми виходить відполірована поверхня гальки.

Одна з перших згадок про вібраційні машини, тобто машини, де для здійснення різних операцій використовувалася вібрація, зафіксована в журналі «The London Journal of Arts, Sciences and Manufactures, and Repertory of Patent Inventions // Conducted by Mr. W. Newton. – London, 1849. – Vol. XXXIV» [2].

Сьогодні широкий аналіз розробок у галузі вібраційних технологій можна провести, використовуючи базу Європейської патентної організації та бази патентів інших промислово розвинених країн. Результати, отримані таким шляхом, дають можливість достовірно перекоонатися в існуванні заявленої техніки, її винахідників та галузі промисловості, в якій ця технологія була вперше задіяна [2].

Згідно з патентом № 395 (DE) «Apparat zur Erzeugung von Schrot, resp. Metallkugeln aus Metall aller Art», Franz Seraficus Koehler та Keyling Ludwig ще в 1889 році вібрацію стали використовувати як нову технологію при виробництві борошна, помістивши зерно в контейнер разом з металевими кульками-«намістинами», забезпечивши тим самим бездоганну якість кінцевого продукту [2]. Існують ранні патенти, такі як патент №19399 (DE) «Mascine zum Trocknen von Heu, Klee u. Dergl.» та патент № 19538 (DE) «Neuerungen an Dreschmaschinen», датовані 1882 роком, в яких йдеться про використання вібрації для висушування та подрібнення органічних продуктів, таких як сіно, гілки дерев та ін. З цього видно, що перший вібраційний верстат спочатку застосовувався в сільськогосподарській галузі, а також був частково задіяний в переробній промисловості. Людство застосувало вібрацію як корисне явище вперше там, де цього вимагало розвиток суспільства на той час. Спираючись на дані перших патентів у цій галузі стає очевидно, що першість у розробках належить німецьким винахідникам, і на сьогоднішній день німецькі виробники займають одне з провідних місць у цьому сегменті ринку [2].

У подальшому спостерігається підвищений інтерес до вивчення та активне використання вібрації в різних галузях. Так, наприклад, англійський винахідник John Laidlaw в патенті № 5389 (GB) «Improvement in

Kilns for Drying Grain and other Material» запропонував вібраційний транспортер для переміщення гранульованого матеріалу, імовірно вугілля, на різні сепаратори та дробильні машини [2].

Майже відразу подібна ідея виникає і у французького інженера Pierre Lejeune, який застосував цю технологію для сортування і переміщення золотоносної руди, про що свідчить патент «Improved Apparatus for Sorting or Separating Pulverulent or Granular Substances, more particularly applicable for Extracting: Gold from Auriferous Earth and like» [2]. Застосування цього рішення підвищило продуктивність процесу видобутку корисних копалин.

Таким чином, до початку двадцятого століття року вібрацію стали застосовувати в сільськогосподарській, гірничодобувній галузях, для сепарування та транспортування різних сипких матеріалів [2]. Саме ідея сепарування дозволила розробити привод з ексцентриком, що по конструкції нагадує привод сучасного вібраційного верстата.

Першим винахідником, який запропонував таку конструкцію у своєму патенті № 4942 «Improvements in or relating to Apparatus for Distributing Artificial Manures, Fertilizers and other Materials such as Sand, Soot, Lime and the like», був англійський інженер August J. Simpson [2]. З цього моменту почали з'являтися вібраційні машини різного призначення, в яких збудження коливань відбувалися за рахунок обертання ексцентрика. Про це свідчать такі патенти, як патент Harry Bentley №2037 «Improvements in and relating to Conveyors», патент Philip M. Justine № 28365 «Improvements in Ore Concentrators» [2].

У 1907 році Otto Dander запатентував першу полірувальну машину (рис. 1) для механізації процесу фінішної обробки деталей [2].

У 1910 році в промисловості з'являється машина для фінішної обробки, що претендує на прообраз сучасного галтувального барабана. Розробником її є James Johnson, який запропонував обробляти заготівлі різних деталей у контейнері з піском (патент № 190925134 «Improvements in Sand Blast Machines» [2]). Обробка відбувалася у контейнері, що обертається. Ця і кілька наступних конструкцій, таких як,

наприклад, патент William Vincent Hobkirk №191503207 «Improvements in and relating to Covers or Guards for Mixing and like Machines», опублікований в 1915 році (рис. 2), відрізнялися від вібраційного верстата наявністю жорсткого кінематичного зв'язку між робочими органами та відсутністю віброзбуджувача [2].

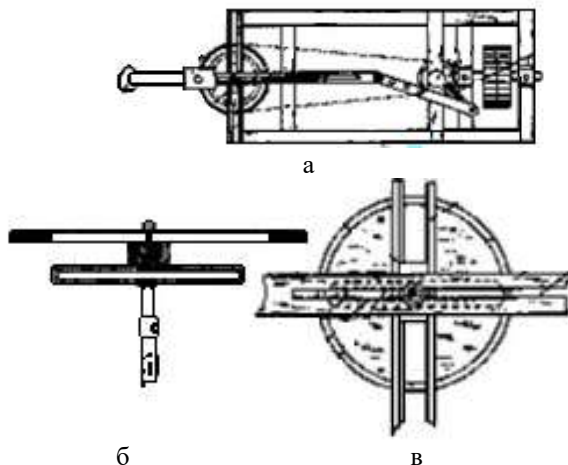


Рис. 1. Полірувальна машина конструкції James Johnson:
а – загальний вид машини; б, в – схема встановлення полірувального
кола (відповідно вид спереду та зверху)

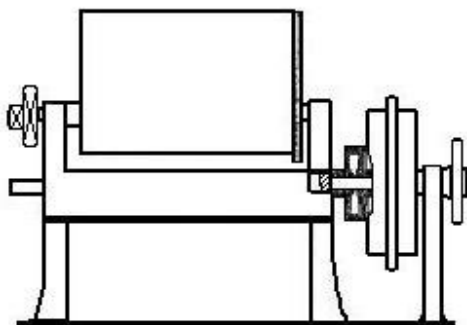


Рис. 2. Загальний вид машини для гальтування
William Vincent Hobkirk

Перша світова війна послужила новим поштовхом для подальшого розвитку вібраційної техніки. Так, у 1917 році Kay George запропонував апарат для шліфування та полірування снарядів та інших об'єктів (рис. 3) [1, 2].

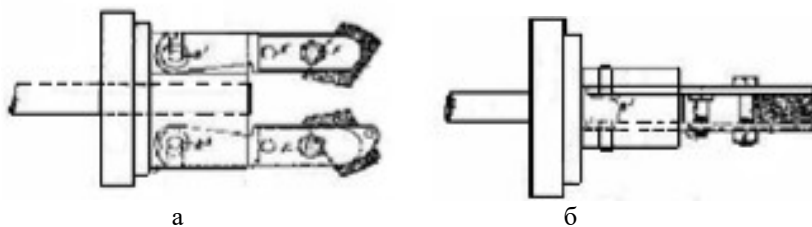


Рис. 3. Апарат для шліфування та полірування снарядів Kay George:
а – вид зверху; б – вид спереду

У жовтні 1964 року Wolfe Charles запатентував перший шліфувальний верстат (рис. 4) для обробки деталей із жорстким кінематичним зв'язком [1, 2].

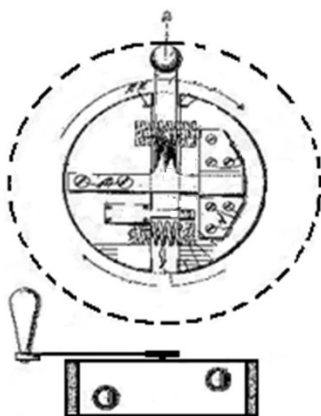


Рис. 4. Шліфувальний верстат Wolfe Charles

З цього моменту стався поділ обладнання (а також відповідних технологій) для фінішних операцій на верстати з жорстким кінематичним зв'язком та без нього. Кожен із цих напрямів набув самостійного розвитку.

Верстати першої групи (з жорстким кінематичним зв'язком) розвивалися шляхом забезпечення якості і точності обробки і одночасно з прагненням до високої продуктивності.

Верстати другої групи (без жорсткого кінематичного зв'язку) стали універсальним обладнанням для безрозмірної обробки деталей на операціях очищення, округлення гострих кромek, шліфування, полірування, зміцнення, підготовки поверхні під покриття, нанесення покриттів.

Вищеперелічені розробки показують перші етапи розвитку технічних засобів для оздоблювально-зачистних операцій – обладнання галтувального типу. Перехід до безпосереднього використання принципу вібрації і, відповідно, до вібраційного верстата став можливим після того, як Gates Philetus запропонував одну з перших моделей віброзбуджувача: патент №1486486 «Vibrator» (рис. 5) [1, 2].

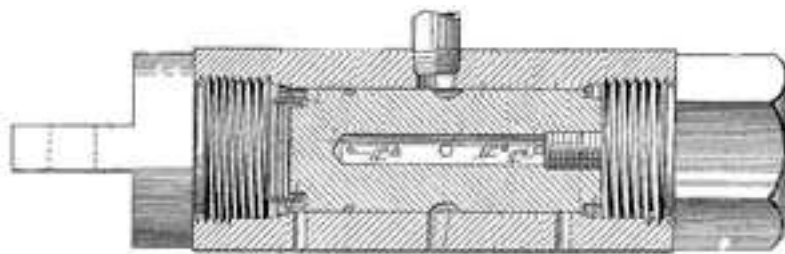


Рис. 5. Віброзбуджувач для галтування Gates Philetus

Однак запропонована конструкція головного робочого органу вібраційного верстата – віброзбуджувача – не набула поширення, але практично дала поштовх до розвитку всього сучасного парку вібраційних верстатів. Віброзбуджувач набув звичного вигляду у 1967 році завдяки інженеру Stanley Whitworth. Він запропонував привод

вібраційного верстата, який складався з двигуна, крутний момент від якого передавався за допомогою ремінної передачі на віброзбуджувач, що складається з валу з розташованим на ньому ексцентриком (рис. 6) [3, 4].

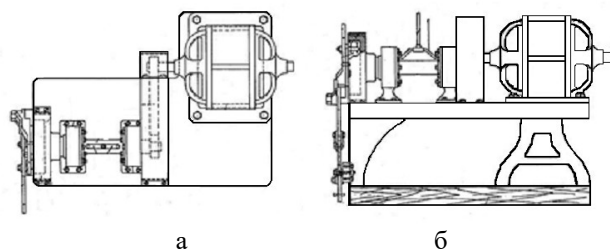


Рис. 6. Схема створення вібрації за рахунок ексцентрика (схема Stanley Whitworth); а – встановлення ексцентрика у силовій передачі; б – встановлення ексцентрика на валу барабана

Подальший розвиток промислового виробництва вимагав постійного збільшення його продуктивності та ефективності, що і призвело до подальшого розвитку обладнання, в тому числі і для фінішних операцій. Karl Praefried і Heinrich Ruder запропонували полірувальний віброуючий барабан [5 - 7] (рис. 7).

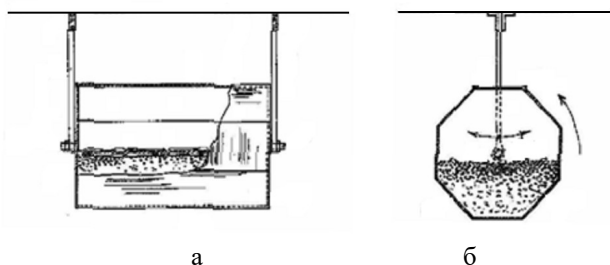


Рис. 7. Віброуючий барабан:
а – вид спереду із місцевим розрізом; б – вид збоку

Розвиток такого обладнання вимагав ретельної обробки основних вузлів і робочих органів таких верстатів, що і призвело до їх

дослідження з відповідним подальшим патентуванням. Так, наприклад, в США Мітчелом Бенжаміном був запатентований один з основних вузлів верстата – робоче колесо для вібраторів і дробарок (рис. 8) [8 - 10].

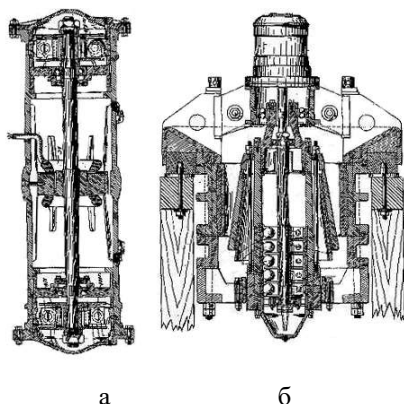


Рис. 8. Робоче колесо для вібраторів та дробарок:
а – фронтальний вид; б – вид збоку

В 1972 році з'явилася розробка американських інженерів Gerard Linke та August Voegel. Вони подали заявку на патент, в якому описали конструкцію машини для очищення сипких матеріалів - патент № 222277 «Scrubbing machine» (рис. 9).

Винахідники запропонували очищення матеріалів за допомогою їхнього вібраційного переміщення. Запропонована концепція використовується і в сучасних апаратах майже без змін [2]. Нижче наведена схема переміщення середовища (рис. 10).

Отримані результати дали поштовх до появи наступних інженерних рішень. У заявці на винахід № 2222777 (US) «Gyratory washer» була запропонована принципово нова концепція вібраційного верстата – без жорсткого кінематичного зв'язку. Як видно з рис. 11, автор винаходу не тільки запропонував встановити контейнер на пружини, але і запропонував покращену форму контейнера. Спочатку такий верстат передбачалось використовувати для промивання дрібних частинок матеріалу рідиною.

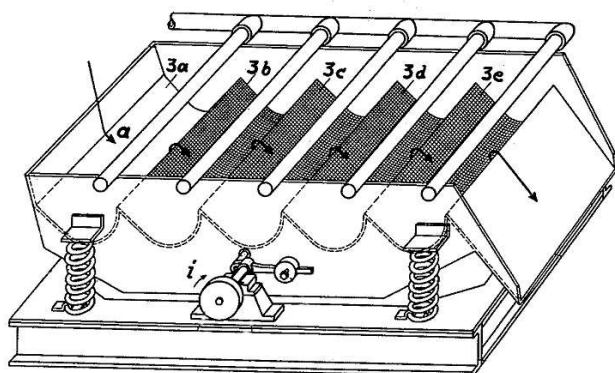


Рис. 9. Машина для очищення сипких матеріалів
Gerard Linke та August Voegel

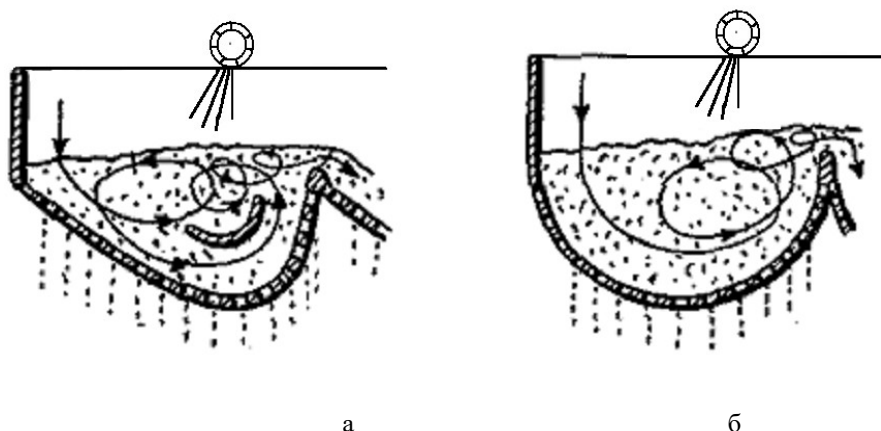


Рис. 10. Схема переміщення середовища
в машині Gerard Linke та August Voegel:

а – у контейнері із перегородкою; б – у контейнері без перегородки

Однак при проведенні серії дослідів Gerard Linke помітив невідомий раніше ефект переміщення частинок, що рухаються під дією вібрації. Починаючи саме з цього моменту вібраційна обробка деталей стає окремим повноцінним напрямком механічної обробки, а вібраційні верстати стають окремим різновидом металорізального обладнання.

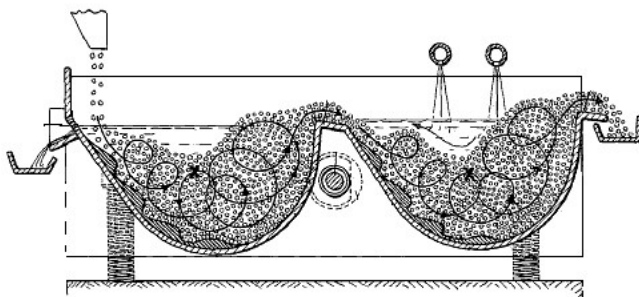


Рис. 11. Машина для промивання дрібних частинок

Заявлений раніше спосіб обробки в сполучених контейнерах був змінений, з'явилися два окремих контейнери, що здійснюють синхронні коливання (рис. 12) [11 - 13].

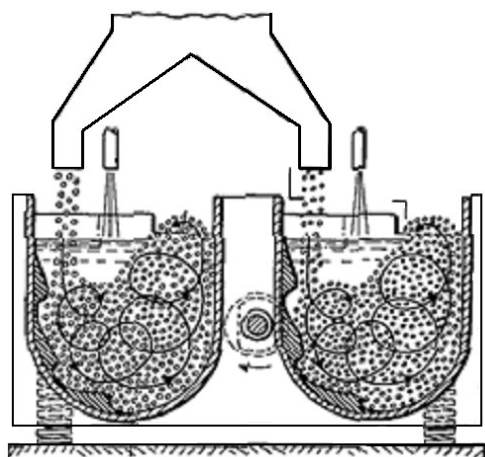


Рис. 12. Обробка в окремих контейнерах

Таким чином, вперше була заявлена U-подібна форма контейнера, що використовується і в сучасній конструкції вібраційних верстатів, а також спосіб обробки, що передбачає рух деталей у вільному абразиві [15 - 17].

На рис. 13 схематично зображено отримані експериментальні результати. Gerard Linke приділив у своєму патенті велику увагу руху гранул у контейнері, що послужило поштовхом до подальших досліджень, які тривають і до теперішнього часу [2]. На його думку, U-подібна форма контейнера є найоптимальнішою.

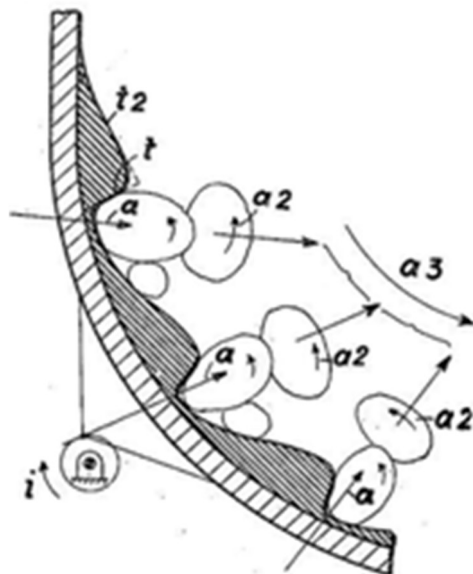


Рис. 13. Рух гранул в U-подібному контейнері

Розробки в цьому напрямку також активно проводять і німецькі інженери, про що свідчить ряд патентів, наприклад, патент № 698845 (DE) «Vorrichtung zum Waschen von Erz u. dgl.», автор Gerard Linke Dipling [18 - 20].

З моменту публікації цього патенту неодноразово здійснювалися спроби створення різних конструкцій машин для оздоблювально-зачистної обробки, які стали невід'ємною частиною промислового виробництва. В роботі [21] була запропонована досить цікава конструкція машини для зняття задирок, схема якої наведена нижче (рис. 14)

(прототипом є верстат, опис якого надано в патенті № 2423019 (US) «Shaker for burring small parts»).

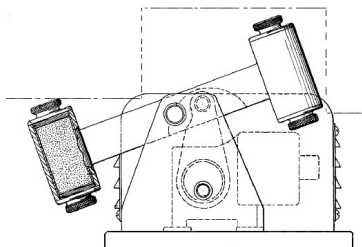


Рис. 14. Шейкер для зняття задирок на дрібних деталях

Майже відразу ж Pieter Hedrik Nove запропонував конструкцію «оздоблювальної машини», що використовує вібрацію [22]. В патенті № 2466516 (US) «Graining machine having a vibratory table» він назвав свій винахід як «Оздоблювальна машина з вібраційним столом» (рис. 15).

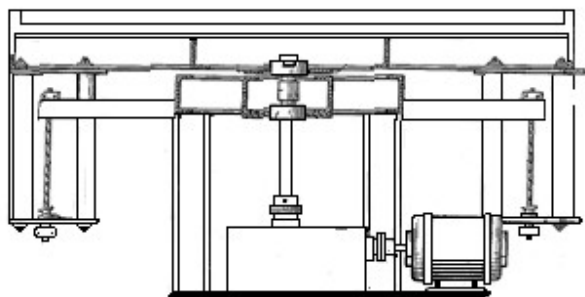


Рис. 15. Оздоблювальна машина з вібраційним столом

З цього моменту слово «вібрація» супроводжує майже всі винаходи, в яких обробка здійснюється із застосуванням коливань – це конструкція, яка містить робочий орган, що коливається (найчастіше контейнер або платформа, на якому встановлені або в якому знаходяться оброблювані деталі і обробний інструмент).

В патенті № 644476 (GB) «Method of, and apparatus for, abrasive polishing» дослідники запропонували метод вібраційної фінішної обробки, що полягає в обертанні деталей в абразивних гранулах, що містяться в вібраційному контейнері, причому гранули повинні були попередньо змочені рідиною [23, 24]. При цьому автори показали переваги цього способу в порівнянні з електрохімічним очищенням. Так, вперше, робоче середовище, що використовується при вібраційній обробці, почала складатися з декількох складових: сукупності одиничних гранул і хімічно активного розчину.

Наступний період розвитку вібраційної обробки певною мірою був пов'язаний з питаннями підвищення продуктивності обробки та зниження її собівартості, що знайшло відображення в патенті №2591083 (US) «Removal of flash, fin, and burr». Був здійснений перехід до одночасної обробки великої кількості деталей на одному верстаті (рис. 16) [25 - 27].

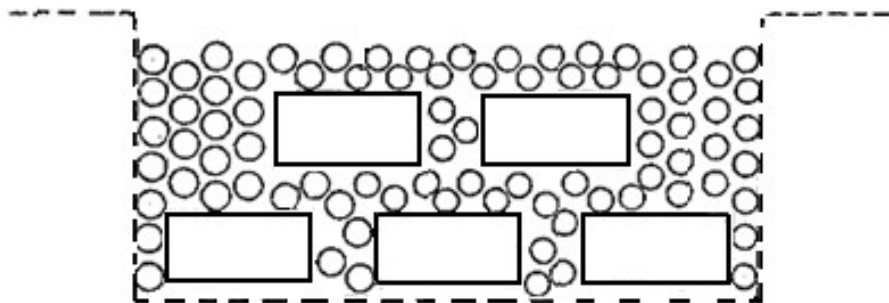


Рис. 16. Обробка деталей внавал

Промислове використання вимагало глибшого вивчення застосовуваного у виробництві процесу. Саме в цей період вібраційна обробно-зачистна обробка стає об'єктом не тільки практичних, але вже й теоретичних досліджень [28].

Це період, коли вже не патентується конструкція верстатів, а способи здійснення різних оздоблювально-зачистних операцій на них з обробки різних виробів з різних матеріалів: патент №1057950 (FR)

«Procédé de polissage des métaux par vibration et dispositif pour la mise en oeuvre du procédé», патент №1100320 (FR) «Finishing apparatus having horizontal curvilinear chamber», патент №924341 (DE) «Verfahren zum Putzen von Werkstuecken», патент № 1036092(DE) «Apparatus for the surface treatment of workpieces», патент №1188319 (FR) «Appareil à polir les surfaces et à arrondir les arêtes de pièces façonnées», патент №1126296 (FR) «Dispositif pour le nettoyage de pièces, en particulier les pièces brutes de fonderie», патент № 1195323(FR) «Installation pour le finissage des surfaces de pièces façonnées ou usinées», патент № 811439 «Means for cleaning work-pieces, particularly rough castings», разработчик Stein Friedrich, патент № 346452 (CH) «Einrichtung zum Oberflächenbearbeiten von Werkstücken») [29 - 33]. При цьому порівняння запропонованих операцій проходить не в порівнянні з операціями, що здійснюються на вібраційних верстатах, а з традиційними методами шліфування і полірування.

Після того, як вібраційний верстат набув своєї форми, конкуренція і активний розвиток промисловості потребували вдосконалення основних вузлів конструкції. Проводились розробки за формою контейнера – патент №2912803 (US) «Abrading device» (рис. 17), патент №936191 «Improvements in or relating to apparatus for finishing or polishing» (рис. 18), патент № 3073082 (US) «Unidirectional self-separating finishing machine», по вибору рами – патент № 2952950 (US) «Vibratory mill» (рис. 19), віброзбуджувача – патент № 936191(GB) «Improvements in or relating to apparatus for finishing or polishing» (рис. 20) [34 - 40].

На базі отриманих досліджень у галузі вібраційної обробки Henry Leveson розробив спосіб пневматичної вібраційної обробки [41]. Верстат для його здійснення показаний на рис. 21 (патент № 3084876 (US) «Vibratory grinding»). Тобто, це є фактично комбінований метод обробки, котрий суттєво розширює технічні можливості вібраційних верстатів.

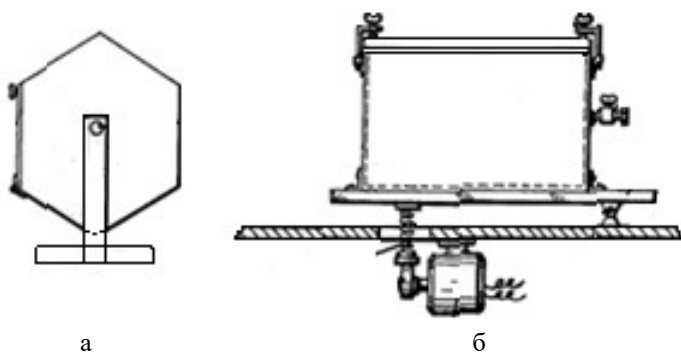


Рис. 17. Контейнер вібраційного верстата [34]:
а – вид збоку; б – вид спереду

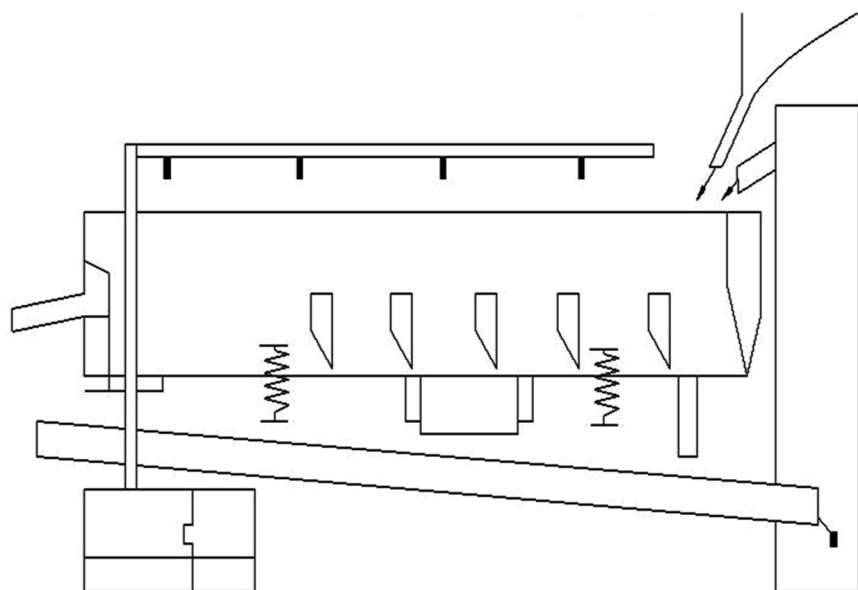


Рис. 18. Конструкція контейнера, патент №2912803 (US) [35]

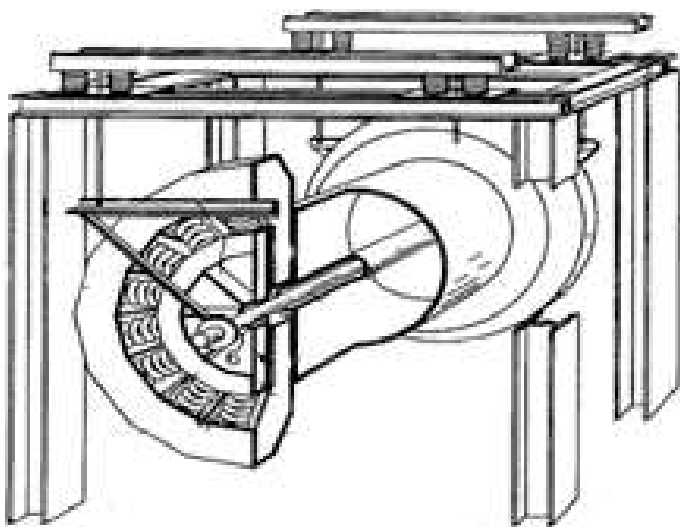


Рис. 19. Конструкція рами вібраційного верстата [36]

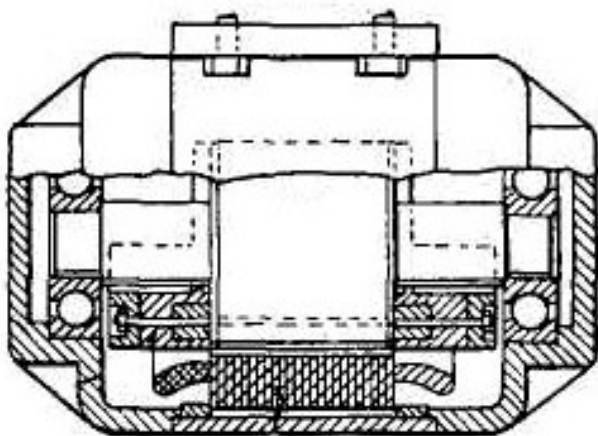


Рис. 20. Конструкція віброзбуджувача,
патент № 936191(GB) [37]

До цього моменту сформувалися фірми та підприємства, які стали спеціалізуватися на виробництві вібраційного обладнання – Roto Finish Co, Lord Chemical Corp., Bell Intercontinental Corp., Mumford Molding Machine Co, Almco Supersheen Co, Geigy Chem Corp., Max Spaleck GMBH, Kloeckner Humboldt Deutz, Productive Equipment Corp., Pangborn Corp, Walther Technik Co, King Seeley Thermos Co, Boeing Co, Syntron Co, Carborundum Co, Link Belt Co, Ultramatic Equipment Co Inc., Metallgesellschaft Ag, Technochemie Ag, Nippon Electric Co, Kloeckner Humboldt Deutz Ag, Chain Belt Co, Carborundum Co, Prab Conveyors, Wright Royal K, Podmore & Sons Ltd, Southwestern Engineering Compa, Reichert Float & Mfg Company [2].

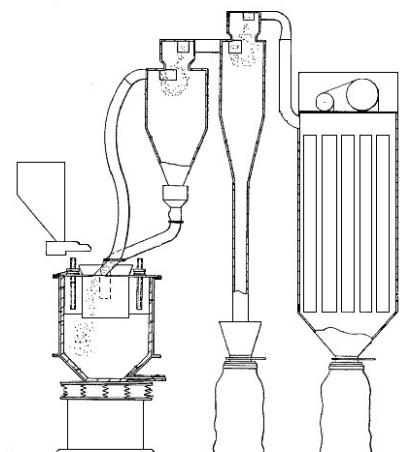


Рис. 21. Пневматичний вібраційний верстат,
патент № 3084876 (US) [41]

William Brant, інженер корпорації Lord Chemical, розробив верстат для вібраційної фінішної обробки деталей, зображений на рис. 22 (патент № 2997813 (US) «Apparatus for precision finishing of parts and objects by controlled vibration») [42]. Така конструкція має основні ознаки сучасного вібраційного верстата. Схему одного з таких верстатів

показано на рис. 23 (патент № 1137975 (DE) «Maschine zum Scheuern und Polieren von Gegenstaenden») [43].

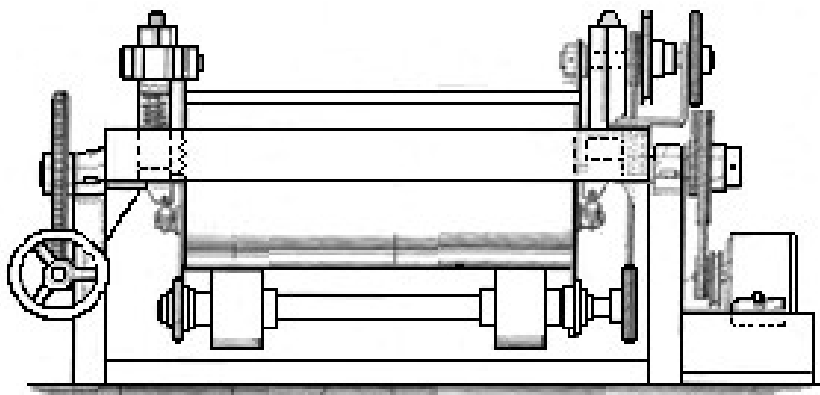


Рис. 22. Вібраційний верстат, патент № 2997813 (US) [42]

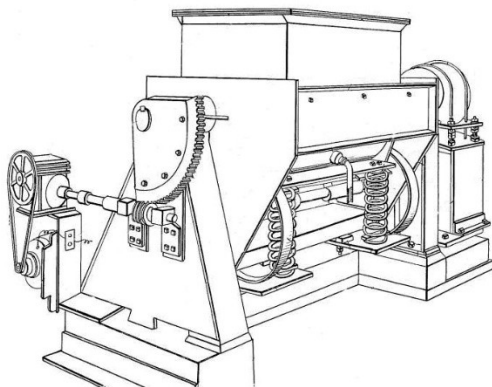


Рис. 23. Вібраційний верстат, патент № 1137975 (DE) [43]

Станом на сьогодні основною метою всіх виробників є не тільки удосконалення всіх вузлів верстата і способів обробки, а й поліпшення допоміжних операцій [44 - 48]. Оскільки завантаження і вивантаження робочого середовища і деталей займають багато часу, конструктори компанії Roto Finish ще в другій половині вісімдесятих років минулого

століття почали займатися розробкою способу завантаження і вивантаження робочого середовища з контейнера, про що свідчить патент № 941075 (GB) «Improvements in or relating to a finishing and polishing method and apparatus» (рис. 24) [49].

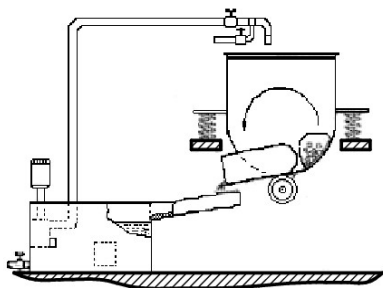


Рис. 24. Система завантаження та вивантаження робочого середовища в верстаті компанії Roto Finish [49]

Balz Gunther, згідно з патентом № 3071900 (US) «Continuous finishing and polishing machine», запропонував один з найбільш прийнятних способів завантаження та вивантаження робочого середовища з контейнера (рис. 25) [50].

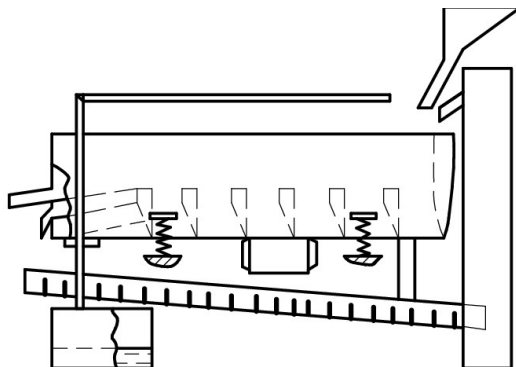


Рис. 25. Система завантаження та вивантаження вібраційного верстата конструкції Balz Gunther [50]

Все той же Balz Gunther, провівши дослідження з переміщення контейнера, помітив, що торцеві стінки контейнера при вертикальних коливаннях коливаються з різною амплітудою. Звісно, що таке «галоупування» негативно позначалося як на довговічності верстата, так і на якості здійснюваного у ньому робочого процесу. Вирішення цієї проблеми він описав у патенті № 3093940 (US) «Self-dumping finishing and polishing machine», де запропонував пристрій, що дозволяє регулювати рух контейнера (рис. 26) [51].

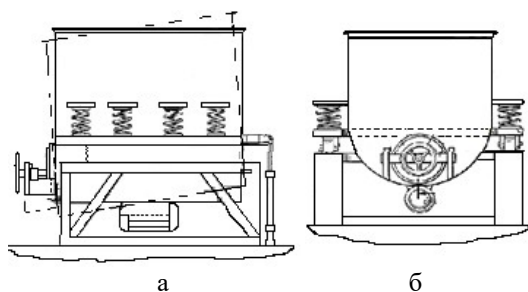


Рис. 26. Пристрій, що дозволяє регулювати рух контейнера:
а – вид спереду; б – вид збоку

Таким чином, наприкінці 80-х та на початку 90-х років минулого століття вібраційний верстат отримав свою структурну завершеність. Настав етап активного впровадження у виробництво обладнання вібраційної обробки.

Наступні роки характеризуються постійним інтенсивним збільшенням об'ємів досліджень як у створенні загальних конструктивних схем основних вузлів, так і допоміжних вузлів обладнання, у тому числі обладнання для завантаження і розвантаження [51 - 57]. З аналізу літературних джерел можна зробити висновок, що у 90-ті роки 20 століття промислове виробництво вібраційного обладнання постійно збільшувалося наростаючими темпами.

Величезний внесок у розвиток вібраційної технології та обладнання зробила й українська школа, яка має свою багату історію.

Імпульсом розвитку теоретичних основ вібраційної техніки послужила відома робота П.Л. Капіци, опублікована в 1971 році, про маятник масою підвісу, що коливається [2]. Після цього почалося інтенсивне вивчення та використання вібраційної технології.

Поняття «вібраційної технології» з'явилося в 70-ті роки 20 століття в колі спеціалістів, які працювали у сфері технологічного використання низькочастотного спектру коливань [2] і в той момент, коли від одиничних екземплярів обладнання виробництво перейшло до серійного випуску [2].

Після цієї роботи та розробки перших верстатів була доповідь, прочитана І.І. Бихівським на науково-технічній конференції з вібростендів і вібровимірювань в липні 1972 року в Ленінграді [2], який носив акумулятивний характер і став свого роду каталізатором подальшого дослідження обробки металів вільними абразивами.

Одні з перших досліджень цих питань були проведені в Луганському машинобудівному інституті. У 1973 році М.Є. Шаїнським була опублікована перша робота, яка стосувалася обробки поверхонь деталей у вібраційних верстатах і пояснювала механізм процесу, що здійснюється при вібраційній обробці з урахуванням основних технологічних факторів. Автором публікації до розгляду пропонувалася конструкція та технічні характеристики вібраційного верстата, а також схема спеціалізованої ділянки вібраційної обробки [12].

Дослідження вібруючого підресореного контейнера (так називався тоді вібраційний верстат) проводилося на Луганському тепловозобудівному заводі у 1975 році, де були створені перші дві експериментальні установки. Результати та отриманий конструкторський досвід були основоположними при подальшій розробці основних вузлів вібраційних машин [2].

Так, 1976 року з'являється робота М.Є. Шаїнського «Шліфування та полірування деталей машин у вібруючих резервуарах абразивним середовищем», де описувався верстат із контейнером U-подібної форми

[58]. Така форма контейнера є найбільш поширеною. Сьогодні її часто називають традиційною.

Подальшим розвитком експериментально-дослідницької роботи колективу співробітників під його керівництвом стало вивчення і підбір оптимальних режимів для вібраційного шліфування та полірування.

Результати цих глибоких і з багатьох питань основоположних досліджень були відображені в дисертаційній роботі М.Є. Шаїнського «Дослідження декоративного шліфування та полірування сталевих деталей у віброуючих резервуарах» [59].

Далі були роботи Бабічева А.П. «Дослідження технологічних основ процесів обробки деталей у середовищі коливних тіл з використанням низькочастотних вібрацій» [60], Дьяченко В.І. «Дослідження процесу віброабразивної обробки деталей машин» [61].

Питаннями дослідження обробки деталей у вільних абразивах також займалися наукові колективи в таких містах, як Харків, Одеса, Львів, Дніпро, Маріуполь, Полтава, Рига, Житомир, Черкаси, Львів. З'явилися наукові школи, були створені науково-дослідні та проектні організації для вирішення теоретичних і прикладних аспектів проблеми (місто Дніпро, Ризький політехнічний інститут, місто Каунас, Львівський політехнічний інститут, Полтавський інженерно-будівельний інститут). Роботи в цій галузі вела велика група інженерів-дослідників, а саме: Бабічев А.П., Шаїнський М.Є., Биховський І.І., Субач А.П., Сергієв А.П., Анкудімов Ю.П., Сердюк Л.І., Берник П.С., Тамаркін М.А., Копилов Ю.Р. та ін.

У 1984 році на базі Ворошиловградського машинобудівного інституту (сьогодні Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля) було відкрито галузеву науково-дослідну лабораторію «Обробка вільними абразивами» – ГНДЛ «ОВА», яка продовжує роботу з дослідження процесу вібраційної обробки й у наш час.

Аналізуючи дослідження, які проводять ці наукові центри, можна виділити спільні риси розвитку методу. Подальше вдосконалення

конструкцій вібраційних верстатів і процесу вібраційної обробки доцільно здійснювати за наступними основними напрямками:

- удосконалення наявних конструкцій вібраційних верстатів;
- скорочення допоміжного часу обробки за рахунок створення різного додаткового обладнання;
- розробка спеціального абразивного інструменту для вібраційної обробки;
- підвищення продуктивності процесу за рахунок застосування хімічно активних розчинів.

2. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ТА ОБМЕЖЕНЬ ВІБРАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ

Станом на сьогодні на етапі оздоблювально-зачисних операцій дуже часто застосовують обробку у вільних абразивах, провісником якого був метод обробки деталей в барабанах, що обертаються, а саме галтування [62].

Обробка в галтувальних барабанах здійснюється завдяки відносному переміщенню деталі й абразивної гранули під час пересипання маси завантаження (суміш абразивних гранул, робочої рідини й оброблюваних деталей). Швидкість відносних переміщень у цьому випадку невелика і не перевищує 1 м/с, а зона інтенсивного оброблення становить лише частину об'єму завантаження. Число обертів барабана вибирають з таким розрахунком, щоб його прискорення не перевищувало прискорення вільного падіння. Якщо ж прискорення барабана перевищуватиме прискорення вільного падіння, то обробка в барабані припиниться у зв'язку з тим, що відцентрова сила притисне оброблювану масу до стінок, і вона буде обертатися разом із ним.

Під час обробки в барабанах, що обертаються, верхній шар маси завантаження при повороті барабана на деякий кут під дією сили тяжіння пересипається вниз. У цей час у всій іншій масі завантаження деталі та абразивні гранули не переміщуються, а отже, і не обробляються. Оскільки шар, що переміщується, перебуває на верхній поверхні, відносне ковзання відбувається за невеликих тисків, а відтак - знімання металу з поверхні деталі невелике. Через відсутність бічних впливів з боку іншої маси завантаження на деталь вона переміщується в якомусь одному орієнтованому положенні, внаслідок чого відбувається нерівномірне знімання металу з різних ділянок її поверхні.

Обмеженням застосування барабанів є обробка тонкостінних і тендітних деталей, які під час пересипання і падіння на дно можуть деформуватися і навіть ламатися. Внутрішню поверхню деталі також не вдається обробити. Це можна пояснити тим, що відносно переміщення гранули, яка потрапляє в порожнину деталі, припиняється. У результаті гранули починають переміщатися зі швидкістю деталі.

Під час обробки в галтувальних барабанах об'єм, що заповнюється, становить 50% робочого простору. При цьому виключена можливість одночасної обробки деталей різних габаритів і маси, оскільки під час зіткнення з дном барабана важка деталь деформуватиме або навіть ламатиме легші. Крім того, для такого обладнання характерний високий рівень шуму під час роботи та обмежена можливість автоматизації циклу обробки.

Для прикладу розглянемо галтувальний очисний барабан безперервної дії моделі 314А, призначений для очищення поверхонь виливків масою до 40 кг від пригару й окалини.

Прохідний галтувальний барабан 314А складається з барабана (рис. 27), закритого захисним кожухом, приводу і транспортера для видалення відходів.

Барабан являє собою зварену конструкцію, яка складається з п'яти секцій. Розвантажувальна і завантажувальна секція виконана у вигляді усічених конусів. У середині циліндричної частини барабана є ребра, які сприяють перевертанню виливків. Для зменшення шуму між зовнішньою обичайкою і сталевими листами, які складаються з окремих секцій, прокладена листові гума.

Барабан розташований на чотирьох роliках, два з яких (8) є приводними. Обертання приводних роликів здійснюється від електродвигуна через клиноремінну передачу, закриту кожухом, черв'ячний редуктор і вал, з'єднаний із валом роликів зубчастою муфтою. Крутний момент від приводних роликів до барабана передається тертям.

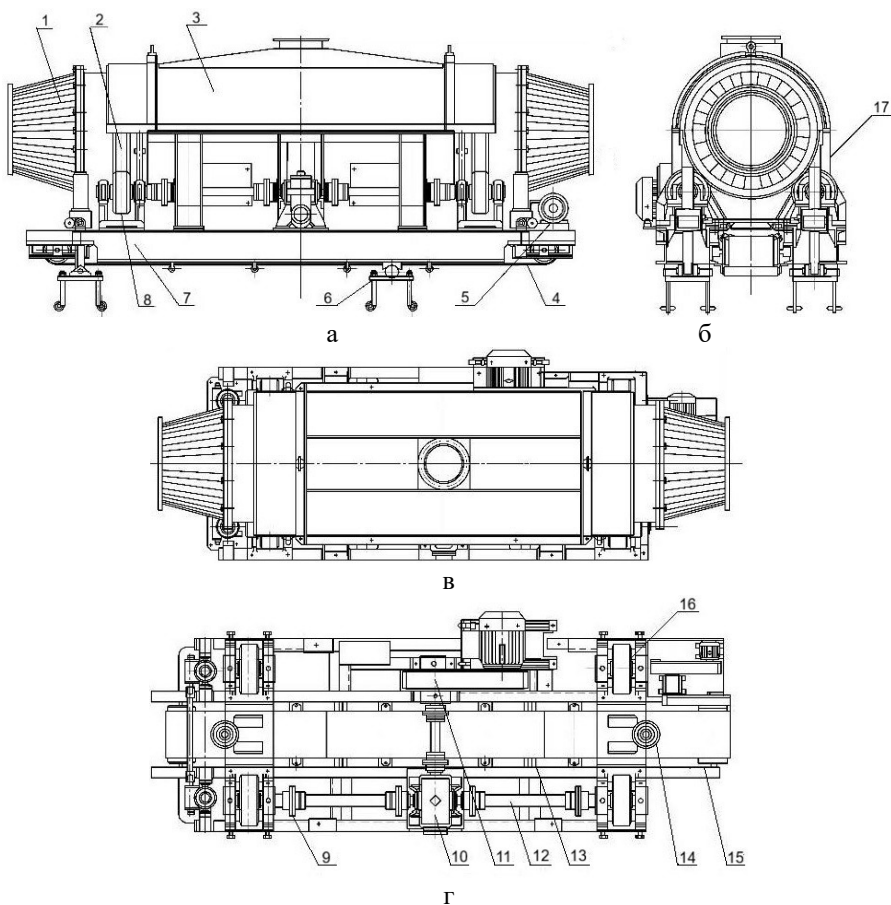


Рис. 27. Галтувальний очисний барабан безперервної дії мод. 314А:
 1 – барабан; 2 – бандаж; 3 – кожух верхній; 4 – транспортер;
 5 – привідна станція; 6 – опора рухома; 7 – рама; 8 – привідний ролик;
 9 – зубчаста муфта; 10 – черв'ячний редуктор; 11 – ремінна передача; 12 – вал;
 13 – ролик-опора; 14 – упорний ролик; 15 – барабан транспортера;
 16, 17 – опори; а – загальний вид спереду; б – загальний вид збоку;
 в – загальний вид зверху; г – кінематична схема

Барабан, опорні та напольгиві ролики, кожух і привод змонтовані на зварній рамі. Рама може повертатися навколо опори двома гвинтовими домкратами, вони приводяться в дію вручну від черв'ячної передачі. Черв'яки обох домкратів пов'язані загальним валом, який

забезпечує синхронність їхньої роботи. Домкратами можна змінювати кут нахилу барабана з 0 до 4°, при цьому змінюється швидкість переміщення деталей усередині барабана, а значить і час обробки, і якість очищення.

У центрі рами встановлюється збірний стрічковий транспортер, який приводиться в дію від власного двигуна. На транспортер через отвори в стінці барабана падають продукти очищення.

Сьогодні галтування використовується переважно на чорнових операціях, а обробка вільними абразивами – на чистових.

Універсальні можливості методу обробки деталей вільними абразивами у вібруючому контейнері та простота конструкції верстатів забезпечили йому найширше застосування серед наявних способів обробки на очисних, шліфувальних, полірувальних та інших операціях [63 - 66].

Вібраційна обробка являє собою процес знімання металу з оброблюваних поверхонь деталей зернами абразивних гранул робочого середовища, яким повідомляються коливання за певним законом. Обробка відбувається в результаті послідовного нанесення на поверхню оброблюваних деталей безлічі мікроударів гранулами робочого середовища під час їхнього зіткнення з деталями та під час їхнього взаємного прослизання під впливом силових імпульсів, які передаються робочому середовищу від віброзбуджувача вібраційного верстата. Унаслідок цього на поверхні деталі утворюються борозенки, а в разі прямих зіткнень гранул і деталі - лунки, сукупність яких і визначає обсяг знятого металу, мікрорельєф і фізико-механічні властивості поверхні.

Слід зазначити те, що порівняно з обладнанням із жорстким кінематичним зв'язком між елементами технологічної системи вібраційна обробка дає змогу одночасно-одночасно обробляти велику кількість деталей, дає змогу обробляти важкодоступні поверхні, які не можна обробити в інший спосіб.

Процес обробки є «мокрим», що дає змогу застосовувати сучасні хімічні розчини і досягати ще більш високих результатів.

Володіючи високим ступенем універсальності та широкими технологічними можливостями, технологія вібраційної обробки забезпечує обробку деталей широкої номенклатури.

Вібраційний метод обробки застосовується для наступних цілей:

- очищення;
- видалення окалини та корозії;
- видалення облоя;
- зняття задирок і заокруглення гострих кромок;
- шліфування;
- полірування;
- підготовка поверхонь деталей під гальванічні та лакофарбові покриття;
- зняття і вирівнювання або створення оптимальних залишкових напружень у поверхневих шарах деталей;
- зміцнення деталей методом наклепу;
- нанесення захисних плівок;
- мийка;
- сушка.

Запропонований вище список не є остаточним і внаслідок активного розвитку технології вібраційної обробки постійно доповнюється.

Вібраційній обробці піддаються деталі різноманітних геометричних форм, оскільки застосовується «гнучкий» інструмент, здатний повторити контур будь-якої деталі, чого не можна сказати про обробку на верстатах із жорстким кінематичним зв'язком між елементами технологічної системи. Отже, вільними абразивами під впливом вібрації обробляються будь-які заготовки, зокрема складної геометричної форми, отримані всіма видами лиття (у землю, кокіль, оболонку, під тиском), кування, об'ємного та лицьового штампування, деталі після лезової обробки з усіх видів сталей, зокрема неіржавіючих, усіх кольорових металів та їхніх сплавів, кераміки, пластмаси, твердих сплавів і тугоплавких металів, каменю, скла, деревини та ін.

Багатьма дослідниками робилася спроба розробити класифікацію деталей, що піддаються вібраційній обробці, за ідентичними ознаками. Деталі класифікували за видом абразивного оброблення (очищення, зачищення, шліфування, полірування чорних і кольорових металів), матеріалом (чавун, сталь, пластмаси, мідь, алюміній та їхні сплави), масою, габаритами, початковим і кінцевим станом поверхні та конструктивною формою.

Існує безліч класифікацій, розроблених спеціально для деталей, що піддаються вібраційній обробці.

М.Є. Шайнський – автор однієї з найповніших і найдетальніших класифікацій деталей, що обробляються у верстатах з об'ємом контейнера від 80 до 120 л [67]. Він поділяв деталі за такими ознаками: маса, матеріал, габарити, конструктивні форми, вихідний і кінцевий стан обробленої поверхні. Наприклад, за масою деталі поділялися на 5 груп: до 50 г; 50-250 г; 250-500 г; 500-1000 г; понад 1000 г.

Слід зауважити, що в даній класифікації деталі масою понад один кілограм вважаються такими, що не піддаються вібраційній обробці, на думку автора, в процесі обробки вони повинні опускатися на дно контейнера. Сьогодні деталі масою близько 1 кг належать до середніх деталей, важчі також успішно обробляються вібраційною обробкою. Крім того, для них розроблено спеціальні контейнери, розміри яких підбирають таким чином, щоб відстань від стінки контейнера до деталі була в межах 3 лінійних розмірів абразивних гранул. Такі деталі обробляються поштучно, кожна у своєму відсіку (рис. 28).

Однак маса деталі не завжди є вирішальним фактором під час вибору того чи іншого технологічного процесу, оскільки за схожості решти чинників, деталі, що мають різну масу, можуть оброблятися за одним технологічним процесом.

За габаритами оброблювані деталі (для контейнера об'ємом, наприклад, 100 л (один із найпоширеніших типів контейнерів)) поділяються на 4 групи: до 40 мм; 40-80 мм; 81-130 мм; понад 130 мм [68].

При віднесенні деталей до тієї чи іншої групи необхідно враховувати взаємозв'язок габаритів і маси деталі, що також вимагає дотримання оптимальної кількості деталей, що завантажуються в контейнер. Існувало обмеження габаритів деталей щодо розмірів контейнера (максимально допустимий розмір деталі не повинен був перевищувати $1/3$ ширини контейнера) [69].



Рис. 28. Обробка деталей у відсіках контейнера

Так, за формою деталі поділялися на три основні групи [70]:

- до першої групи належать деталі простої геометричної форми, утворені з'єднанням площин, циліндричні поверхні, призми, а також подібні геометричні елементи і відкриті місця їхніх з'єднань;
- до другої групи належать деталі з «затіненими» місцями у вигляді внутрішніх кутів, ніш, кишень, до яких доступ абразивної гранули утруднений, але можливий при виконанні певних умов, наприклад, при зменшенні розміру гранули;
- до третьої групи входять деталі складної форми з внутрішньою площиною, порівняно малими отворами та іншими місцями, важкодоступними для контакту з абразивною гранулою, а також плоскі, тонкостінні деталі, які схильні до сплутування.

Деталі третьої групи поділяються на підгрупи:

1) деталі із наскрізними отворами, довжина якої не перевищує діаметр;

2) деталі із глухими отворами, довжина яких не перевищує їхній діаметр, а також із пазами, глибина яких не більша за 1,5 ширини паза;

3) деталі, яка має внутрішню порожнину, нішу, кармани з радіусом заокруглення меншим, ніж грануляція абразивної гранули;

4) деталі, яка мають складний замкнутий контур внутрішньої поверхні, наприклад, корпус карбюратора;

5) пласкі, тонкостінні деталі з отворами та розрізами.

Слід зазначити, що сьогодні для деталей перших двох груп розроблено типові технологічні процеси, які наведено в багатьох літературних джерелах, а деталям третьої групи приділено значно менше уваги, що пов'язано зі складністю їхньої обробки.

Дана класифікація була однією з найбільш повних, була визнана багатьма дослідниками і рекомендувалася до використання на виробництві. Однак з огляду на сучасний досвід, вона потребує доповнень, що пов'язано насамперед зі зміненими режимами оброблення, було здійснено перехід із частот 20-40 Гц до більш високих 57-85 Гц [69].

Сьогодні головна ознака, за якою поділяють деталі, - це їхні габаритні розміри у співвідношенні з розмірами інструменту і контейнера.

Існує три основні групи деталей:

1. Дрібні деталі - це деталі, габаритні розміри яких можна порівняти за розмірами з гранулами робочого середовища:

$$L_{\text{деталі}} \leq L_{\text{гранули}},$$

де $L_{\text{деталі}}$ - максимальний габаритний розмір деталі;

$L_{\text{гранули}}$ - максимальний габаритний розмір гранули.

2. Середні деталі - деталі, габаритні розміри яких перевищують розміри абразивної гранули, але стосовно контейнера їхній найбільший лінійний розмір не перевищує або дорівнює $1/3$ ширини контейнера:

$$L_{\text{гранули}} < L_{\text{деталі}} \leq \frac{1}{3} W_{\text{контейнера}},$$

де $L_{\text{деталі}}$ – максимальний габаритний розмір деталі;
 $L_{\text{гранули}}$ – максимальний габаритний розмір гранули;
 $W_{\text{контейнера}}$ – ширина контейнера.

3. Великі деталі - деталі, габаритні розміри яких перевищують 1/3 ширини контейнера:

$$\frac{1}{3} W_{\text{контейнера}} < L_{\text{деталі}}$$

де $L_{\text{деталі}}$ – максимальний габаритний розмір деталі;
 $W_{\text{контейнера}}$ – ширина контейнера.

Крім того, станом на сьогодні вібраційним методом почали обробляти деталі, які раніше цим методом не обробляли, а також деталі, які можуть поєднувати в собі ознаки кількох груп. До таких деталей можна віднести довгомірні деталі, оскільки вони можуть поєднувати в собі ознаки, характерні як для середніх деталей (у поперечному перерізі деталей може бути порівнянню з розмірами гранул або перевищувати їх), так і для великих деталей (лінійні розміри деталі можуть значно перевищувати ширину контейнера і бути порівнянними з довжиною контейнера за одним із розмірів).

На сьогоднішній день вільними абразивами у вібраційних верстах здійснюють обробку вимірювального, медичного та слюсарно-монтажного інструменту, деталей автомобілів, мотоциклів, велосипедів, годинників; лопаток турбін; гребних гвинтів; ножових виробів; шестерень; керамічних ізоляторів; сантехнічної арматури; труб; ланцюгів; столових приладів; гудзиків; деталей протезів; меблевої фурнітури; картерів коробок передач; корпусів насосів; корпусів електродвигунів; корпусів друкарських машин; кришок коробок передач; кришок розподільних коробок; деталей трансмісії; крильчаток турбін; сепараторів кульових шарнірів; маточин кульових шарнірів; куліс; шатунів; корпусів клапанів; гайкових ключів; лопаток вентиляторів; хірургічних гачків; деталей газової арматури; кульових кранів; пасів безпеки (рис. 29) [70].



Рис. 29. Деякі деталі, що піддають вібраційній обробці:
а – картери коробок передач; б – корпуси насосів; в – корпуси друкарських машин; г – корпуси електродвигунів; д – кришки коробок передач;
е – кришки розподільних коробок; ж – кулі; з – шатуни; і – коромисла;
к – запірні важелі

Таким чином, за геометричними ознаками вібраційній обробці можна піддавати деталі наступних трьох груп:

- деталі простої геометричної форми, утворені з'єднанням площин, циліндричні поверхні, призми, а також подібні геометричні елементи і відкриті місця їхніх з'єднань;
- деталі з «затіненими» місцями у вигляді внутрішніх кутів, ніш, кишень, до яких доступ абразивної гранули утруднений, але можливий при виконанні певних умов, наприклад, при зменшенні розміру гранули;
- деталі складної форми з внутрішньою площиною, порівняно малими отворами та іншими місцями, важкодоступними для контакту

з абразивною гранулою, а також плоскі, тонкостінні деталі, які схильні до сплутування.

Деталі третьої групи поділяються на наступні підгрупи:

- 1) деталі із наскрізними отворами, довжина якої не перевищує діаметр;
- 2) деталі із глухими отворами, довжина яких не перевищує їхній діаметр, а також із пазами, глибина яких не більша за 1,5 ширини паза;
- 3) деталі, яка має внутрішню порожнину, нішу, кармани з радіусом заокруглення меншим, ніж грануляція абразивної гранули;
- 4) деталі, яка мають складний замкнутий контур внутрішньої поверхні, наприклад, корпус карбюратора;
- 5) плоскі, тонкостінні деталі з отворами та розрізами.

3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СХЕМИ ГЕНЕРАЦІЇ ТА ПЕРЕДАЧІ КОЛИВАНЬ У РОБОЧУ ЗОНУ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ВІБРАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ

Сучасні вібраційні верстати, хоча й мають загальні для такого типу обладнання ознаки (рис. 30), за своїми технологічними можливостями, конструктивним використанням являють собою велику кількість різноманітних груп та істотно відрізняються одна від одної.

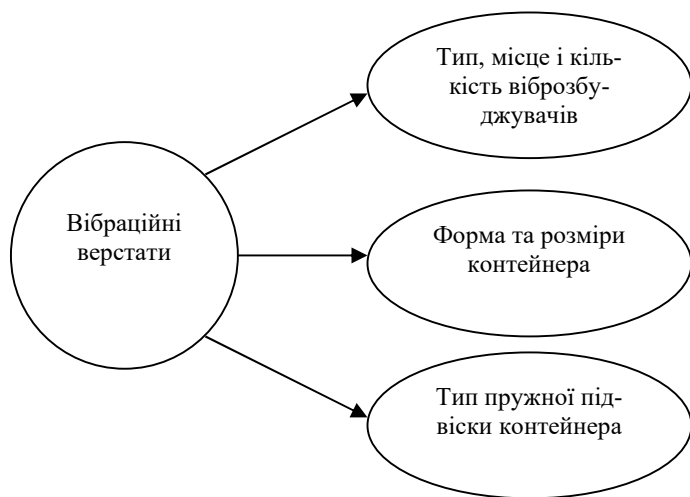


Рис. 30. Конструкторсько-технологічні ознаки вібраційних верстатів

Слід зазначити, що перші вібраційні верстати випускалися з низьким ступенем уніфікації деталей і вузлів і суттєво відрізнялися між собою як за конструктивним оформленням, так і за принципом дії, розмірами, типом пружної підвіски тощо, що і буде показано надалі.

Кінематичне і конструктивне оформлення вібраційного верстата, його продуктивність, потужність приводу і ступінь автоматизації визначаються завданнями, поставленими технологічним процесом. Знання особливостей технологічного процесу дає змогу краще уявити необхідну конструкцію вібраційного верстата, як утім, і для будь-якого іншого.

Для сучасного верстатобудування потрібні досконалі, високопродуктивні вібраційні верстати різних типорозмірів.

Основні технологічні вимоги, що висуваються до вібраційних верстатів і до процесів, які на них здійснюються, такі самі, як і для всіх видів верстатного устаткування, і їх можна сформулювати так:

1. Максимальна продуктивність процесу, здійснюваного на верстаті, із забезпеченням передбаченої вимогами креслення шорсткості оброблюваної поверхні деталі зі збереженням її геометричних розмірів.

2. Простота, легкість і безпека обслуговування та управління, зручність ремонту.

Зменшення стомлюваності робітника і безпека роботи

на верстаті повинна досягатися максимальною механізацією, вдалим компонованням верстата, раціональним розташуванням органів управління, легкою доступністю до його вузлів і механізмів при їх налагодженні та заміні, зі зниженням загального рівня шуму.

- 3 Надійність і довговічність.

Надійність вібраційних верстатів здебільшого залежить від кінематики і конструкції верстата, від якості виготовлення його деталей, вузлів, складання, від умов експлуатації. Слід зазначити, що на відміну від більшості існуючих верстатів, коливання (вібрація), є основною складовою цього обладнання, і вони ж негативно впливають на його довговічність.

Основними шляхами підвищення довговічності верстатів є збільшення терміну служби їхніх деталей і скорочення часу на ремонт. Це досягається правильним вибором матеріалів, якісною обробкою поверхонь, що труться, оптимальним вибором змащувальних матеріалів, застосуванням прогресивних методів ремонту, кваліфікованою експлуатацією тощо

4. Зниження витрат на виготовлення верстата й експлуатаційних витрат.

Ця вимога виконується підвищенням технологічності конструкції вібраційного верстата, застосуванням стандартних нормалізованих деталей і вузлів, відпрацюванням конструкції всіх вузлів верстата на стадії проєктування з попереднім розрахунком і моделюванням коливної системи.

5. Прагнення до зниження металоємності верстата й оптимізації його габаритних розмірів.

Металоємність верстата характеризується кількістю металу, що припадає на одиницю потужності приводу. Габаритні розміри верстата впливають на раціональне використання виробничих площ, зі збільшенням займаної площі зростають і експлуатаційні витрати.

6. Можливість переналагодження верстата.

7. Ступінь уніфікації, нормалізації та стандартизації.

8. Патентоспроможність і патентна чистота.

9. Екологічність і відповідність сучасним нормам охорони праці, що постійно посилюються.

10. Естетичний вигляд, що сприяє підвищенню працездатності обслуговуючого персоналу.

У даній монографії на основі вивчення вітчизняної та зарубіжної технічної літератури, патентних джерел, реферативних журналів, інформації, наданої провідними виробниками та споживачами вібраційного устаткування за 50 попередніх років з використанням багаторічного досвіду, колективом галузевої науково-дослідної лабораторії «Обробка вільними абразивами» СНУ ім. В. Даля зроблено аналіз конструктивних особливостей вібраційного устаткування, а також його конструкцій. Даля проведено аналіз конструктивних особливостей вібраційних верстатів для об'ємного оброблення виробів у середовищі вільних робочих тіл, найчастіше з абразивною складовою.

Вивчення всього різноманіття конструкцій вібраційних верстатів дає змогу виділити основні відмінні ознаки. Це можуть бути конструктивні ознаки, технологічні та багато інших. До конструктивних ознак можна віднести систему механізму збудження коливань, форму

контейнера, систему підвіски. За технологічним призначенням вібраційні верстати розмежовуються на «важкого», «середнього» або «легкого типу».

Технологічне призначення. Термін «важкого типу» у вібраційній обробці не пов'язаний безпосередньо з масою верстата та об'ємом контейнера, а відноситься до робочих амплітуд (які створює найчастіше ексцентрик або дебаланс), що у свою чергу залежать від потужності приводу для переміщення всієї маси завантаження: що більша це навантаження, то більша потрібна потужність. Більш висока потужність для великих мас завантаження вимагає застосування верстатів міцнішої конструкції, тому загальна вага верстатів «важкого типу» є найвищою. Вібраційні верстати для важких робіт завантажують із розрахунку 5 кг на 1 дм³ об'єму контейнера. Верстати середньої потужності – 2-2,6 кг на 1 дм³ об'єму контейнера, а малої потужності – 0,5-1,6 кг на 1 дм³ об'єму контейнера [71 - 73].

Розглядаючи виробничо-технологічні можливості вібраційних верстатів необхідно враховувати наступні фактори:

- частоту коливань, її межі та можливість регулювання;
- амплітуду коливань, її межі та можливість регулювання;
- характер коливань (дво- або трикоординатний);
- режим коливань (зарезонансний, резонансний тощо);
- об'єм контейнера, потужність приводу;
- наявність системи циркуляції робочого розчину;
- рівень автоматизації (автомат, напівавтомат, наявність реверсу тощо);
- укомплектованість супутнім обладнанням для виконання допоміжних операцій;
- зручність експлуатації та обслуговування;
- питома витрата потужності на 1 дм³ об'єму контейнера.

На основі аналізу наявних конструкцій верстатів і принципу їхньої роботи розроблено структурну схему (рис. 31), яка дає змогу визначити найважливіші технологічні характеристики вібраційних верстатів різних моделей [74, 75].

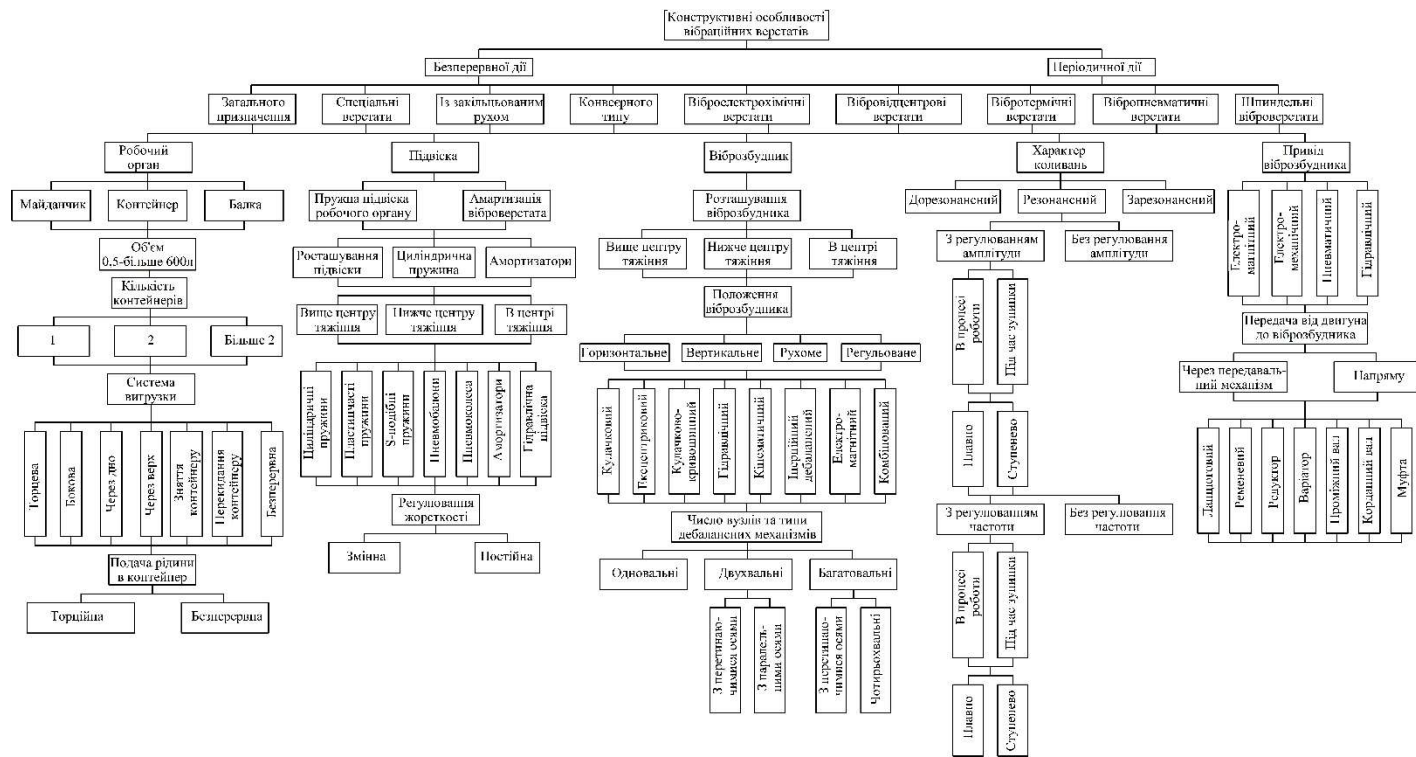


Рис. 31. Структурна схема існуючих конструкцій верстатів та принципу їх роботи

Виходячи з даних структурної схеми, можна виокремити кілька найважливіших особливостей.

Характер коливань:

- дорезонансний, резонансний, зарезонансний;
- з нерегульованою амплітудою, з регульованою амплітудою (під час роботи, при зупинці, плавно, ступенями);
- з нерегульованою частотою, з регульованою частотою (з можливістю регулювання в процесі роботи і без неї, плавно, ступенями)

Характер роботи: *верстати періодичної дії*, що працюють за циклом, який періодично повторюється; *верстати безперервної дії*, в яких операції суміщені в часі і виконуються автоматично. Цей клас верстатів представляє найбільший інтерес із погляду інтенсифікації процесу, упровадження інноваційних рішень щодо розвитку та переозброєння промислового виробництва.

Верстати безперервної дії призначені для виконання чітко регламентованих операцій і застосовуються у великосерійному та масовому виробництві; верстати ж періодичної дії є універсальними та знаходять застосування в усіх типах виробництва, зокрема одиничному. Практика експлуатації вібраційних верстатів періодичної дії показує, що найбільш трудомісткою операцією є поділ деталей і робочого середовища. Під час розроблення конструкції вібраційних верстатів деякі з них оснащуються додатковими пристроями для автоматизації процесу обробки.

Для обробки безперервно рухомого потоку застосовуються верстати безперервної дії (з контейнером прохідного типу), повністю автоматизовані. На рис. 32 зображено приклад верстата безперервної дії з прямокутною формою контейнера, що застосовувалися раніше, а на рис. 33 – його сучасний аналог. Верстати безперервної дії також можуть також мати контейнер тороїдальної форми (рис. 34) [76].

Контейнери тороїдальної форми вважаються найбільш перспективними для вібраційних верстатів, що працюють у повністю автоматичному режимі. Використання таких контейнерів дозволяє суттєво скоротити витрати часу допоміжні операції.



Рис. 32. Приклад перших вібраційних верстатів конвеєрного типу



Рис. 33. Сучасний вібраційний верстат конвеєрного типу з U-подібним контейнером фірми Rosler



Рис. 34. Вібраційний верстат конвеєрного типу з тороїдальним контейнером фірми Rosler

Приводи віброзбуджувачів: електромеханічні, пневматичні, гідравлічні, електромагнітні. Розглянемо приклади розвитку деяких із них.

Електромеханічний привод: вирізняється простотою конструкції і невеликою витратою електричної енергії, що значно підвищує показники роботи вібраційного верстата. Електромеханічні приводи можуть застосовуватися на верстатах без гідравлічної системи, а також на вібраційних верстатах для обробки довгомірних деталей. Електромеханічний привод використовується для генерації коливань із частотами 1-25 Гц і амплітудами до 15-20 мм і працює від однофазного електродвигуна змінного струму. Електромеханічний привод найлегше вбудовується в окремі верстати, легко реверсується, регулюється, комбінується з іншими приводами, малочутливий до змін зовнішнього навантаження. Саме тому, починаючи з 1992 року, розробники стали його застосовувати в конструкціях вібраційних верстатів, про що свідчить патент №867803 (US) Electric Sonic Device For Cleaning Small Articles (рис. 35) [77].

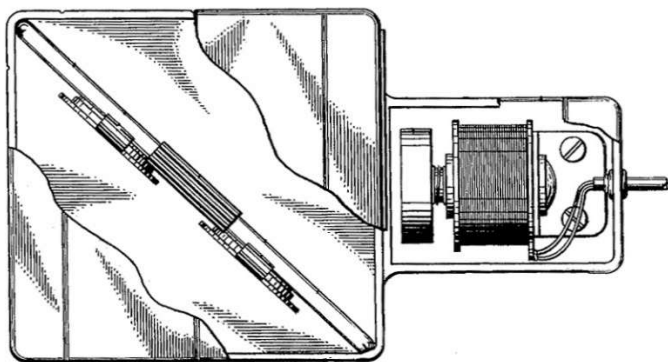


Рис. 35. Вібраційний верстат з електромеханічним приводом

Обмежене застосування цього виду приводу в ті роки пояснюється малим випуском спеціалізованих електродвигунів. Однак, починаючи з 90-х років минулого століття, як на території колишнього Радянського союзу, а потім і пострадянського простору, так і за кордоном цей тип приводу знаходить дедалі ширше застосування в конструкціях вібраційних верстатів. Дійсно, сьогодні для автоматизації електромеханічного приводу є велика кількість надійних стандартних приладів і пристроїв автоматики та контролю.

Пневматичний привод: обмежене застосування цього виду приводу в ті роки пояснюється малим випуском спеціалізованих електродвигунів. Однак, на сьогодні для автоматизації електромеханічного приводу є велика кількість надійних стандартних приладів і пристроїв автоматики та контролю.

Пневматичний привод віброзбуджувача став використовуватися в сімдесятих роках минулого століття, оскільки простота його конструкції і технічного обслуговування значно підвищували показники вібраційних верстатів. Виготовлення пневматичного приводу не вимагало такої високої точності виготовлення і герметизації з'єднань, як у гідроприводі, оскільки можливі витoki повітря не настільки істотно знижують ефективність роботи і ККД системи. Крім того, пневмопривод не вимагав спеціальних матеріалів для виготовлення деталей, таких як мідь, алюміній тощо, хоча в ряді випадків вони використовуються

виключно для зниження ваги або тертя в рухомих елементах. Саме тому його стали використовувати в конструкціях вібраційних верстатів, про що свідчить одна з перших згадок - патент № 3173664 (US) «Vibrator» (рис. 36) [78].

З огляду на те, що в процесі вібраційного оброблення в результаті використання абразивного матеріалу і рідини, що змочує його, на вузлах вібраційного верстата залишалися пил і волога, пневматичний привод був одним із найперспективніших рішень. Термін служби пневмоприводу набагато вищий, ніж, наприклад, гідро- або електроприводу. Саме тому розробники надалі застосовували його в конструкціях вібраційних верстатів.

Передачі від двигуна до віброзбуджувача розділяються на наступні типи: прямі (карданна передача, муфти); передача через передавальний механізм (ланцюгова, ремінна, варіатор, проміжний вал, редуктор).

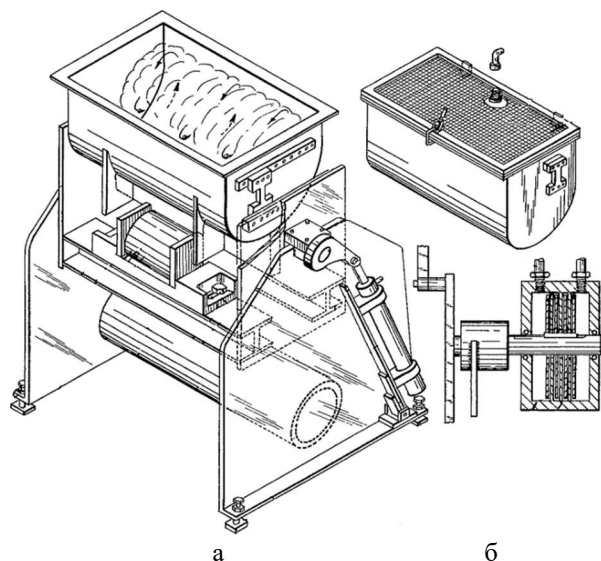


Рис. 36. Вібраційний верстат із пневматичним приводом віброзбуджувача:
а – верстат з контейнером; б – віброзбуджувач

Кардан – шарнірний механізм, що забезпечує обертання двох валів під змінним кутом завдяки рухомому з'єднанню ланок.

Приклад карданної прямої передачі наведений у патенті № 3371449 (US) «Vibratory finishing apparatus and method» (рис. 37), належить компанії King Seeley Thermos [79].

Передача за допомогою муфти від двигуна до віброзбуджувача не змінює обертальний момент і напрямок обертання, а також поглинає небажані вібрації та поштовхи, що характерно під час роботи вібраційного верстата.

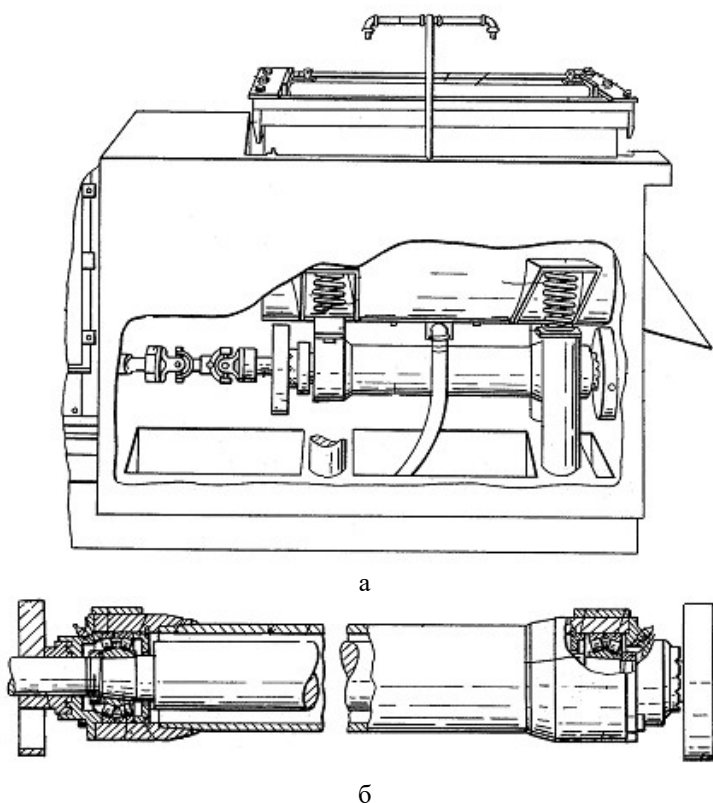


Рис. 37. Конструкція верстата (а) та віброзбуджувача (б) компанії King Seeley Thermos

При використанні з'єднань за допомогою муфт можливо компенсувати невеликі неточності монтажу у відносному розташуванні з'єднаних валів, що дає значну перевагу в такій конструкції вібраційного верстата. Оскільки муфта не дає жорсткого з'єднання між приводом і валом віброзбуджувача, вона слугує своєрідним запобіжником під час різного роду аварій і перевантажень. Саме тому розробники вібраційних верстатів стали застосовувати передачі за допомогою муфт. Про це свідчить патент №525872 (US) «Hydrodynamic bearings for vibratory mechanisms» (рис. 38) [80].

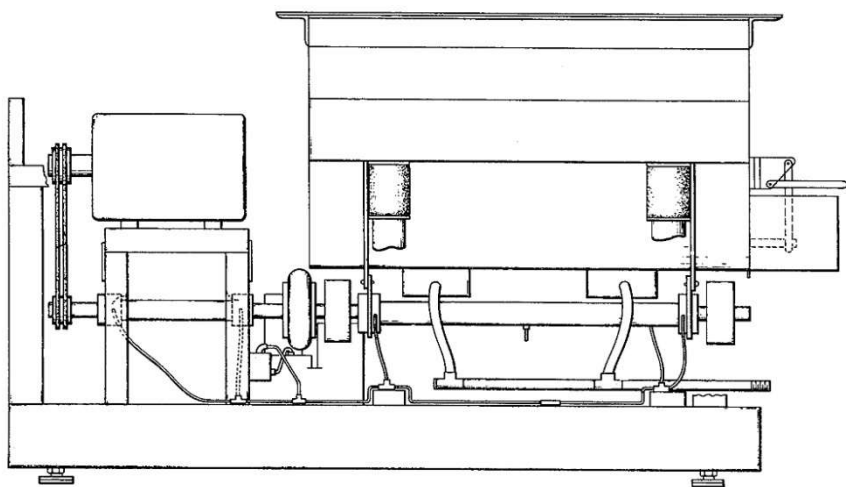


Рис. 38. Вібраційний верстат із передачею за допомогою муфти

Варіатор. Перший варіатор винайшов Леонардо да Вінчі. Переваги варіатора полягають у тому, що під час початку руху і при наборі швидкості вала відсутні ривки. Також одна з особливостей варіатора в тому, що під час руху він постійно і плавно змінює передавальне число. Це і змусило конструкторів використовувати його в механізмах своїх вібраційних верстатів.

Перший вібраційний верстат, у конструкції якого з'явився варіатор, було запропоновано у патенті № 3570192 (US) «Vibratory finishing machine having generally circular bowl» (рис. 39) [81].

Першим же вібраційним верстатом, що використовує в якості приводу редуктор, був верстат, описаний у патенті №825227 (US) «Vibrating machine» (рис. 40) [82].

Підвіска – пружна підвіска контейнера і амортизація вібраційного верстата

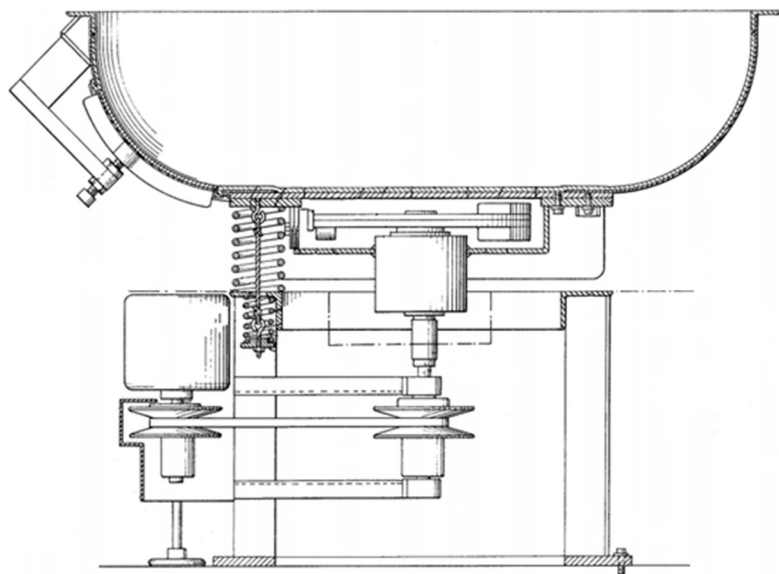


Рис. 39. Вібраційний верстат з варіатором

Підвіска контейнера розрізняється за наступними ознаками:

- за розташуванням: вище за центр ваги, нижче за центр ваги, у центрі ваги контейнера;
- за типом підвіски: пружинні (на циліндричних, пластинчастих, S-подібних пружинах), гумовокорудові та пневматичні (з пневмошлангами, пневмобалонами, циліндричними пневмоколесами), гумові та гідравлічні амортизатори;

- за регулюванням жорсткості: змінна і постійна;
- за положенням пружних елементів: під кутом до площини поперечного перерізу контейнера, під кутом до площини поперечного і поздовжнього перерізу контейнера, паралельно площині поперечного перерізу контейнера.

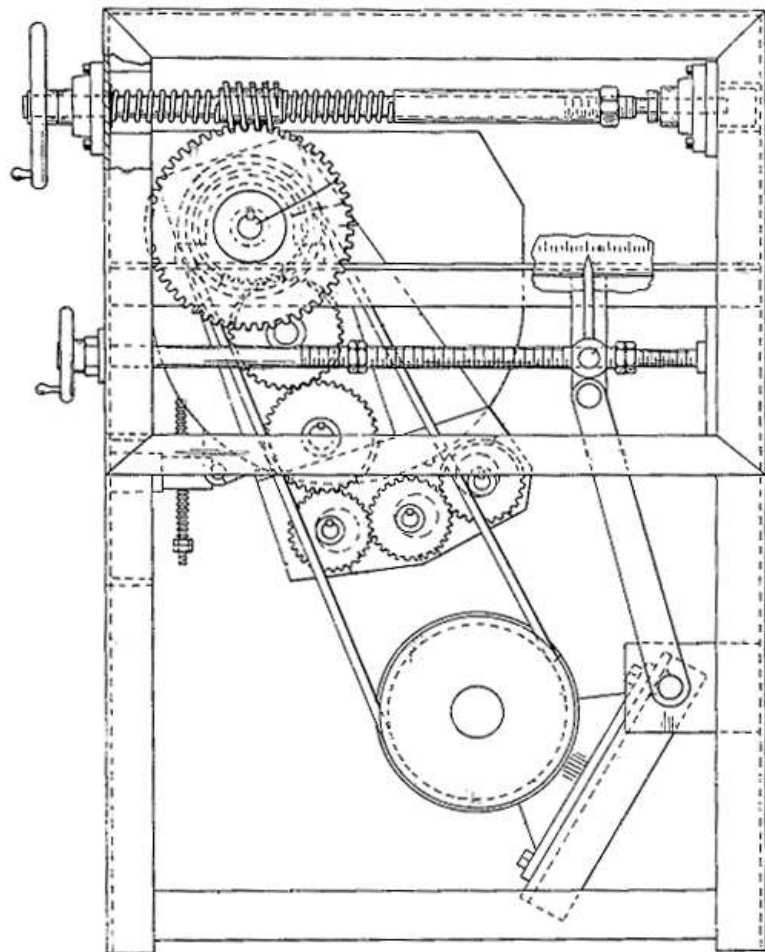


Рис. 40. Вібраційний верстат з редуктором

Віброзбуджувачі розрізняються за наступними ознаками:

– за конструкцією віброзбуджувачів: кулачкові, ексцентрикові, кулісно-кривошипні, інерційні, дебалансні, гідравлічні, пневматичні, електромагнітні, електро-динамічні, комбіновані.

– за розташуванням: вище за центр тяжіння контейнера, нижче за центр тяжіння, у центрі тяжіння контейнера;

– за положенням віброзбуджувача: горизонтальне, вертикальне, рухоме, регульоване.

Перші спроби створення дебалансного віброзбуджувача знайшли своє відображення в патенті № 3435564 (US) «Vibratory motor assembly for finishing machine or the like having adjustable eccentric weightS» (рис. 41) [83]. Ідея створення дебалансного приводу надалі стала основоположною під час розроблення нових вібраційних верстатів, що й спричинило розроблення нових контейнерів, рам та інших основних вузлів верстата. Подальші розробки в цьому напрямку ґрунтувалися на отриманні необхідної амплітуди, що спричинило дослідження положення дебалансів відносно один одного.

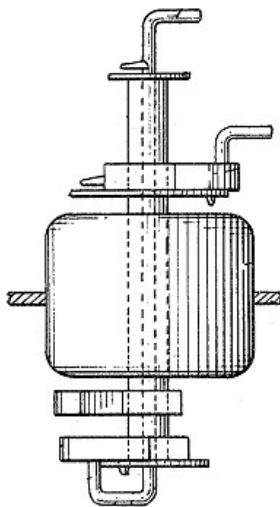


Рис. 41. Конструкція дебалансного віброзбуджувача

Про розробки віброзбуджувача, який знаходиться в центрі ваги контейнера, можна судити завдяки патенту № 3449869 (US) «Vibratory finishing machine». Така тенденція розвитку стає помітною з кінця вісімдесятих років минулого століття (рис. 42) [84].

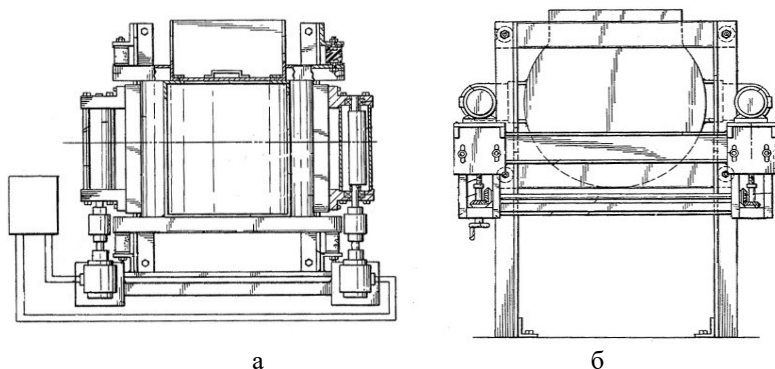


Рис. 42. Вібраційний верстат із віброзбуджувачем у центрі ваги контейнера:
а – вид спереду; б – вид зверху

Робочий орган: платформа, контейнер, балка (рис. 43).

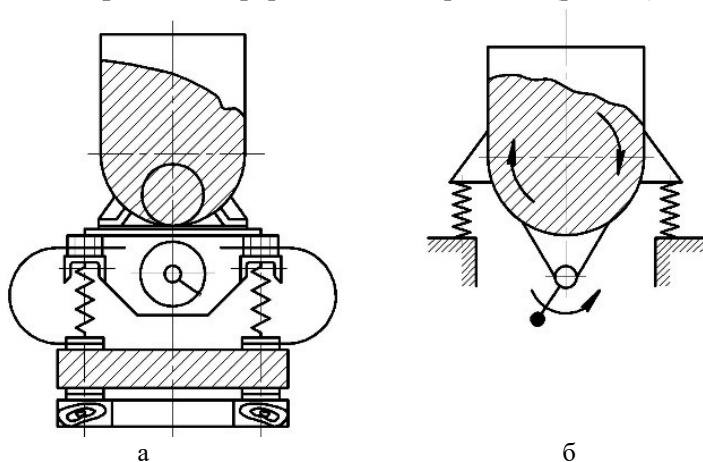


Рис. 43. Типові схеми вібраційних верстатів,
що мають різну форму робочої частини:
а – з плоскою вібраційною платформою, що має пристосування
для кріплення деталей або робочих ємностей;
б – із кріпленням віброзбуджувача до підвішеного контейнера

Платформа має плоский стіл, що має пристосування для кріплення деталей або робочих ємностей.

Платформа із віброзбуджувачем підвішується на амортизаторах.

Контейнер являє собою пружно підвішений робочий резервуар із віброзбуджувачем.

Одним із прикладів оригінальної конструкції вібраційного верстата є розробка фірми «Sony». У цього вібраційного верстата робочим органом є балка. Резонансна балка лежить на двох еластичних опорах, віброзбуджувач з регульованою частотою вмонтований у балку (резонатор). Коливання передаються балці віброзбуджувачем і досягають на її кінцях і посередині її довжини в результаті резонансу частоти 100 - 300 Гц. Водночас над опорами вони мають мінімальну частоту. Під балкою посередині її довжини укріплена вертикальна штанга з тримачем на її нижньому кінці. У тримачі закріплюється оброблювана деталь. За допомогою пересувного і підйомного столу під деталь підводиться контейнер з абразивною масою, яка потім піднімається до занурення в неї деталі. Зміною числа обертів віброзбуджувача, число коливань деталі доводиться від мінімуму до потрібного максимуму, і після витримки при робочій частоті протягом заданого часу знижують його до початкового значення. Потім деталь обполіскують у контейнері з мийним розчином, що підводиться під неї. Верстат такого типу ефективний для обробки наскрізних каналів у різних деталях, одночасно з якими обробляються й інші поверхні. Треба зазначити, що для виконання подібних операцій розроблено спеціальний абразив.

Положення осі контейнера в просторі:

- з вертикальною віссю, перпендикулярною площині вібрації;
- з поздовжньою горизонтальною віссю, перпендикулярною площині вібрації.

До контейнерів із вертикальною віссю, перпендикулярною до площини коливань, належать торіодальні, спіралеподібні, які слугують здебільшого для легкого полірування або зняття задирок із середніх і великих деталей.

До контейнерів із горизонтальною віссю, перпендикулярною площині вібрації, належать прямокутні, циліндричні та інші.

Вібраційні верстати з прямокутними контейнерами

(У-подібними) найпоширеніші, у них можна здійснювати будь-який вид оздоблення - зняття окалини, видалення задирок, полірування, глянцювання - за допомогою різних абразивів.

Вібраційні верстати безперервної дії з прямокутним подовженим контейнером складаються з двох агрегатів - власне вібраційного верстата і пристрою для сепарації, промивання і рециркуляції абразиву. Вони легко автоматизуються і працюють за стандартними програмами.

Вібраційні верстати з циліндричним контейнером зустрічаються рідко.

Вібраційні верстати «Хокто» мають контейнер із плоским дном. Контейнер розділяється навпіл. В одній половині відбувається обробка, а в іншій сепарація деталей від абразиву. Такий контейнер поєднує переваги верстатів із торіодальною та спіралеподібною ємностями..

Місткість контейнера. При проектуванні нових вібраційних верстатів підвищеної продуктивності необхідно мати чітке уявлення про оптимальні розміри їхніх контейнерів.

Для цього необхідно враховувати поширення вимушених коливань від дна контейнера вглиб робочого середовища. Дослідження показали, що зі збільшенням відстані від елементів маси завантаження до днища і стінок контейнера їхні відносні швидкості зменшуються, шари абразиву і деталей у міру наближення до центру контейнера частково або повністю виключаються із зони вібраційного впливу його стінок, обробка деталей, що перебувають у цих шарах, припиняється.

Оптимальні розміри контейнерів були встановлені експериментальним шляхом. За об'ємом контейнери (дм³) були розділені на серії.

- | | |
|------------|-----------------|
| 1. 0,5-5, | 5. 101-200, |
| 2. 6-25, | 6. 201-400, |
| 3. 26-50, | 7. 401-800, |
| 4. 50-100, | 8. 801-1600, |
| | 9. більше 1600. |

Розробниками минулого століття було запропоновано велику гаму вібраційних верстатів з об'ємом контейнера (в поперечному перерізі мали U-подібну форму) з об'ємом від 12 до 1200 дм³.

У Німеччині «Walther-trowal» були розроблені верстати з об'ємом контейнера 4-800 дм³.

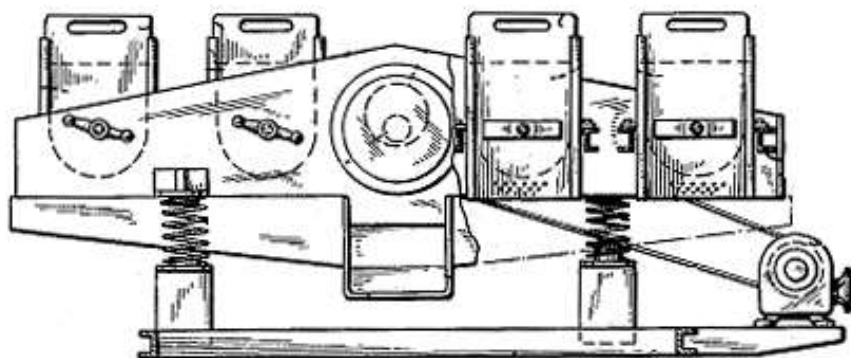
В США фірма «Roto Finish» випускає вібраційні верстати з об'ємом контейнера 25-27000 дм³.

Американська фірма «Lord Chenical» виробляла вібраційні верстати з об'ємом контейнера 30-500 дм³.

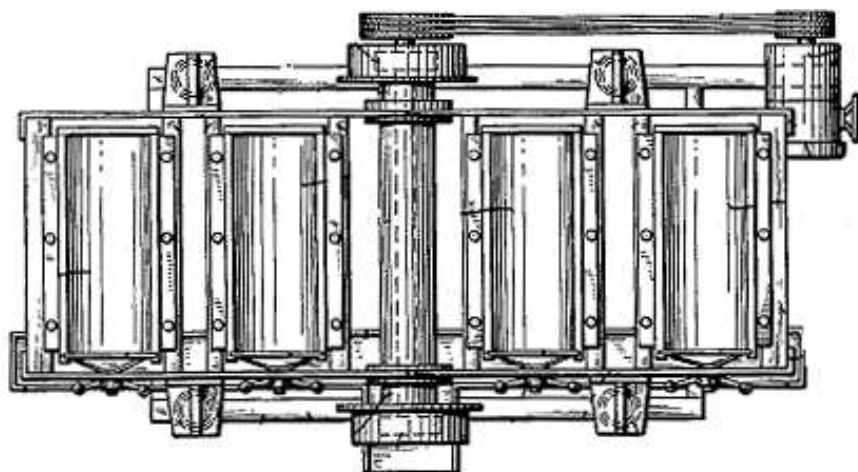
Об'єм контейнера визначає як технологічні можливості вібраційних верстатів об'ємного оброблення (кількість, розміри оброблюваних деталей, потрібну кількість робочого середовища), так і конструкцію основних його вузлів.

Кількість контейнерів на одному вібраційному верстаті: з одним або декількома контейнерами. Зустрічаються багатосекційні контейнери, в останніх - контейнер розділений перегородками на кілька секцій.

Метою створення вібраційних верстатів з двома і більше контейнерами є виконання в них одночасно кількох операцій. Наприклад, в одному контейнері проводити шліфування, а в іншому - полірування, або ж у кожному з них обробляти одночасно різні за конструкцією деталі. У літературі зустрічається думка, що для підвищення продуктивності обробки необхідно збільшувати обсяг контейнера за рахунок його подовження, а не збільшення перерізу. Цим пояснюється поява вібраційних верстатів із двома і більшою кількістю контейнерів малого перерізу, закріплених на одній платформі. Так, наприклад, одне з перших рішень у цьому напрямі розробила фірма Walther Technik Co, нині Walther Trowal, яке полягає в обробці в контейнерах, розміщених симетрично щодо віброзбуджувача, патент № 3045397 (US) «Treating apparatus» (рис. 44) [85].



а

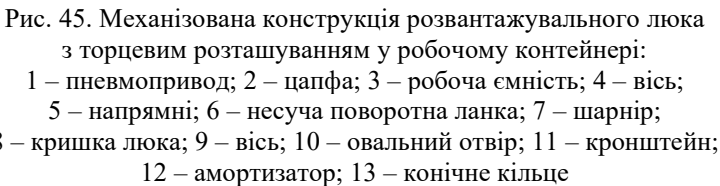


б

Рис. 44. Вібраційний верстат з паралельновстановленими контейнерами:
а – вид спереду; б – вид зверху

Однак дослідження і практика застосування дво- і багатоконтейнерних верстатів показали, що обробка в них не завжди виправдана, тому що виконання різних операцій вібраційного оброблення може вимагати різних режимів коливань. Це має місце і під час обробки деталей, що істотно відрізняються одна від одної за конструкцією. Здійснення для кожного контейнера під час встановлення їх на одній віброплатформі

Під час обробки деталей невеликими партіями поряд із верстатами з кількома контейнерами часто застосовуються багатосекційні контейнери. Однак під час налагодження верстата з багатосекційним



контейнером важко забезпечити однакову роботу робочого середовища у всіх зонах контейнера.

Способи розвантаження деталей і робочого середовища:

- торцеве розвантаження;
- розвантаження через дно;
- бічне розвантаження;
- розвантаження через верх;
- розвантаження перекиданням контейнера;
- розвантаження перекиданням після зняття контейнера з віброплатформи.

Контейнер із торцевим розвантаженням, який застосовується у верстаті ВУС-500, простий за конструкцією, дає змогу легко механізувати закриття люка, здійснювати розвантаження поштovхами за допомогою імпульсної кнопки короткочасного ввімкнення.

На рис. 45 представлено механізовану конструкцію розвантажувального люка з торцевим розташуванням люка в контейнері [85].

На практиці ця конструкція використовувалася у вібраційних верстатах, розроблених у Черкаському державному технічному університеті, які мають підвищену надійність у закритті люка контейнера.

Контейнер із розташуванням розвантажувальних люків на дні або на бічній поверхні трапляються в конструкціях вібраційних верстатів рідше, вони менш герметичні й погано піддаються механізації.

На рис. 46 показано контейнер із бічним розташуванням розвантажувального люка, склизом, пов'язаним із сепарувальним пристроєм. До недоліків цієї конструкції слід віднести негерметичність при закритті розвантажувального люка [86].

Пропонувалися також верстати з контейнером, який перекидався. До недоліків вібраційних верстатів з перекидним контейнером можна віднести складність їхньої конструкції, а до переваг - герметичність і механізацію вивантаження.

Розвантаження перекиданням шляхом повного зняття контейнера з віброплатформи знаходить своє застосування при обробці дрібних деталей. Зазвичай такі контейнери невеликих розмірів.

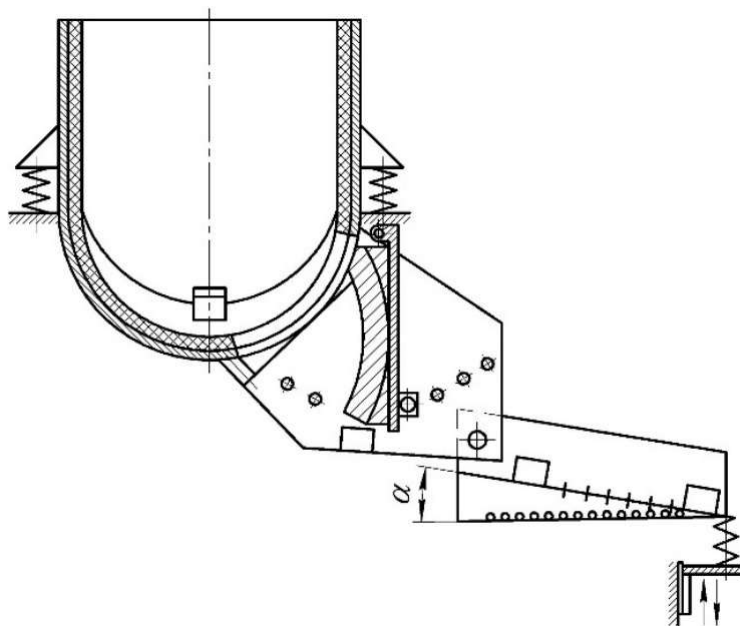


Рис. 46. Контейнер із бічним розташуванням розвантажувального люка, склизом, пов'язаним із сепарувальним пристроєм

Спосіб подачі робочої рідини в контейнер: порційна та безперервна подача.

Відомо, що застосування «мокрого» способу обробки (тобто із застосуванням різних розчинів) прискорює процес обробки. З цією метою наявні вібраційні верстати пропонувалося оснащувати контейнером для зберігання нового і збору відпрацьованого розчину.

Такими розробками, одними з перших, займалися інженери компанії Almco Supersheen, про що свідчить патент № 3305977 (US) «Vibratory barrel finishing machines». Конструкція механізму безперервної подачі рідини показана на рис. 47 [87].

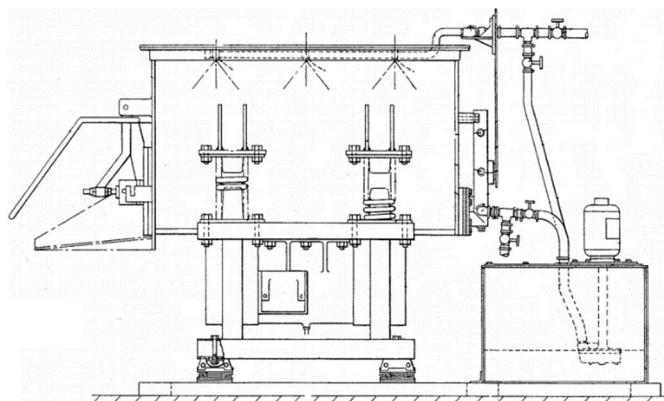


Рис. 47. Вібраційний верстат із пристроєм безперервного подавання рідини до контейнера

Дозиметр, що дає змогу порційно подавати рідину до контейнера, уперше був докладно описаний у патенті № 3353796 (US) «Vibratory burnishing system with metered feed» (рис. 48) [88].

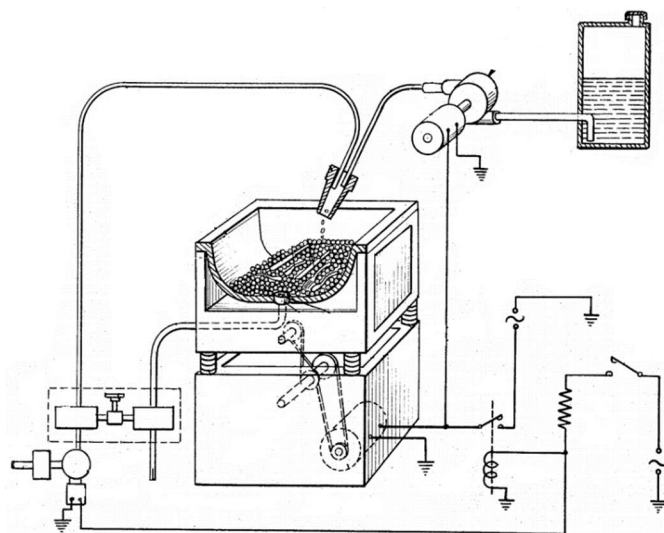


Рис. 48. Вібраційний верстат із дозиметром для рідини

Аналогічними розробками за «мокрого» способу вібраційного оброблення займалися і вітчизняні дослідники. На рис. 49 наведено принципову схему безперервної циркуляції розчину у вібраційному верстаті ВМІ-1004А [89].

З відстійника 6 електропомпою ЕП-22 розчин через вентиль 8, нагнітальний рукав 4 і дощувальний пристрій 12 потрапляє у контейнер 1. Потім через зливну лійку 2 і зливний рукав 3 повертався в першу секцію відстійника 6. Для заповнення відстійника був підведений водопровід із запірним вентилем 10. Злив відпрацьованого розчину здійснювався через патрубок 4 відстійника 6 і запірний вентиль 5.

Недоліки цієї системи були такими: під час заливання розчину в контейнер обробку проводили тільки в даній, вельми малій кількості розчину; порівняно велика трудомісткість операції зі зміни розчину.

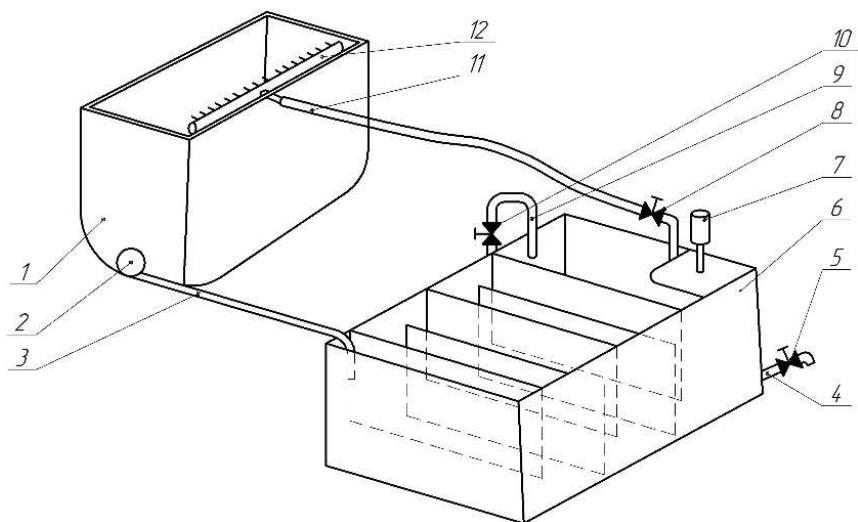


Рис. 49. Принципова схема безперервної циркуляції розчину у верстаті ВМІ-1004А:

- 1 – контейнер; 2 – зливна лійка; 3 – зливний рукав;
- 4 – зливний патрубок; 5 – запірний вентиль; 6 – відстійник;
- 7 – насос П-22; 8 – запірний вентиль; 9 – підведення води;
- 10 – запірний вентиль; 11 – нагнітальний рукав; 12 – дощувальний пристрій

Проаналізувавши недоліки вище описаної схеми, було запропоновано систему безперервної циркуляції (рис. 50) вдосконаленої конструкції, яку було реалізовано на вібраційному верстаті ЛМІ-1003 [90]. Контейнер 1 вібраційного верстата ЛМІ-1003 було змонтовано на пружинах, його з'єднували гнучким рукавом 2 з рухомою трубкою 3, яку за допомогою стопорного кільця 4 утримували в трубі 5 відстійника 6. Помпа 7 відстійника за допомогою трубопроводу 8 і дощувального пристрою 9 з'єднувалася з контейнером вібраційного верстата.

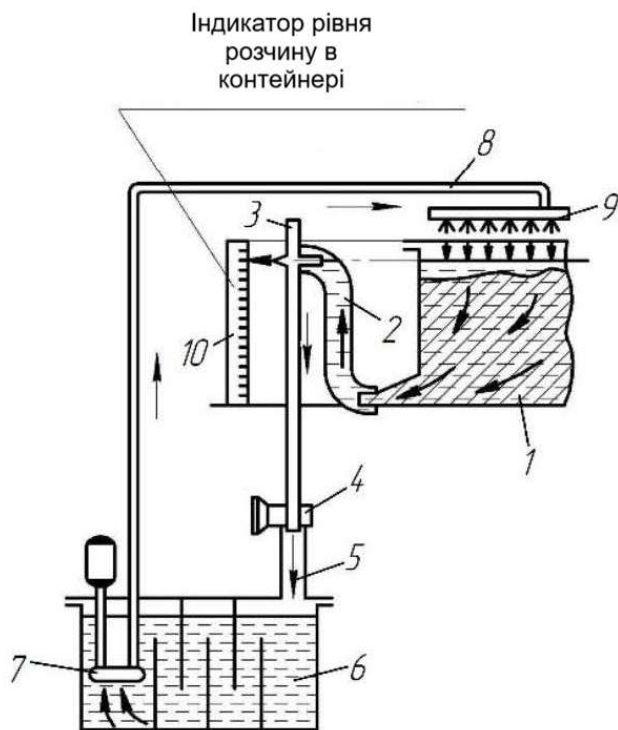


Рис. 50. Схема системи циркуляції вібраційного верстата ЛМІ-1003:

- 1 – контейнер; 2 – гнучкий рукав; 3 – рухома трубка;
- 4 – стопорне кільце; 5 – труба; 6 – відстійник; 7 – помпа;
- 8 – трубопровід; 9 – дощувальний пристрій; 10 – манометр

Циркуляцію розчину здійснювали наступним чином. Помпою 7 розчин трубопроводом подавався в дощувальний пристрій 9 і з нього в контейнер 1 вібраційного верстата. Обмиваючи робоче середовище і оброблювані деталі, розчин через зливний гнучкий рукав 2, труби 3 і 4 безперервно стікав у відстійник. Труба 3 могла підніматися або опускатися, що давало змогу регулювати циркуляцію розчину в контейнері. Для випадку, коли була потрібна певна кількість розчину в контейнері з постійною підтримкою його заданого рівня, чинили так: за допомогою стопорного кільця 4 відкріплювали трубу 3 і піднімали її доти, доки стрілка 10, закріплена жорстко на цій трубі, не збігалася з необхідною поділкою покажчика рівня розчину в контейнері. У цьому положенні трубу 3 закріплювали стопорним кільцем. Вмикали помпу і закачували розчин у контейнер 1. Після досягнення заданого рівня розчин через гнучкий рукав 2 труби 3 і 5 виливався у відстійник. При цьому рівень залитого в контейнер 1 розчину при безперервній циркуляції займав задане положення. Для того щоб унеможливити можливий несанкціонований сифонний злив розчину, трубу 3 виконували так, що її верхня частина над точкою з'єднання зливного рукава і труби мала відкритий отвір.

Перевага даної системи безперервної циркуляції полягала в можливості регулювання рівня розчину в контейнері.

Однак подальші дослідження показали, що різке зростання продуктивності досягалося в разі використання хімічно-активних розчинів шляхом порційного заливання в контейнер верстата без їх повторного використання.

Під час порційного заливання в об'єм завантаження додавали до 20% робочої рідини (разове заповнення), яка добре очищала абразивні гранули від продуктів зносу (дрібного абразивного і металевого пилу). Із застосуванням системи порційного заливання розчину виникла необхідність механізації подачі розчину і відведення його з контейнера.

Для цього вібраційний верстат ВМІ-1004Б був обладнаний пристроями, які давали змогу автоматизувати систему порційного заливання і відведення розчину з контейнера.

При цьому роботою верстата керував апарат управління за певним циклом.

На рис. 51 показано схему порційної подачі розчину рідини в контейнер вібраційного верстата ВМІ-1004Б [91].

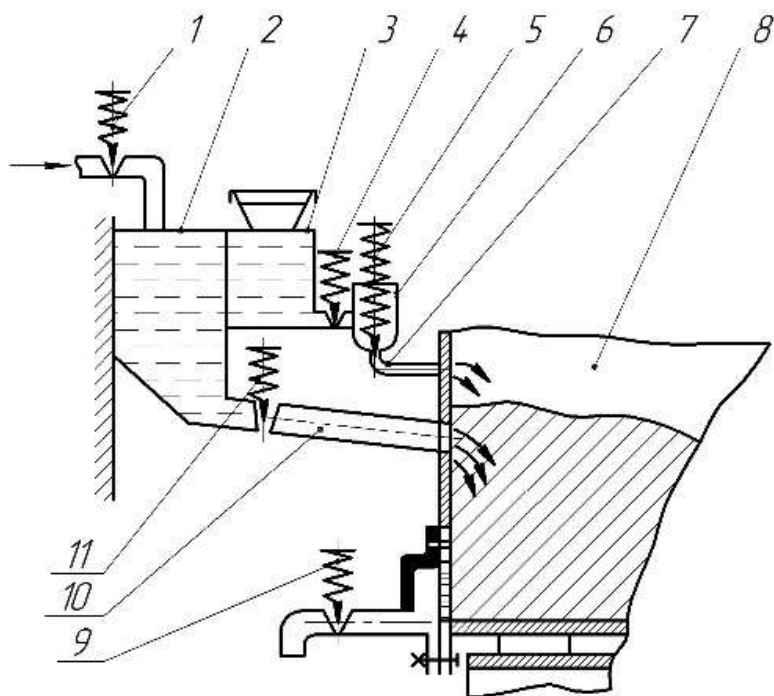


Рис. 51. Схема порційної подачі розчину у вібраційному верстаті ВМІ-1004Б: 1, 4, 5, 9, 11 – електромагнітні клапани; 2, 3 – контейнери; 6 – дозатор; 7 – трубка; 8 – вільний простір контейнера

Роботу на верстаті виконували в такій послідовності: на зливному рукаві відкривали електромагнітний клапан 9, а контейнер 2 заповнювали водою з технічного водопроводу, при цьому клапан 1 відкривали,

а клапан 11 закривали. Потім контейнер 3 заповнювали концентрованим розчином, клапан 4 відкривався, після цього дозатор 6 також заповнювали розчином, а клапан 4 закривався.

Під час запуску верстата, командний апарат закривав клапани 9, 1, 4 і відкривав клапани 11, 5. Внаслідок цього в контейнер заливалася необхідна порція води за об'ємом, що дорівнює контейнеру 2, а з дозатора 6 подавалася порція концентрованого розчину. Змішування води і хімічних реактивів відбувалося в контейнері верстата під час його роботи і займало 0,5-1 хв. Після обробки протягом певного часу, апарат управління перемикав клапани; при цьому клапани 11, 5 закривалися, а клапани 9, 1, 4 відкривалися. Відпрацьований розчин через клапан 9 зливався у відстійник. Дозатор 2 заповнювався водою, а дозатор 6 - концентрованим розчином. Через невеликий проміжок часу (1-3 хв.) відкривався клапан 11 і закривався клапан 1. У контейнер верстата подавалася порція води для промивання вмісту. Поки відбувалося промивання і злив води у відстійник через клапан 9 (протягом 5 хвилин), контейнер 2 знову заповнювали водою, водночас перекривався клапан 11 і відкривався клапан 1. Після промивання клапан 9 не закривався, проводилося вивантаження вмісту з контейнера, завантажувалася нова партія оброблюваних деталей і абразиву, і цикл повторювався.

Така схема дала змогу виключити ручне дозування і заливку робочого розчину, відпала потреба в насосах, підвищилася продуктивність за рахунок скорочення часу простоїв вібраційного верстата.

В якості керуючого пристрою використовували електромеханічні пристрої кулачкового, барабанного типу, що працюють спільно з реле часу.

Відведення відпрацьованого розчину з контейнера здійснювалося за допомогою електромагнітного клапана. Клапан являв собою корпус 1, у ньому розміщувалася соленоїдна котушка 2. Електричний струм до обмоток підводився кабелем. Усередині котушки була пружина 3, яка тиснула на шток 4. На штоку 4 був насаджений фланець 8, з'єднаний з ним за допомогою штифта. Шток міг пересуватися по направляючій втулці, на кінці його була тарілка 7, куди був вставлений гумовий ущільнювач 6, який, під час натискання пружини на шток, перекривав

зливний отвір у корпусі 5. Під час під'єднання котушки 2 до джерела струму магнітно-силовий потік, що утворюється, проходив по корпусу 1 і замикався через фланець 8, який разом зі штоком 4 притягувався до корпусу 1 (електромагніти), відкриваючи цим доступ розчину до зливного отвору. Зливний отвір було відкрито доти, доки котушка не відключалася від мережі. Під час відключення шток 4 під дією пружини 3 опускався вниз, ущільнювач 6 притискався до зливного отвору корпусу 5, перекриваючи цим вихід відпрацьованого розчину з контейнера (рис. 52) [92].

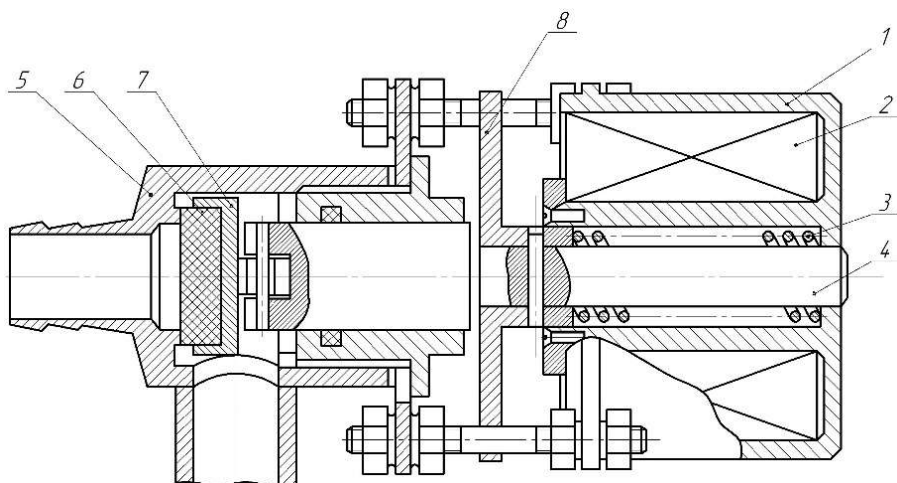


Рис. 52. Електромагнітний клапан для відведення відпрацьованого розчину з контейнера:

1 – корпус, 2 – котушка, 3 – пружина, 4 – шток,
5 – корпус, 6 – ущільнювач, 7 – тарілка, 8 – фланець

Таким чином, з точки зору забезпечення максимальної продуктивності вібраційної обробки найбільш ефективною є схема генерації вібрацій за допомогою дебалансного вібратора з встановленням дебаланса безпосередньо на вал контейнера і з безперервним прокачуванням робочої рідини через контейнер.

4. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКЦІЇ КОНТЕЙНЕРІВ ВІБРАЦІЙНИХ ВЕРСТАТІВ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ОБРОБКИ

4.1. Дослідження впливу конструкції контейнерів універсальних вібраційних верстатів на продуктивність обробки

За час існування вібраційної обробки неодноразово проводили аналіз і класифікацію вібраційного обладнання, що пояснюється великою кількістю класифікаційних ознак, їхньою зміною у зв'язку з розвитком процесу оброблення та появою нових конструкцій верстатів [93].

Відсутність же в низці робіт із вивчення вібраційного оброблення класифікації вібраційних верстатів пояснюється труднощами, спричиненими великою кількістю класифікаційних ознак, зумовлених істотною відмінністю різноманітних схем вібраційного оброблення і відповідних верстатів.

Так, наприклад, у роботі [94] вібраційні верстати були розділені за сумарним обсягом робочих контейнерів без будь-яких інших відмінних характеристик. Такий поділ дає уявлення лише про можливу кількість одночасно оброблюваних деталей, але не дає уявлення про інтенсивність обробки. У класифікації, представлений у роботі [95], верстати поділяються за типом контейнера: U-подібний або тороїдальний, і не представлено зв'язок між обладнанням і продуктивністю процесу. У роботі [96] до класифікації вібраційних верстатів введено гранулу робочого середовища, що є інструментом, а це не зовсім коректно, хоча нас цікавить взаємозв'язок верстата та інструмента для отримання оптимальних технологічних результатів. В роботі [97] було запропоновано класифікацію вібраційних верстатів, яка характеризує їх за допомогою

елементів конструкції. У наведеній класифікації, окрім опису характеристики основних елементів конструкції, включено й характеристику оброблюваної деталі: їхня форма, розмір, кількість. Однак у цій класифікації не приділено належної уваги характеристиці віброзбуджувача, зокрема місцю його розташування. Зазначено два типи розташування: горизонтальне і вертикально похиле. Однак не враховується його місце розташування відносно контейнера. Водночас у роботі [98] зазначено, що характер збурення залежатиме не тільки від типу віброзбуджувача, а й від розташування його відносно центру мас і центру приведення відновлювальної сили пружного зв'язку. Так, наприклад, якщо вісь простого дебалансного віброзбуджувача не збігається з центром мас коливальної системи, то останній разом зі збурювальною силою, що обертається, створюватиме й збурювальний момент [99]. У роботі [100] зазначається, що нині найбільшого поширення набули верстати з інерційним горизонтально розташованим віброзбуджувачем та одним U-подібним контейнером. Однак зазначається, що застосування таких верстатів не завжди забезпечує достатню продуктивність. Розв'язати цю проблему, ймовірно, можливо шляхом більш раціонального розміщення основного елемента вібраційного верстата – віброзбуджувача – відносно контейнера, що дасть змогу підвищити ефективність процесу вібраційного оброблення.

При цьому слід зазначити, що спостерігаються певні відмінності у виборі класифікаційних ознак, які застосовують під час опису обладнання в різних дослідників (табл. 1-6).

Таблиця 1

Основні класифікаційні ознаки вібраційних верстатів

Контейнер	Місткість
	Кількість
	Форма
Віброзбуджувач	Тип
	Кількість
Робоче середовище	Спосіб регенерації
Верстат загалом	Цикл роботи
	Режим роботи

Як видно з представлених класифікаційних ознак вібраційних верстатів, основну увагу при їхньому проектуванні приділяють контейнеру вібраційного верстата. Зміни в конструкції вібраційних контейнерів полягали як у збільшенні їхньої кількості для забезпечення можливості здійснювати обробку деталей при різних режимах на одному вібраційному верстаті, що, проте, важко здійснити на практиці [65, 75], так і в зміні форми контейнерів, зокрема, в розробці тороїдальних, U-подібних контейнерів та контейнерів іншої форми [67, 75]. Теж саме стосується і досліджень, спрямованих на оптимізацію конструкції вібраційних верстатів

Таблиця 2

Класифікаційна схема вібраційних верстатів [75]

Вібровбудувач	Тип	Дебалансний	
		Електромагнітний	
		Комбінований	
	Кількість		
	Розташування	Симетричне	Горизонтальне
Несиметричне		Вертикальне	
Контейнер	Форма	U-подібна	Без нахилу стінок
			З нахилом стінок
		Циліндрична	Закрита
			Напіввідкрита
		Тороїдальна	
	Траєкторія		Кругова
		Пласка	Некругова
Об'ємна		Багатопелюсткова	
Пружний елемент	Пружина		
	Балон з армованої гуми		
	Гумові амортизатори		

Класифікаційна схема вібраційних верстатів [83]

Вібробуджувач	Тип	Механічні	Кривошипні
			Кулачкові
		Інерційні	
		Дебалансні	
		Електроіндуктивні	Електромагнітні
			Електродинамічні
		Пневматичні	
		Гідравлічні	
		Комбіновані	
	Розташування	Високе	Горизонтальне
			Вертикальне
			Поворотне
		Вбудоване	Горизонтальне
			Вертикальне
			Поворотне
Вал із дебалансним механізмом	Число	Одновальні	
		Двовальні	
		Чотирьохвальні	
		Десятивальні	
	Тип	З поворотом корпусу	
		З попутним та зустрічним рухом	
Підвіска контейнера	Тип	Пружина	Спираль
			Пласка
			Ресора
		Гумові амортизатори	
		Армована гума	
Контейнер	Форма	U-подібна	З пневмошлангами
			З пневмобалонами
		Циліндрична	Пряма правостороння
		Тороїдальна	Пряма лівостороння
		Спиральна	
Робоче середовище Верстат загалом	Тип подачі	Періодична	
		Безперервна	

Верстат загалом	Ступінь автома- тизації	Неавтоматизований	
		Частково автоматизований	
		Повна автоматизація у безперерв- ному циклі	

Таблиця 4

**Класифікація схеми обробки вільними абразивами
на вібраційних верстатах [83]**

Застосування робочої рідини	Суха обробка
	Мокра обробка
Траєкторія переміщення завантажувальної маси	Кругова по тору
	Пряме переміщення по гвинтовій лінії в горизонтальному торі
	По гвинтовій лінії з підняттям на один виток усередині тора
Спосіб закріплення оброблюваної деталі	Внавал
	На рухомій платформі
	На пристрої, що обертається
	На маніпуляторі
	На шпинделі
Режим обробки	Дорезонансний
	Резонансний
	Зарезонансний
Цикл роботи	Періодичний
	Безперервний

Таблиця 5

Класифікаційна схема вібраційних верстатів [67]

Контейнер	Форма та розміри
	Траєкторія
	Конструкція та футерування
Гранула робочого середовища	Форма та розміри
	Матеріал зв'язки

	Абразивна складова
	Конструкція
	Добавка
	Співвідношення з оброблюваною деталлю
Амортизатори	Конструкція
	Матеріал
	Кількість
Вібробуджувачі	Схема приводу
	Конструкція дебалансів
Додаткові при- строї	Для закріплення деталі
	Для формування потоків завантаженої маси
	Для завантаження-розвантаження

Таблиця 6

Класифікаційна схема вібраційних верстатів [80]

Вид вібрації контейнера	Плоска	
	Об'ємна	
	Комбінована	
	(змінна)	
Тип вібробуджувача	Інерційний	З виносними двигунами
		З мотор-вібраторами
		З вертикальною віссю
	З жорстким зв'яз- ком	Кулісно-кривошипні
		Кулачкові
		Ексцентрикові
Кількість контейнерів	Один	
	Деякі	
Жорсткість підвіски	Постійна	
	Регульована	

Щодо вібробуджувачів, то, як показала практика, найефективнішими є механічні дебалансні вібробуджувачі та електромагнітні вібробуджувачі [62, 75]. Інші типи вібробуджувачів: пневматичний, гідравлічний, ексцентриковий - ненадійні та складні у виготовленні [67]. У роботі [67] зазначається, що саме ввібробуджувач може слугувати

основою конструктивного вдосконалення вібраційних верстатів, але в більшості класифікацій не згадується про місце його розташування щодо контейнера верстата, за винятком робіт [75, 83].

У більшості класифікацій застосовуване при вібраційній обробці обладнання, насамперед, розглядається за характером коливань контейнера. Дійсно, всі вібраційні верстати можна розділити на дві великі групи [64, 73, 80, 101, 102]:

- із плоскою вібрацією контейнера з горизонтальним валом віброзбуджувача;
- із об'ємною вібрацією контейнера з вертикальним валом віброзбуджувача.

Вібраційні верстати першої групи зазвичай мають віброзбуджувач, на валу якого розташовані симетрично незбалансовані вантажі, що під час обертання створюють збурювальне зусилля, яке змінює свій напрямок у площині за круговою траєкторією [58]. Під впливом цього зусилля контейнер здійснює коливання. Форма траєкторії коливань є еліпсом або колом, за винятком верстатів, які мають спеціальні віброзбуджувачі, що створюють дво- і багатокомпонентні траєкторії.

Вібраційні верстати другої групи в більшості випадків оснащені контейнером кільцевого типу, який спирається на пружину, розташовану по колу основи вібраційного верстата. У середній частині кільцевого контейнера розміщений віброзбуджувач, вісь якого розміщена вертикально, з двома дебалансними вантажами. Шляхом регуляції верхнього і нижнього вантажів досягається зміна амплітуди відповідно в горизонтальному і вертикальному напрямках. Під час роботи верстата верхній незбалансований вантаж спричиняє горизонтальне переміщення робочого середовища по колу, тоді як важчий нижній вантаж створює вертикальні коливання. У результаті виникає просторовий рух, під дією якого частинка робочого середовища й оброблювана деталь переміщуються по безперервній спіральній траєкторії навколо осі кільця контейнера. Однак зусилля, яке створюється під час зіткнення деталі з елементами робочого середовища, дещо нижче, ніж у верстатах першої групи [58].

На думку авторів [80], верстати першої групи за всіх інших рівних технологічних параметрів мають перевагу щодо знімання металу з одиниці оброблюваної поверхні. Ці верстати сьогодні набули найбільшого поширення.

Верстати з U-подібним контейнером мають найширший спектр типорозмірів. Їхній об'єм варіюється від 0,2 до 2000 дм³. Частинка середовища, крім цього, здійснює швидкий коливальний осцилювальний рух, зумовлений передачею в середовище силових імпульсів від віброзбудувача. Як правило, такі верстати працюють на частоті до 75 Гц і амплітуді коливань до 20 мм [76]. У таких верстатах силовий імпульс від стінок і днища контейнера передається всій масі завантаження, причому, протягом певного часу елементи завантаження рухаються разом із робочим контейнером, а потім у певний момент часу відбувається відрив елементів завантаження від днища і стінок контейнера [76].

Тороїдальні вібраційні верстати використовують на операціях обробки, які потребують м'якших режимів роботи. Робоча частота лежить у діапазоні 20...100 Гц, амплітуда – 0,5...2 мм, обсяги контейнерів тороїдальних верстатів – від 5 до 250 дм³ [62].

Результатом проведеного аналізу та досліджень [62, 67, 73, 74, 75, 80, 83, 101] є нижче запропонована класифікація вібраційних верстатів залежно від елементів конструкції (табл. 7).

Вібраційна обробка здійснюється на вібраційних верстатах, які забезпечують взаємодію оброблюваної деталі і робочого середовища, що складається з абразивних (або неабразивних) гранул і робочого розчину, використовуючи контейнери, вібруючі платформи і вібруючі стрижні, що зумовлює такі схеми вібраційної обробки:

- абразивні гранули й оброблювані деталі (дрібні й невеликі) завантажені внавал, тобто вільно, у вібруючий контейнер [2, 58];
- абразивні гранули завантажені внавал, а оброблювані деталі (середніх і великих розмірів) закріплені у вібруючому контейнері [79, 90];

**Класифікація вібраційних верстатів
залежно від елементів конструкції**

Характеристика	Ознака відмінності		Зміст ознаки	
1	2		3	
Характеристика оброблюваної деталі	Форма оброблюваної деталі		різноманітна (довільна)	
	Розміри оброблюваної деталі		залежно від вмісту контейнера	
	Кількість оброблюваних деталей		завантаження внавал	в залежно від вмісту контейнера та типу обробки
			закріплення в пристосуванні	залежно від кількості місць закріплення
Характеристика контейнера	Кількість		один	
			декілька	
	За способом монтажу		стаціонарні	
			з'ємні	
	За типом		нерухомі	
			похилі	
			поворотні	
	Форма		прямокутна в плані (зокрема U-подібна в перерізі)	
			кільцева (тороїдальна)	
			тороїдно-гвинтова	
			спеціальна	
			платформа	
Характеристика контейнера	Футеровка		активна	
			пасивна	
	Вміст		дм ³ , л	
	Жорсткість		жорсткі	
			частково гнучкі	
			гнучкі	
	Режими руху	Траєкторія руху	лінійна	
			кутова	
			плоска	
			просторова	
			комбінована	
		Амплітуда	0,5 – 10 мм	
		Частота	до 100 Гц	

1	2	3	
Характеристи-ка віброзбуджувача	Тип	інерційний	
		ексцентриковий	
		електромагнітний	
		пневматичний	
		гідравлічний	
		механічний	
		комбінований	
	Розташування	горизонтальне	
		вертикальне	
		похиле	
	Кількість	один	
		кілька	
	Положення відносно контейнера	у нижній точці контейнера	
		зі зсувом щодо поздовжньої осі контейнера	
		в центрі контейнера	Усередині корпусу поза корпусом
Підвіска контейнера	Тип	пружина	
		амортизатори гумові	
		гумокордна	
		пневматична	
Потужність двигуна		кВт	
Маса верстата		кг	
Габарити верстата	Довжина	мм	
	Ширина		
	Висота		
Верстат в цілому		спеціальні	
		спеціалізовані	
		універсальні	
	За ступенем механізації	автоматизовані	
		механізовані	
		немеханізовані	
	За принципом дії	періодичної дії	
		напівбезперервної дії	
		безперервної дії	
	За режимом роботи	дорезонансні	
		резонансні	
		зарезонансні	
	За способом обробки	із сухою обробкою	
		з мокрою обробкою	

- абразивні гранули завантажені внавал, а оброблювані деталі (середніх і великих розмірів) закріплені на ізольованому маніпуляторі [67, 73, 83];

- оброблювані деталі закріплені на віброуючій платформі, абразивні гранули завантажені у внутрішню порожнину оброблюваних деталей [83];

- оброблювані деталі закріплені на віброуючому стрижні, абразивні гранули вільно завантажені в нерухомий контейнер [28].

З вищенаведених схем обробки найбільшого поширення набули перші дві. Останні застосовуються для обмеженої номенклатури деталей. Розглянемо найпоширеніші схеми вібраційних верстатів (рис. 53), представлені в роботі [75]. На рис. 53 (а-ж) зображено принципову схему вібраційних верстатів із дебалансними віброзбуджувачами, на рис. 53 (з-к) – з електромагнітними віброзбуджувачами.

а) верстат із робочим контейнером U-подібної форми 1. До рами 2 або безпосередньо до робочого контейнера кріпиться корпус дебаланса 3. Рама з робочим контейнером встановлюється на пружні елементи 4 (пружина, гумові амортизатори) на масивній основі 5.

Обертання дебалансів здійснюється від електродвигуна за допомогою клинореємної передачі через ступінчасті шківів та еластичну муфту. Збурююча сила, яка створюється дебалансом, що обертається, повідомляє контейнеру із завантаженням (робочим середовищем і оброблюваною деталлю) кругові коливання.

б) верстат із тридебалансним віброзбуджувачем із робочим контейнером 1, близьким до О-подібної форми, що прискорює процес обробки внаслідок поліпшення умов обтікання завантаженням його стінок порівняно з U-подібним перерізом. До контейнера і до рами 2 пружним зв'язком 4, встановленим на основу 5, кріпляться корпуси валів трьох дебалансів 3. Правий дебаланс-ний вал отримує обертання від електродвигуна і за допомогою шестерні передає його двом іншим валам. Під впливом відцентрової сили, що виникає, контейнер здійснює рух за некруговою траєкторією, що також (на думку авторів [75]), сприяє інтенсивнішому перебігу процесу обробки.

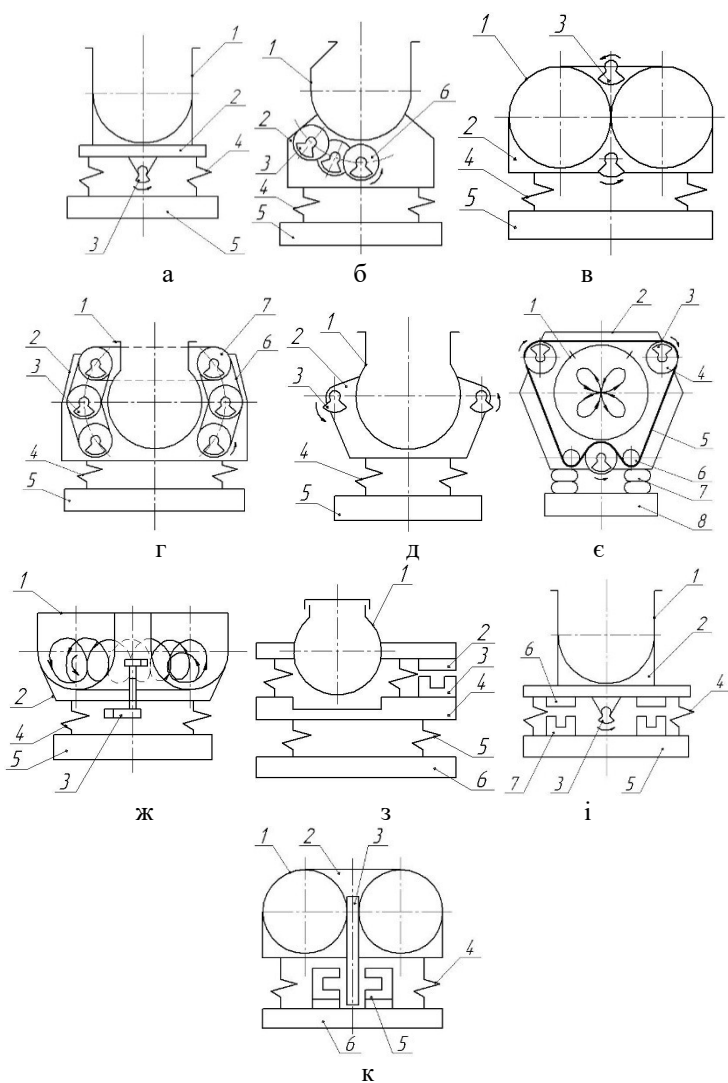


Рис. 53. Конструктивні схеми вібраційних верстатів:
а-ж – із дебалансними вібробудувачами; з-к – з електромагнітними вібробудувачами (1 – контейнер; 2 – рама; 3 – дебаланси; 4 – пружні елементи; 5, 8 – віброплатформа; 6 – зубчасті ремені; 7 – шестерні)

в) верстат із двома циліндричними контейнерами 1, що приводяться в коливальний рух дводебалансним вібро-ровозбудником, вісь валів якого розташована у вертикальній площині симетрії контейнера.

г) верстат із такою ж формою контейнера 1, як на рис. 53, в. Джерелом його коливань є шість дебалансів 3, корпуси яких жорстко встановлені на контейнері та рамі 2. Вали дебалансів пов'язані між собою за допомогою зубчастих ременів 6 і шестерень 7. Контейнер встановлено за допомогою пружин 4 на основі 5. Обертання від приводного двигуна повідомляється правому нижньому дебалансу. Усі дебаланси, що обертаються в один бік, впливають на завантаження в робочому контейнері, що збільшує продуктивність верстата порівняно з однодебалансним верстатом. Істотними недоліками такого верстата, на думку [75], є невисокий ступінь надійності системи та підвищений рівень шуму.

д) верстат із дводебалансним віброзбуджувачем із контейнером 1, що має форму циліндра, відкритого зверху, жорстко пов'язаного з опорною рамою 2, пружно змонтованого за допомогою пружин 4, на основі 5. До несучої рами прикріплені корпуси валів дебалансів 3.

Вісь валів розташована з двох боків від осі контейнера і лежить в одній площині з його центром ваги. Привод обох дебалансних валів здійснюється від загального приводного двигуна. Контейнер отримує вібрацію від дебалансів, що обертаються в один бік.

є) верстат із закритим циліндричним горизонтально розташованим контейнером 1, жорстко з'єднаним із несучою рамою 2. Зовні на валах розташовані дебаланси 3, які поміщені в трубчасті кожухи і жорстко пов'язані з рамою. Вали дебалансів пов'язані між собою за допомогою зірочки 4, ланцюга 5 і паразитної зірочки 6, що забезпечує обертання верхніх дебалансів у напрямі, протилежному обертанню нижнього дебаланса, що зумовлює коливальний рух контейнера за складною багатопелюстковою траєкторією. Несуча рама кріпиться за допомогою пневмопружинних амортизаторів 7 до основи 8. Завантаження в контейнері

здійснює циркуляційний рух із високою швидкістю навколо його позовжньої осі.

ж) верстат із контейнером кільцевого (тороїдального) типу. Контейнер 1, що є відкритим тором, жорстко закріплений на рамі 2. Під контейнером розташований віброзбуджувач із двома дебалансами 3. Вісь контейнера і віброзбуджувача збігається. Рама верстата спирається на пружину 4, розташовану по колу основи 5. Нижній і важчий дебаланс викликає вертикальні коливання завантаження, а верхній - горизонтальне переміщення завантаження по колу контейнера. Застосовується для обробки плоских дрібних деталей.

з) верстат з електромагнітним віброзбуджувачем. До контейнера 1 циліндричної форми жорстко прикріплений важіль із якорем 2. Статор 3 нерухомо лежить на рамі 4, яка за допомогою пружних елементів 5 кріпиться до основи 6. Під час пропускання струму через обмотку статора, якір притягується до нього. Завдяки пружній підвісці контейнер разом із важелем і якорем здійснює коливальні рухи, які передаються масі завантаження.

і) верстат електромагнітної дії з двома контейнерами. Два горизонтально розташовані контейнери 1, з'єднані рамою 2, із закріпленням між контейнерами якорем 3, утворюють одну жорстку систему, встановлену на пружних елементах 4, на основі 6. Поміщені під контейнерами з двох боків якоря статори 5 електромагнітів поперемінно притягують якір, змушуючи систему якір-рама контейнера здійснювати коливальні рухи, які передаються завантаженню.

Верстати з електромагнітним віброзбуджувачем, як правило, мають меншу потужність і продуктивність порівняно з дебалансним.

к) верстат з однодебалансним віброзбуджувачем, який має ті самі складові елементи, що й верстат на рис. 53, а, за винятком електромагнітного пристрою, що складається з якоря 6 і статора 7, які жорстко закріплені відповідно на рамі 2 і на основі 5 та слугують для автоматичного регулювання амплітуди коливань.

Слід зазначити, що розглянуті схеми вібраційних верстатів є найбільш вживаними, вони пройшли еволюційний відбір з декількох сотень інженерних розробок, які довели свою виробничу ефективність.

Із впровадженням вібраційних верстатів безпосередньо в промисловість практика їх експлуатації показала, що деякі схеми обробки є менш ефективними порівняно з іншими.

Непрямим критерієм ефективності тієї чи іншої конструкції, як правило, слугує її поширеність. За такого підходу з аналізу випадають цікаві конструкції та інженерні рішення, впроваджені в одиничних екземплярах і технічні рішення на рівні винаходів. Аналіз таких конструкцій практично зник із сучасної літератури, хоча багато рішень, які були запропоновані в патентах і обладнанні, випущеному в одиничних екземплярах, безумовно, становлять інтерес.

До групи верстатів загального призначення відносяться вібраційні верстати, в яких обробка деталей проводиться внавал, в плаваючих касетах або із закріпленням деталі в нерухомому стані безпосередньо в контейнері. Деякі вібраційні верстати загального призначення, впроваджені в промисловість більш ніж за 50-річний термін, зведені в окремі таблиці. У наведеній табл. 8 зіставляються конструктивні особливості та технічні характеристики деяких моделей вібраційних верстатів загального призначення, впроваджених у верстатобудуванні, приладобудуванні та інших галузях промисловості [73].

Як видно з наведених даних, здебільшого застосовують вібраційні верстати загального призначення з інерційним дебалансним віброзбуджувачем (одновальні або багатовальчасті, розташовані в просторі горизонтально або вертикально), з різними конструкціями пружних підвісок контейнера та об'ємами контейнерів від 5 до 1600 дм³; за характером коливань - двокоординатні, трикоординатні та ті, що працюють у резонансному режимі.

Розглянемо конструкції основних видів вібраційних верстатів загального призначення.

Таблиця 8

Конструктивні особливості та технічні характеристики вібраційних верстатів загального призначення

Модель верстата	Форма	Об'єм	Механізм збудження вібрації	Амплітуда, частота	Траєкторія руху	Система підвіски	Механізація	Потужність	Рівень уму	Габарити	Вага
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ВМ-12 НИТИОП	Прямокутна, U-подібний переріз	12/25	Інерційний дебалансний	0-3 1000, 1300, 2000	Двокоординатна	На циліндричних пружинах	Вбудований вібро-ситовий сепаратор	0,6-1,5	Кожух	1066 507 1270	360
1УВЗ УВ-3 ВНИИ		400/800		0-5 1250, 1600			Вбудований ситовий сепаратор	17	—	1000 4200 2500	—
ВМ-100 НИИТАП		100/180		1-4 1000		На циліндричних пружинах		3	Кожух	1480 1750 2290	2520
ВУ-300 ВПТИ		300/310		0-3 1500			Вібросито 625×250 230 мм	10	Кожух	2100 1800 1600	2200

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ВУ-850 РИСХМ	Прямокутна, U-подібний переріз	850/2000	Інерційний дебалансний	0-6 1200 1500 1800	Двохкоординатна, кругова, еліпсна	На циліндричних пружинах	Відсутня	17,0	Кожух	3200 2100 1560	3000
ВУ-1200 РИСХМ		1200/400		0-6 1260 1450				17,0		5200 2000 1330	3500
УВГ2×50		2×50/500		0-5 1500, 1800, 2100 Ступ. рег.				1,5	Кожух	1780 1120 1630	1000
ВПМС- 200М		200/400		0-4 1000, 1500, 1800			Скіповий підйомник, вібросито або магнітний сепаратор	7,0			1600/1900

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
УВГ-500		500/620	Інерційний дебалансний. Електродвигун виносний	0-4 500-2000	Площинна, кругова або еліпсна	На спіральних та «С» подібних пружинах	Відсутня	4,5	Забезпечено шумоізоляцію. Звукоізолюючий кожух	2150 2050 1500	2412
ВМ-250		130/230		1-4 2200-2600		На спіральних пружинах	Вбудоване вібраційне сито	10,0	Контейнер облицьований гумою. Кожуха немає. Шум підвищений	1220 1100 1165	—

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ЦВМ-2 ЦНИТИ	Прямокутна, U-подібний переріз	250	Інерційна дебалансна з безрезонансним ефектом, 1 віброзбудувач	0-6 1400 Ступінчасте регулювання амплітуди	Двохкоординатна, кругова, еліпсна	На циліндричних пружинах	Змінні пристосування для кріплення деталей	3	Електродвигун закритий кожухом, контейнер закритий кришкою	1800 800 800	1300
ЦВМ-3 ЦНИТИ	Машини зі сторін для кріплення пристосування або контейнером прямокутним у плані та прямокутного перерізу	150	Інерційна дебалансна спрямована, 3 віброзбудувача	0-6 позжовжня 900 поперечна 1000 Ступінчасте регулювання амплітуди	Трикоординатна		Деталі кріпляться до пристосування (або на вал)	9 (3 електродвигуна)	Контейнер закритий кожухом, забезпечений звукоізолюючим кожухом	2200 2200 1350	6300

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ВМИ 1003	Прямокутна, U-подібний переріз	15	Інерційний дебалансний	0,5-2 35, 63 Ступ. рег.	Двохкоординатна, кругова, еліпсна	На циліндричних пружинах	Комплектуються засобами механізації на вимогу замовника	0,7	Звукоізолюючий кожух	600 570 1100	200
ВМСИ 25М		25		0,2-2,5 50, 54, 63, 67 Ступ. рег.				4,0		1600 800 1500	500
УВИ 25		25		0,2-4,0 34, 43, 50, 54, 63, 67 Ступ. рег.				4,5		1600 750 1000	450
ЛМСИ 50		50		0,2-3 50, 54, 63 Ступ. рег.				4,0		1650 800 1150	1300
ВМИ 1004		80		0,2-3 29, 34, 43 Ступ. рег.				7,5		2050 920 1350	3880
ЛМСИ 100		100		0,2-3,2 33, 42, 50 Ступ. рег.				7		2100 950 1200	2400
ВМИ 1004А		120		0,5-3,5 29, 34, 43				7		2260 1050 1350	3800
ЛМСИ 250		250		0,2-3,2 33, 42, 50				12		2250 1100 1450	3200

Продовження табл. 8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ВУС-250	Спіралеподібний контейнер	250/250	Інерційний дебалансний із вертикальним розташуванням вібробуджувача	0-6 1500 200	Складний гвинтоподібний рух осі тора	На гвинтових пружинах	Решітка, вбудована в контейнер	5,5	Кожуха немає. Шум в межах норми	1900 1800 1700	1200
ВС-300М		300/300		0-3 1500			Вбудоване сито	5,5		3250 2045 1330	1100
ВТУ-10 РИСХМ	Тороїдальний контейнер	10/25		0-3 3100 3500			Лоток, вбудований в контейнер	0,8		865 850 400	150
ВМПВ-400		400/800		1-5			Автоматична	8,0		1800 1800 1500	2000

На рис. 54 показано одну з перших схем вібраційного верстата з двома контейнерами. Це модель 315СП62 з інерційним дебалансним віброзбуджувачем і двокоординатною вібрацією, що працює на постійній частоті 50 Гц і з регульованою амплітудою [83].

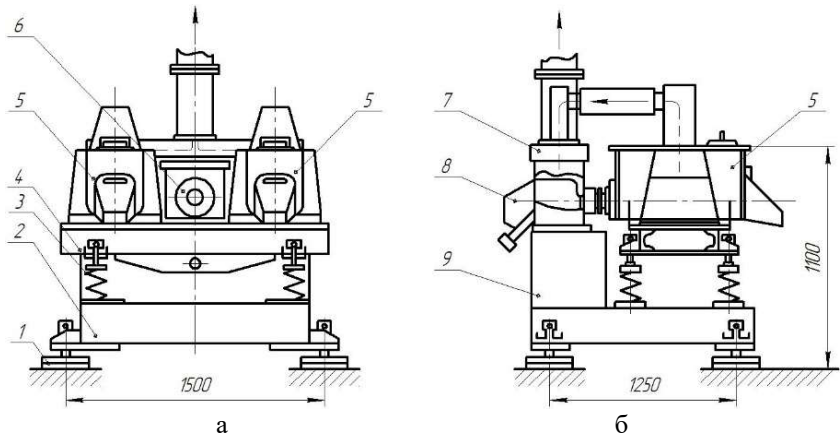


Рис. 54. Конструктивна схема вібраційного верстата мод. 315СП62:

- 1 – амортизатор; 2 – станина; 3 – пружини підвіски;
- 4 – віброплатформа; 5 – контейнери; 6 – віброзбуджувач;
- 7 – пневмовідсмоктувач; 8 – електродвигун;
- 9 – тумба електродвигуна;
- а – вид спереду; б – вид збоку

Верстат призначався для виконання очисних операцій сухим абразивом, потім був модернізований для мокрої обробки.

В державному університеті “Житомирська політехніка” було створено серію вібраційних верстатів для підготовки поверхонь під гальванічні покриття. На верстатах із двокоординатною вібрацією обробляли деталі коробчастої форми, тіла обертання, товстолистові плоскі деталі. На верстатах із трикоординатною вібрацією – тонколистові плоскі деталі, тонкостінні, крихкі тощо. Верстати випускалися в наступних модифікаціях: ВУ і ВС (місткість контейнера 100-600 дм³).

В національному університеті “Львівська політехніка” було розроблено низку вібраційних верстатів для обробки дрібних, середніх і великих деталей. Вібраційні верстати з U-подібним контейнером носили назву УВГ (об’єм контейнера 100-1000 дм³). На рис. 55 показано вібраційний верстат УВГ-200. Переналагодження верстатів було легким та не вимагало багато часу. Крім того, верстати мали цілком достатню робочу частоту коливань для виконання оздоблювальних операцій, а також потужні опорні вузли віброзбудувача.

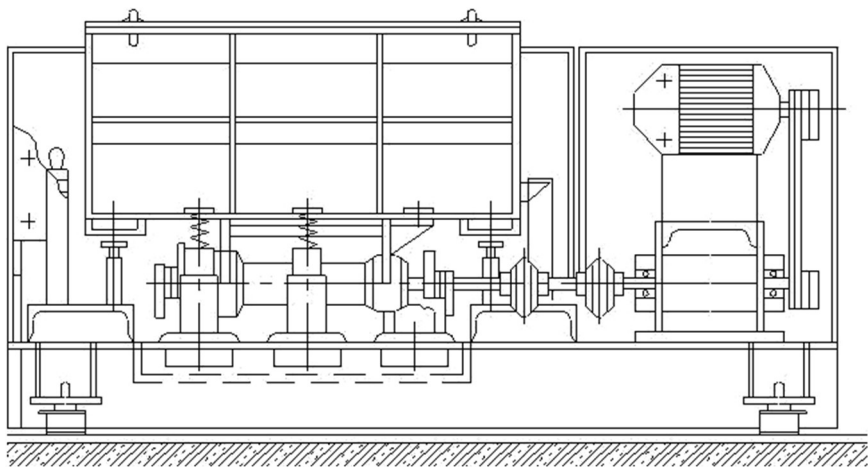


Рис. 55. Загальний вигляд вібраційного верстата УВГ-200

В Черкаському державному технологічному університеті були розроблені конструкції вібраційних верстатів з контейнером об’ємом 20, 50, 100, 200 дм³. Верстати призначалися для виконання оздоблювальних операцій в умовах серійного і масового виробництва. Моделі ВПМ-50С, ВПМ-100С, ВПМ-200С мали ситні сепаратори, ВПМ-50М, ВПМ-100М, ВПМ-200М - магнітні сепаратори. На рис. 56 показано конструктивну схему вібраційного верстата ВПМ-100С (ВПМ-100М) ІНІТІ. До комплекту вібраційного верстата входили: верстат, пристрій завантажувальний, вібросепаратор (сепаратор магнітний), відстійник, електрошafa.

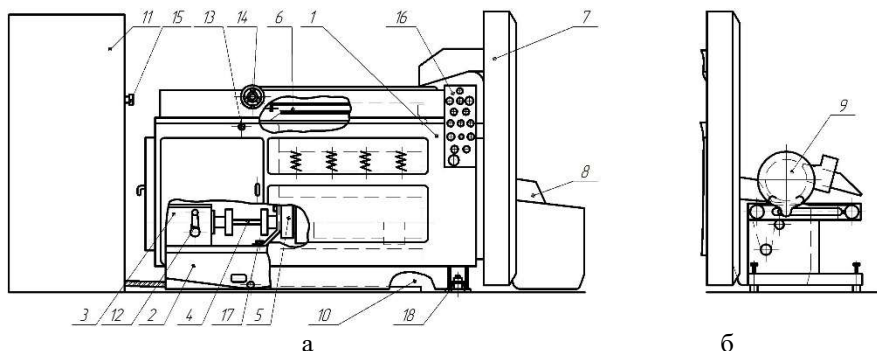


Рис. 56. Конструктивна схема вібраційного верстата ВПМ-100С (ВПМ-100М): 1 – станина; 2 – основа; 3 – бабка привідна; 4 – муфта; 5 – віброзбуджувач; 6 – контейнер; 7 – пристрій завантажувальний; 8 – вібросепаратор; 9 – магнітний сепаратор; 10 – відстійник; 11 – електрошафа; 12 – рукоятка чисел обертів; 13 – рукоятка подачі робочої рідини; 14 – маховик переміщення кришки; 15 – реле часу; 16 – пульт управління; 17 – кронштейн-опора ОВ-31-1; а – вид спереду; б – вид збоку

Вібраційний верстат з U-подібним контейнером, який закривали звукоізолювальним кожухом (рис. 56), має наступну конструкцію: станина виконувалася у вигляді звареної коробчастої рами, усередині станини розміщували приводну бабку, контейнер із віброзбуджувачем і пневмообладнання. У ніші правого торця станини був змонтований вібросепаратор. Контейнер з віброзбуджувачем був встановлений всередині станини на восьми спіральних пружинах. Станина встановлювалася на чотирьох опорах. Привод віброзбуджувача здійснювали муфтою, що складалася з двох трипелюсткових напівмуфт, з'єднаних проміжним валиком через гумові кільця, і бабкою приводною від електродвигуна через клиноремінну передачу. Контейнер має розвантажувальний люк з пневмоприводом і фільтром для зливу робочої рідини, що подається в неї. Вібраційний верстат працює на частотах 15, 25, 30 Гц з амплітудою 0,3-5 мм.

Конструкція верстата забезпечувала механізоване завантаження і відділення деталей від робочого середовища, зручне регулювання амплітуди і частоти коливань, рециркуляцію робочої рідини, розмагнічування деталей. Від аналогічних верстатів цього класу ця конструкція відрізнялася ступенем механізації. До недоліків конструкцій цих верстатів слід віднести те, що магнітний сепаратор можна було застосовувати для розділення тільки в окремих випадках. Вібросито неможливо було використовувати для розділення деталей і гранул однакових розмірів. Досвід експлуатації цих вібраційних верстатів показав, що опорні підшипники віброзбуджувачів часто виходили з ладу, їхнє змащення було незадовільним, а муфта ненадійна в роботі. Під час роботи на «важких режимах» виникали часті поломки верстата.

У цей самий час галузевою науково-дослідною лабораторією «Обробка вільними абразивами» (місто Сєвєродонецьк) було розроблено високопродуктивні вібраційні верстати, призначені для виконання очисних і декоративно-оздоблювальних операцій під час обробки деталей із чорних і кольорових металів, які також можна було застосовувати у верстатобудуванні, приладобудуванні та інших галузях промисловості [57].

Вібраційні верстати конструкції Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля серійно випускалися в наступних модифікаціях: ВМІ-1004А/Б (об'єм контейнера 80-160 дм³); УВІ-25 (об'єм контейнера 25 дм³); ЛМІ-1003 (об'єм контейнера 15 дм³). На рис. 57 показано принципову схему вібраційного верстата ВМІ-1004А.

Вібраційний верстат ВМІ-1004Б був модернізований на базі верстата ВМІ-1004А і показаний на рис. 58, мав U-подібний контейнер, що закривався звукоізолюючим кожухом, та мав таку конструкцію: основу 1, електромеханічний привод 2, з'єднаний еластичною муфтою 3 з інерційним віброзбуджувачем 4, розміщеним під віброплатформою 5, на якій був закріплений швидкознімний контейнер 6. Віброзбуджувач з'єднувався з валом коробки швидкостей гнучкою гумовою муфтою.

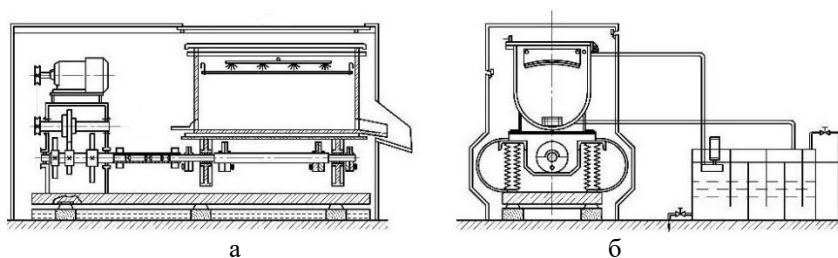


Рис. 57. Принципова конструктивна схема вібраційного верстата моделі BMI-1004A: а – вид спереду; б – вид збоку

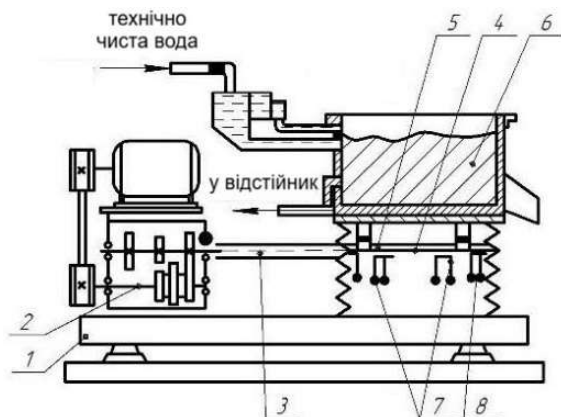


Рис. 58. Принципова схема вібраційного верстата BMI-1004Б:
 1 – основа; 2 – електромеханічний привод; 3 – еластична муфта;
 4 – дебалансний вібробудувач; 5 – віброплатформа; 6 – робоча ємність;
 7, 8 – дебалансні диски

Широкий діапазон регулювання амплітуд і частот вібраційного верстата BMI-1004Б давав змогу виконувати очисні та оздоблювальні операції з обробки деталей дуже широкої номенклатури. Особливості конструкції вібробудувача і наявність коробки швидкостей забезпечували переналадження верстата на інший режим роботи протягом 1,5-2 хв.

Конструкція вібраційного верстата ВМІ-1004Б відрізнялася від ВМІ-1004А підвищеною надійністю роботи обертових елементів і пружних зв'язків. У верстаті передбачалася можливість подачі води і хімічно активного розчину в контейнер і випуск відпрацьованої рідини у вигляді автоматичного циклу. Усі робочі частини верстата розміщувалися в компактному кожусі, що дає змогу зменшити рівень шуму. Конструкція верстата ВМІ-1004Б давала змогу застосувати ефективну технологію вібраційної обробки і вести процес у напівавтоматичному режимі. Вібраційні верстати ВМІ-1004А виготовляли серійно на Тбіліському ливарно-механічному заводі. У 90-ті роки 20 століття на десятках підприємств експлуатували понад 300 верстатів ВМІ-1004А.

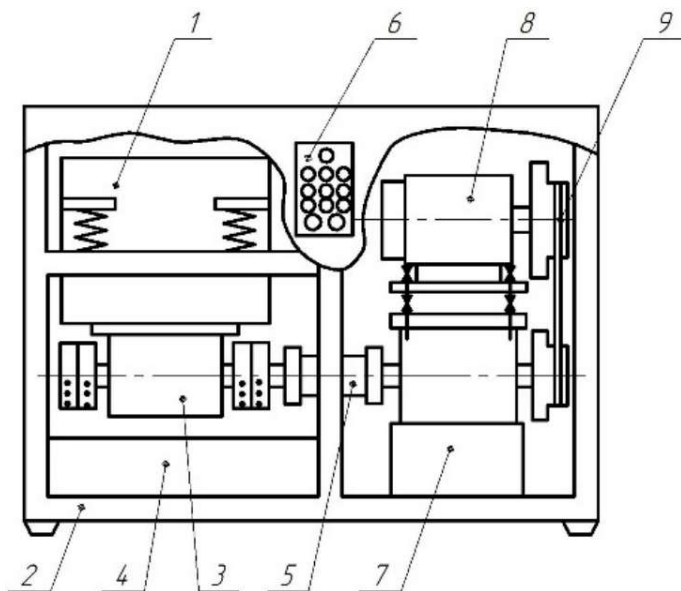


Рис. 59. Схема вібраційного верстата УВІ-25:

- 1 – контейнер; 2 – зварний каркас; 3 – вібробудувач; 4 – відстійник;
- 5 – гнучка муфта; 6 – пульт керування; 7 – привод;
- 8 – електричний двигун; 9 – клиноремінна передача

Вібраційний верстат УВІ-25 призначався для видалення задирок і облою, притуплення гострих кромek, безрозмірного шліфування та полірування, нанесення спеціальних покриттів тощо в умовах серійного і масового виробництва. Технічні можливості верстата давали змогу обробляти вельми дрібні (вагою до 0,1 г) деталі з різних матеріалів, застосовуючи при цьому абразивні гранули і слабо концентровані пасивні або хімічно активні розчини. На рис. 59 показано принципову схему вібраційного верстата УВІ-25, який складається з контейнера 1, встановленого на пружинній підвісці, що спирається на зварний каркас 2. У нижній частині до контейнера кріпився інерційний дебалансний віброзбуджувач 3, з'єднаний за допомогою гнучкої муфти 5 з приводом 7. Привод 7 являв собою проміжний вал із багатострумковим шківом, пов'язаним через клиноремінну передачу 9 з електромотором 8. Шляхом перекидання ремня по потічках шківів здійснювалася зміна числа обертів валу віброзбуджувача.

Для видалення продуктів зносу і залишків відпрацьованого розчину вібраційний верстат забезпечувався електромагнітним клапаном, електронасосом (типу ПА-22) і баком-відстійником 4. Вібраційний верстат забезпечувався віброізолюючими опорами, що давало змогу встановлювати його в будь-якому місці цеху без додаткового кріплення до підлоги. На рис. 60 показано зовнішній вигляд вібраційного верстата УВІ-25. Усі робочі частини верстата розміщувалися всередині каркаса 2, який зовні закривали бічними звукоізолюючими щитами, що знижувало шум під час роботи. Вібраційний верстат було впроваджено у виробництво. Його висока продуктивність забезпечувалася особливою формою контейнера і застосуванням частот вібрації від 50 до 65 Гц. Порівняно з аналогічними конструкціями, верстат був простий в обслуговуванні, мав малі габаритні розміри і масу, мав високу надійність і малу вартість. Такі верстати випускалися на Київському верстатобудівному заводі.



Рис. 60. Зовнішній вигляд вібраційного верстата УВІ-25

Використання високих рівнів вібрації на верстаті моделі УВІ-25 дає змогу в поєднанні з іншими технічними факторами підвищити продуктивність обробки у 2-3 рази порівняно з іншими вібраційними верстатами. Це особливо важливо при виконанні операцій суперфінішування, коли вимоги до шорсткості поверхні деталей є менш жорсткими, ніж при поліруванні.

4.2. Дослідження впливу конструкції контейнерів спеціалізованих вібраційних верстатів на продуктивність обробки

4.2.1. Дослідження особливостей вібраційної обробки довгомірних деталей

Крім обладнання загального призначення (універсального), приклади якого були описані вище, існує і спеціальне вібраційне обладнання, що має загальні ознаки і розроблене, як правило, для обробки деталей певного типу.

Вібраційне оброблення довгомірних деталей є досить складним, але цікавим завданням.

Хоча спроби розробити технологічний процес і обладнання для обробки цих деталей здійснювалися протягом усього розвитку

вібраційної техніки, тривалий час довгомірні деталі навіть не виділяли як окремий тип, не було чіткого визначення поняття довгомірної деталі, і в більшості класифікацій їх просто не було, тому що вважалося, що вони не обробляються.

Сьогодні вібраційна обробка довгомірних деталей не є рідкістю, для обробки таких деталей розроблено технологічні процеси, що дає змогу сформулювати і дати поняття довгомірності деталі у вібраційній обробці. Це деталь, поздовжня площина (довжина) якої у 2 і більше разів перевищує її поперечні розміри (рис. 61) (тобто основним поняттям у визначення довгомірності деталі є не конкретне значення одного розміру, а саме відношення її поздовжніх розмірів до поперечних). Необхідно також ввести додаткові пояснення, що характеризують властивості довгомірних деталей.



Рис. 61. Довгомірні деталі

Розрізняють наступні типи довгомірних деталей [103-107]:

– Довгомірні деталі, жорсткість яких у поздовжній площині унеможливує їхню деформацію в робочому середовищі контейнера, є жорсткими довгомірними деталями (рис. 62).



Рис. 62. Жорсткі довгомірні деталі

– Довгомірні деталі, жорсткість яких у поздовжній площині не унеможлиблює їхньої деформації в робочому середовищі контейнера, є нежорсткими довгомірними деталями (рис. 63).



Рис. 63. Нежорсткі довгомірні деталі

– Довгомірні деталі, поздовжні розміри яких не перевищують поздовжні розміри контейнера вібраційного обладнання, є довгомірними деталями обмеженої довжини (рис. 64).



Рис. 64. Довгомірні деталі обмеженої довжини

– Довгомірні деталі, поздовжні розміри яких перевищують поздовжні розміри контейнера вібраційного обладнання, є довгомірними деталями необмеженої довжини (рис. 65) (у цьому разі конкретна величина поздовжнього розміру не має значення, важливе відношення між поздовжнім розміром контейнера та самої деталі).



Рис. 65. Довгомірні деталі необмеженої довжини

Сформулювавши поняття про те, що таке довгомірна деталь і якими властивостями вона наділена, можна доповнити існуючі класифікації таким чином (рис. 66).

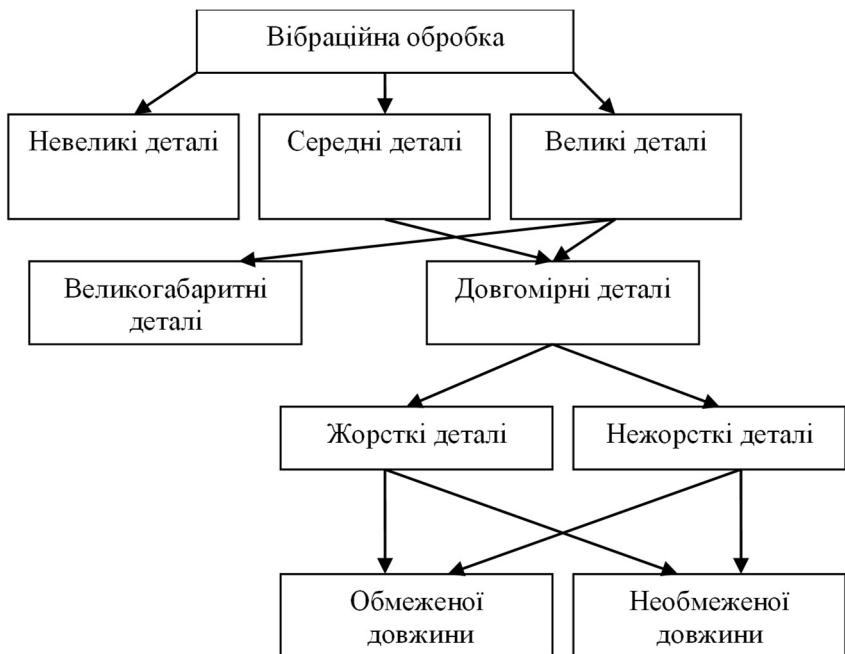


Рис. 66. Доповнення до класифікації деталей, що піддаються вібраційній обробці

Історично обробка жорстких довгомірних деталей здійснювалася двома найпростішими способами. У першому випадку, коли деталь мала обмежену довжину, застосовували кілька контейнерів, які були з'єднані між собою еластичними елементами.

На рис. 67 зображено приклад такого вібраційного верстата, який було запропоновано в роботі [108]. Верстат складався з послідовно розташованих секцій 1 контейнера, встановлених за допомогою пружин 8 на станині 7 і з'єднаних між собою еластичними елементами 2, виконаними у вигляді вигнутих всередину контейнера гофрів.

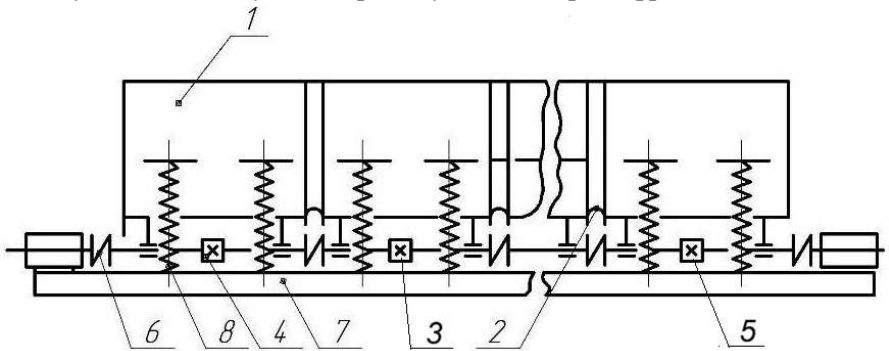


Рис. 67. Вібраційний верстат для обробки довгомірних і великогабаритних виробів:

1 – контейнер; 2 – еластичні пружні елементи; 3, 4, 5 – віброзбудувачі;
6 – муфта; 7 – станина

Контейнери приводилися в коливальний рух дебалансними віброзбудувачами 4, які між собою і з двигуном з'єднувалися еластичними муфтами 6. Деталь поміщали в контейнери на пружних підвісках, де й відбувалася обробка.

Створюючи верстати з кількома контейнерами, конструктори розуміли, що для забезпечення рівномірності процесу обробки на верстатах з кількома контейнерами існувала необхідність синхронізації їхніх коливань. Одне з рішень цієї проблеми було реалізовано у вібраційному верстаті, зображеному на рис. 68 [73]. У ньому віброзбудувачі були

з'єднані між собою за допомогою двох пружних муфт, суміжні напівмуфти яких виконані у вигляді шківів і встановлені з можливістю обертання на додатково введеному в конструкцію верстата валі, нерухомо закріпленому на станині, що забезпечувало синфазність роботи окремих контейнерів.

Головним недоліком вище запропонованих схем обробки довгомірних деталей є неможливість обробки деталей, які перевищують довжину контейнера даного верстата. Для вирішення цієї проблеми було запропоновано універсальні верстати прохідного типу, які давали змогу обробляти деталі будь-якої довжини.

Здавалося, що найпростішим рішенням зі створення верстатів прохідного типу буде застосування звичайного контейнера, у торцевих стінках якого створювали спеціальні отвори для подавання і виходу деталі [109].

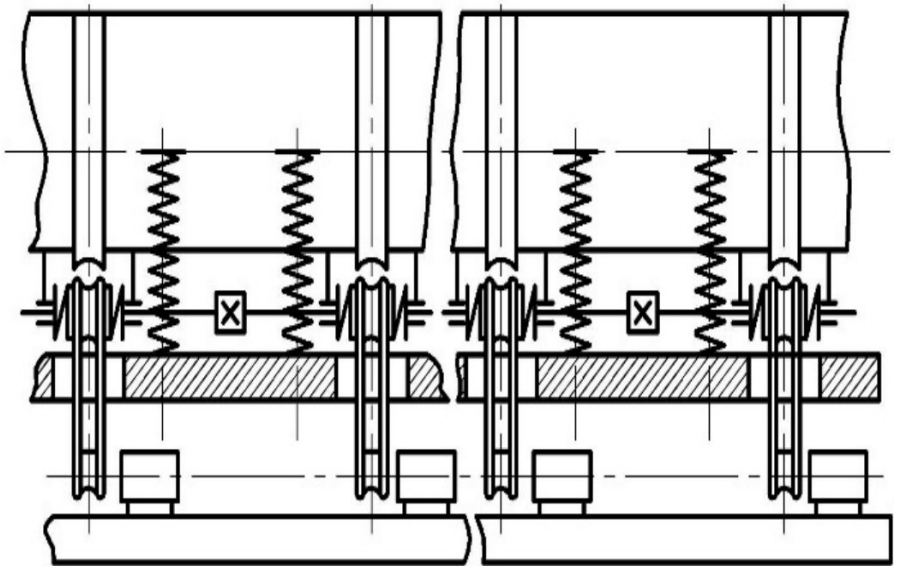


Рис. 68. Вібраційний верстат для обробки довгомірних і великогабаритних виробів

Одним із перших верстатів прохідного типу був верстат, розроблений в роботі [72] (рис. 69), який містив контейнер із вікнами в торцевих стінках і був виконаний складовим у вигляді телескопічно з'єднаних між собою частин із можливістю переміщення внутрішньої частини вздовж зовнішньої. Під час зупинки частини контейнера розводилися в різні боки, завдяки цьому контейнер подовжували, і робоче середовище перебувало нижче рівня, на якому знаходилися торцеві отвори, призначені для проходження деталей. Перед обробкою деталей поміщали в контейнер через торцеві отвори, а обидві частини контейнера зсували, рівень робочого середовища підвищувався, і обробка деталі відбувалася з усіх боків.

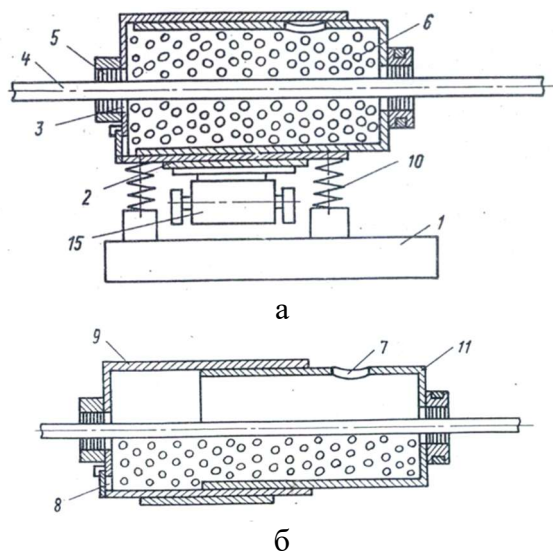


Рис. 69. Вібраційний верстат прохідного типу:

- 1 – основа; 2 – контейнер; 3 – вихідні вікна; 4 – деталь;
- 5 – загороджувальні щітки; 6 – робоче середовище; 7 – завантажувальний люк;
- 8 – розвантажувальний люк; 9 – зовнішня частина контейнера;
- 10 – пружні елементи; 11 – внутрішня частина контейнера;
- а – вид спереду; б – вид зверху

Недолік вище запропонованого верстата полягав у тому, що під час застосування розчину така конструкція не забезпечувала герметичність, а оброблятися могла тільки одна деталь, що знижувало доцільність застосування вібраційної обробки.

Справедливості заради необхідно зазначити, що творці вібраційних верстатів розуміли вище описані недоліки, але переваги вібраційної обробки і технологічний результат були настільки високими, що необхідність їх подальшого розвитку не викликала сумнівів.

Тоді ж іншими авторами було запропоновано конструкцію верстата (рис. 70) [36]. Щоб не допустити втрату робочого середовища, дно і бічні стінки контейнера забезпечувалися ребрами, які нібито розділяли контейнер. Однак така ідея не давала змоги домогтися необхідних результатів, оскільки в процесі роботи робоче середовище поступово проникало в сусідні камери, його рівень вирівнювався, і відбувалася втрата робочого середовища через вхідний і вихідний отвір у торцевих стінках контейнера.

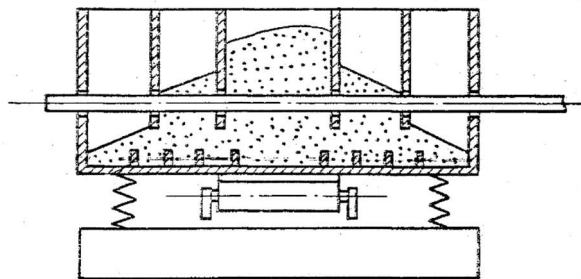


Рис. 70. Вібраційний верстат для обробки довгомірних деталей

Основним недоліком обладнання такого типу була негерметичність контейнера, оскільки крізь отвори в торцевих стінках могло просочуватися робоче середовище, а також рідина, що застосовується під час обробки. Крім того, це обладнання вимагало механізму подачі деталі.

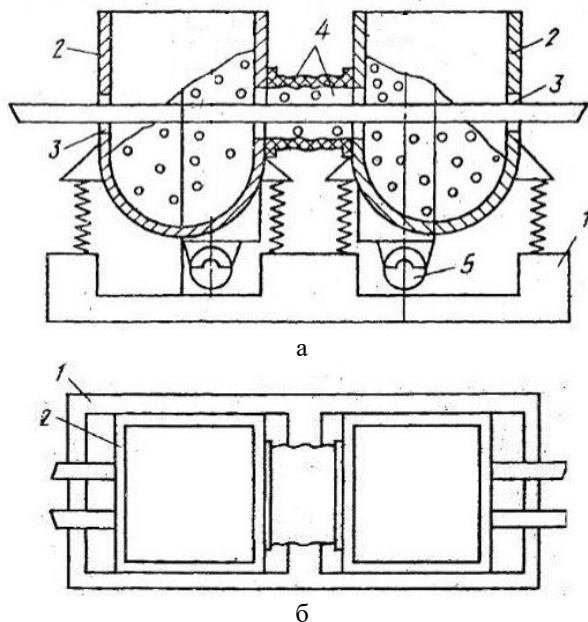


Рис. 71. Вібраційний верстат із двома контейнерами, з'єднаними еластичним рукавом: 1 – основа; 2 – контейнер; 3 – вікно; 4 – гнучкий рукав; 5 – вібробуджувач; а – вид спереду; б – вид зверху

Спроба виключити втрату робочого середовища призвела до створення верстата, представленого на рис. 71 [49]. У цьому верстаті, який мав два контейнери, вводився еластичний рукав, який їх з'єднував. Вібробуджувачі розташовувалися ближче до тих отворів у торцевих стінках контейнера, які з'єднувалися між собою еластичним рукавом. Під час зупинки для забезпечення герметичності робоче середовище повинно було знаходитися нижче рівня, на якому знаходилися торцеві отвори. У ці отвори поміщали деталь, і верстат запускали. Розташування вібробуджувачів мало забезпечити такий характер циркуляційного потоку робочого середовища, який унеможлиблював його контакт із зовнішніми отворами для подачі і виходу деталі. Це рішення мало

унеможливити втрату робочого середовища і рідини, що знаходиться в контейнері.

Якщо з втратою робочого середовища вище описані конструкції частково могли справлятися, то забезпечити відсутність втрати активних розчинів і промивних рідин були не здатні. Це також пов'язано з тим, що в ті роки вібраційне оброблення ще могло проводитися «в суху», тобто без хімічного розчину, що в сьогоденні є неприпустимим.

Станом на сьогодні для унеможливлення втрати робочого середовища під час обробки довгомірних деталей застосовують верстати проходного типу із системою сепарації гранул робочого середовища, а також хімічно активного розчину (рис. 72).



Рис. 72. Верстат для обробки довгомірних деталей фірми Rosler

Верстати прохідного типу забезпечують високу продуктивність обробки за рахунок підтримання постійного об'єму робочого середовища та хімічно активного розчину [109 - 112]. Сепарація абразивних гранул дозволяє отримувати високі показники шорсткості поверхні деталей, що обробляються.

Ще однією складністю, з якою стикалися творці вібраційного обладнання для довгомірних деталей, був механізм подачі деталі в контейнер. Без цього механізму обробка деталі, що має необмежену довжину, була практично неможливою.

Незважаючи на те, що окремий механізм подачі деталі був, по суті, другим верстатом, пропонували і ще складніші та доволі спірні конструкції, які виключали механізм подачі. Наприклад, деталь жорстко закріплювали, а контейнери здійснювали зворотно-поступальний рух уздовж деталі (рис. 73) [19], що ще більше ускладнювало верстат. Тепер повинен був переміщатися весь вібраційний контейнер, який, природно, був набагато важчим за деталь, і вимагав потужних електроприводів, що позначалося на економічній доцільності ще більшою мірою.

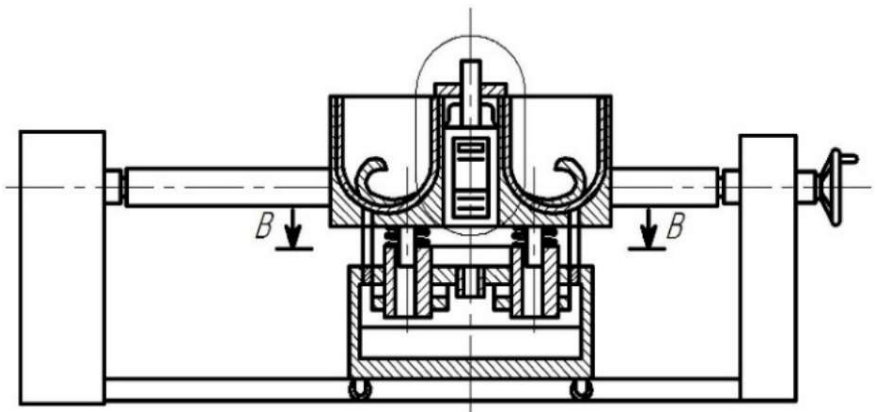


Рис. 73. Верстат для вібраційної обробки з переміщенням контейнером

Іншим способом спростити конструкцію верстата шляхом відмови від механізму подачі було створення контейнера спеціальної форми, який мав автоматизований механізм завантаження і вивантаження деталі і не вимагав складних механічних пристроїв [38].

Вібробуджувач верстата міг обертатися у двох напрямках. Під час завантаження деталі вібробуджувач запускали таким чином, щоб висхідний потік робочого середовища знаходився з протилежного боку від завантажувальної щілини, потім проводили обробку (рис. 74, а). Для того щоб вивантажити деталі і відокремити їх від робочого середовища, верстат зупинявся, вібробуджувач запускався в протилежному напрямку, щоб висхідний потік робочого середовища знаходився біля щілини, призначеної для вивантаження деталей. Деталі піднімалися висхідним потоком, і відбувалося їх розвантаження в спеціальний приймач (рис. 74, б).

Запропоноване конструкторське рішення мало дати змогу відмовитися від складного механізму подачі й водночас унеможливити втрату робочого середовища. Однак на такому верстаті могли оброблятися деталі обмеженої довжини, що і було його основним недоліком.

Необхідно також зазначити, що поява вище описаного верстата стала можливою завдяки розвитку теорії циркуляційного руху робочого середовища, прийшло розуміння того, що деталі різних розмірів і форм мають також і різний характер руху в робочому середовищі. Маючи сучасні відомості про характер руху довгомірних деталей можна стверджувати, що таке рішення було б працездатним.

Повертаючись до обробки деталей необмеженої довжини, можна сказати, що подальший розвиток верстатів з механізмом подачі деталі не припинився і отримав ще один напрямок, в якому механізм подачі деталі приводився в дію не окремим приводом, а працював за рахунок енергії самого верстата. В роботі [45] було запропоновано верстат (рис. 75), який забезпечував автоматизоване оброблення деталі з вбудованим механізмом подачі, що приводився в дію коливаннями контейнера.

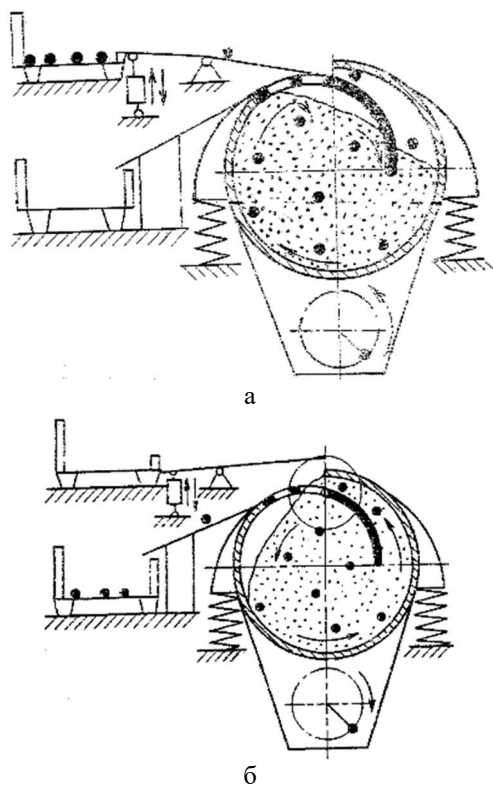


Рис. 74. Вібраційний верстат з механізмом завантаження і вивантаження:
а – завантаження і обробка деталей; б – вивантаження деталей

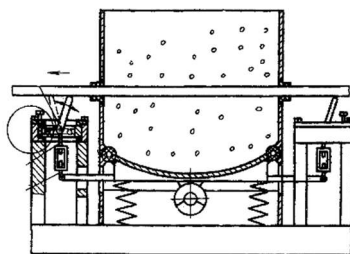


Рис. 75. Вібраційний верстат із вбудованим механізмом подавання

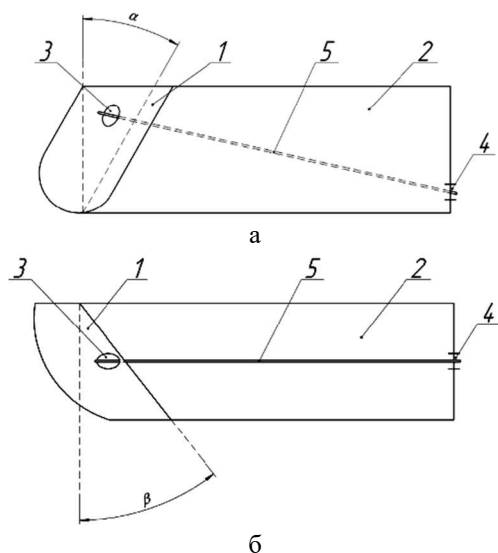


Рис. 76. Контейнер із похилою стінкою:

1 – торцева стінка з нахилом; 2 – контейнер; 3 – вхідний отвір;

4 – вихідний отвір; 5 – оброблювана деталь;

α – кут нахилу торцевої стінки від поздовжньої осі;

β – кут нахилу торцевої стінки від поперечної осі; а – встановлення деталі під кутом; б – горизонтальне встановлення деталі

Надалі багато авторів намагалися повністю відмовитися від механізму подачі деталі, чому передувало більш детальне вивчення поведінки довгомірних деталей у робочому середовищі вібруючого контейнера. У низки дослідників виникла ідея використати для пересування деталі в поздовжній площині відносно контейнера ефект вібротранспортування, тобто рух деталі має здійснювати саме робоче середовище. Щоб досягти такого ефекту пропонувалася особлива форма контейнера. Приклад такого верстата представлено на рис. 76. У контейнері цього верстата було змінено положення торцевих стінок з вікнами для проходження деталей, які розташовувалися таким чином, що вікно для входу деталей знаходилося вище, ніж вікно для виходу. Торцева стінка, в яку подавалася деталь, була відхилена від своєї вертикальної осі на

30°, а також на 30° від своєї поздовжньої осі, що ущільнювало середовище і змушувало його не тільки обертати деталь навколо своєї осі, а й посилювало ефект вібротранспортування.

Однак необхідно зазначити, що в цьому випадку, як і в більшості вище описаних, обробляли одну деталь, що зводило нанівець одну з основних переваг вібраційного оброблення над іншими способами обробки - можливість одночасного оброблення кількох деталей.

Розвиток вібраційної обробки переживав ще один сплеск на початку двадцять першого століття. Створювалися нові вібраційні верстати, розроблялися нові технологічні процеси, деталі, які, як вважалося раніше, не підлягали вібраційній обробці, почали успішно оброблятися.

Цікаві рішення пропонувалися для обробки довгомірних деталей необмеженої довжини, був запропонований спосіб обробки нежорстких довгомірних деталей, який поєднував у собі вібраційну обробку й обробку за допомогою абразивного матеріалу в напрямних, водночас він виключав наявність складних механізмів усередині контейнера. Такий метод реалізовувався за допомогою встановлення в контейнер штанг, із запресованими в них гумовими втулками і фільєрами, що містять абразивний матеріал. Штанги встановлювалися так, щоб кут розбіжності струмків дроту, що проходить, дорівнював 60°. На торцевих стінках встановлювали вхідні та вихідні напрямні отвори, які також містили запресовані в них гумові втулки та фільєри. Завдяки розташуванню фільєр під кутом 60°, дріт, проходячи через шліфувальний матеріал фільєр, оброблявся з усіх боків (рис. 77).

Необхідно звернути увагу на те, що завдяки гнучкості нежорстких довгомірних деталей виключалася проблема втрати робочого середовища з контейнера в процесі обробки, оскільки вони давали змогу розташовувати вхідні та вихідні отвори вище завантаження.

Довгомірні деталі можуть сильно відрізнятися характером поперечного перерізу. Для обробки довгомірних деталей з різною формою поперечного перерізу (наприклад, прокат) А.П. Афіногеновим [15] був

запропонований верстат, показаний на рис. 78, який являв собою спробу створення універсального верстата для обробки довгомірних деталей.

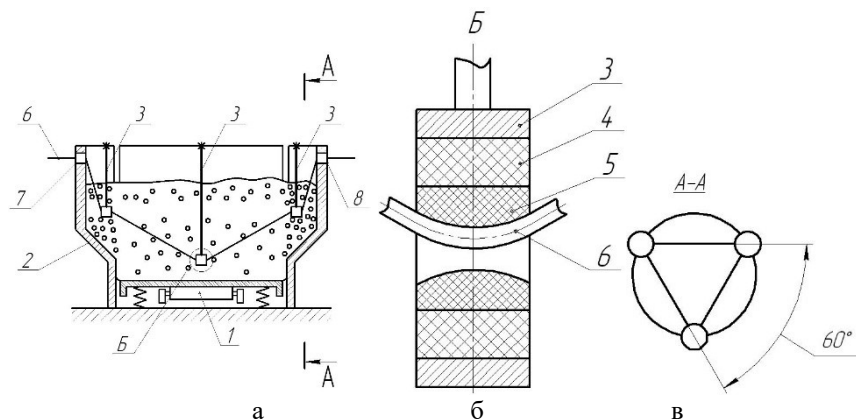


Рис. 77. Контейнер із фільтрами:

- 1 – привод; 2 – контейнер; 3 – штанги; 4 – гумові втулки;
 5 – фільтри; 6 – дрiт; 7 – вхідна фільтера; 8 – вихідна фільтера;
 а – схема конструкції контейнера; б – схема обробки; в – робочі кути

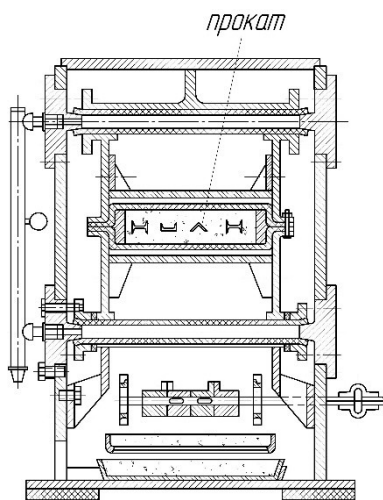


Рис. 78. Вібраційний верстат для обробки прокату

Виріб проходив через вібруючі контейнери, заповнені робочим середовищем. Коливання контейнерам передавалися від віброзбуджувачів через раму, встановлену на основі.



Рис. 79. Сучасний вібраційний верстат для обробки довгомірних деталей фірми Rosler

Станом на сьогодні довгомірні деталі є невід'ємною частиною номенклатури деталей, що піддаються обробці у вільних абразивах. З цією метою створюються як окремі верстати, так і обробні центри. Приклади таких комплексів можна знайти на сайті будь-якого сучасного виробника вібраційних верстатів. Один із таких верстатів представлений на рис. 79 [120].

4.2.2. Дослідження особливостей обробки в верстатах прохідного типу

Вище розглядалися верстати для обробки довгомірних деталей, більшість із яких була прохідного типу. Однак така конструкція вібраційних верстатів дуже часто застосовується для обробки дрібних і середніх деталей. Ці верстати мають безліч різних конструкцій, але володіють однією загальною властивістю – деталь або деталі, що перебувають у процесі обробки в робочому середовищі, крім циркуляційного, здійснюють ще й поступальний рух уздовж стінок контейнера. Основне завдання, яке ставили конструктори при створенні прохідних верстатів, полягало в забезпеченні рівномірної обробки деталей з усіх боків, так

як середні і особливо дрібні плоскі деталі мають властивість злипатися в пакети, а додатковий подовжній рух у таких верстатах повинен був виключити ці негативні явища.

Одним із перших верстатів прохідного типу був запропонований М.Є. Шаїнським (рис. 80) [44]. Його конструкція була досить простою, у цьому верстаті контейнер складався з двох відсіків U-подібної форми 1 і 2 і поділявся на секції поперечними перегородками. Перегородки не доходили до днища і були встановлені під кутом до поздовжньої осі контейнера.

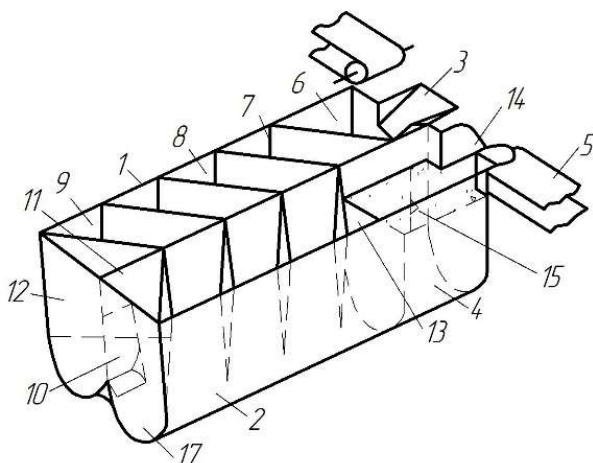


Рис. 80. Пристрій прохідного типу для вібраційної обробки деталей:

1, 2 – контейнери; 3 – люк; 4 – камера; 5 – транспортер;
6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 – приймальні секції; 14 – решітка; 15 – вікно

Верстат працював так: обидва відсіки заповнювали абразивними гранулами, потім включали привод і через люк 3 в приймальну камеру 6 завантажували деталі. Деталі разом з абразивом приводилися в складний рух, під час якого вони послідовно переміщалися з приймальної секції 6 до секції 7, із секції 7 - до секції 8 і так далі. У секції 13 вони потрапляли на розділову решітку 14, крізь яку абразивні гранули

провалювалися в накопичувальну камеру 4, а деталі відводилися на транспортер 5. У міру заповнення абразивними гранулами камери 4 вони відводилися через вікно 15 у стінці 11 в секцію 6.

Недолік цього пристрою полягав у тому, що деякі деталі все ж могли затримуватися в «затінених» місцях контейнера (наприклад, у кутах між стінками і перегородками) і перебувати в робочому середовищі довше за необхідний час.

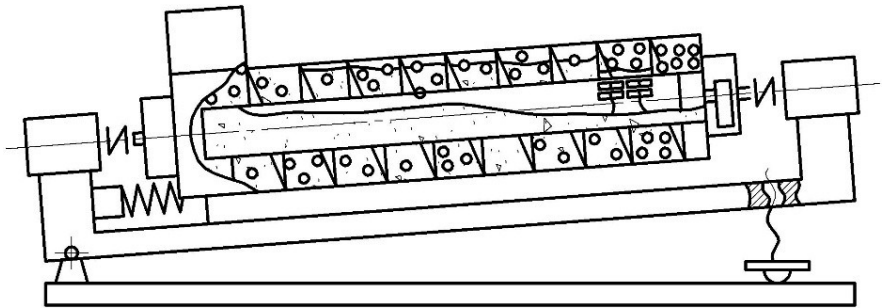


Рис. 81. Верстат для безперервної вібраційної обробки

У Львівському політехнічному інституті В.А. Повідайло (АС № 529063) теж було запропоновано верстат для безперервної вібраційної обробки деталей [113] (рис. 81). Він містив установлений на амортизаторах контейнер, що приводиться в коливальний рух. У середині контейнера розташовувався шнек із центральним отвором, який було виконано в його витках. На протилежних кінцях контейнера розташовувалися завантажувальна і розвантажувальна позиції. У центральному отворі шнека розміщувалася труба, з боку завантаження відкрита, а з боку розвантаження закрыта, і у верхній частині забезпечена перфорацією. Для повернення обробного середовища до завантажувальної позиції, контейнер встановлювався з можливістю регулювання його кута нахилу. Верстат забезпечувався закритим лотком, що є продовженням гвинтового каналу шнека. Перфороване дно лотка розташовувалося по дотичній до труби, а простір під ним обмежувався знизу похилою

стілкою і сполучався з трубою. Цей верстат був конструктивно складним і вкрай ненадійним під час обробки зі значною інтенсивністю коливань. І, крім того, значна поверхня складної форми, що контактує з робочим середовищем, не могла бути надійно покрита пружним матеріалом, що неминуче призводило до зниження якості обробки.

Схожа конструкція була запропонована розробниками в США, що зафіксовано в патенті №495640 (US) «Drum polishing apparatus» (рис. 82) [114].

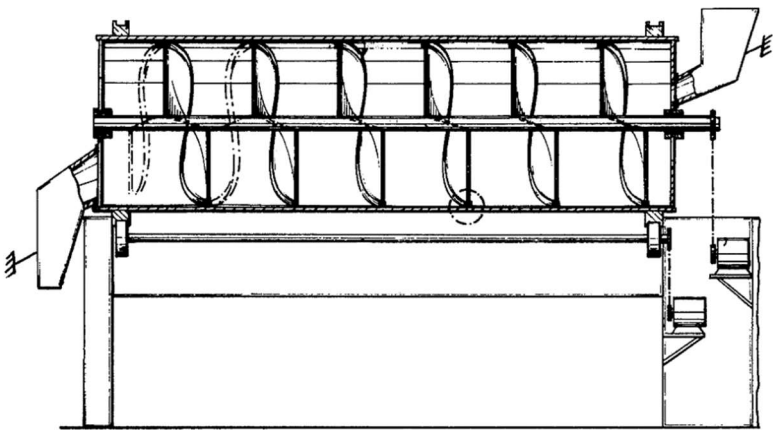


Рис. 82. Верстат для безперервної вібраційної обробки

Для зміцнювальної вібраційної обробки такий верстат був непридатний, оскільки він не давав змоги обробки на жорстких режимах.

В роботі [115] було запропоновано конструкцію верстата прохідного типу з навісними контейнерами, вишикуваними у формі кільця (рис. 83) (прототип – верстат, конструкція якого була запропонована у патенті №1023690 (GB) «Improvements in or relating to vibrational devices for the surface working of small components»). Надалі цей верстат став провісником цілого класу верстатів із тороїдальним контейнером.

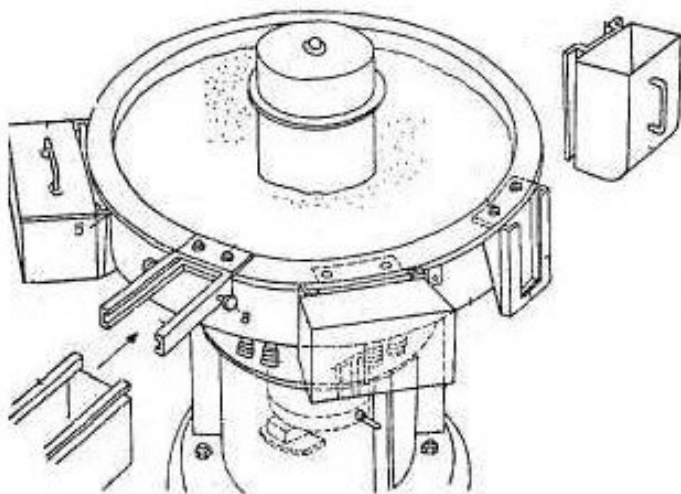


Рис. 83. Вібраційний верстат із тороїдальним контейнером

Контейнер у цьому верстаті був виконаний у вигляді окремих горизонтальних секцій, з'єднаних між собою вікнами. Передбачалося, що така конструкція верстата дасть змогу застосовувати різні хімічні розчини. Тобто кожен розчин заливався в окрему секцію і повинен залишатися в ній, а абразивні гранули і оброблювані деталі переміщалися через вікна. Природно, такий поділ був неможливим, абразивне середовище змішувало розчини. Крім того деталі могли застрягати в нижній частині контейнера перед вікнами.

З огляду на складність і недостатню ефективність ранніх конструкцій, в роботі [116] було запропоновано спрощений варіант верстата прохідного типу (рис. 84) для обробки крихких деталей.

У такому верстаті деталі поміщали в контейнер у кінець, протилежний тому, на якому було встановлено механізм вивантаження. Передбачалося, що деталі, переміщаючись у робочому середовищі від однієї торцевої стінки до іншої, потім потраплять у механізм вивантаження. Однак це було практично неможливо, оскільки запропонований верстат не був розрахований на створення режиму вібротранспортування, а без

наявності такого ефекту в робочому середовищі рух деталі вздовж стінок контейнера має випадковий характер. Сьогодні відомо, що деталі в процесі обробки прагнуть зайняти місце, в якому вплив коливань на них найменший, а дрібні та середні деталі не схильні до поздовжнього переміщення, на відміну, наприклад, від довгомірних. Крім того, механізм вивантаження забезпечувався окремим вібробуджувачем, який запускався в протифазі з основним, що мало знизити навантаження і забезпечити збереження деталей, що природно зменшувало ефективність і знижувало продуктивність.

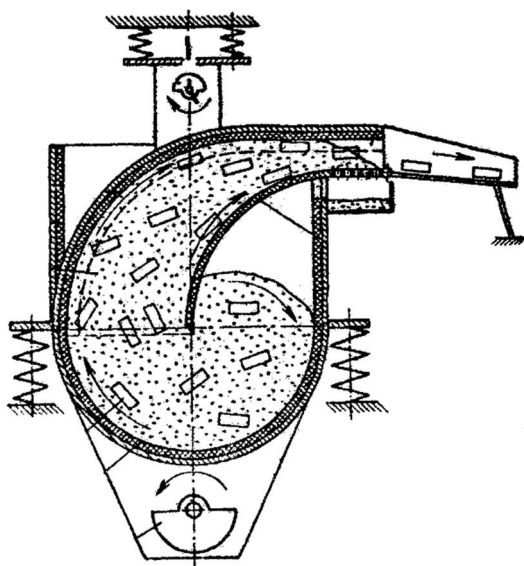


Рис. 84. Вібраційний верстат прохідного типу

Подальше вдосконалення методу вібраційної обробки на верстатах прохідного типу пішло шляхом ускладнення конструкції верстатів.

Пропонувалися різні рішення, наприклад, із закріпленням деталі і за кільцьованим рухом робочого середовища. Верстат, зображений на рис. 85 [117], забезпечувався замкнутою системою подачі робочого

середовища. Він містив накопичувальну ємність, механізм підйому робочого середовища, рівень якого регулювався клапаном, а деталі закріплювалися в контейнері.

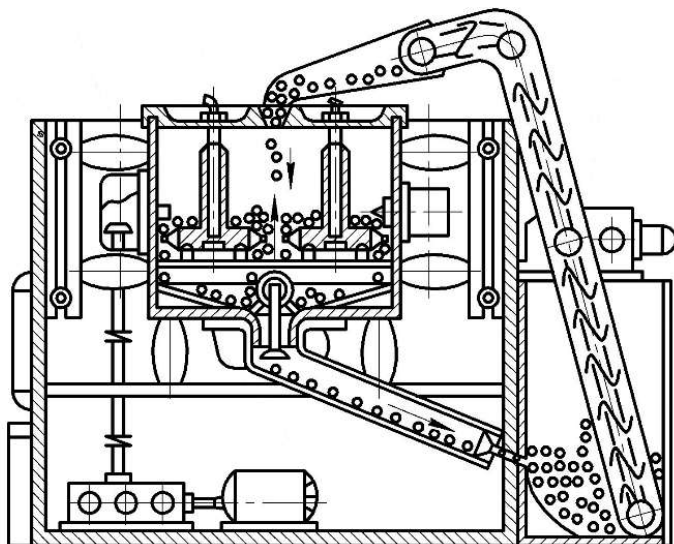


Рис. 85. Верстат для вібраційної обробки із замкнутою системою подачі робочого середовища

Недоліком цього верстата було те, що він був конструктивно ускладнений наявністю значної кількості допоміжних пристроїв: накопичувальної ємності, механізму підйому робочого середовища, клапана. Надійність цих пристроїв була їхнім слабким місцем, що негативно позначалося на експлуатаційних якостях.

В роботі [118] було запропоновано верстат, зображений на рис. 86, який мав провести повну автоматизацію процесу вібраційної обробки деталей під час переходу на нову операцію. Галуззю застосування такого верстата мала стати гнучка виробнича система, тобто автори зробили спробу створення універсального обладнання з властивостями обробних центрів.

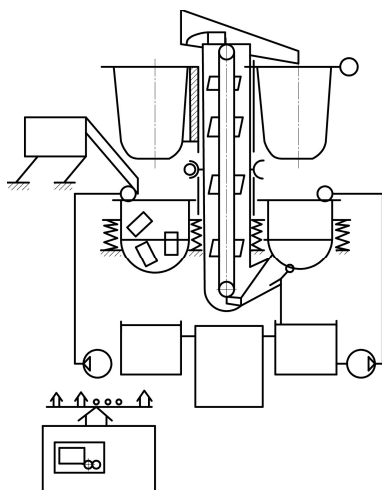


Рис. 86. Універсальний верстат із обробними центрами

Недоліки такої схеми пов'язані насамперед з її новизною, адже на той момент поширеність обладнання такого типу була вкрай малою, був відсутній досвід його практичного застосування, що зумовлювало його ненадійність. Крім того, обробці в повністю автоматизованому режимі могли піддаватися переважно дрібні або середні деталі, які повинні були мати однакові розміри. Під час обробки одночасно кількох деталей вони могли створювати проблеми переходу з одного контейнера в інший.

Наприкінці двадцятого століття стало зрозуміло, що за потокового автоматизованого масового виробництва вібраційна обробка у верстатах періодичної дії виявилася недоцільною, оскільки при цьому виникала необхідність створення проміжних складів заготовок, міжопераційних складів і складів готової продукції, а також введення проміжних операцій пасивування, сушіння та ін., що призводило до зайвих трудовитрат і вимагало збільшення виробничих площ. Для зазначених умов найбільш прийнятними виявилися вібраційні верстати прохідного типу, які давали змогу обробляти потік деталей поштучним

завантаженням у робочий контейнер вібраційного верстата з безперервною подачею деталей після обробки.

Перші зразки такого обладнання не мали великих відмінностей від простих прохідних схем. Спроба обробляти одну деталь спочатку проводилася на верстатах прохідного типу, які спочатку розроблялися для обробки великої кількості деталей потоковим способом. Приклад такого верстата представлений на рис. 87.

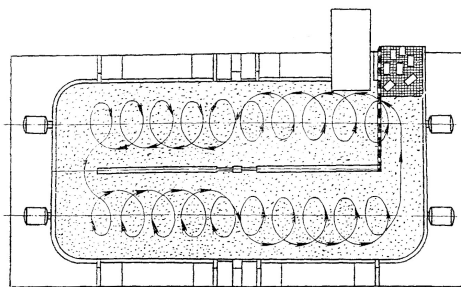


Рис. 87. Вібраційний верстат прохідного типу для обробки великої кількості деталей потоковим способом

Передбачалося завантажувати одну деталь, потім наступну, утворюючи послідовний потік. Однак розробники не врахували проблеми перших верстатів прохідного типу і зіткнулися з тими ж труднощами. Був відсутній ефект вібротранспортування, і якщо деталі середніх розмірів теоретично могли здійснювати поздовжній рух, то дрібні деталі, звісно, ні.

Розуміючи цю проблему, в Японії було запропоновано вдосконалений вібраційний верстат із горизонтальною віссю (рис. 88) [119]. У цьому верстаті для вивантаження деталей використовувалася спеціальна крильчатка, яка під час роботи оберталася. Крім основного завдання - приймання деталей, вона повинна була додатково впливати на робоче середовище, повідомляючи йому поздовжні імпульси. Ефективність такого рішення має спірний характер, оскільки крильчатка не

могла забезпечити рівномірність поздовжнього руху деталей по всьому контейнеру, але сама ідея надання середовищу додаткового поздовжнього руху за допомогою механічних пристроїв надалі показала свою ефективність.

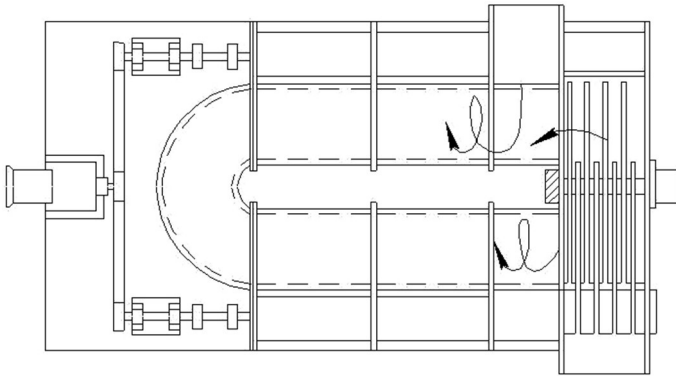


Рис. 88. Вібраційний верстат із горизонтальною віссю

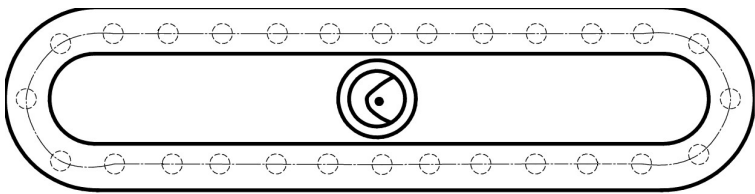


Рис. 89. Тороїдальний верстат із замкнутим контейнером

В роботі [120] японські інженери запропонували інший верстат із замкнутим контейнером для обробки довгомірних деталей (рис. 89). Цей верстат був із замкнутим контейнером і з окремим механізмом вивантаження деталей. Його ефективність була вищою, ніж у попередньої моделі, за рахунок форми, а головне правильно обраних поперечних розмірів контейнера щодо поперечного розміру самої деталі. На той час уже стало відомо, що для ефективної обробки деталі відстань від неї до

стінок контейнера не повинна бути меншою, ніж три лінійні розміри гранул, у яких її обробляють, а інколи таке співвідношення було оптимальним і сприяло стабільності циркуляційного та поздовжнього потоку робочого середовища.

Перше ефективне обладнання прохідного типу, що поєднувало в собі більшість принципів і властивостей, які використовуються під час проектування прохідного обладнання і сьогодні, було запропоновано фірмою Walther-trowal. Цією фірмою було створено автоматизований вібраційний верстат прохідного типу (рис. 90), що складався з таких основних вузлів: контейнера, вібросити, скребкового конвеєра, апарату керування.

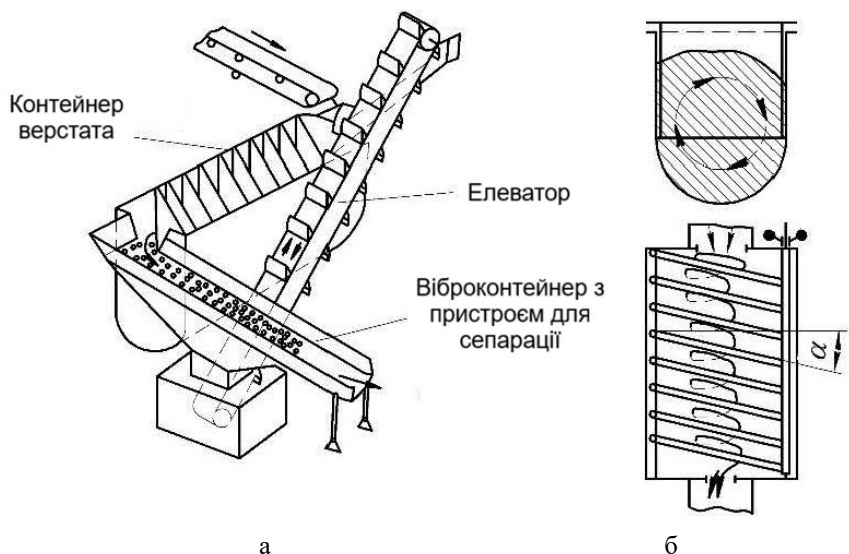


Рис. 90. Принципова схема верстата прохідного типу фірми Walther-trowal (а) та схема механізму подавання (б)

Прообраз цього автоматизованого комплексу був запропонований в патенті № 896892 (CA) «Sonic polishing apparatus» (рис. 91) [79].

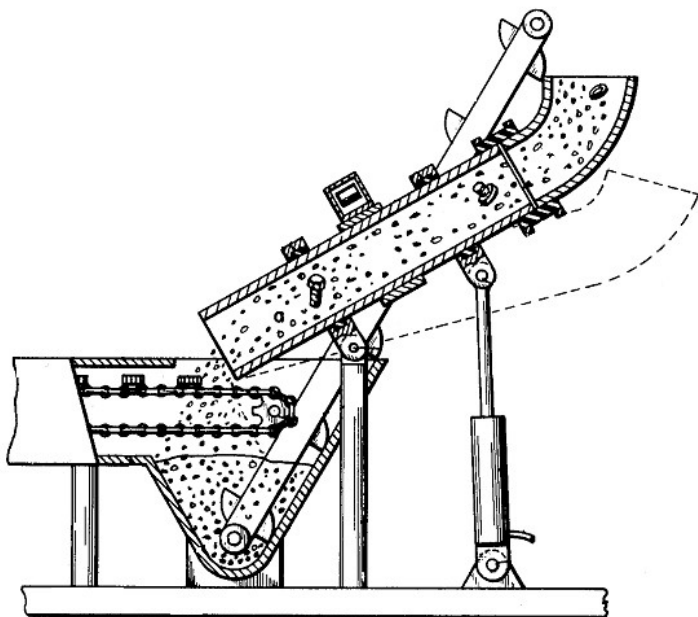


Рис. 91. Вібраційний верстат прохідного типу

У результаті похилого положення контейнер здійснював складний коливальний рух, завдяки чому робоче середовище переміщалося від одного торця контейнера до іншого, здійснюючи гвинтоподібний рух. Режими коливань підбирали таким чином, щоб повний цикл обробки закінчувався в момент підходу деталі до протилежного торця контейнера, де маса вивантажувалася через люк у торці, потрапляла на вібро-сито, яке відокремлювало деталі від гранул робочого середовища. При цьому останній потрапляв на скребковий конвеєр, що повертає робоче середовище знову в контейнер. Одночасно з ним у контейнер безперервно подавалися заготовки. Регулювання циклу здійснювалося апаратом управління. Верстат призначався для масового виробництва.

Недоліком цього верстата, крім наявності великої кількості допоміжного обладнання, можна вважати той факт, що режими роботи верстата залежали від потрібної швидкості транспортування, що знижувало продуктивність.

Паралельно з розвитком обладнання прохідного типу розвивалося обладнання, в якому деталь також здійснювала додатковий рух у контейнері, проте в таких верстатах вона подавалася за конвеєрним принципом.

Застосування верстатів такого типу насамперед передбачалося для обробки дрібних деталей. Одним із перших верстатів такого типу можна вважати конструкцію, запропоновану в патенті №138170 (US) «Vibratory finishing apparatus with a helical and tubular container» (рис. 92) [121].

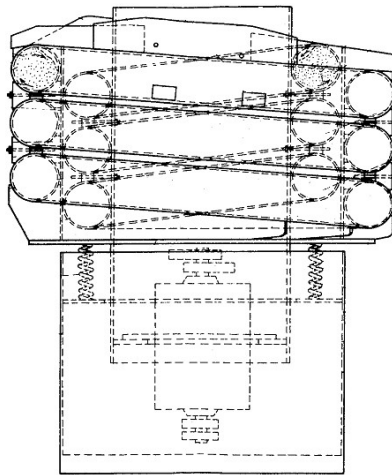


Рис. 92. Тороїдальний верстат для обробки дрібних деталей

У цей верстат плоскі дрібні деталі типу кришок годинників подавалися на спеціальній стрічці. Це забезпечувало рівномірність обробки всіх деталей і давало змогу контролювати час обробки.

Недолік цього верстата полягав у тому, що стрічка йшла дуже щільно, могла застрягати і вимагала постійного натягу.

Досить складне, але цікаве рішення було запропоновано П.С. Берником (рис. 93) [122]. Його вібраційний верстат призначався для обробки дрібних деталей і складався із замкненої стрічки, на яку закріплювали деталі, а також контейнера, в якому торцеві стінки були двома дисками, а роль бічних стінок виконувала сама стрічка для транспортування, яка, охоплюючи диски, створювала контейнер циліндричної форми. Особливості такої конструкції зумовили її недоліки, перший з яких полягав у недостатній герметичності контейнера, розчин міг легко просочуватися в місцях контакту стрічки та диска, крім того, вузли верстата, зокрема стрічка та диски зазнавали підвищених навантажень. Але саме застосування пристроїв, які повідомляли додаткові коливання стрічці, і справляло негативний ефект, оскільки коливання, створювані ними, негативно позначалися на надійності механізму стрічки.

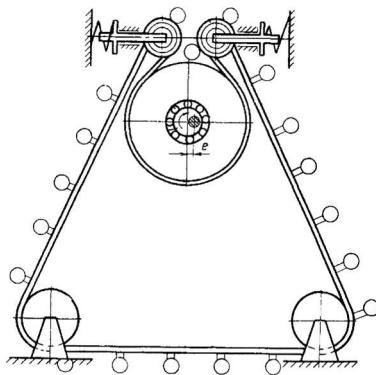


Рис. 93. Вібраційний верстат для обробки дрібних деталей

Пізніше було запропоновано простішу і відповідно надійнішу схему обробки деталей із закріпленням їх на стрічці (рис. 94) [123]. У цьому верстаті стрічка використовувалася тільки як засіб для транспортування деталей у контейнер.

Весь цикл закріплення деталей, введення їх у робочу зону, виведення і зняття із захватів здійснювався в процесі роботи верстата.

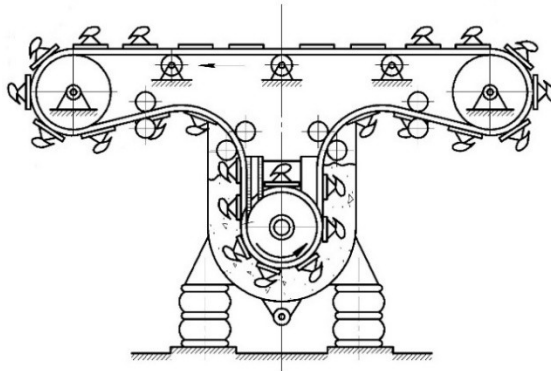


Рис. 94. Вібраційний верстат із механізованою подачею деталей у робочу зону

Природно, відсутність автоматизованого завантаження і вивантаження деталей не влаштовувала замовника. Вирішення цієї проблеми було запропоновано у верстаті, зображеному на рис. 95 [124].

Верстат відрізнявся від раніше запропонованих тим, що механізм, який забезпечує обертання стрічки, був ще більш спрощеним і складався з двох барабанів, а для автоматизованого подавання і зняття деталей зі стрічки призначалися спеціальні пристрої.

З огляду на те, що стрічковий механізм подачі деталі не є простим, пропонувалися верстати з просторовим конвеєром [17]. Приклад такого верстата показано на рис. 96, він призначався для обробки деталей у середовищі вільних абразивів вібраційним способом і містив розташований над контейнером уздовж його поздовжньої осі просторовий конвеєр для введення та виведення підвішених на ньому деталей.

Таке рішення було зручним у разі інтеграції операції вібраційної обробки у виробничий цикл, верстат ставав ще однією ланкою в довгому конвеєрному ланцюзі, для цього його додатково забезпечували

похилими рольгангами в місцях завантаження та вивантаження деталей.

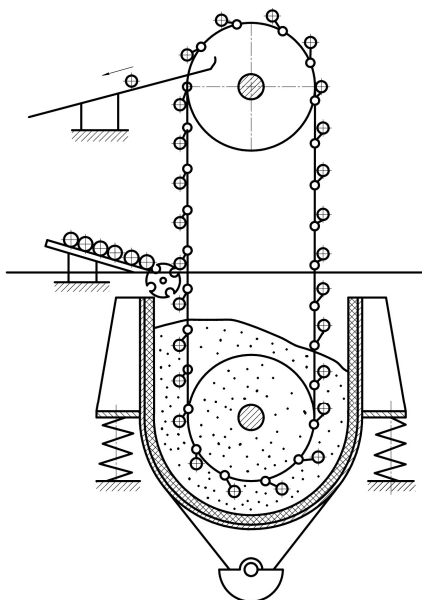


Рис. 95. Вібраційний верстат зі стрічковим механізмом

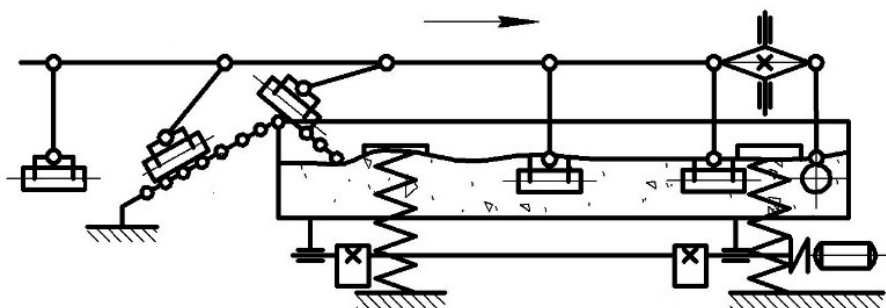


Рис. 96. Вібраційний верстат із просторовим конвеєром

До загального недоліку для прохідного обладнання, в якому деталь подається в контейнер спеціальними пристроями, можна віднести підвищені навантаження на сам механізм транспортування, чи то стрічка, чи то спеціальні захвати для деталей.

У сучасному виробництві широко застосовуються як верстати прохідного типу, так і верстати зі стрічковою подачею деталі (рис. 97). Верстати зі стрічковою подачею деталі в наш час являють собою досить оригінальні конструкції.



Рис. 97. Сучасний верстат зі стрічковою подачею

Верстати прохідного типу зазвичай являють собою обробні комплекси, які, як і у випадку з верстатами, призначеними для обробки довгомірних деталей, дають змогу здійснити повний цикл

оздоблювально-зачисних операцій (рис. 98). Своє застосування знайшли верстати з просторовим конвеєром (рис. 99) [120].



Рис. 98. Сучасний вібраційний верстат конвеєрного типу



Рис. 99. Сучасний вібраційний верстат із просторовим конвеєром

В цілому вібраційні верстати конвеєрного типу характеризуються високою продуктивністю обробки за рахунок того, що обробка здійснюється у безперервному режимі.

Особливо ефективними верстати конвеєрного типу є при обробці дрібних та середніх деталей. Тим не менш, незалежно від рівня механізації та автоматизації верстата, вплив конструкції контейнера на продуктивність обробки має вирішальне значення [120].

4.2.3. Дослідження особливостей обробки в верстатах з контейнером торіодального типу, у віброшпиндельних та вібротурбоабразивних верстатах

Як відомо, однією з найпоширеніших форм контейнера є U-подібна, яка, якщо дивитися зверху, є прямокутником, верстати з таким контейнером докладно розглядалися нами в попередніх розділах. Така форма контейнера дає змогу обробляти деталі найрізноманітніших типів. На перших етапах розвитку такі контейнери влаштовували більшість технологів. Пізніше, з розвитком обладнання прохідного типу, було виявлено особливість цих контейнерів - відсутність ефекту вібротранспортування без створення спеціальних умов. Для створення такого ефекту застосовують розбалансовані віброзбуджувачі, що дає змогу створювати ефект вібротранспортування, але водночас виникає скручувальний момент в оболонці контейнера, що вимагає підвищення його жорсткості. Другим способом створення такого ефекту є нахил контейнера відносно його поздовжньої осі, за якого робоче середовище прагне до опущеної частини контейнера, що потребує введення додаткових допоміжних пристроїв із повернення робочого середовища до протилежного боку контейнера. Третій спосіб – застосування спеціальних пристосувань, які, як правило, механізовані або автоматизовані. У більшості випадків такі пристосування розташовуються всередині контейнера і відповідно зменшують його корисний об'єм.

З огляду на вищеописану проблему, конструктори намагалися вирішити її простішим шляхом, що призвело до створення нового типу верстатів.

Для створення ефекту вібротранспортування і загальної інтенсифікації процесу обробки за рахунок форми контейнера та одночасного скорочення виробничих площ було розроблено верстати з контейнером, що за формою нагадують тор (рис. 100).



Рис. 100. Сучасний верстат тороїдального типу

Перший тороїдальний верстат розроблено компанією Roto Finish Co, патент №3400495 (US) «Finishing apparatus having horizontal curvilinear chamber» [24] (рис. 101).

Також одна з перших конструкцій верстатів такого типу була запропонована в роботі [25] (рис. 102). Цей верстат створювався з метою інтенсифікації процесу обробки деталей з одночасним полегшенням автоматизації та налагодження. Для цього верстат мав контейнер, який був виконаний циліндричним з вертикальною віссю, а дебалансний вал утримувався під регульованим кутом до осі контейнера. Вал шарнірно

закріплювався на столі і мав на своїх кінцях неврівноважені вантажі, зміщені відносно один одного.

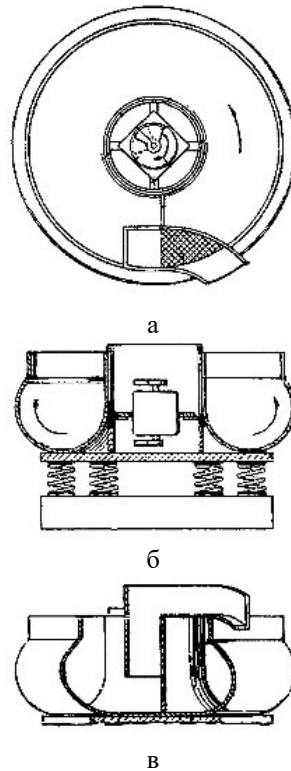


Рис. 101. Тороїдальний вібраційний верстат:
а – вид зверху; б – вид спереду; в – вид збоку

У 90-х роках 20 століття та на початку 21 століття деталі, які раніше не піддавалися вібраційній обробці, почали успішно оброблятися вібраційним методом, наприклад, почали обробляти дрібні деталі, зокрема і у вигляді голок.

Приклад верстата, який був розроблений спеціально для обробки деталей типу голок, наведено на рис. 103.

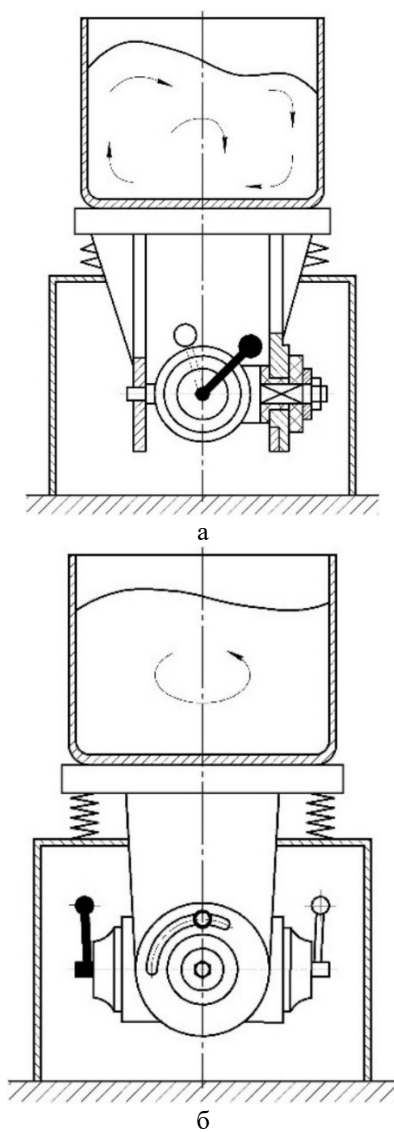


Рис. 102. Верстат з ефектом вібротранспортування:
а – вид спереду; б – вид збоку

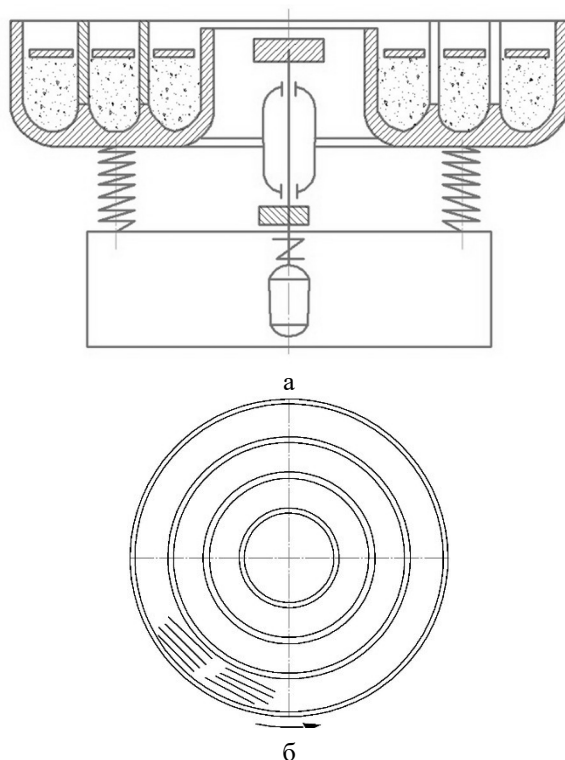


Рис. 103. Вібраційний верстат для обробки деталей типу голок:
а – конструктивна схема верстата; б – схема руху голок

Деталі завантажували в контейнер таким чином, щоб хвостова частина голок була спрямована вперед за рухом завантаження. Для інтенсифікації процесу на робоче середовище чинився додатковий тиск, який створювався кільцевими вантажами. Після навантаження деталей за вищеписаним принципом, на зовнішній поверхні робочого середовища розміщували кільцеві вантажі, форма яких у поперечному перерізі була ідентична формі поперечного перерізу кожної окремої секції контейнера. Потім верстат запускали, і проводили обробку. Деталі суворо орієнтувалися в просторі і легко оброблялися.

В роботі [55] було запропоновано модель верстата для обробки дрібних деталей. У запропонованій конструкції з метою підвищення продуктивності завдяки безперервній зміні положення неврівноважених мас у просторі верстат був оснащений розміщеною на ведучій шестерні неврівноваженою масою, а блок шестерень було виконано у вигляді трьох конічних шестерень, кінематично пов'язаних між собою і ведучою шестернею за допомогою введеної у пристрій, вільно встановленої на ведучому валу та пружно пов'язаної з корпусом маточини з водилом, що розташовувалося перпендикулярно до осі валу (рис. 104). При цьому одна з ведених шестерень вільно встановлювалася на маточині, а дві інші на водилі. Така конструкція не набула широкого поширення, що, найімовірніше, пов'язано з наявністю блоку зубчастих шестерень, робота яких за наявності постійних коливань досить ускладнена.

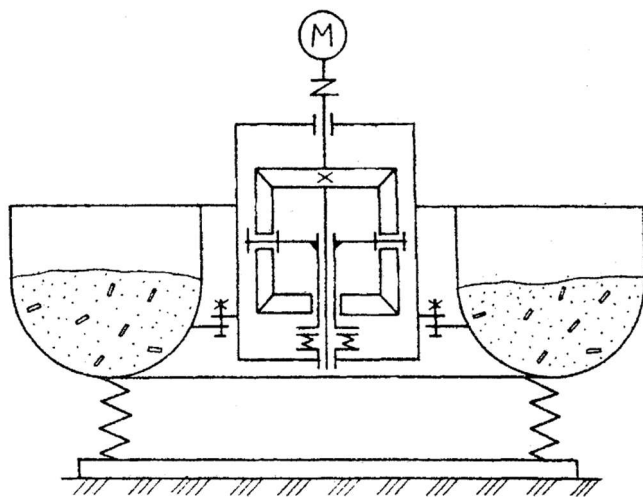


Рис. 104. Тороїдальний вібраційний верстат для обробки дрібних деталей

В роботі [57] було запропоновано вібраційний верстат з контейнером тороїдального типу, що здійснював низькочастотні коливання, в якому з метою підвищення продуктивності процесу обробки за рахунок

інтенсифікації перемішування компонентів робочого середовища пропонувалося використовувати контейнер особливої форми, що ускладнює траєкторію його руху. Верстат призначався для оздоблювально-зміцнювальної обробки деталей машин і приладів (рис. 105), але інформація про практичне впровадження такого верстата відсутня, він так і залишився на рівні патентної розробки.

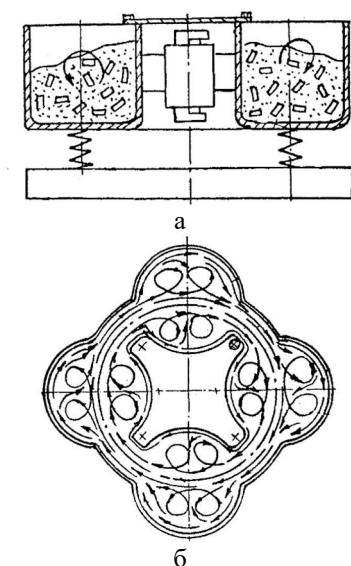


Рис. 105. Вібраційний верстат із контейнером тороїдального типу, що здійснює низькочастотні коливання:
а – схема верстата; б – схема коливань

Сьогодні вібраційні верстати з контейнером тороїдальної форми є ефективним обладнанням, яке найчастіше застосовується для обробки дрібних і середніх деталей. Вони, як правило, забезпечуються пристроями подачі деталей, розвантаження і відділення від робочого середовища. Приклад сучасного верстата показано на рис. 106 [124]. Вдале співвідношення розмірів самого верстата за одночасного забезпечення

необхідної тривалості обробки деталі є запорукою їхньої популярності серед виробників. Але як тільки виникає необхідність обробки більших деталей, більшість виробників повертається до використання контейнера прямокутної форми.



Рис. 106. Сучасний верстат тороїдального типу R011

Ще одним різновидом вібраційного методу, в якому часто застосовуються контейнери циліндричного або тороїдального типу, є віброшпиндельна обробка. Розглянемо більш детально розвиток верстатів цього типу.

Існує низка деталей, які для ефективної обробки потребують закріплення, крім того, під час закріплення деталі їй можна задати додатковий рух, наприклад, змусити її обертатися в протилежному напрямку відносно робочого середовища або забезпечити її переміщення в усіх зонах контейнера, що також важливо, оскільки інтенсивність обробки в різних частинах контейнера неоднакова.

Один із перших верстатів такого типу було розроблено в роботі [58] (рис. 107). Його конструктивне виконання було досить простим. Верстат, по суті, складався з двох окремих верстатів – вібраційного і свердлильного. Деталь 3 закріплювали в патроні 2 свердлильного

верстата, завдяки чому їй надавали обертальний рух, і потім занурювали в робоче середовище контейнера 1, де й відбувалася обробка.

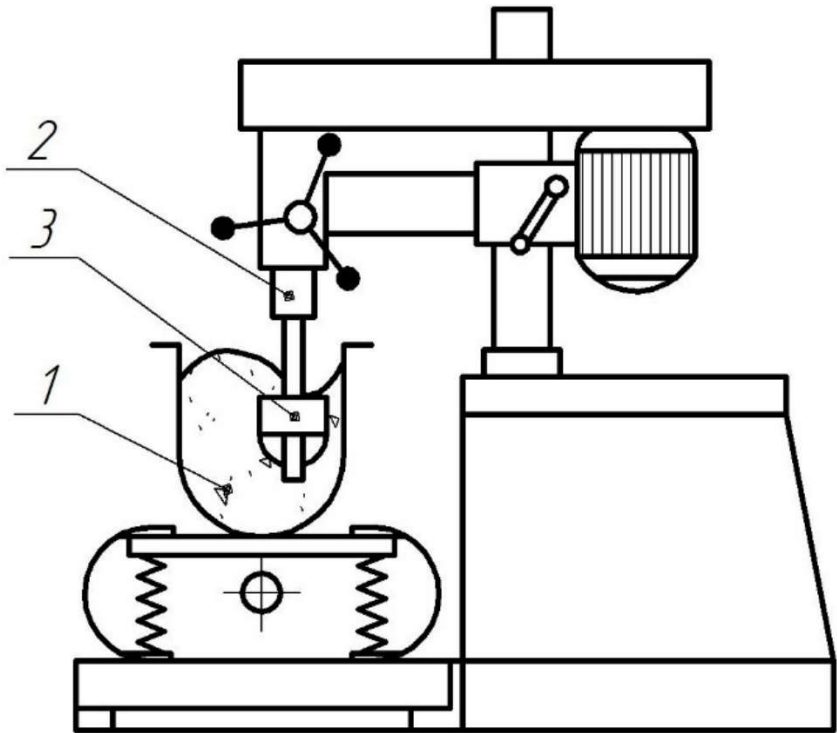


Рис. 107. Шпиндельний вібраційний верстат:
1 – контейнер з абразивом; 2 – патрон свердильного верстата; 3 – деталь

Незважаючи на простоту такого рішення, воно є досить ефективним, і більшість сучасних верстатів такого типу ґрунтуються на цьому принципі. Він лежить в основі загальної принципової схеми віброшпиндельної обробки, тому що в кожному такому верстаті є вібраційний контейнер і шпиндель, до якого закріплюється деталь або пристосування для одночасного оброблення кількох деталей.

Одну з перших зарубіжних конструкцій віброшпиндельного верстата було розроблено в роботі [59] (рис. 108).

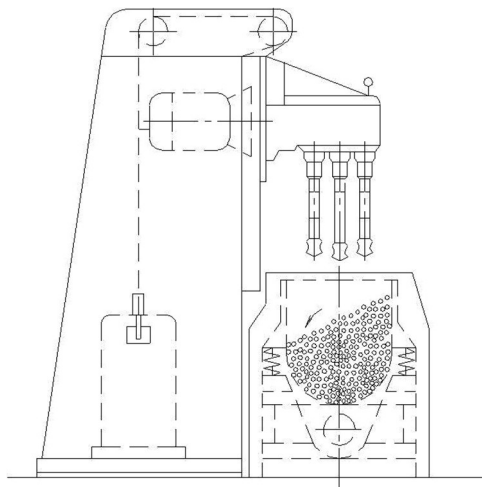


Рис. 108. Віброшпиндельний верстат із коливальним рухом деталей, що обробляються [59]

В роботі [60] було запропоновано верстат, показаний на рис. 109, у якому деталь закріплювали в спеціальному маніпуляторі, який давав змогу розгортати її під кутом до вертикалі, і додавав їй обертальний рух. Така конструкція мала дозволити обробляти важкодоступні поверхні складних тендітних деталей, а також механізувати процес завантаження і вивантаження деталей.

Пізніше були розроблені віброшпиндельні верстати, в яких механізм закріплення і обертання деталі був інтегрований у конструкцію самого верстата. Такий верстат був розроблений в роботі [51]. Його конструктивну схему наведено на рис. 110. Метою запропонованого рішення було збільшення продуктивності обробки шляхом повідомлення деталі обертання навколо вертикальної осі контейнера.

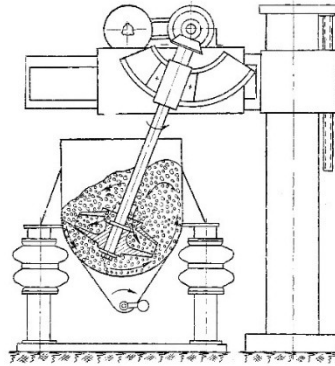


Рис. 109. Віброшпиндельний верстат із обертальним рухом деталей, що обробляються [60]

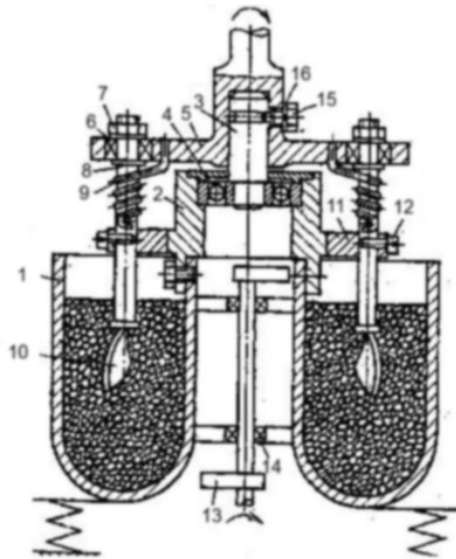


Рис. 110. Вібраційний верстат, в якому забезпечується обертальний рух деталі, що обробляється, навколо вертикальної осі контейнера:

- 1 – контейнер; 2 – опорна втулка; 3 – шток; 4 – підшипники;
- 5 – зовнішня втулка; 6 – підшипники; 7 – гайка; 8 – кільце;
- 9 – робоча пружина; 10 – деталь, що обробляється; 11 – шайба; 12 – гвинт;
- 13 – дебаланс; 14 – підшипники; 15 – стопорна шайба; 16 – гвинт

Сучасні розробки у сфері шпиндельного обладнання спрямовані на підвищення продуктивності обробки, а також на розширення переліку деталей, що піддаються обробці таким способом [123].

На рис. 111 показано конструкцію верстата, метою якого було підвищення ефективності процесу обробки та розширення діапазону форм оброблюваних деталей, які через свою крихкість не могли оброблятися внавал. Для цього у верстаті для віброшпиндельної обробки деталі встановлювали в П-подібних пластинах, які закріплювали у шпиндельних пристроях, і вони дозволяли їм вільно обертатися. Завдяки цьому, під дією напору циркуляційного руху робочого середовища деталям забезпечувався додатковий рух і, відповідно, підвищувалася загальна продуктивність процесу.

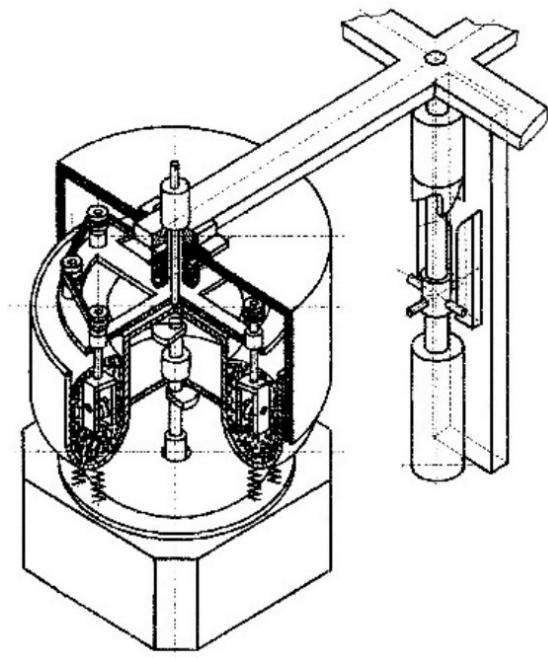


Рис. 111. Віброшпиндельний верстат для обробки крихких деталей

Сьогодні вібраційна обробка на віброшпиндельних верстатах є широко поширеним методом фінішної обробки (рис. 112) [121]. Рух, що забезпечується шпинделем і повідомляється деталі, має досить складний характер. Деталь може обертатися навколо своєї осі, здійснювати кругове переміщення відносно вертикальної осі контейнера і також переміщатися відносно горизонтальної осі контейнера. Часто всі ці переміщення поєднуються, що позитивно позначається на продуктивності процесу, крім того, забезпечується проходження деталі через усі зони контейнера.

Виділився окремий клас шпиндельного обладнання, в якому контейнер не здійснює коливань, що спрощує конструкцію і робить верстат дешевшим. Однак відсутність коливань також може надавати і негативний ефект, оскільки поверхня деталі може мати спрямовану мікроструктуру.



Рис. 112. Сучасний віброшпиндельний верстат МК-111

Іншим різновидом високопродуктивної обробки вільними абразивами із застосуванням вібрації є турбоабразивна обробка.

Турбоабразивна обробка на сьогоднішній день є самостійним напрямком оздоблювально-зачисної обробки зі своїми закономірностями і результатами. Основи створення цього методу обробки виникли на початку 80-х років 20 століття. Спосіб заснований на використанні техніки псевдозрідження сипучих матеріалів і полягає у створенні абразивного киплячого (псевдозрідженого) шару, в який занурюють оброблювану заготовку, задаючи залежно від її форми різні види руху (обертальний, планетарний та ін.).

Киплячий шар абразивних зерен створюють так (рис. 113): у ємність циліндричної або прямокутної форми 1, дном якої слугує спеціальна газорозподільна решітка 2, намагають шар абразивних зерен 3 (рис. 113, а), потім через решітку подають від низу до верху потік повітря. За малої швидкості повітряного потоку шар залишається нерухомим, поступове збільшення швидкості призводить до врівноваження твердих частинок силою гідродинамічного тиску, при цьому шар розширюється (рис. 113, б), стає в'язким і текучим, тобто набуває властивостей рідини.

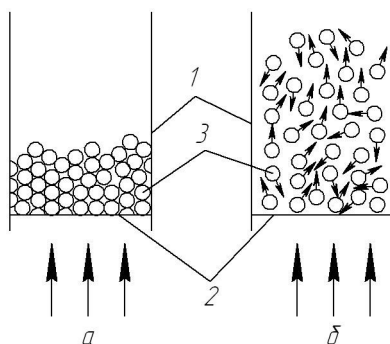


Рис. 113. Створення киплячого шару абразивних зерен:
 1 – ємність циліндричної або прямокутної форми;
 2 – газорозподільна решітка; 3 – шар абразивних зерен;
 а – початкове положення абразивних зерен;
 б – схема утворення киплячого шару

При подальшому збільшенні швидкості повітряного потоку зерна починають здійснювати пульсаційні переміщення у вертикальному і горизонтальному напрямках, інтенсивно перемішуючись унаслідок турбулентності повітряного потоку. Під час зіткнення зерна отримують обертання, яке є причиною виникнення поперечної сили, що переміщає їх перпендикулярно до напрямку повітряного потоку і є джерелом хаотичного руху в киплячому шарі.

У такий киплячий шар абразивних зерен можна помістити заготовку будь-якої конфігурації, і під час зіткнення зерен із поверхнею заготовки знімання металу відбуватиметься шляхом мікрокрізання або втомного руйнування. Малі швидкості руху зерен у киплячому шарі (0,1-0,5 м/с) і малі сили зіткнення обумовлюють низькотемпературний характер процесу, а велике число зіткнень зерен з кожною ділянкою поверхні заготовки - отримання однорідного мікрорельєфу поверхні. За нерухомої заготовки, зануреної в киплячий шар, інтенсивність знімання металу дуже мала, і такий процес економічно неефективний.

Всебічне дослідження якості поверхні показує, що турбоабразивна обробка дає змогу отримувати однорідний мікрорельєф із доволі малою шорсткістю без внесення будь-яких негативних змін у поверхневому шарі металу.

У той самий час, аналізуючи вібраційну обробку деталей, дослідники неодноразово зазначали, що поява залиплених шарів робочого середовища в контейнері під дією коливань значно знижує продуктивність процесу обробки.

Дуже часто в процесі розв'язання задачі, наприклад, виключення негативного впливу сил прилипання, що виникають у момент відриву обробного середовища від стінок контейнера, у конструкторів виникають ідеї щодо вдосконалення відомого вібраційного обладнання, які настільки змінюють процес, що перетворюються на окремий клас обладнання.

В роботі [78] для обробки деталей машин і приладів було розроблено вібраційний верстат, у контейнер якого здійснювали подавання пульсуючого повітря під тиском, причому подавання здійснювали синхронно, у момент відриву оброблювального середовища й оброблюваних деталей від зовнішніх стінок контейнера (рис. 114).

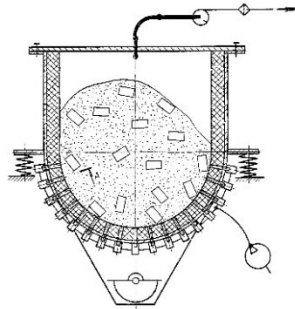


Рис. 114. Вібраційний верстат з подачею пульсуючого повітря

В роботі [79] було запропоновано вібраційний верстат, завдання якого було таким самим, як і попереднього, - виключення негативного впливу сил прилипання, що виникають у момент відриву оброблювального середовища від стінок контейнера, і підвищення продуктивності процесу (рис. 115). Крім системи централізованої подачі стисненого повітря в момент відриву оброблювального середовища від відповідної зони стінок вібруючого контейнера, його забезпечували спеціальним вентилятором, який відсмоктував із внутрішньої порожнини контейнера повітря разом із продуктами зносу. Повітря і продукти зносу, зібрані вентилятором, потім проходили через спеціальний очисний фільтр і йшли в атмосферу.

За результатами досліджень, наведених в даному розділі монографії, можна зробити наступні висновки:

При поліруванні оптимальним режимом руху абразивного матеріалу та деталей є перекочування, що супроводжується інтенсивним

взаємним тертям між деталями та абразивом без удару, що забезпечує низьку шорсткість оброблюваних поверхонь деталей.

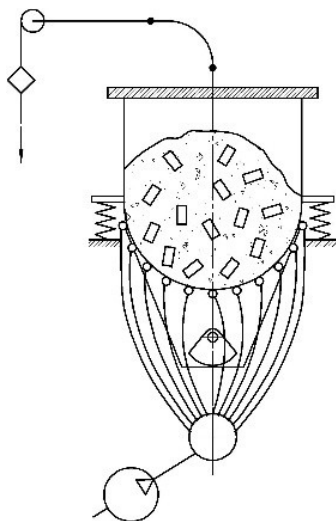


Рис. 115. Вібраційний верстат, обладнаний системою подачі стисненого повітря

При виконанні операцій суперфінішування або тонкого шліфування найбільш сприятливим режимом руху абразивного матеріалу та деталей з точки зору оптимальної продуктивності обробки є вихровий рух, що супроводжується інтенсивним співударянням між частками абразиву та деталями, що піддаються обробці.

Найбільша продуктивність вібраційної обробки в верстатах загального призначення та у спеціальних верстатах, незалежно від режиму руху абразивного матеріалу та деталей, що обробляються, досягається при використанні U-образних контейнерів. При русі абразивного матеріалу та деталей у режимі перекочування такі контейнери забезпечують найбільш ефективну передачу коливань. При русі абразивного матеріалу та деталей у вихровому режимі з ударом U-образні контейнери забезпечують найбільш прості умови створення такого режиму руху.

5. РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРОЦЕСУ ВІБРАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ

5.1. Вдосконалення конструкції контейнерів з метою підвищення продуктивності вібраційної обробки

У ГНДЛ «ОВА» СНУ ім. В. Даля на підставі тривалих досліджень було визначено сім узагальнюючих факторів. Даля на підставі тривалих досліджень було визначено сім узагальнюючих чинників, які впливають на отримання технологічного ефекту вібраційної обробки [70, 85, 86, 87]:

1) вихідний стан заготовки та кінцева мета обробки (метод отримання, матеріал, фізико-механічні властивості заготовки, стан поверхневого шару, форма та розміри деталі);

2) режими руху (характер коливань контейнера, траєкторії його руху, амплітуда і частота коливань);

3) конструктивні особливості контейнера (форма, об'єм контейнера, наявність пристосувань);

4) робочі середовища (абразивні гранули з певними характеристиками, наявність рідких розчинів);

5) хімічна, електрохімічна, електрофізична інтенсифікація процесу вібраційної обробки;

6) конструктивні особливості вібраційного верстата;

7) механізація та автоматизація допоміжних операцій, таких як завантаження, вивантаження, відділення оброблюваних деталей і абразивних гранул.

Оскільки в цій монографії здебільшого йдеться про конструктивні особливості вібраційних верстатів, то в цьому розділі будуть розглянуті чинники 3, 5, 6, 7.

Досвід промислового впровадження вібраційного методу обробки показав, що іноді через конструктивні особливості деталей не досягається необхідного результату їх обробки. Це відбувалося, наприклад, у тому випадку, коли обробці піддавалися плоскі та опукло-увігнуті деталі, схильні до злипання в пакети, особливо під час застосування водних активуючих розчинів. При цьому поверхні деталей, що контактують між собою, не оброблялися, що значно знижувало і погіршувало якість оброблених поверхонь. Для виключення ефекту злипання було запропоновано верстат із контейнером (рис. 116) [10], який мав змінний поперечний переріз. Така форма контейнера сприяла зміні руху потоків робочого середовища, даючи змогу створювати пересічні потоки, що збільшувало взаємний тиск абразивних гранул і деталей. У результаті такої зміни конструкції контейнера знімання металу, порівняно зі звичайною U-подібною формою, збільшувалося на 20-30%, а час обробки скорочувався на 50-60% [115]. Особливо ефективно оброблялися плоскі тонкі деталі, які в U-подібних контейнерах мали властивість збиратися в пакети.

Вищеописана конструкція мала високу ефективність, але водночас була досить складною.

В роботі [36] з метою унеможливлення прилипання деталей, зокрема до торцевих стінок, було запропоновано верстат (рис. 117), у якому торцеві стінки контейнера розташовувалися відносно бічних стінок під кутом, що не дорівнював 90° , зі звуженням контейнера в напрямок переміщення робочого середовища. На вигляді зверху контейнер являв собою трапецію.

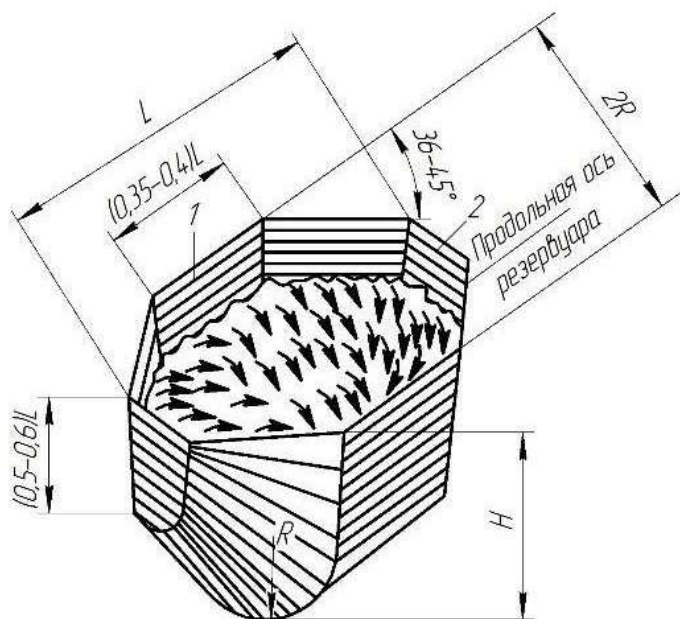


Рис. 116. Конструкція контейнера зі змінним перетином

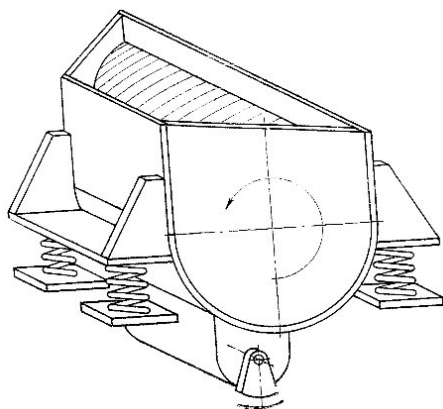


Рис. 117. Контейнер, що має форму трапеції

Пізніше було запропоновано ще більш цікаву і досить оригінальну конструкцію верстата (рис. 118) [39], в якій з метою інтенсифікації процесу контейнер у процесі роботи міг змінювати свій поперечний переріз, для цього обичайку контейнера виконували у вигляді багатогранника, грані якого з'єднували між собою шарнірами. У процесі роботи, під впливом коливань, створюваних вібробудувачем, контейнер міг змінювати контур свого поперечного перерізу, тим самим, змінюючи його площу, що приводило до послідовного накладення на робоче середовище тиску, що підвищує інтенсивність процесу. Таким чином, загальне підвищення продуктивності процесу мало забезпечуватися шляхом періодичного ущільнення робочого середовища.

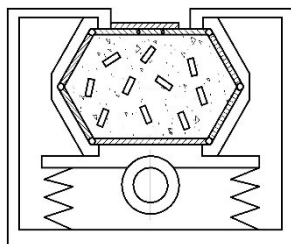


Рис. 118. Контейнер у вигляді багатогранника, грані якого з'єднані між собою шарнірами

У цей самий час було запропоновано конструкцію (рис. 119), у якій підвищення продуктивності досягалося наступним чином: торцеві стінки контейнера виконували з нахилом щодо його днища. Амортизатори розташовувалися під кутом до вертикальної осі. Вони були виконані у вигляді двох плоских гумових елементів, між якими створювався повітряний зазор.

При цьому вібробудувач розташовувався під кутом до поздовжньої осі контейнера, що повинно було дати змогу переміщати робоче середовище по колу і вздовж контейнера. А похилі стінки мали сприяти переміщенню робочого середовища по колу.

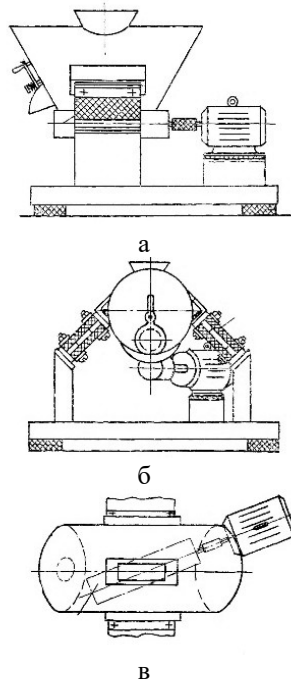


Рис. 119. Форма контейнера з усіченими стінками:
а – вид спереду; б – вид збоку;
в – схема прикладання коливань під кутом до контейнера

В роботі [40] було розроблено конструкцію, в якій передбачалося збільшувати циркуляційну швидкість маси завантаження. Для цього контейнер верстата (рис. 120) був виконаний у вигляді циліндричної обичайки. Його торцеві стінки були виконані за формою поперечного перерізу контейнера. Вони розміщувалися всередині контейнера і жорстко закріплювалися на стрижнях, при цьому контейнер забезпечувався жорстко пов'язаними з ним приводами зворотно-поступального переміщення стрижнів. Стрижні були кінематично пов'язані з кронштейнами за допомогою гвинтової передачі. Під час роботи верстата стрижні, які приводилися в дію пневмоприводами, надавали торцевим стінкам з

ребрами додатковий зворотно-поступальний гвинтовий рух, що повинно було забезпечити підвищення продуктивності оброблення завдяки наданню робочому середовищу додаткових коливальних переміщень.

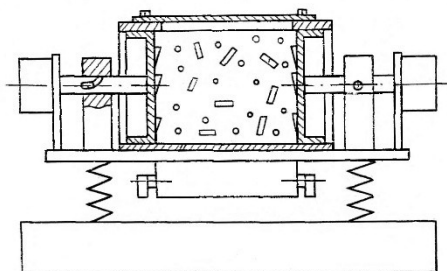
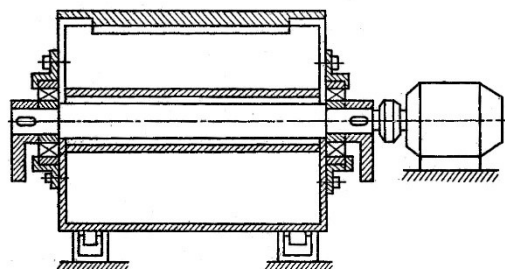
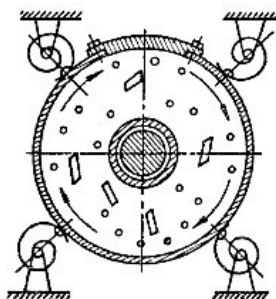


Рис. 120. Схема контейнера, виконаного у формі обичайки

Як уже зазначалося вище, що далі розташована гранула від стінки контейнера, то слабкіше передається імпульс від неї. У контейнерах циліндричної форми найменша активність робочого середовища спостерігається в центрі. Для підвищення інтенсифікації процесу оброблення за рахунок повідомлення контейнеру додаткових коливань, спрямованих за круговою траєкторією, було запропоновано модель верстата, представленого на рис. 121 [42]. Верстат складався з контейнера циліндричної форми, він був пов'язаний із пружними елементами, які були виконані у вигляді плоских спіралей. Вони рівномірно розташовувалися по колу обичайки контейнера, закріплювалися на основі віброзбуджувача з дебалансним валом, який розташовувався співвісно обичайці контейнера. Застосування контейнера циліндричної форми з вище описаними удосконаленнями повинно було забезпечити йому додаткові кругові коливання і відповідно підвищити продуктивність.



а



б

Рис. 121. Контейнер із додатковими круговими коливаннями:
а – загальна схема пристрою; б – схема коливальноного руху шихти

Для збільшення величини імпульсів, які передаються робочому середовищу, і взаємної швидкості руху гранул і обробних деталей в роботі [43] було розроблено верстат із кільцеподібним контейнером (рис. 122). У центральній частині цього контейнера, по всій його довжині, було розташоване пружно встановлене тіло, яке приводилося в коливальний рух від окремого дебалансного віброзбуджувача. При цьому контейнер і розміщене в ньому тіло з'єднувалися еластичними стінками, їхні дебалансні віброзбуджувачі були кінематично пов'язані між собою, тому імпульси, що передавалися робочому середовищу від контейнера і центрального тіла, збігалися в часі, до того ж віброзбуджувачі

оберталися назустріч один одному. Це спричиняло зустрічні потоки гранул робочого середовища і деталей. Шари робочого середовища і деталей, які розташовувалися біля поверхні контейнера, повинні були переміщатися в напрямі, протилежному напрямку обертання вала дебалансного вібробуджувача контейнера, а ті шари, які розташовувалися біля поверхні центрального тіла, переміщалися в напрямі, протилежному напрямку обертання дебалансного вала вібробуджувача центрального тіла. Отже, шари робочого середовища та деталей, що знаходилися біля поверхні контейнера, повинні були рухатися назустріч шарам, що знаходилися навколо центрального тіла. Також інтенсифікація процесу мала б збільшитися за рахунок коливань еластичних стінок контейнера.

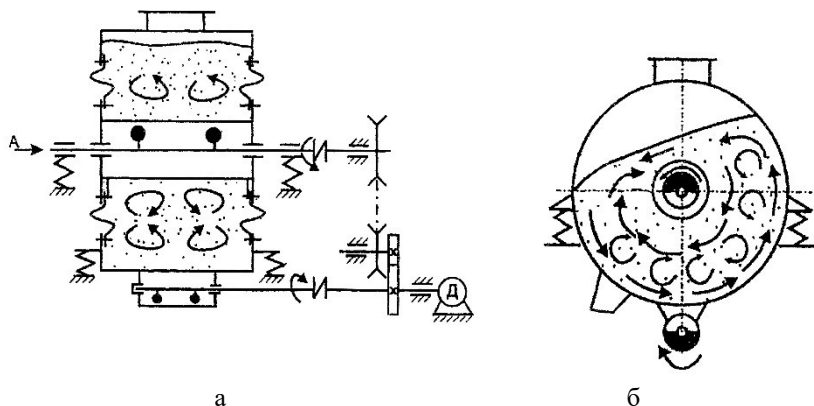


Рис. 122. Схема вібраційного верстата з контейнером кільцевого типу:
а – вид спереду; б – вид збоку

В роботі [44] було розроблено іншу схему верстата з кільцеподібним контейнером (рис. 123). Ця конструкція створювалася з метою збільшення надійності вузлів в експлуатації за рахунок спрощення конструкції за одночасної інтенсифікації процесу вібраційного оброблення деталей. Поставлене завдання досягалося тим, що у верстаті, який містив пружно встановлений контейнер, обладнаний дебалансним

віброзбуджувачем і пружно підвішеним тілом у центральній його частині, що з'єднаний між собою еластичними стінками, підвіску тіла здійснено за допомогою системи пружин.

Імпульси, що передавалися від поверхні контейнера, мали збігатися в часі з імпульсами, що передавалися від центрального тіла, а оскільки ці імпульси були спрямовані назустріч, то загальний імпульс, що передавався робочому середовищу, мав дорівнювати їхній сумі. Це також мало викликати зустрічні потоки гранул і деталей.

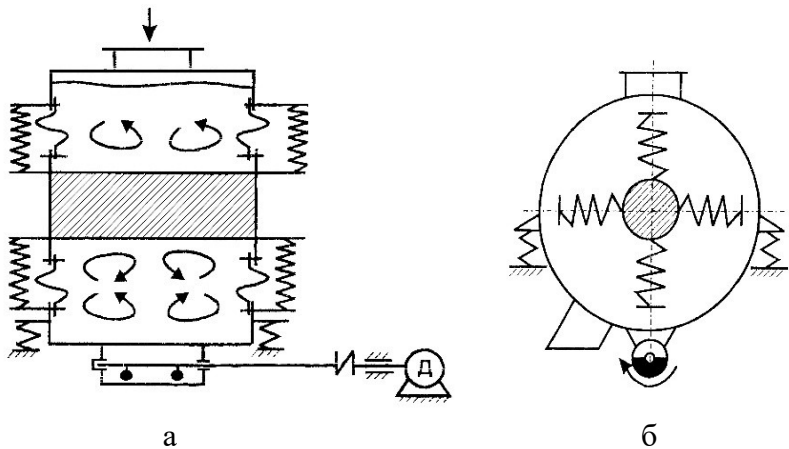


Рис. 123. Схема контейнера кільцевої форми:
а – вид спереду; б – вид збоку

В роботі [45] з метою підвищення продуктивності процесів вібраційного оброблення та розширення його технологічних можливостей було запропоновано верстат, зображений на рис. 124. Реалізація поставленої мети досягалася тим, що охоплювальна та охоплювана поверхні контейнера були частиною двох незалежних коливальних систем, змонтованих спільно на каркасі верстата. При цьому вали віброзбудувачів коливальних систем розташовувалися в безпосередній близькості до верхньої та нижньої частин контейнера, у поздовжній площині, що

збігалася з вертикальною віссю контейнера та була перпендикулярна його перерізу в площині вібрації. Різні коливальні рухи, які передавалися робочому середовищу, що охоплює і охоплюваною поверхнями, давали змогу створити складну несиметричну траєкторію осцилювального і циркуляційного руху, як самих зустрічних потоків середовища, так і окремих абразивних гранул і деталей у цих потоках.

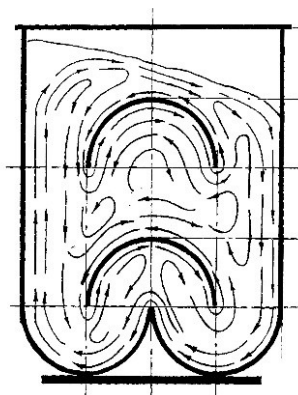


Рис. 124. Контейнер з охоплювальною та охоплюваною поверхнями

Як відомо, вібраційна обробка дає змогу обробляти деталі найрізноманітніших типів. Дуже часто конструктори пропонують пристосування для закріплення оброблюваних деталей у контейнері. Це є також одним з підходів, що дозволяють інтенсифікувати процес обробки.

Наприклад, один з варіантів вібраційних верстатів, що має пристосування для закріплення деталей у контейнері, був запропонований в патенті №3339316 (US) «Vibratory finishing apparatus» (рис. 125) [79].

У роботі [80] запропоновано верстат, в якому інтенсифікація процесу вібраційної обробки досягається за рахунок того, що закріплена в ньому деталь (наприклад, турбінні колеса) має змогу обертатися навколо своєї осі (рис. 126). Деталь закріплюється на валу, що

встановлений в контейнері верстата. Вал встановлюється у втулках. Деталь закріплюється з можливістю її вільного повороту під час роботи верстата.

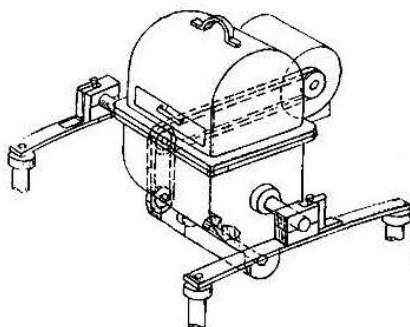


Рис. 125. Схема закріплення деталей у контейнері згідно патенту №3339316 (US)

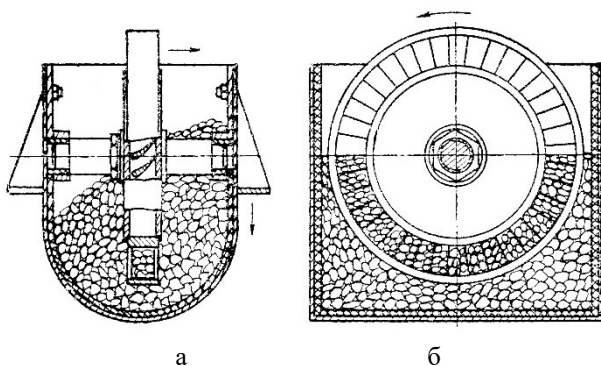


Рис. 126. Вібраційний верстат з деталлю, що обертається:
а – вид спереду; б – вид збоку

В роботі [46] було запропоновано більш складне пристосування для забезпечення інтенсифікації процесу обробки за рахунок можливості повороту деталі навколо своєї осі, цей рух мав бути протилежним до напрямку руху робочого середовища, що забезпечувалося

механічно, за допомогою додаткового віброзбуджувача. Запропонований верстат (рис. 127) працював у такий спосіб. Деталь закріплювалася в пристосуванні, яке знаходилося в спеціальній плиті. Пливу встановлювали над контейнером, потім вмикали електродвигуни віброзбуджувачів. Деталь, занурена в контейнер, під дією коливальних сил віброзбуджувача, встановленого на плиті, здійснювала обертальний рух навколо своєї осі в протилежному напрямку відносно загального циркуляційного потоку робочого середовища.

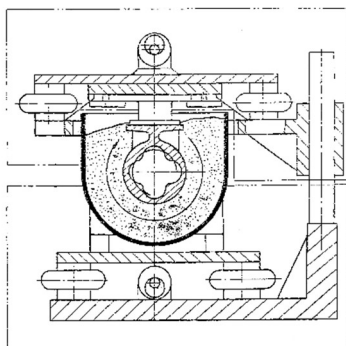


Рис. 127. Схема вібраційного верстата з деталлю, що обертається навколо своєї осі

Закріплення однієї деталі в контейнері саме по собі призводить до зниження продуктивності, оскільки втрачається перевага вібраційного оброблення - можливість одночасного оброблення великої кількості деталей. Розуміючи це, автори роботи [48] запропонували спеціальне пристосування для закріплення кількох деталей (рис. 128). Деталю повідомлялося додаткове обертання навколо осі, перпендикулярної поздовжній осі контейнера. Такий рух створювали так: віброзбуджувач передавав через контейнер коливання робочому середовищу, одночасно через блок шестерень приводили в обертання шестерню, що повертає пристосування з деталями. Деталі оберталися в напрямку,

протилежному циркуляційному потоку робочого середовища, що мало сприяти підвищенню якості обробки деталей.

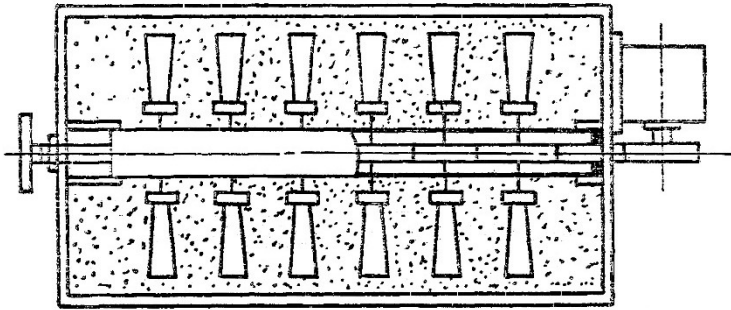


Рис. 128. Пристосування для закріплення деталей у контейнері із додатковим обертанням деталей навколо осі, перпендикулярній поздовжній осі контейнера

Як відомо, існує низка деталей, для яких використання вібраційного оброблення можливе тільки з урахуванням певних умов - це або дуже великі, або тендітні деталі, які під час зіткнення одна з одною можуть пошкоджуватися.

На рис. 129 представлений верстат, який призначався для оздоблювально-зачисного і зміцнювального оброблення фасонних наскрізних отворів у деталях типу зубчастих коліс із внутрішнім зачепленням, матриць, а також глибоких наскрізних отворів. Обробку деталей здійснювали так: у нижню частину контейнера завантажували необхідну кількість оброблюваного середовища, потім закріплювали деталь. Зверху деталь накривали верхньою частиною контейнера. Деталь і обидві частини контейнера стикувалися між собою. Потім зістиковані частини контейнера і встановлену в них деталь повертали на 180° щодо осі цапф. Нижня частина контейнера, яка тепер перебувала вгорі, мала порожнину, яка утворювалася за допомогою встановленої в ній діафрагми. Цю порожнину під тиском заповнювали газом або рідиною, потім

включали віброзбуджувач, який повідомляв коливальні рухи через діафрагму за нерухомої деталі.

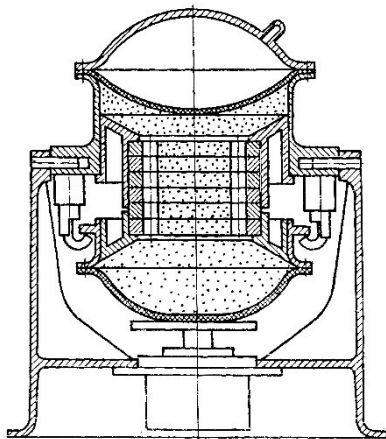


Рис. 129. Схема закріплення деталей у вібраційному верстаті

Як зазначалося раніше, інтенсивність обробки в різних зонах контейнера різна. З огляду на це конструктори пропонували пристосування, які забезпечували знаходження деталей у зонах найбільшої інтенсивності. Верстат із таким пристосуванням представлений на рис. 130 [54], його розробники припускали підвищити продуктивність процесу за рахунок збільшення динамічного впливу середовища на оброблювану деталь. Для цього обробку довгомірних деталей типу шатунів проводили біля обичайки контейнера - зоні, в якій робочому середовищу передається максимальний імпульс від стінок контейнера. Щоб забезпечити знаходження деталі в цих зонах застосовувалося поворотне пристосування з індивідуальними ємностями. Ємності виконувалися у вигляді перфорованих осередків, що мало забезпечити вільне проходження гранул робочого середовища через них. Крім того, автори [54] мимоволі розв'язали ще одну проблему, характерну для довгомірних деталей, зокрема для таких довгомірних деталей, центр тяжіння (мас)

яких не збігається з їхнім геометричним центром у поздовжній площині. Такі деталі в процесі обробки можуть ставати поперек контейнера. Для виключення такого ефекту їм потрібно задавати точну орієнтацію в контейнері, що і здійснювалося в розглянутому пристосуванні. До недоліків запропонованого пристосування належало те, що ємності для деталей були перфорованими і ускладнювали проходження робочого середовища, що знижувало інтенсивність обробки.

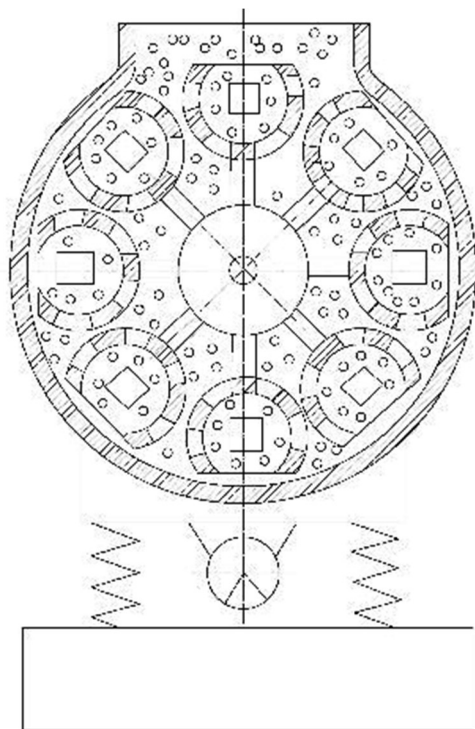


Рис. 130. Схема револьверного закріплення деталей у контейнері

Відомо, що великогабаритні деталі в процесі обробки можуть завдавати ушкоджень одна одній під час зіткнень між собою. Як уже зазначалося вище, для оброблення великогабаритних деталей необхідно

використовувати контейнери, у яких деталі не стикатимуться одна з одною, що потребує збільшення розмірів контейнера, а це не завжди раціонально, тому є сенс розділяти контейнер на відсіки, які призначені для окремої деталі. Інший спосіб вирішення цієї проблеми - закріплення деталі в пристосуванні. В роботі [49] для ефективного оброблення великогабаритних деталей типу лопатей турбін було запропоновано верстат (рис. 131) із вертикальним циліндричним контейнером, у якому встановлювали пристосування, на якому закріплювали деталі, які обробляли. При цьому забезпечувалося їх примусове обертання в горизонтальній площині, що також мало сприяти підвищенню продуктивності.

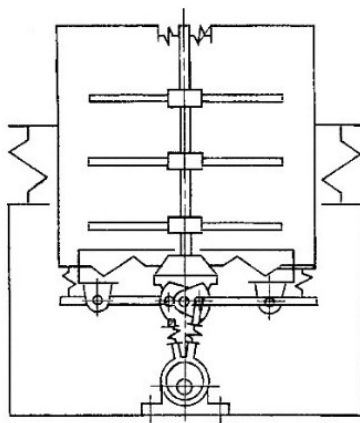


Рис. 131. Вібраційний верстат для обробки великогабаритних деталей

Його прототипом став вібраційний верстат, принцип роботи якого було запропоновано в патенті №3539117 (US) «Material treatment apparatus with rotary stirrer in vibratory container», що належить компанії Sweco Inc (рис. 132) [90].

В роботі [81] для оздоблювально - зміцнювального оброблення деталей типу «турбіна» було розроблено схему верстата, представлену на

рис. 133. Обробка деталі відбувалася під час її закріплення в контейнері, причому контейнер розділявся на дві порожнини. Порожнини сполучалися за допомогою наскрізних каналів деталі. Обробка цих каналів мала відбуватися за рахунок вібраційного просування через них робочого середовища. При цьому закріплена деталь мала можливість обертання навколо горизонтальної та вертикальної осей. Додатково в контейнер здійснювалася подача стисненого повітря протитечею просування робочого середовища. Також подавали промивну рідину із взаємовиключною періодичністю зі стисненим повітрям у протилежному напрямку. Такий підхід повинен був розширити технологічні можливості, підвищити якість і продуктивність вібраційної обробки.

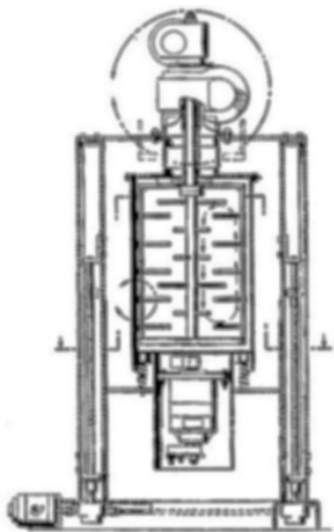


Рис. 132. Вібраційний верстат із додатковим пристосуванням для обробки великогабаритних деталей

Схожу схему верстата було запропоновано японськими інженерами, принцип роботи якого описано в патенті №50084992 (JP) «Apparatus for finishing parts» (рис. 134) [81].

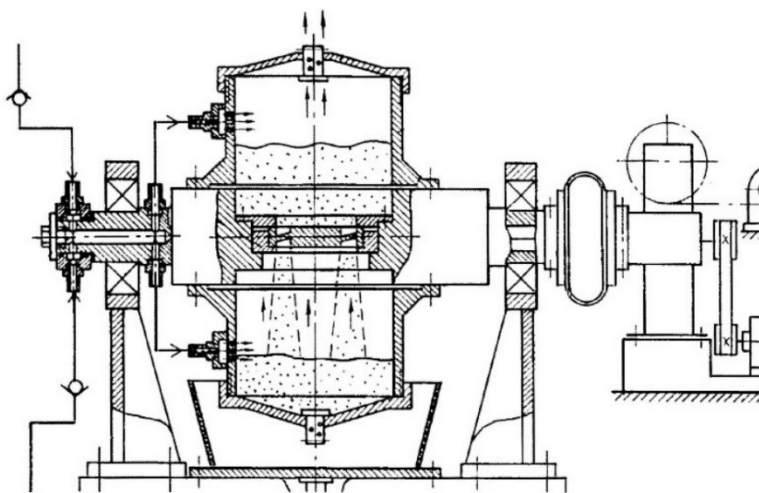


Рис. 133. Вібраційний верстат із розділеним контейнером

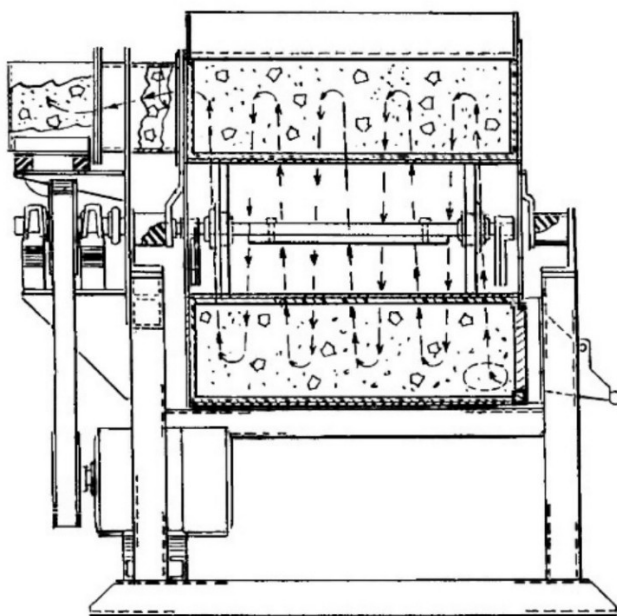


Рис. 134. Вібраційний верстат із розділеним контейнером

Пристосування для закріплення деталей знайшли своє застосування і в верстатах з контейнерами тороїдального типу.

В роботі [50] для підвищення рівномірності та інтенсивності обробки внутрішніх поверхонь порожнинних деталей прохідного типу і збільшення продуктивності процесу обробки було розроблено верстат, зображений на рис. 135. У цьому верстаті обробку деталей, які встановлювали горизонтально і передавали коливання з прискоренням, більшим за прискорення вільного падіння, здійснювали шляхом жорсткого закріплення пакетів оброблюваних деталей у нижній частині тороїдального контейнера, що заповнювали робочим середовищем, причому пакети деталей орієнтували прохідними отворами уздовж кільцевої осі тороїдального контейнера, а відстані між пакетами деталей встановлювали не меншими, ніж 8-10 розмірів гранул робочого середовища.

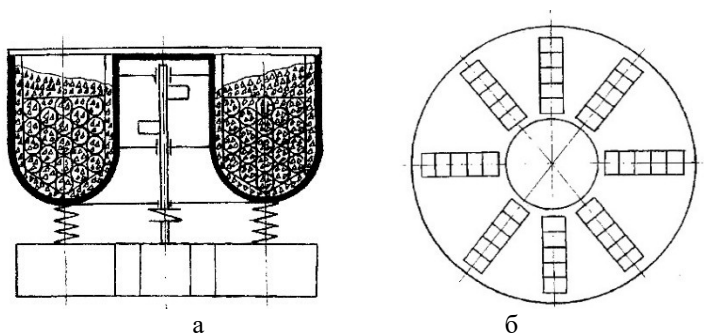


Рис. 135. Схема розташування оброблюваних деталей при їхньому жорсткому пакетному закріпленні:
а – загальна конструктивна схема;
б – схема жорсткого закріплення пакетів деталей

Автори роботи [48], які запропонували конструкцію (рис. 136), переслідували іншу мету – підвищення ефективності обробки тонкостінних деталей типу посудин із металу. Поставлене завдання розв'язували шляхом забезпечення валам із закріпленими на їхніх кінцях

оброблюваними деталями можливості обертання навколо власної осі циклічно, у прямому і у зворотному напрямку. Вали з кінця, протилежного оброблюваній деталі, встановлювали в підшипникові гнізда. Зубчасті колеса, встановлені жорстко на валах, давали можливість періодичної зміни обертання оброблюваної деталі завдяки їхньому зчепленню з двосторонньою зубчастою рейкою. Рейку встановлено на касеті, співвісно останній з можливістю руху вздовж неї між двома середніми рядами зубчастих коліс, попарно зчепленими зубчастими колесами периферійних від осі касети рядів зубчастих коліс. При цьому двостороння зубчаста рейка кінематично за допомогою допоміжного кривошипно-шатунного механізму була пов'язана з електродвигуном, встановленим на касеті.

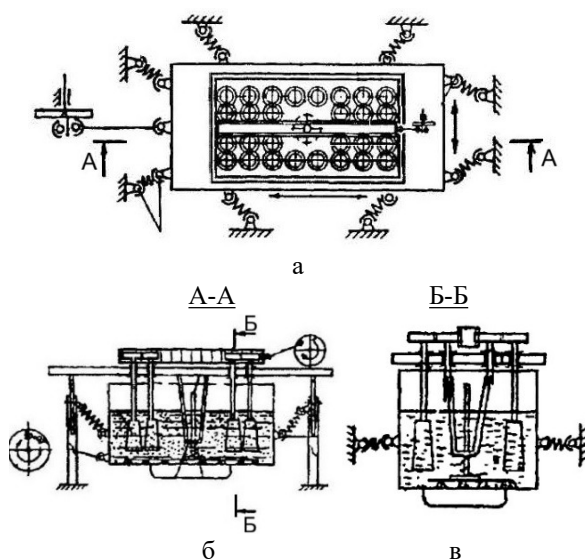


Рис. 136. Схема вібраційного верстата з обертовими валами:
а – вид зверху; б, в – вид у розрізах

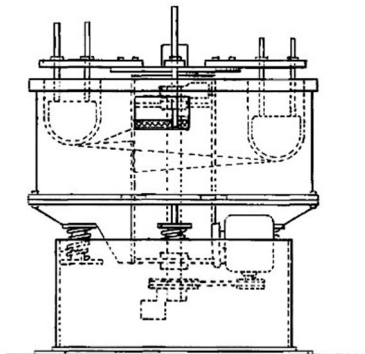


Рис. 137. Вібраційний верстат з обертовими валами фірми Roto Finish

Подібні розробки не є поодинокими, наприклад, вібраційний верстат, розроблений дослідниками компанії Roto Finish [52]. Детальний опис роботи цього верстата представлено в патенті №2250608 (FR) «Finishing apparatus and method» (рис. 137).

5.2. Розробка та дослідження конструктивних рішень, що підсилюють вплив робочого середовища на оброблювані деталі

Підвищення продуктивності процесу завжди є завданням, що вимагає нових рішень. Шляхи підвищення продуктивності, як ми вже вказували раніше, різні.

Одним із найефективніших способів підвищення продуктивності, природно, є збільшення впливу робочого середовища на оброблювану деталь.

Однак, розглядаючи шляхи підвищення продуктивності вібраційної обробки за рахунок інтенсифікації впливу робочого середовища, необхідно детальніше розглянути механізм його руху в контейнері.

Підвищення продуктивності процесу завжди є завданням, що вимагає нових рішень. Шляхи підвищення продуктивності, як ми вже вказували раніше, різні.

Одним із найефективніших способів підвищення продуктивності, природно, є збільшення впливу робочого середовища на оброблювану деталь.

Однак, розглядаючи шляхи підвищення продуктивності вібраційної обробки за рахунок інтенсифікації впливу робочого середовища, необхідно детальніше розглянути механізм його руху в контейнері.

Отримавши імпульс від стінки контейнера, гранули робочого середовища передають його деталям, змушуючи їх рухатися. Маса деталі, як правило, значно більша за масу окремої гранули і тому має більшу інертність. Отже, швидкість деталі буде меншою за швидкість гранули, які ніби обтікають деталь. У наступний момент, коли напрямок швидкості контейнера і гранул змінюється, деталь, як і раніше, прагне зберегти початкову швидкість. Але гранули, рухаючись у зміненому напрямку під деяким кутом до початкового, змінюють одночасно і напрямок руху деталі. Причому вона безперервно відстає від переміщення гранул робочого середовища, про що йшлося вище. Виникає відносне ковзання між деталлю і гранулами робочого середовища.

Шари робочого середовища, що знаходяться в контейнері, входять у безпосередній контакт зі стінками контейнера, коливаються з номінальною амплітудою, у міру віддалення від стінок контейнера амплітуда переміщення елементів робочого середовища зменшується. Пояснюється це тим, що внаслідок сил взаємного зчеплення гранул, внутрішнього тертя між ними і непружних деформацій силовий імпульс від шару до шару слабшає. Одночасно зі зменшенням амплітуди, спостерігається відставання за фазою в переміщенні суміжних шарів. Це відбувається через те, що силовий імпульс передається всій масі не одночасно, а послідовно в напрямку від нижніх шарів до верхніх.

Таким чином, для кожного з шарів у контейнері з'являються свої точки контакту деталі з гранулою, сила цього контакту різна. Інтенсивність обробки падає в міру віддалення від стінок контейнера.

Отже, інтенсифікація впливу робочого середовища на оброблювану поверхню повинна була стати ефективним і досить простим способом підвищення продуктивності процесу вібраційної обробки. Реалізація таких способів відбувається шляхом максимального збільшення різниці взаємних швидкостей деталей і абразивних гранул з одночасним збільшенням сил впливу в момент контакту.

Як ми побачимо далі, для цього застосовувалася маса досить складних і нестандартних конструкторських пропозицій.

В роботі [82] було запропоновано верстат (рис. 138), у контейнері якого на дні встановлювали ложемент, у який встановлювали деталі. Ложементу повідомлялися додаткові коливання від спеціального віброзбуджувача. При цьому вісь віброзбуджувача ложементу розташовувалася перпендикулярно осі віброзбуджувача контейнера. Така конструкція мала підвищити продуктивність процесу обробки шляхом збільшення відносної швидкості переміщення гранул робочого середовища і оброблюваних у ньому деталей.

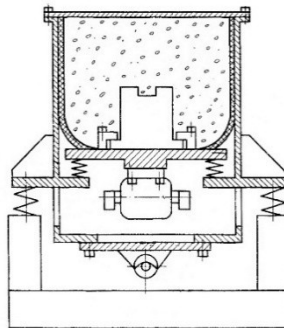


Рис. 138. Вібраційний верстат із фіксаторами

В патенті №3464163 (US) «Vibratory finishing machine», дослідники запропонували додати у відому конструкцію вібраційного верстата пристрій для перемішування абразивного середовища [83]. Ця конструкція також передбачала підвищення швидкості обробки шляхом інтенсифікації руху гранул у контейнері (рис. 139).

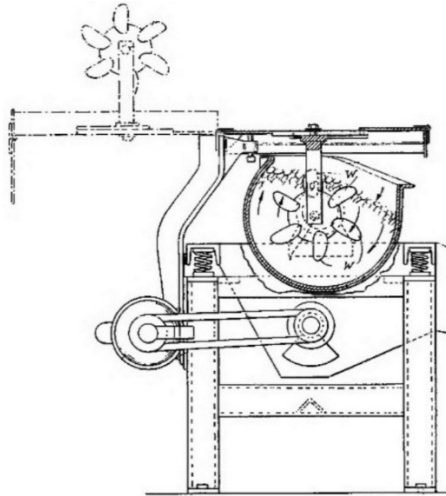


Рис. 139. Вібраційний верстат із додатковим пристроєм перемішування абразивного середовища

Інженери компанії Electro Deburring Co Inc. запропонували свою конструкцію вібраційного верстата, в якій пристрій додаткового перемішування абразивного середовища перебував усередині контейнера і був невід'ємною його частиною. Про це свідчить патент №3611638 (US) «Finishing machine» (рис. 140) [84].

Розробники компанії Vibrodyne Inc. досягли підвищення продуктивності процесу обробки шляхом забезпечення об'ємної циркуляції робочого середовища і поміщених у нього деталей уздовж площини контейнера. Цей спосіб описано в патенті №3792552 (US) «Vibratory apparatus for treating a continuous supply of parts» (рис. 141) [85].

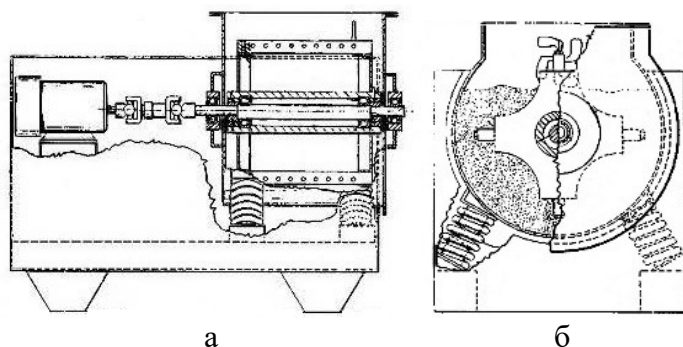


Рис. 140. Вібраційний верстат із пристроєм додаткового перемішування абразивного матеріалу:
а – загальний вид; б – схема завантаження

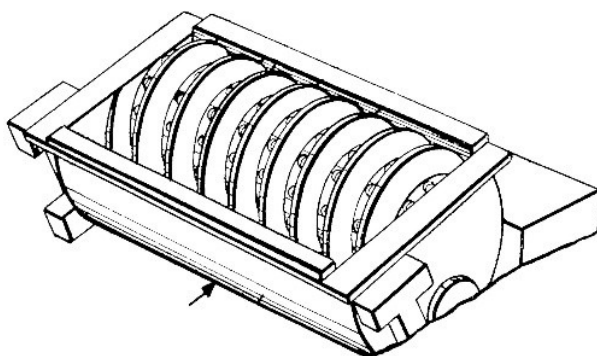


Рис. 141. Вібраційний верстат із механізмом перемішування шнекового типу

Слід зазначити, що підвищення продуктивності процесу обробки шляхом забезпечення об'ємної циркуляції робочого середовища є дуже перспективним напрямком розвитку верстатного обладнання для вібраційної обробки [105 - 109]. При такому підході вдається досягати дуже низької шорсткості поверхні при інтенсивних режимах обробки. Це особливо актуально при виконанні операцій полірування, які при

використанні стандартного обладнання зазвичай вимагають доволі суттєвих витрат часу.

В роботі [86] було запропоновано конструкцію верстата (рис. 142) з контейнером U-подібної форми, призначену для обробки деталей складної форми. В об'ємі контейнера створювався додатковий турбулентний рух робочого середовища. Для цього контейнер забезпечувався відбивачами, які встановлювалися в напрямних пазах на кришці та стінках контейнера під певним кутом до траєкторії руху робочого середовища. Кут вибирався залежно від розмірів і форми оброблюваних деталей.

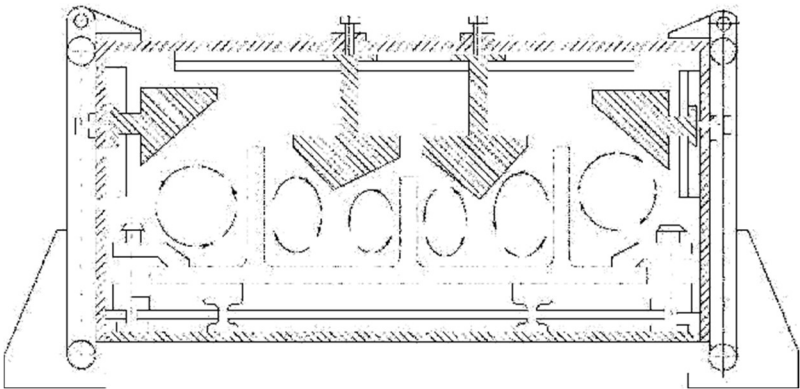


Рис. 142. Вібраційний верстат для обробки деталей складної форми

Для спрощення конструкції за одночасної інтенсифікації процесу пропонувалося пристосування, представлене на рис. 143. Цю конструкцію було розроблено І.М. Карташовим і М.Є. Шаїнським [23]. У контейнер встановлювали екран-вставку 2.

Основна маса робочого середовища циркулювала вздовж стінок контейнера і перебувала під екраном-вставкою, який розташовувався над відкритою частиною контейнера, тобто зверху, і притискав робоче середовище, щоб унеможливити втрату енергії в моменти його відриву

від днища, завдяки цьому екрану створювалася зона підвищеного тиску, що підвищувала інтенсивність вібраційної обробки.

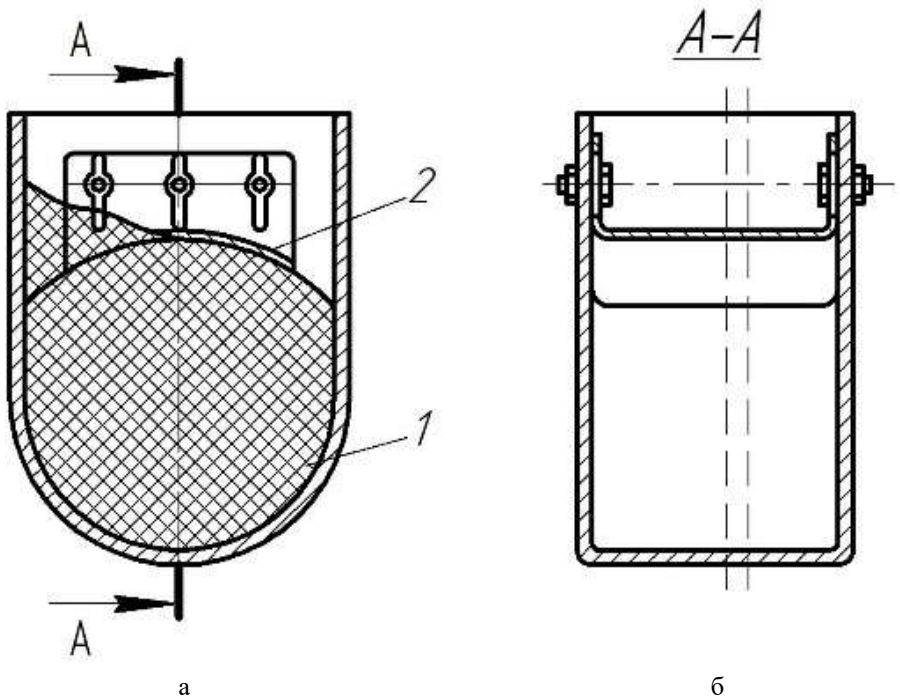


Рис. 143. Контейнер вібраційного верстата з екраном-вставкою:
1 – контейнер; 2 – екран-вставка; а – загальний вид; б – розріз

Пізніше було запропоновано верстат (рис. 144) [43], в якому з метою підвищення продуктивності всередині контейнера встановлювали спеціальні дугоподібні пластини. Вони встановлювалися на шарнірах, що давало їм змогу здійснювати додаткове кутове переміщення. Пластини мали забезпечити інтенсифікацію процесу шляхом вирівнювання щільності маси завантаження за перерізом контейнера, тобто забезпечувати рівномірність обробки у всіх зонах контейнера.

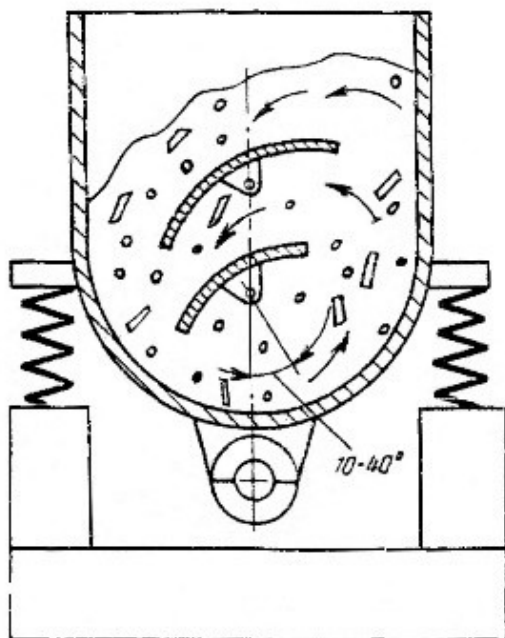


Рис. 144. Вібраційний верстат із дуговими пластинами

Іншими авторами було запропоновано конструкцію верстата (рис. 145) [35], контейнер якого оснащувався розміщеним у його центрі барабаном з віброплощадками, які розташовували навпроти віброплощадок контейнера, при цьому віброплощадки контейнера і барабана шарнірно пов'язували між собою за допомогою введення у верстат спеціальних важелів. Завдяки створенню віброплощадками додаткового зустрічного руху робочому середовищу передавалися додаткові силові імпульси, які мали інтенсифікувати процес вібраційної обробки деталей і поліпшити якість поверхневого шару деталі в усьому об'ємі контейнера. Таким чином, передбачалося підвищити загальну продуктивність процесу за рахунок створення однакового тиску робочого середовища від стінок контейнера до його центру в радіальному напрямку.

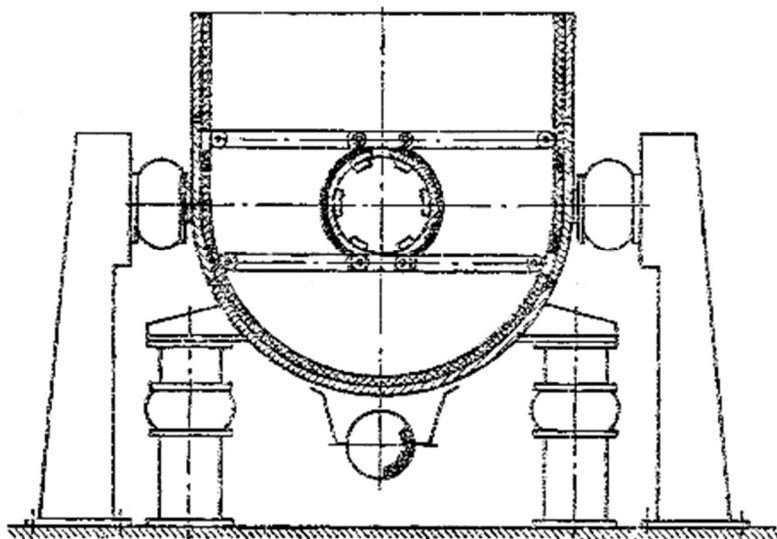


Рис. 145. Схема контейнера, доповненого віброплощадками

В роботі [39] було запропоновано цікаву конструкцію багатосекційного контейнера (рис. 146), у якому масу завантаження розділяли на шари, що мали циркулювати в протилежному напрямку відносно один одного. Для цього кожна секція контейнера мала автономний віброзбуджувач, при цьому в процесі роботи кожна з них мала обертатися в протилежному напрямку по відношенню до інших, поруч розташованих. При цьому обробку проводили за співвідношення довжини до ширини кожного шару робочого середовища, що дорівнювало $1/2 - 3/4$. Причому одночасно у всіх шарах у процесі обробки періодично змінювався напрямок циркуляції. Це мало підвищити продуктивність процесу шляхом збільшення інтенсивності перемішування компонентів маси завантаження в контейнері. Конструкція такого верстата досить неоднозначна, оскільки в самому контейнері можуть і повинні виникнути крутні моменти, тобто можливе руйнування оболонки контейнера.

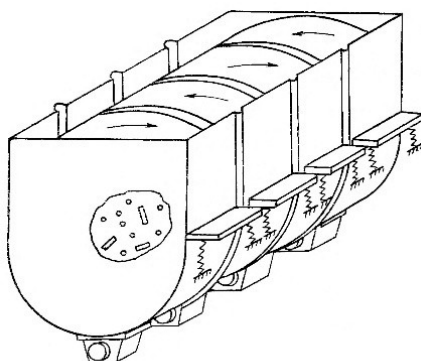


Рис. 146. Схема роботи контейнера з різнобічною циркуляцією середовища

Дуже часто для підвищення продуктивності процесу пропонувалося надавати робочому середовищу додаткові імпульси за рахунок введення спеціальних пристосувань. Приклад такого верстата представлено на рис. 147 [37].

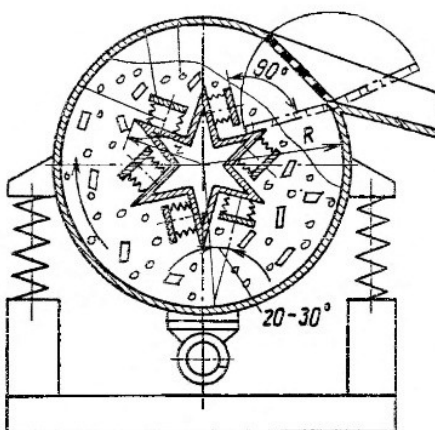


Рис. 147. Схема верстата з циліндричним контейнером і трубою зірчастого перерізу

Цей верстат був розроблений з метою надання робочому середовищу додаткового імпульсу вздовж його робочої площини, у контейнер встановлювали трубу зірчастого перерізу з системою подачі стисненого повітря, яку забезпечували прямокутними платформами. Платформи розташовувалися паралельно ребрам зіркоподібного перерізу труби, при цьому вони розміщувалися в одному напрямку по колу з можливістю автономного приєднання до системи подачі стисненого повітря.

В роботі [34] було запропоновано верстат (рис. 148), у контейнері якого пошарово в шаховому порядку розташовувалися спеціальні розпушувачі. Одним кінцем вони жорстко закріплювалися вздовж бічних стінок контейнера, причому їхню довжину вибирали з умови $1/2 - 3/4$ ширини контейнера. Такі пристосування мали забезпечити інтенсифікацію процесу вібраційної обробки шляхом рівномірного розподілу збільшення жорсткості розпушувачів біля стінок контейнера, в якому розміщувалися компоненти маси завантаження за їхньої різної щільності. Слід зазначити, що введення в контейнер додаткових пристосувань (чужорідних) не завжди позитивно позначається на циркуляційному русі робочого середовища, оскільки вони можуть знижувати його швидкість, тим самим, знижуючи продуктивність процесу.

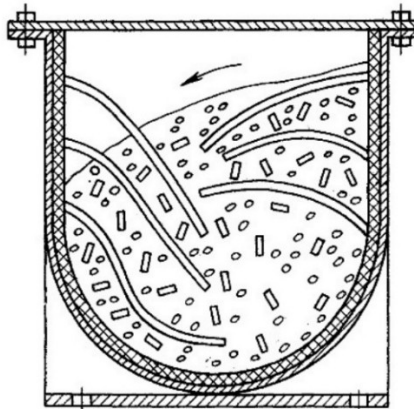


Рис. 148. Схема контейнера з внутрішніми розпушувачами

Намагаючись розширити технологічні можливості вібраційного оброблення, конструктори пропонували контролювати рівень робочого середовища в процесі обробки. В роботі [44] було представлено верстат (рис. 149), у якому передбачалося реалізувати цей принцип. Верстат складався з контейнера і бункера-накопичувача, призначеного для перевантаження робочого середовища. Бункер-накопичувач сполучався з контейнером і мав шнекові пластини для транспортування робочого середовища. Розташована з боку бункера-накопичувача торцева стінка контейнера забезпечувалася заслінкою з прямокутною щілиною в її верхній частині, яка могла вертикально переміщатися, при цьому у верхній частині торцевої стінки додатково виконувалася прямокутна щілина, розміри якої по вертикалі перевищували розміри щілини в заслінці. Така конструкція давала змогу зберігати постійний, візуально контрольований рівень заповнення основного контейнера протягом проведення заданого процесу обробки, оскільки надлишкова частина робочого середовища виводилася через щілини в бункер-накопичувач.

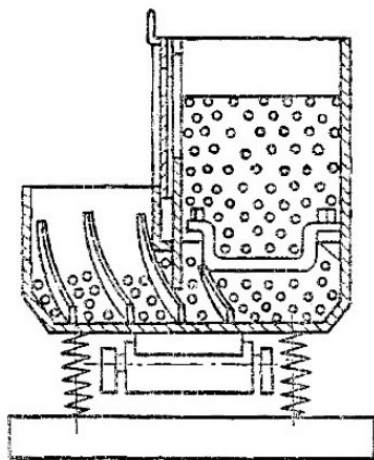


Рис. 149. Схема вібраційного верстата, в якому можливо контролювати рівень робочого середовища

Також представляє інтерес верстат (рис. 150), у якому, з метою підвищення продуктивності обробки робочому середовищу надавали додаткові імпульси, дно контейнера оснащували зубчастою рейкою. Рейка складалася з шарнірно пов'язаних між собою і дном пар пластин. При цьому пластини, які утворювали передні грані зубів, встановлювалися на напрямні, додатково введені в контейнер.

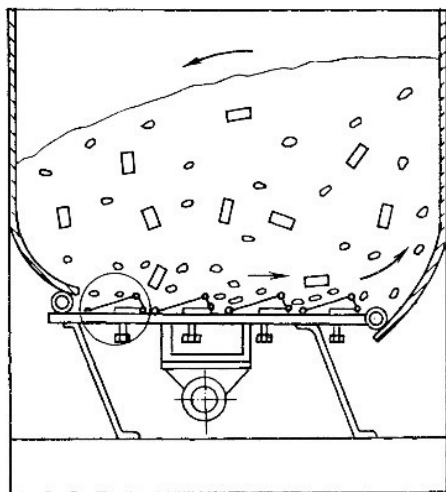


Рис. 150. Схема роботи контейнера з наданням додаткових імпульсів середовищу

В роботі [51] для зміцнення деталей із високоміцних конструкційних матеріалів було розроблено спеціальний верстат (рис. 151) [52]. Метою створення такого верстата було підвищення якості обробки під час зміцнення поверхні деталі завдяки збільшенню рухливості робочих тіл під час накладення на них зовнішнього тиску. Зовнішній тиск на робоче середовище здійснювався за допомогою вертикального переміщення рухомої кришки. Вона одержувала переміщення від сильфона, в який по гнучкому трубопроводу періодично подавалося стиснене

повітря. Максимальна і мінімальна величина накладеного зовнішнього тиску, а також його циклічність, попередньо задавалися на варіаторі тиску.

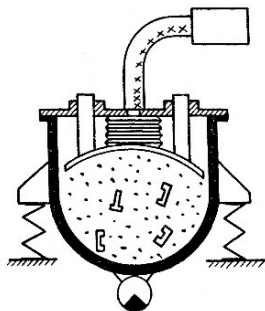


Рис. 151. Спосіб надання додаткових коливань середовищу

Ще однією зоною слабкої взаємодії гранул робочого середовища і поміщених у нього деталей у контейнерах з нижнім розташуванням вібробуджувача, є верхня частина контейнера. В роботі [47] було запропоновано верстат (рис. 152), у якому з метою збільшення взаємодії робочого середовища у верхній частині контейнера там же розташовувалися транспортувальні елементи. Вони були виконані у вигляді жорстко закріплених на торцевих стінках контейнера стрічкових спіралей. При цьому вісь внутрішньої спіралі була зміщена по вертикалі вгору щодо осі зовнішньої спіралі.

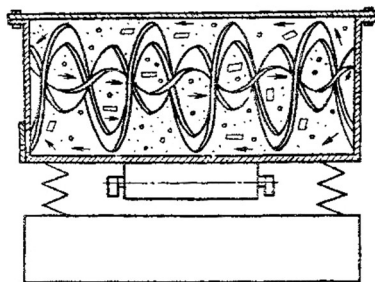


Рис. 152. Схема форми контейнера з наявністю транспортувальних елементів

В роботі [50], також з метою підвищення продуктивності процесу обробки деталей, було запропоновано верстат, представлений на рис. 153. Поставлене завдання повинно було досягнуто за допомогою періодичного стиснення маси завантаження за рахунок передачі їй додаткових імпульсів. У контейнері цього верстата, уздовж його поздовжньої осі розташовувалися спеціальні перегрібачі. Вони були виконані у вигляді концентрично розташованих одне всередині іншого білячих коліс, які були пов'язані між собою рівномірно розташованими еластичними порожнистими стрижнями. Ці стрижні були пов'язані з джерелом пульсуючого тиску за допомогою виконаних в осях і колесах каналів. Верстат працював так: у контейнер завантажували деталі та робоче середовище, потім запускали віброзбуджувач, після цього запускали спеціальні приводи, які приводили в обертання в будь-якому напрямку білячі колеса. Останні мали збільшити інтенсивність перемішування маси завантаження. Потім каналами в порожнини пружних стрижнів подавалося пульсуюче стиснене повітря. Це мало збільшити стиснення маси завантаження під час її перемішування і, отже, підвищити продуктивність процесу.

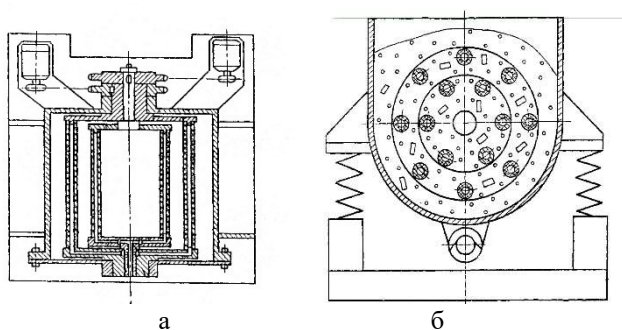


Рис. 153. Схема контейнера з перегрібачами:
а – загальний вид; б – схема завантаження контейнера

Спроба підвищити ступінь зміцнення поверхні деталі здійснювалася і на верстатах прохідного типу. При цьому знову використовували ефект підтискання середовища. В роботі [29] було запропоновано конструкцію верстата, в якому використовувався цей ефект (рис. 154). У запропонованому верстаті торцеві стінки жорстко встановлювали на основі й забезпечували спеціальними кишнями, днища яких виконували з нахилом під кутом $35-55^\circ$ у бік обичайки. За такого конструктивного виконання контейнера робоче середовище, що міститься в кишнях, стискалося за рахунок їхньої форми, що мало забезпечити підвищення продуктивності вібраційного оброблення.

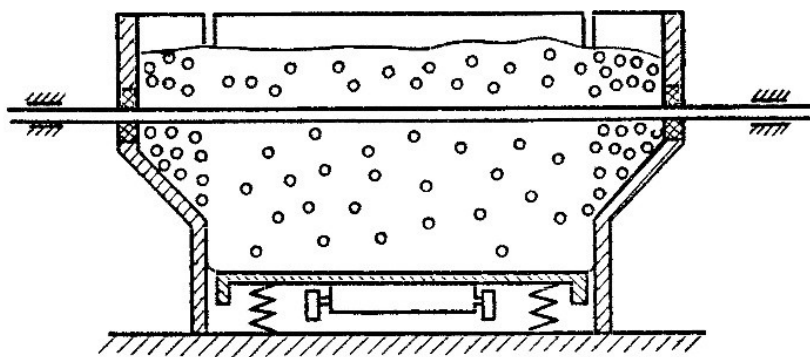


Рис. 154. Схема контейнера з ефектом підтискання середовища

Пізніше з метою підвищення продуктивності обробки за рахунок збільшення динамічного впливу робочого середовища на поверхню оброблюваної деталі було запропоновано пристосування, яке встановлювали у верстат прохідного типу з контейнером циліндричної форми (рис. 155) [46]. Пристосування виконували у вигляді усічених жорстких конусів, з'єднаних меншими підставами з втулкою. Отвори пристосування розташовувалися співвісно з вікнами контейнера. Причому, пристосуванню повідомлялося зворотно-поступальне переміщення, яке

мало підвищити тиск робочого середовища на оброблювану деталь за рахунок її ущільнення в конусах.

Для верстатів з контейнером U-подібної форми характерне застосування пристосувань, що посилюють вплив робочого середовища саме в центрі контейнера, оскільки саме в цій зоні робоче середовище мало-рухоме.

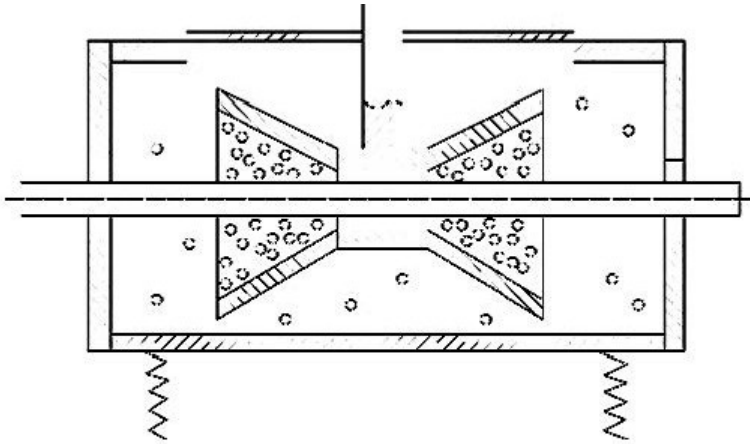


Рис. 155. Спосіб збільшення динамічного впливу на середовище

Часто таким пристосуванням повідомляють додаткові коливання завдяки додатковим джерелам (привод, подавання стисненого повітря тощо), тобто вони є активно діючими, в інших випадках вони є пасивними, і процес інтенсифікують завдяки формі цього пристосування та/або його коливанням, які створюють за допомогою пружних елементів, встановлених як у самому контейнері, так і в корпусі верстата або всередині самого пристосування. Саме таке пасивне пристосування застосовували в конструкції, запропонованій в роботі [44] (рис. 156). У цьому верстаті з метою підвищення продуктивності шляхом збільшення динамічної взаємодії робочого середовища і деталей, що перебувають у ньому, закріплених у пристосуванні типу барабан, йому

надавалися додаткові коливання. Для цього в контейнері верстата вільно розміщувався порожнистий барабан, в якому закріплювалися оброблювані деталі. У порожнині барабана розміщувався вантаж, який приєднувався до нього за допомогою пружних елементів, розташованих у взаємно перпендикулярних площинах. У процесі обробки під впливом коливань робоче середовище разом із барабаном приводилося в циркуляційний рух. При цьому пружно встановлений у барабані вантаж мав створювати інерційні сили, що повинно було збільшити динамічну взаємодію робочого середовища й оброблюваних деталей.

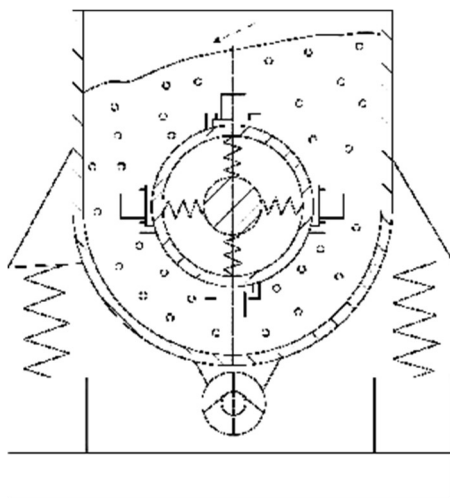


Рис. 156. Схема контейнера з пристроєм для збільшення динамічного впливу на середовище

Прикладання додаткового тиску на робоче середовище, звісно, сприяє інтенсифікації процесу, проте існує низка деталей, які потребують безударного режиму обробки, оскільки за наявності сильних ударних коливань вони можуть пошкоджуватися. Саме для обробки таких деталей в роботі [45] було запропоновано верстат, показаний на рис. 157. Верстат розробляли з метою забезпечення безударного режиму

обробки деталей із феромагнітних матеріалів. Для цього контейнер верстата складався з нерухомого каркаса і пов'язаного з ним за допомогою пружного ущільнення днища, в якому розташовувався віброзбудувач. Бічні стінки контейнера виконувалися з неферомагнітного матеріалу. У верхній і нижній частині контейнера розташовувалися електричні котушки. Вони мали створювати магнітне поле всередині контейнера. Під впливом магнітного поля, деталі та абразив зчіплювалися між собою екраном-вставкою і заокругленим дном, формуючи пластичну масу. У результаті цього між ними збільшувався питомий тиск, який мав значно перевищувати сили тиску деталей одна на одну під впливом відцентрових сил і земного тяжіння. Таким чином, підвищення питомих тисків між деталями й абразивом шляхом використання магнітного поля мало забезпечити високу продуктивність за безударного режиму обробки деталей.

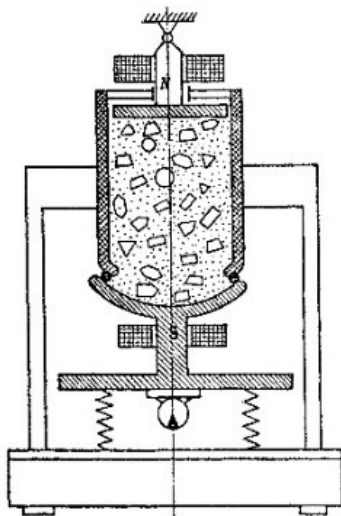


Рис. 157. Схема вібраційного верстата для безударного оброблення

В роботі [53] для оздоблювального і зміцнювального оброблення деталей було запропоновано конструкцію верстата, представлену на рис. 158. Метою запропонованої конструкції було підвищення продуктивності процесу обробки шляхом інтенсифікації динамічної взаємодії компонентів робочого середовища за рахунок збільшення вертикальної складової від впливу активаторів на робоче середовище. Для цього в контейнері розміщувалися активатори. Вони жорстко закріплювалися в ньому і виконувалися у вигляді порожнистих усічених конусів. Активатори мали зрізи, розташовані біля дна контейнера, і утворювали з дном вікна. У процесі обробки, циркулюючи в контейнері, маса завантаження сприймала додаткові силові імпульси від активаторів, що мало підвищити продуктивність процесу.

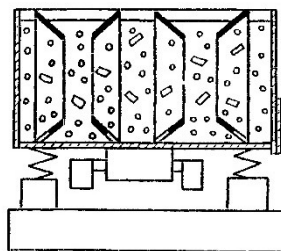


Рис. 158. Вібраційний верстат із вбудованими активаторами

Сучасна теорія вібраційної обробки наголошує на тому, що стінки контейнера, окрім передачі імпульсу від віброзбуджувача робочому середовищу, можуть також виступати в ролі джерела окремих коливань, які впливають на робоче середовище.

В роботі [54] з метою удосконалення вібраційного оброблення шляхом створення рівномірного по довжині контейнера механічного впливу на масу завантаження з боку стінок контейнера та центрального стрижня було розроблено вібраційний верстат, зображений на рис. 159. Поставлене завдання досягалося тим, що у вібраційному верстаті в середині контейнера розташовувався центральний стрижень, зовнішня

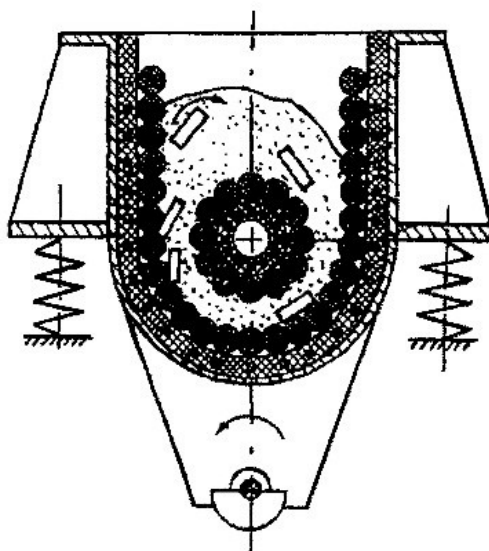


Рис. 159. Схема контейнера з індукторами

поверхня якого і внутрішня твірна поверхня контейнера були облицьовані гумою, в середині якої були встановлені індуктори. На внутрішній твірній поверхні контейнера і на зовнішній твірній поверхні центрального стрижня встановлювали армовані електропровідними стрижнями гумові трубки. При цьому електропровідні стрижні були жорсткими і закріплювалися на поверхні контейнера і центрального стрижня за допомогою пружної підвіски. Верстат працював у такий спосіб: індуктори, які були розміщені на твірній поверхні контейнера і центрального стрижня, індукували вихрові струми в стрижнях, взаємодія яких зі струмом індуктора приводила до переміщення стержня, вкритого гумовою трубкою, у напрямі до центру контейнера (для стрижнів, розміщених на стінках), і в напрямі від центру контейнера (для стрижнів, розміщених на поверхні центрального стрижня). Після припинення дії магнітного поля стрижні поверталися у вихідне положення під дією сил

пружної деформації пружин. Увімкнення індукторів збігалося з моментом відриву частинок завантаження від стінок контейнера в даній зоні, що давало змогу впливати на масу завантаження як з боку стінок контейнера, так і з боку центрального стрижня по всій довжині контейнера, що повинно було підвищити продуктивність обробки.

Ще один спосіб інтенсифікації процесу – збільшення потужності коливань.

В роботі [33] було розроблено схему вібраційного верстата (рис. 160), в якій з метою підвищення продуктивності обробки пропонувалося збільшити амплітуди кутових коливань. Для цього у верстаті з електромагнітним віброзбудником, що містив пружно пов'язані контейнер і розташовану горизонтально реактивну плиту з електромагнітами, контейнер тороїдального типу був пружно зв'язаний з основою за допомогою додатково введеної в верстат відцентрової колони з трубою, що охоплює її, при цьому труба в нижній частині приєднувалася до колони кільцевим амортизатором, а у верхній частині з'єднувалася з контейнером за допомогою спиць. При цьому реактивна плита розташовувалася у верхній частині труби і була пов'язана з нею за допомогою пружних стрижнів, верхніми кінцями, закріпленими на реактивній рамі, а нижніми кінцями у фланці, жорстко приєднаному до нижньої частини труби. Реактивна плита встановлювалася на введеному в пристрій і змонтованому у верхній частині колони амортизаторі, спиці виконували у вигляді плоских пружин і приєднували до днища контейнера. Верстат працював у такий спосіб: кільцевий електромагнітний збудник створював збудовальну силу типу обертового вектора, що спричиняла горизонтальні поступальні коливання контейнера за круговими траєкторіями аналогічно до коливань, які спричинялися дебалансом, що обертається відносно вертикальної осі. Під час поступальних горизонтальних коливань система поведилася як двомасова у зв'язку з великою жорсткістю пружин у радіальному напрямку. Оскільки центри обох мас були рознесені по висоті, в системі виникали кутові коливання навколо

горизонтальних осей, що проходять через загальний центр мас системи. Таким чином, контейнер отримував об'ємні коливання, аналогічні коливанням, які збуджуються двома спрямованими в протилежні боки та рознесеними по висоті дебалансами в торієдальних машинах із вертикальним дебалансним приводом. Торієдальний контейнер, встановлений на плоских пружинах, утворював додаткову коливальну систему. Ця система мала два ступені свободи і дві головні форми власних коливань зі своїми власними частотами. Одна з форм представляла кутові коливання навколо горизонтальних осей, а інша - поступові коливання у вертикальному напрямку. Таким чином, без збільшення зазору в електромагнітах шляхом кінематичного збудження амплітуда кутових коливань контейнера повинна була підвищитися в 4-5 разів, що в стільки ж разів повинно було збільшувати інтенсивність і продуктивність вібраційної обробки.

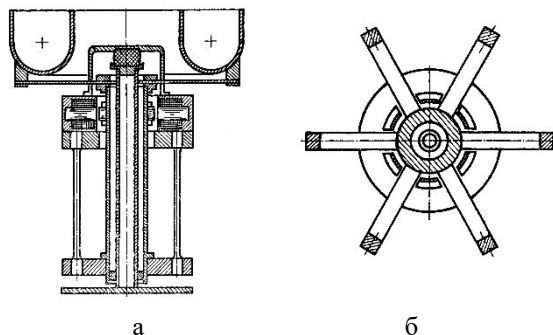


Рис. 160. Пристрій для вібраційної обробки з кутовими коливаннями:
а – вид спереду; б – вид зверху

Вище наведена конструкція була доволі складною, проте пропонувалися ще більш складні й доволі оригінальні конструкції, які продемонстрували свою надійність та високу ефективність.

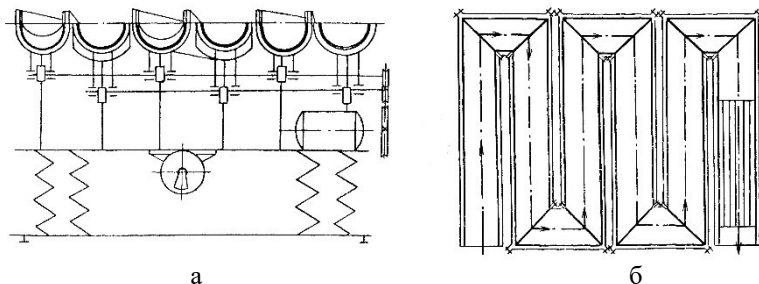


Рис. 161. Пристрій для вібраційної обробки з протяжними жолобами:
а – схема пристрою; б – схема руху абразивного матеріалу

В роботі [57] було представлено схему верстата (рис. 161) [56], що мала підвищити продуктивність обробки шляхом сполучення робочого середовища з обертанням уздовж порожнини контейнера в протилежних напрямках. Для досягнення поставленого завдання пропонувалося застосувати верстат із контейнером, виконаним у вигляді з'єднаних між собою протяжних жолобів, розташованих у плані паралельно, а по вертикалі - з різнойменним нахилом. При цьому жолоби були змонтовані на платформі за допомогою автономних пружних елементів і з'єднані між собою за допомогою поперечного пружного перехідника. Джерело коливань у площині, поздовжній розташуванню протяжних жолобів, було виконано у вигляді встановлених відповідно під кожним із жолобів за допомогою підшипникових опор двох дебалансних валів, що були кінематично пов'язані між собою з можливістю протилежного обертання. А джерело коливань у площині, поперечній розташуванню жолобів, виконувалося у вигляді дебалансного вібробуджувача, встановленого в середній частині платформи. Верстат працював таким чином: у контейнер завантажували робоче середовище, вмикали пристрій для безперервної подачі оброблюваних деталей, а також вібробуджувачі. Вібробуджувачі починали генерувати коливання. Завдяки зв'язку між платформою, вібробуджувачами і контейнером, останній також втягується в коливальні рухи. Деталі та робоче середовище набували

складного руху, внаслідок чого відбувалося їх постійне перемішування і просування в бік сепаратора. На сепараторі відбувалося відділення деталей, які після сепарації вивантажували в цехову тару або в приймальний пристрій наступної одиниці обладнання.

Розглянуті в цьому розділі схеми верстатів були покликані підвищити ефективність вібраційної обробки шляхом різних конструкторських рішень. Однак існує ціла низка розробок, у яких це питання вирішується із застосуванням хімічних, термічних, електрофізичних процесів. Нижче розглянемо найцікавіші з них.

5.3. Оцінка продуктивності методів хімічної, електрохімічної та електрофізичної обробки у вібраційних верстатах

Застосування хімічно активних розчинів є невід'ємною частиною процесу вібраційної обробки деталей. З огляду на високу ефективність самої вібраційної обробки, деякі автори пропонували підвищити продуктивність процесу, посилюючи ефект від хімічно активних розчинів, з цією метою було створено віброелектрохімічне обладнання. Прикладом такого обладнання може слугувати верстат, запропонований в роботі [87]. Його конструктивну схему наведено на рис. 162 [58]. У контейнер вібраційного верстата заливався електроліт, завантажувалися деталі та робоче середовище. Контейнер закривали кришкою з електроізоляційного матеріалу, у центрі якого закріплювали електрод. Він виготовлявся зі струмопровідних, стійких проти лугів і кислот матеріалів (другий електрод). Електроди підключалися до джерела постійного струму (рис. 162, а).

Одночасно з хіміко-механічною вібраційною обробкою протікало й анодне розчинення металу деталі, причому інтенсивніше розчинялися гребінці (виступи). Тими ж авторами був запропонований ще один спосіб інтенсифікації процесу віброелектрохімічної обробки (рис. 162, б),

у цьому випадку деталь жорстко закріплювалася і займала строго певне положення. А каталізатором хімічної реакції також виступав електричний струм.

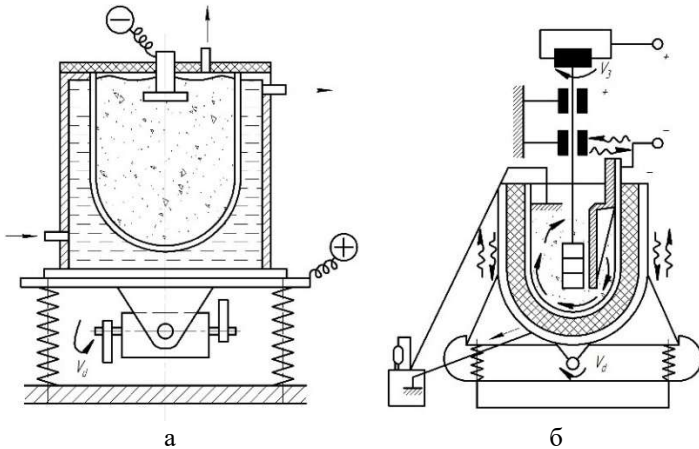


Рис. 162. Схема віброелектрохімічної обробки:
а – двоелектродна схема обробки в електроліті;
б – схема обробки із жорстким закріпленням деталі

Така інтенсифікація процесу є досить ефективною, але потребує підвищених заходів безпеки, робітник має володіти вищою кваліфікацією, крім того, конструкція є досить складною.

Як відомо, посилити вплив хімічно активних розчинів і підвищити ефективність і продуктивність процесу загалом дає змогу підвищення температури. Розглянемо далі верстати, в яких використовується така властивість.

Крім інтенсифікації процесу завдяки вищій ефективності хімічних розчинів, дослідники пропонували спосіб вібротермічної обробки, який застосовували не тільки на етапі зміцнювальних операцій, а й для зняття залишкових напружень, а також нанесення деяких видів плівок. Суть цього способу полягала в підігріві робочого середовища в процесі обробки.

В роботі [88] було представлено конструкцію вібротермічного верстата (рис. 163).

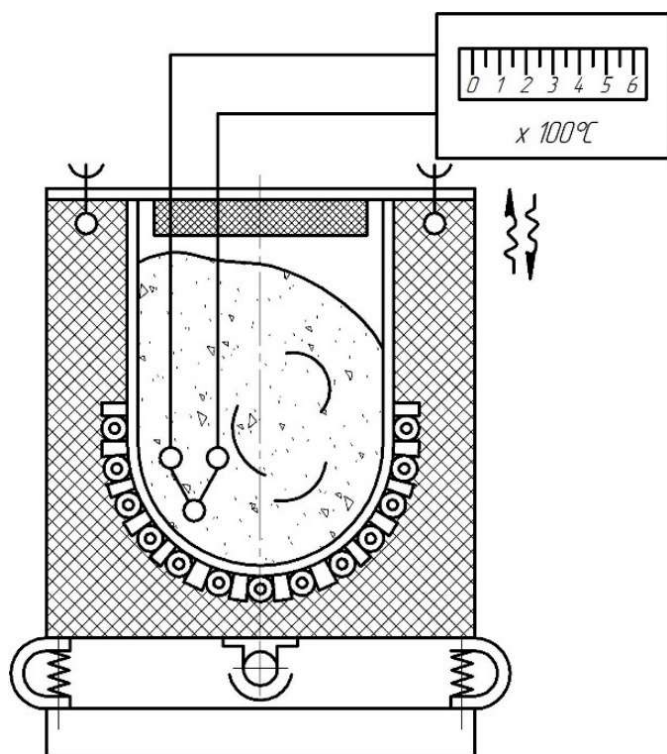


Рис. 163. Контейнер для вібротермомеханічної обробки

Розташовані на нижній частині контейнера трубчасті електронагрівачі розділялися тепловідвідними ребрами. Між кожухом і контейнером, а також у вставній частині кришки був теплоізолятор (жаростійка тканина або гранульована мінеральна вата, облицьована зовні металевим листом). Кришка кріпилася за допомогою відкидних болтів. Для регулювання теплового режиму використовувалася термопара з потенціометром.

В роботі [89] для оздоблювально-зміцнювальної обробки, зняття залишкових напружень і підготовки поверхні деталі під нанесення покриття було запропоновано вібротермічний верстат, показаний на рис. 164.

У цьому верстаті з метою економії енерговитрат нагрівальні елементи були жорстко пов'язані в єдиний блок, який шарнірно з'єднувався з додатково введеним у пристрій і жорстко закріпленим на основі кронштейном, що давав змогу здійснювати поворот нагрівального блока відносно вертикальної осі контейнера на $5-30^{\circ}\text{C}$.

Однак як і віброелектрохімічні верстати, вібротермічні також не набули широкого поширення, що пояснюється складністю їхньої конструкції та підвищеними енерговитратами, які необхідні для забезпечення їхньої роботи.

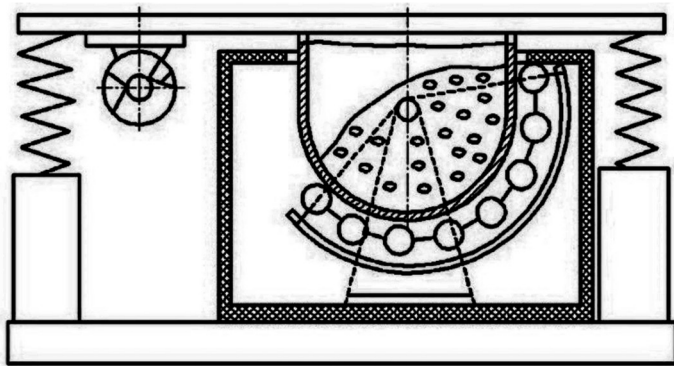


Рис. 164. Вібротермічний верстат

Зазвичай вібраційна обробка відбувається на відносно низьких частотах, саме тому дослідники роблять спробу доповнити процес коливаннями більш високої частоти. Зокрема російські вчені пропонують інтенсифікацію процесу вібраційної обробки шляхом створення в

робочому середовищі ультразвукових хвиль. Авторами [109] розроблено технологічну схему комбінованої віброультразвукової обробки. Пропонована схема інтенсифікації процесу вібраційної обробки з використанням комплексного акустичного поля (рис. 165) представлена у вигляді компонування вібраційного верстата й ультразвукового перетворювача 5. Робочій камері прямокутної форми 8, встановленій на пружних пружинах 4, що має можливість коливатися в різних напрямках, передають вібрацію від інерційного вібратора 7 у вигляді обертового вала з незбалансованими вантажами з частотою до 50 Гц і амплітудою від 0,5 до 6-8 мм. Робота перетворювача 5 забезпечується сполученням електричних імпульсів, що передаються за допомогою системи 2 ультразвуковим генератором 1.

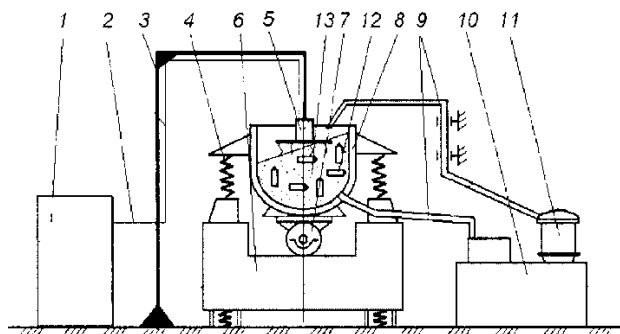


Рис. 165. Технологічна схема процесу вібраційної обробки з накладанням ультразвукових хвиль: 1 – ультразвуковий генератор; 2 – система підведення живлення; 3 – стійка; 4 – пружина; 5 – ультразвуковий перетворювач; 6 – основа; 7 – віброзбуджувач; 8 – робочий контейнер; 9 – система подачі і зливу технологічної рідини; 10 – бак відстійник; 11 – помпа; 12 – оброблювані деталі; 13 – робоче середовище

Розробники також пропонують кілька варіантів встановлення ультразвукового перетворювача відносно робочої камери вібраційного верстата. На рис. 166 представлено варіанти конструкцій робочих контейнерів.

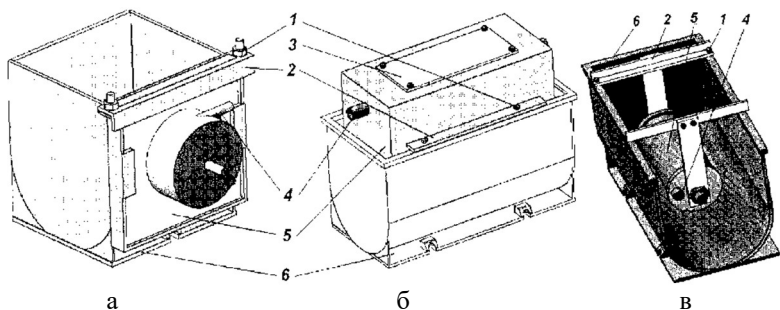


Рис. 166. Конструкція робочого контейнера для віброультразвукової обробки деталей у вільному стані з розташуванням ультразвукового перетворювача:

- а – у стінці робочого контейнера; б – над робочим контейнером;
 в – біля днища робочого контейнера: 1 – різьбові з'єднання; 2 – кріплення;
 3 – оглядовий люк; 4 – штуцер для подавання охолоджувальної рідини;
 5 – ультразвуковий перетворювач; 6 – робочий контейнер

Дослідниками встановлено, що кожна з представлених схем дає змогу реалізувати додаткові можливості комбінованого методу.

Так, у разі «вбудовування» джерела ультразвукових коливань у стінку робочого контейнера (рис. 166, а) під різними кутами створюється можливість підсумовування механічних та ультразвукових хвиль, що впливають на масу завантажувального матеріалу, унаслідок чого значно збільшується циркуляція робочого середовища та створюється можливість виконувати обробку за більш «м'якими» режимами.

Під час фіксації перетворювача над контейнером на рівні циркуляції робочого середовища (рис. 166, б) забезпечується його підтискання на певну величину, що призводить до збільшення сил зіткнення частинок між собою та деталями, що обробляються, у зоні низького тиску, і, як наслідок, підвищення інтенсивності обробки. Перевагою розглянутої схеми є її висока універсальність, оскільки зберігається незмінність конструкції та геометрії робочого контейнера, що дає змогу використовувати пристосування для встановлення перетворювача по торцю робочого контейнера або відокремлено для обробки партії деталей, після чого його демонтувати.

Розташування перетворювача на відстані 5-6 шарів від днища робочого контейнера (рис. 166, в) забезпечує зростання коливань у його центрі, які за базової схеми вібраційного оброблення є дуже малими завдяки втраті енергії під час проходження багат шарового робочого середовища. Підвищення інтенсивності обробки забезпечується за рахунок створюваного простору, в якому перебуває певний об'єм робочого середовища, частинки якого отримують коливання з одного боку від стінки робочого контейнера, а з іншого – від ультразвукового перетворювача. Під час руху оброблюваних деталей під дією циркуляції в даному просторі сили зіткнення і кількість ударів із частинками робочого середовища значно зростають [109].

Слід зазначити, що дослідники прагнуть інтенсифікувати процес вібраційної обробки без підвищення навантажень на основні вузли вібраційного верстата (підшипникові вузли, контейнер тощо) і саме застосування додаткових ультразвукових коливань дає змогу здійснити поставлене завдання.

Перспективним напрямком вібраційної обробки вважається розробка спеціальних вібромагнітних верстатів [110, 111].

Застосування магнітних коливань з метою інтенсифікації процесу вібраційної обробки можна зустріти як у більш ранній період, так і в даний час.

Метою застосування цього методу, як правило, є протидія злипанню деталей у процесі обробки, проте застосування магнітних коливань у різних авторів мало своє призначення.

Наприклад, пропонувалося обладнання, в якому магнітні коливання спрямовані саме на деталь, що має феромагнітні властивості. Сутність такої обробки полягає в тому, що на обробне середовище і заготовки, поміщені в робочий контейнер вібраційного верстата, впливає постійне магнітне поле, спрямоване перпендикулярно площині циркуляційного руху робочого середовища (рис. 167). Робоче середовище переміщається під дією вібрації, а оброблювані феромагнітні деталі

орієнтуються вздовж магнітних силових ліній. Магнітні силові лінії проходять через робочий контейнер у напрямку від одного полюса до іншого. Заготовки не зіштовхуються під час обробки завдяки їх взаємному відштовхуванню.

Заготовки, поміщені в міжполюсний простір електромагніту, займають стійке положення. За кількості заготовок не більше шести, сили взаємного відштовхування змушують їх розташовуватися по колу. За більшої кількості заготовки рівномірно заповнюють об'єм міжполюсного простору, прагнучи розташуватися на однаковій відстані одна від одної. Крім того, підйом електромагніту спричиняє переміщення разом із ним заготовок, що полегшує їх відокремлення від робочого середовища [111].

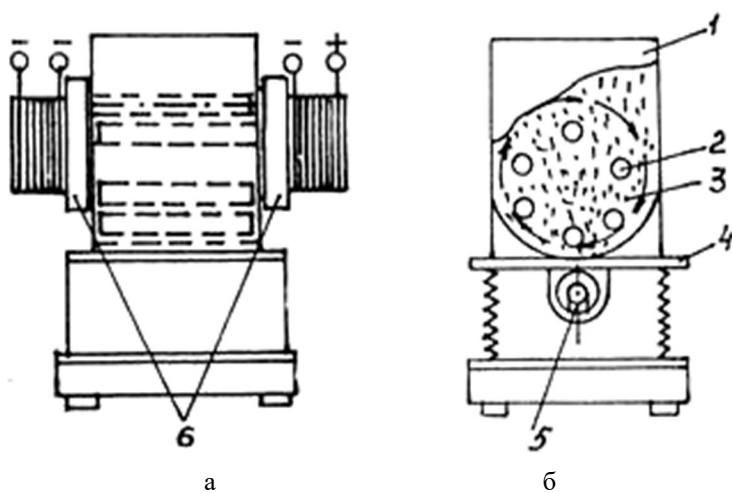


Рис. 167. Установка для вібромагнітної обробки:
 а – вид спереду; б – вид збоку; 1 – робочий контейнер; 2 – заготовка;
 3 – робоче середовище; 4 – платформа; 5 – вібробуджувач;
 6 – електромагніти

Слід зазначити, що описана вище конструкція досить оригінальна, проте її основним недоліком є вимога до деталей вони повинні мати

феромагнітні властивості, а це означає малу номенклатуру деталей, які піддаються обробці даним методом.

У роботі [119] було запропоновано спосіб вібраційного оброблення деталей із немагнітних матеріалів із підвищенням відносної швидкості деталі та абразивних робочих тіл і відповідно збільшенням силового імпульсу в зоні контакту гранул і деталей. Для досягнення поставленого завдання було розроблено верстат, представлений на рис. 168. У зазначеному верстаті було реалізовано спосіб вібраційної обробки, за якого деталі обробляли у вібраційному контейнері, у якому створювали магнітне поле, що було спрямоване по черзі в протилежних напрямках. Воно здійснювало вплив на робоче середовище, яке складалося з абразивних робочих тіл двох типів, що мали і не мали феромагнітних властивостей. Завдяки впливу магнітного поля на ті гранули, що мали феромагнітні властивості, забезпечувалися додаткові імпульси, які сприяли активізації процесу обробки.

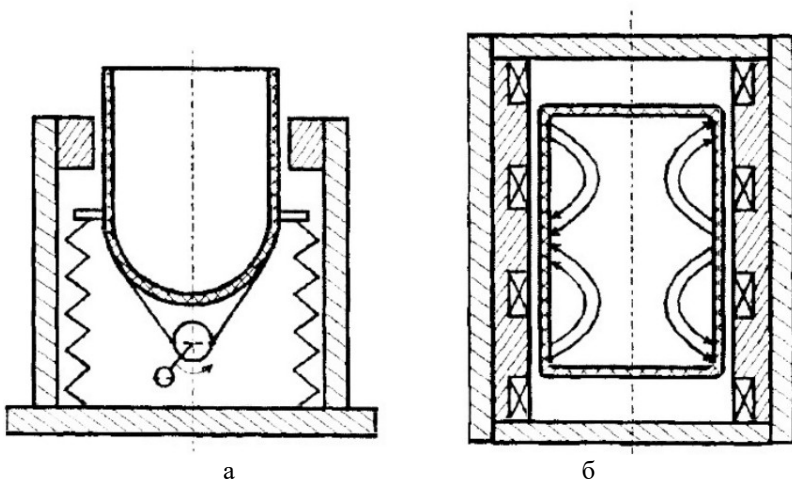


Рис. 168. Вібраційний верстат для обробки немагнітних матеріалів:
а – вид спереду; б – вид збоку

Відомо, що додаткові коливання, які передаються як деталі, так і робочому середовищу, мають позитивний характер, проте, на наш погляд, більш раціонально передавати коливання, які створюють електромагніти, робочому середовищу, при такій схемі оброблення менше обмежень насамперед за напрямком таких коливань.

До загальних переваг методу слід віднести легкість регулювання як частоти, так і коливань, створюваних електромагнітами.

До недоліків методу, як і до більшості комбінованих методів вібраційної обробки, можна віднести ускладнення конструкції.

5.4. Розробка та дослідження методів оптимальної інтеграції пристроїв для розділення деталей і гранул робочого середовища у вібраційну систему верстата

Розглядаючи метод вібраційної обробки і технічні засоби, використовувані під час його реалізації, неможливо не зупинитися на механізації допоміжних операцій. Без цього картина руху інженерної думки в цій галузі була б неповною.

Резервом подальшого підвищення продуктивності вібраційного методу обробки деталей є механізація допоміжних процесів (завантаження, вивантаження деталей, поділ оброблених деталей і обробних тіл та ін.), що сприяє скороченню допоміжного часу, полегшенню умов обслуговування вібраційних верстатів і повнішому використанню їхніх технічних можливостей.

Удосконалення засобів механізації допоміжних процесів вібраційної обробки деталей ведеться в наступних напрямках: механізація допоміжних переходів (створення індивідуальних, групових і вбудованих у конструкцію верстатів пристроїв) і повна автоматизація вібраційних верстатів.

Допоміжне обладнання, що застосовується на дільницях вібраційного оброблення деталей, може бути розділене на такі групи:

1. Роздільні пристрої (сепаратори),
2. Підйомно-транспортні засоби.
3. Тара для деталей.
4. Ванни для підготовки поверхонь деталей.
5. Обладнання для сушіння деталей.
6. Бункери (ємності) для робочих середовищ.
7. Пристрої для приготування і подачі розчинів до вібраційних верстатів.
8. Пристрої для сортування абразивних гранул робочого середовища.

9. Відстійники для відпрацьованих розчинів.

Аналіз циклу операції вібраційного оброблення показав, що його значну частину становить час розділення деталей і гранул робочого середовища. При цьому операція розділення вимагає застосування спеціальних механізмів.

Поділ обробного середовища і деталей здійснюють різними способами залежно від таких факторів [59, 80, 102, 103]:

- а) тип виробництва;
- б) питома маса, габаритні розміри і матеріал оброблюваних деталей;
- в) матеріал і грануляція робочого середовища;
- г) технологічні вимоги до оброблюваних деталей.

Для розділення гранул робочого середовища і деталей існує кілька шляхів:

- відсіювання;
- ручне вилучення великих деталей;
- магнітна сепарація деталей зі сталей і сплавів;
- поділ за питомою масою;
- поділ за різницею форм.

Поділ сталевих полірованих кульок і деталей здійснюють відсіюванням або ручним витяганням великих деталей, а також із застосуванням вантажопідйомних пристроїв.

Сьогодні деталі, що мають розміри понад 200 мм, в одиничному і дрібносерійному виробництві завантажуються і виймаються вручну або із застосуванням вантажопідйомних пристроїв.

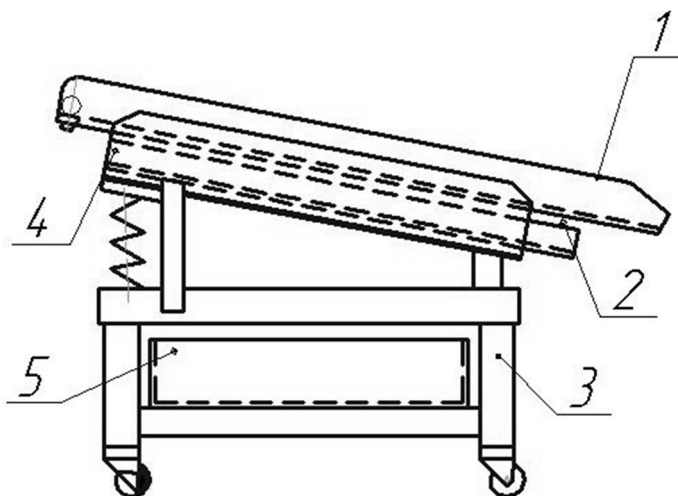


Рис. 169. Пересувне сито:

1, 2 – стінні решітки; 3 – рама; 4 – рамка; 5 – збірник абразиву

Роздільники можуть бути стаціонарними, перемішуваними або являти собою складову частину вібраційної машини. За видами роздільники (сепаратори) поділяються на:

1. Ситові роздільники:

- а) універсальні сита на пружинах: нерухомі, рухомі;
- в) струшувальні сита (хитні);
- г) барабанні сита: циліндричні та призматичні; конічні або у вигляді усіченої піраміди;
- д) вібраційні сита;

е) сита - кошики з жорстким або гнучким решетом.

2. Вібраційні маніпулятори.

3) Магнітні сепаратори.

4. Пневматичні сепаратори.

У ситових роздільниках деталі і гранули робочого середовища засипаються на сито і вручну просіваються. Нерухомі сита малопродуктивні, тому застосовуються рідко, в основному для відділення від абразивних або неабразивних гранул дрібних деталей, а також відсіву дрібних фракцій гранул робочого середовища [81, 118].

Плоскі механічні сита виконуються з приводом від електромотора. Гойдання здійснюється від колінчастого валу або ексцентрикового механізму (рис. 170) [81]. Шатунний механізм дає зворотно-поступальний рух платформі, на якій розташований сітчастий настил.

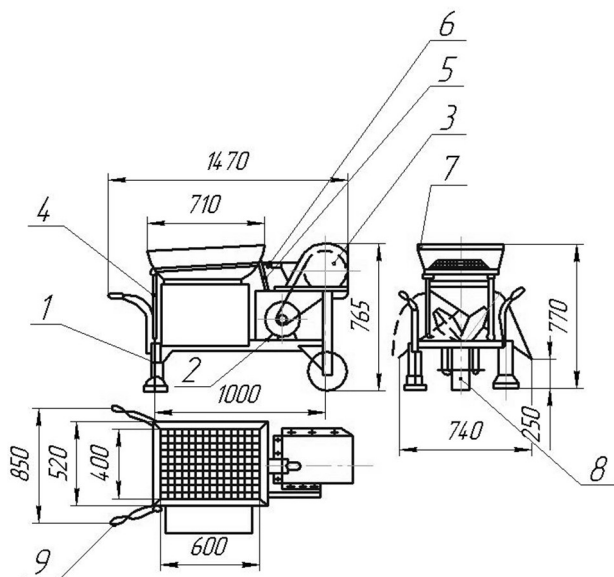


Рис. 170. Струшувальне плоске сито:

1 – каркас, 2 – електродвигун, 3 – шків, 4, 5 – шарнірні стійки,
6 – шатун, 7 – сито, 8 – колесо, 9 – ручки

Сита для відокремлення деталей від сталевих кульок і абразиву можуть вбудовуватися в механізовану лінію вібраційного оброблення деталей.

На рис. 171 зображено пневматичний сепаратор, що складається з пневмоциліндра і вилки, пов'язаних системою важелів.

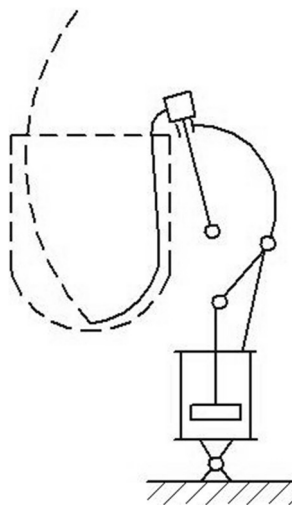


Рис. 171. Пневматичний сепаратор

Після закінчення циклу обробки, не вимикаючи верстат, пневмоциліндр через систему важелів приводить у рух сепараторну решітку, виконану у вигляді виделки, через пази якої просіюються гранули робочого середовища, а деталі вивантажуються. Перевагою вище зазначеного пристрою є його простота. У практиці розділення пневматичні сепаратори використовуються дуже рідко [59].

Для спрощення відокремлення деталей від гранул робочого середовища без зупинки вібраційного верстата було запропоновано кілька розділових пристроїв із гнучкими ґратами. Один із них (рис. 172) складається з рамки 8, 7 із прутами жорсткості 1, які пов'язані з шарнірно-

з'єднувальними ланками 2, 3 і 4. Кільцем 9 пристосування одягається на гак підйомно-транспортного пристрою.

Після того, як обробка деталей у контейнері буде закінчена, пристосування, що має умовну назву «Невод», важелями 6 і крайніми ланками 4 вводиться у вібруючий контейнер. Під дією обертального руху середовища багатоланкова частина пристосування затягується в контейнер, причому вся система ланок ковзає по стінках контейнера. Через деякий час крайні ланки 4 і важелі 6 пристрою з'являються над поверхнею середовища з боку, протилежного тому, де пристосування заводилося в контейнер. Важелі 6 накидаються на прутки 1 решітки. Потім, надівши кільце 9 ланцюга на гак підіймача і давши йому рух угору, пристосування витягують із контейнера. Гранули середовища, які мають бути меншими за пази між ланками решітки пристосування, проходять крізь зазори «Неводу», а оброблювані деталі витягають із контейнера [44, 59].

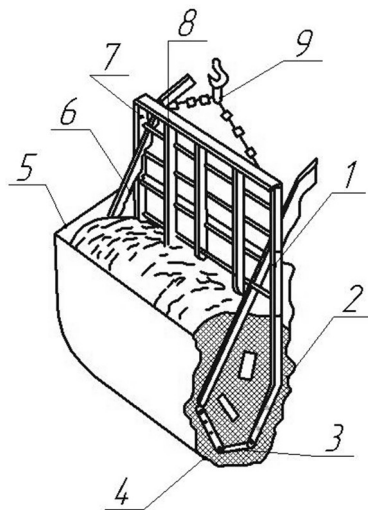


Рис. 172. Розвантажувальне пристосування типу «Невод»:

1 – прутки жорсткості; 2, 3 і 4 – шарнірно-з'єднані ланки;
5 – бункер; 6 – важелі; 7, 8 – елементи жорсткості решітки; 9 – кільце

Вібраційний розділювальний пристрій, показаний на рис. 173, призначений для розділення деталей і оброблювального середовища (зокрема, сталевих кульок діаметром 5-7 мм) після операції віброполірування [103].

Вібраційний розділювальний пристрій складається з рами 4, на якій на 4-х парах С-подібних плоских пружин 3 кріпиться платформа 2. Коливальний рух платформи передається вібробуджувачами 5. У розділювальному пристрої для збудження коливань використовують вібробуджувач загального призначення з круговими коливаннями моделі С795 (ІВ-22).

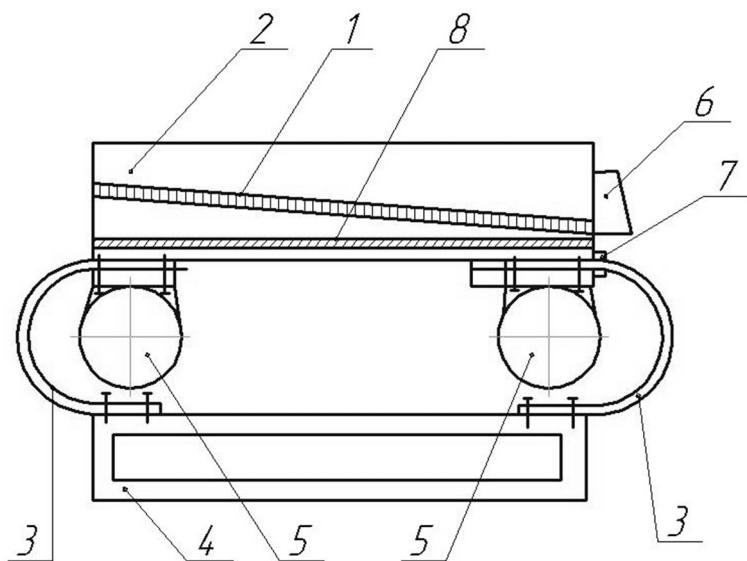


Рис. 173. Вібраційний розділювальний пристрій:
1 – настил сітчастий; 2 – платформа; 3 – ресора; 4 – рама;
5 – вібробуджувач; 6 – жолоб для вивантаження деталей;
7 – жолоб для вивантаження гранул робочого середовища; 8 – настил

На рис. 174 зображено сепаратор [7], який виконано у вигляді вібраційного пристрою, забезпеченого двома гвинтовими поверхнями,

розташованими у вигляді двозахідного гвинта. Одна з поверхонь забезпечена сепарувальними отворами, гранули провалюються через отвори і по нижній гвинтовій поверхні, рухаючись вгору під дією коливань, повертаються в бункер вібраційного верстата. Деталі по верхній гвинтовій поверхні відводяться в сторону.

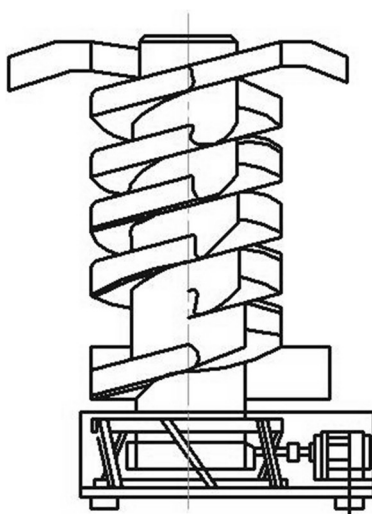


Рис. 174. Вібраційний сепаратор

Ці сепаратори можна використовувати лише для розділення деталей і гранул середовища певних розмірів і конфігурації. Вони мають недоліки ситових роздільників. Крім того, вони складні конструктивно і нестійкі в роботі, вимагають підтримання суворо визначених умов експлуатації.

На рис. 175 зображено вібраційний верстат [8], у якого над контейнером встановлено пристрій для сепарації та відокремлення деталей від обробного середовища у вигляді барабана. Барабана встановлено на приводному валу. Він виконаний порожнистим, перфорованим. На периферійній частині барабана встановлені ковші - сита, в основі яких розташовані вікна зі стулками. З метою можливості просіювання гранул

робочого середовища завдяки передачі коливань від контейнера до барабана, приводний вал барабана встановлено у вертикальних пазах бічних стінок контейнера на шарнірних підвісках. На внутрішній поверхні барабана встановлені шнекові пластини.

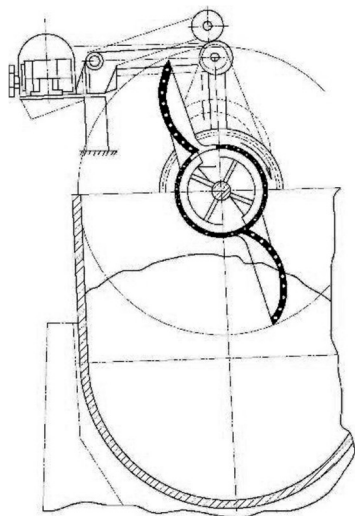


Рис. 175. Вібраційний верстат із барабанним сепаратором

Для регулювання висоти занурення і фіксації в контейнері пристрою для сепарації та поділу він виконаний у вигляді рами, яка складається з двох важелів, жорстко пов'язаних штангою. Рама закріплена шарнірно на стійках, одна з яких обладнана фіксатором. Відокремлення деталей від гранул робочого середовища проводиться при працюючому вібраційному верстаті. Обсяг деталей, що витягуються з гранулами робочого середовища, регулюється зміною швидкості обертання барабана і глибини занурення барабана з ковшами в робоче середовище.

Описаний вище розділювальний пристрій має всі недоліки роздільників, обладнаних ситами і, крім того, він складний конструктивно, а

також недосконалий і небезпечний в експлуатації, оскільки передбачає переведення барабана в робоче положення вручну.

На рис. 176 показано один із вібраційних маніпуляторів, який здійснює витяг виробів із контейнера після вібраційної обробки.

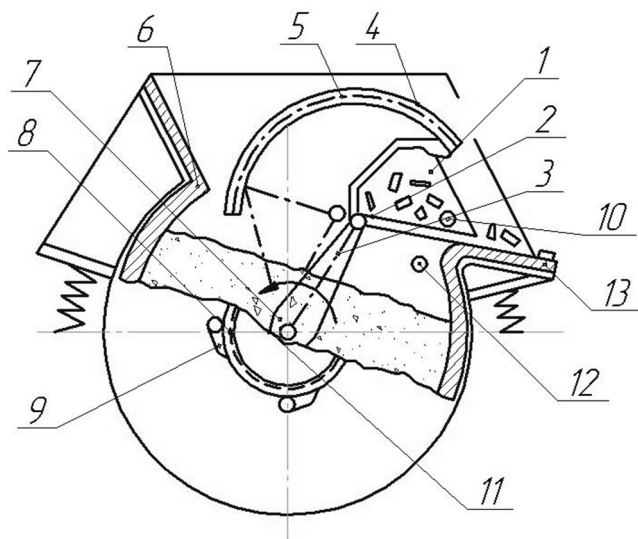


Рис. 176. Сепарація деталей за допомогою вібраційного маніпулятора:
1 – сітчастий ківш; 2, 7 – осі; 3 – важелі; 4, 9 – собачки; 5 – зубчасті рейки;
6 – контейнер; 8 – храпові колеса; 10, 11 – упори; 12 – напрямний кулачок;
13 – розвантажувальна платформа

Маніпулятор має захватний орган у вигляді сітчастого ковша 1, шарнірно закріпленого на осях 2 важелів 3. На кінці встановлені собачки 4, що контактують із дуговими зубчастими рейками 5, закріпленими на внутрішніх торцевих стінках контейнера 6. Осі 7 важелів виведені назовні контейнера і на них закріплені храпові колеса 8, що контактують із підпружиненими собачками.

Автоматичне керування рухами маніпулятора здійснюється за допомогою висувного пневмокамерного упору 10, підпружиненого упору 11 і нерухомого напрямного кулачка 12.

У процесі вібраційної обробки і завантаження виробів кулачок спирається на розвантажувальну платформу 13 контейнера і фіксується упорами 10 і 11. Маніпулятор вмикається в роботу при автоматичному встановленні упору 10, ківш отримує можливість здійснювати коливання під дією сил інерції навколо осі 2. Дугові рейки 5 і собачки 4 разом із ковшем утворюють механізм вільного ходу, який перетворює коливання ковша на обертальний рух, за якого він встановлюється в положення захоплення, показане пунктиром. Приймавши положення захоплення, ківш встановлює підпружинений упор 11 і тим самим вмикає інший механізм вільного ходу, утворений важелями 3, храповими кільцями 8 і собачками 9. Коливання важелів 3 спільно з ковшем навколо осі 7 механізмом вільного ходу перетворюється на обертальний рух, при якому вхідна порожнина ковша переміщається назустріч потоку циркулюючого середовища. Під час виходу із середовища ківш взаємодіє з кулачком 12 і упором 10 і, повертаючись навколо осі 2, приводиться в положення розвантаження.

Використання вищенаведених способів поділу деталей і гранул робочого середовища без зупинки верстата за допомогою вібраційних маніпуляторів доцільно в тих випадках, коли без них неможлива ефективна вібраційна обробка деталей, оскільки вони ще не мають високої експлуатаційної надійності та становлять швидше теоретичний, ніж практичний інтерес.

Вібраційний верстат, зображений на рис. 177 [24], містить контейнер на пружних опорах, що приводяться в коливальний рух віброзбуджувачем. Контейнер оснащений сепарувальним пристроєм із шарнірно закріпленою розділювальною решіткою. Сепарувальний пристрій має механізм введення і виведення решітки з внутрішньої порожнини контейнера у вигляді силового циліндра. Для забезпечення плавного дистанційного регулювання режиму сепарації верстат забезпечений рамою. На рамі шарнірно закріплена розділювальна решітка. Пружна ланка пов'язує раму з контейнером через жорстко пов'язаний з нею

консольний елемент. Для забезпечення сепарації оброблюваних деталей, розміри яких менші за розміри оброблювального середовища, розділювальна решітка забезпечується перфорованою кришкою.

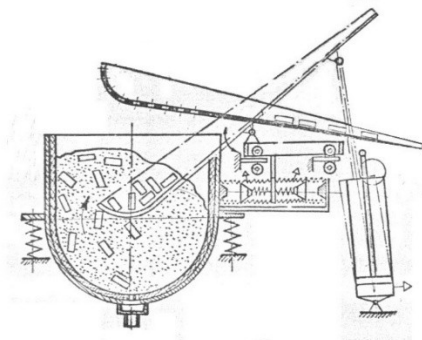


Рис. 177. Вібраційний верстат із сепарувальним пристроєм

Цей верстат працює наступним чином. Після закінчення обробки в силовий циліндр подається робоче середовище, і ківш своєю лівою частиною опускається в контейнер, за рахунок циркуляції середовища завантаження на нього набігають деталі та оброблювальне середовище. Гранули робочого середовища просипаються через отвори в днищі ковша, а деталі під час підйому ковша висипаються в тару для готової продукції. Контейнер з'єднаний зі станиною сепарувального пристрою за допомогою сильфона і передає коливання ковшу останнього з амплітудою, яка буде залежати від тиску робочого середовища в сильфоні і яку можна регулювати.

За задумом цей пристрій має забезпечувати надійність поділу, механізуючи процес вібраційного оброблення. Однак, маючи недоліки силових відокремлювачів, він конструктивно складний, ненадійний в експлуатації, має підвищений знос [116].

Відділення деталей від обробного середовища може здійснюватися різними магнітними засобами [1]. Вибір конструкції магнітних засобів залежить від типу виробництва; від маси, форми, габаритних розмірів

оброблюваних деталей; від металів деталей, що мають властивість магнітопроникності. У практиці для відокремлення деталей масою 0,050 кг, що обробляються у вібраційних верстатах (з ємністю контейнера від 10-80 дм³), використовують постійні магніти або ручні електромагніти. Для відокремлення деталей масою 0,03-3,0 кг, оброблюваних великими партіями загальною вагою 30-300 кг, використовують електромагнітні пристрої [118].

Основними частинами вантажного електромагніта (рис. 178) є сталевий литий корпус 1 і розміщені в ньому соленоїдні котушки 2, електричний струм до обмоток яких підводиться гнучким кабелем 3. Знизу котушки захищені від пошкодження листом 4 з немагнітного матеріалу (латунь або високомарганцева сталь). Під час опускання в контейнер елемента магніту, підвішеного до вантажного гака, і під час під'єднання котушки до джерела струму утворений магнітний силовий потік проходить через корпус і замикається через магнітопровідний вантаж (оброблювані деталі), який притягається електромагнітом й утримується доти, доки котушку не буде відключено від мережі.

У разі вилучення з контейнера складних об'ємних деталей можуть застосовуватися електромагніти з рухомими полюсами, що висувуються донизу, такі електромагніти забезпечують краще зіткнення з деталями, які піднімають, але характеризуються збільшеною власною вагою і підвищеною витратою електроенергії.

Підйомна сила (вантажопідйомність) кожного електромагніту не залишається постійною. Вона більшою мірою залежить від форми і розмірів відокремлюваних деталей, а також від форми і розмірів повітряних проміжків між вантажними частинками (деталлями).

Вантажопідйомність електромагнітів знижується в міру погіршення магнітних властивостей деталей, що відокремлюються (наприклад, у разі підвищення відсоткового вмісту марганцю і нікелю в сталі).

Недоліком підйомника для поділу і вивантаження деталей, представленого на рис. 178, можна вважати необхідність неодноразового введення електромагніту в контейнер для повного витягання деталей, а також неможливість застосування для відділення немагнітних деталей.

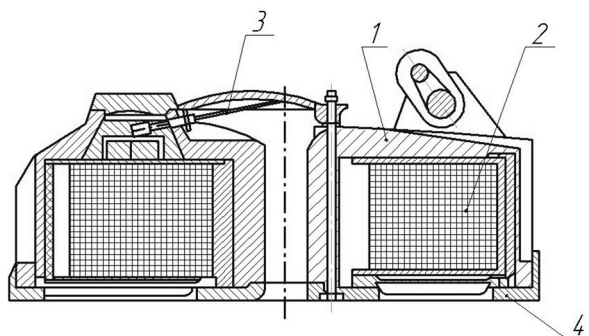


Рис. 178. Вантажний електромагніт:
1 – сталевий корпус; 2 – електрокатушки; 3 – гнучкий кабель;
4 – лист (із немагнітного матеріалу)

У роботі [18] запропоновано електромагнітний сепаратор із бігучим магнітним полем (рис. 179). Він складається з магнітопроводу 1, намагнічувальних котушок постійного струму 2, полюсних наконечників 3 і додаткової трифазної системи із зубчастим магнітопроводом 5. Полюсні наконечники закриті жорсткою немагнітною прокладкою 7, що розташована по всій довжині трифазної системи.

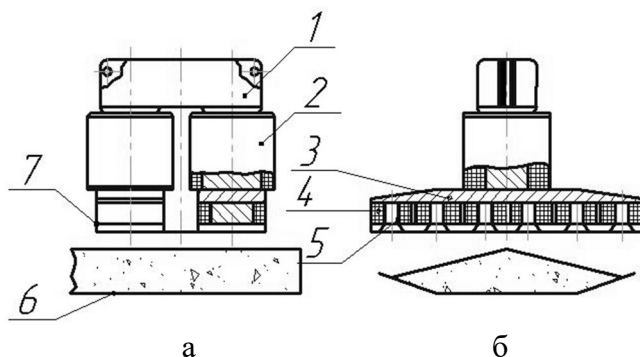


Рис. 179. Електромагнітний сепаратор з біжучим магнітним полем:
1 – магнітопровід; 2 – намагнічувальні котушки постійного струму;
3, 4 – полюсні наконечники; 5 – зубчастий магнітопровід;
а – вид спереду; б – вид збоку

Під час увімкнення намагнічувальних котушок 2 у міжполюсному об'ємі створюється стаціонарне магнітне поле достатньої глибини, потрібної для витягання феромагнітних предметів із матеріалу, що сепарується, розташованого на транспортері 6. Котушки трифазної системи 4 підключаються до мережі трифазного струму, внаслідок чого по довжині полюсних наконечників створюється біжуче магнітне поле.

Ферромагнітні предмети, що витягуються (за допомогою стаціонарного магнітного поля) з матеріалу, що сепарується, притягаючись до немагнітної прокладки 7, потрапляють у зону дії рухомого магнітного поля, створюваного двома трифазними електромагнітними системами, що працюють паралельно і виходять у трифазний струм, і виносять витягнуті феромагнітні предмети (деталі) із зони витягання в зону розвантаження за межі контейнера.

Перевагою цього роздільника є відсутність механічно рухомих частин, недоліком є наявність тертя деталей об нерухомий екран.

У Львівському політехнічному інституті ордена Леніна, нині національний університет «Львівська політехніка», було розроблено принципово новий універсальний віброструменевий роздільник (сепаратор) робочого середовища і деталей [6]. Поділ здійснюється за питомою масою, незалежно від розмірів і магнітних властивостей компонентів.

Віброструменевий сепаратор зображений на рис. 180. Він являє собою вібраційний бункерний живильник 1 із герметизованою чашею 2, заповненою рідиною. Чаша має внутрішню 3 і зовнішню 4 доріжки. Нижня частина внутрішньої доріжки порожниста і слугує насосом, а верхня суцільна і слугує для виведення важкого компонента робочого середовища з чаші на лоток 5 через вікно 6. Лоток 7 призначений для виведення через вікно 8 в тару легкого компонента робочого середовища.

Під дією спрямованої вібрації робоче середовище переміщується до доріжки 3 і рухається вгору. Менш щільні тіла під дією струменів виносяться на зовнішню гвинтову доріжку 4 і далі під дією вібрації до вікна 8 і лотка 7, а щільні тіла – до вікна 6 і далі на лоток 5.

Слід вважати, що конструктивна складність такого пристрою є серйозною перешкодою для її практичного застосування.

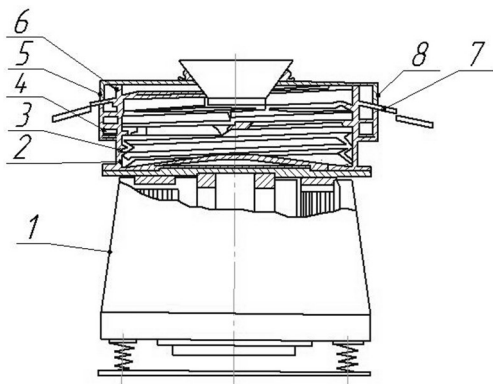


Рис. 180. Віброструменевий сепаратор:

1 – бункерний живильник; 2 – герметична чаша; 3, 4 – гвинтові доріжки;
5, 7 – лоток; 6, 8 – вікна

Вібраційний верстат, зображений на рис. 181 [20], може працювати у двох режимах: робочому і режимі відділення оброблюваних виробів від робочого середовища.

У робочому режимі віброзбуджувачі 9 обертаються синхронно в один бік. Під дією цих коливань робоче середовище і деталі, розосереджені в ньому, набувають коливальних і кругових рухів навколо осей контейнерів 1.

Під час роботи в режимі відокремлення деталей від робочого середовища нижня зірочка 14 ланцюгової передачі 12 за допомогою зчіпної кулачкової муфти 15 з одним фіксованим положенням роз'єднується з валом і одним з електродвигунів 11.

Робочий орган верстата набуває прямолінійних коливань у горизонтальній площині. Під дією цих коливань оброблювані деталі, будучи легшими за робоче середовище, впливають на поверхню, тобто відбувається відділення деталей від робочого середовища. Такий пристрій

вібраційного верстата розв'язує питання поділу, але не передбачає витягування деталей із контейнера.

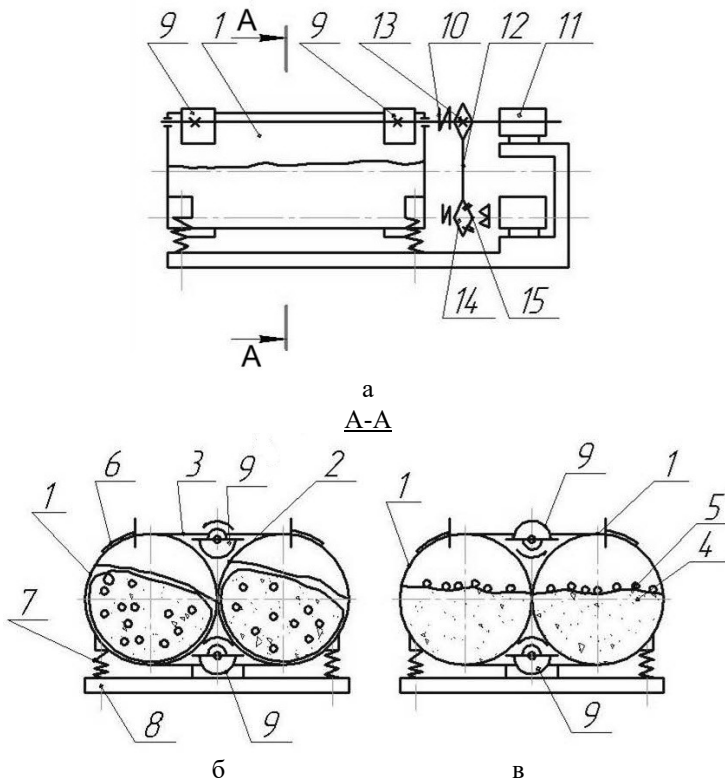


Рис. 181. Вібраційний верстат із розділенням спрямованою вібрацією:
 1, 2 – контейнери; 3 – елементи з'єднання дебалансних дисків з контейнерами; 4 – абразивний матеріал; 5 – деталі, що обробляються; 6 – люк;
 7 – опорні пружини; 8 – станина; 9 – дебалансні диски; 10 – муфти;
 11 – електродвигуни; 12 – ланцюгова передача; 13, 14 – відповідно верхня та нижня зірочки; 15 – кулачкова муфта;
 а – загальна схема утворення коливань; б – положення шихти при роботі верстата; в – положення шихти у стані спокою

На рис. 182 представлено схему пристрою [109], у якого замкнена гумова стрічка 1 встановлена з можливістю нахилу її у двох площинах під кутами, що забезпечують самовикочування гранул робочого середовища у встановлений по довжині стрічки лоток 6.

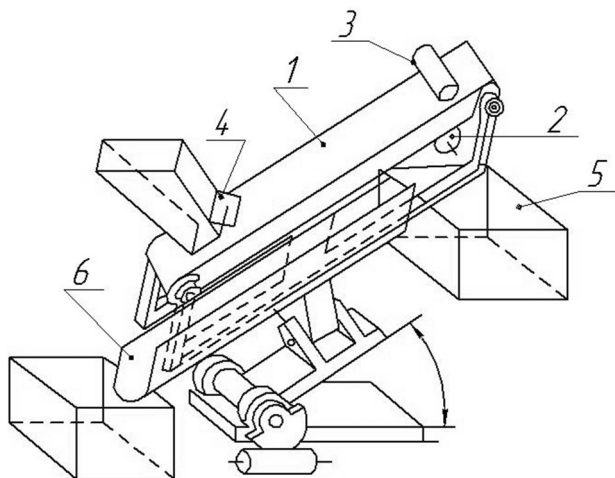


Рис. 182. Пристрій для транспортування і відділення деталей від гранул робочого середовища:

1 – гумова стрічка; 2, 3 – обертові щітки; 4 – скребок; 5 – бункер; 6 – лоток

Для створення рівномірного шару на рухомій стрічці пристрою у завантаженому бункері передбачено регульовану підпружинену стулку 4.

Вологі деталі прилипають до сепарувальної поверхні і рухаються вгору. Потім вони скидаються обертовою щіткою 2 в бункер 5. Робоче середовище скочується в лоток 6. Гранули, що залишилися на стрічці, скидаються обертовим валиком 3.

Важливою проблемою при конструюванні вібраційних верстатів є інтеграція в вібраційну систему верстата пристроїв для завантаження і розвантаження. Способи завантаження і розвантаження контейнерів вібраційних верстатів визначаються типом виробництва, програмою

випуску, розмірами і масою деталей, що обробляються, технічними вимогами, що пред'являються до них.

Завантаження контейнера здійснюється за допомогою спеціальної тари, що піднімається електричними або пневматичними таліями чи навантажувачами. Деякі вібраційні верстати оснащуються вбудованими в них завантажувальними пристроями [59, 80, 102, 103].

На рис. 183 представлено засіб механізації завантаження деталей і робочого середовища у вібраційний верстат з об'ємом робочого контейнера 100 дм³, що складається з підйомного механізму 1, візка 2 і самого контейнера 3. Підйомний механізм містить вантажні ланцюги, електропривод 4 і систему керування. Візок зварний, з боків змонтовані спеціальні, швидкодіючі замки, якими візок кріпиться до вантажних ланцюгів підйомного механізму верстата.

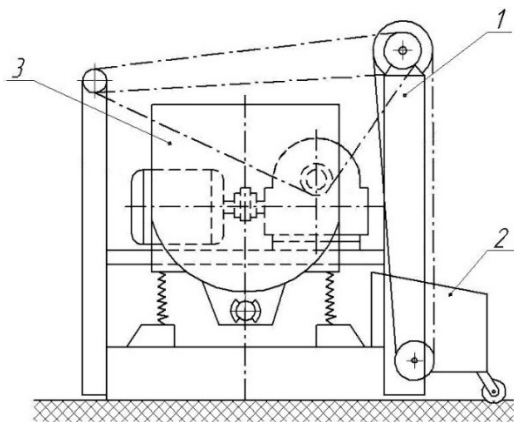


Рис. 183. Механізація завантаження деталей і гранул робочого середовища у вібраційний верстат:
1 – поворотні дуги; 2 – стінка-мембрана; 3 – віброзбуджувач

Після обробки деталей відкривається розвантажувальний люк контейнера, робоче середовище з деталями висипається в тару і транспортується до сита. Деталі, пройшовши сито, потрапляють у тару. Робоче

середовище потрапляє в пересувний завантажувальний візок. Візок підкочується до підйомного механізму, кріпиться до вантажних ланцюгів і піднімається у верхнє положення, де за допомогою упорів перекидається, а робоче середовище висипається в робочий контейнер. Таке розв'язання питання покращує механізацію завантаження і транспортування, але має такі недоліки: малу універсальність, ускладнення конструкції верстата, що збільшує її вартість. З огляду на низький коефіцієнт використання в часі, такий пристрій верстата, на наш погляд, нерентабельний.

Для завантаження верстатів може застосовуватися універсальний пересувний механізований пристрій (рис. 184). Цей пристрій складається з навантажувача і візка. Навантажувач являє собою металеву конструкцію на колесах, на якій встановлено підйомний механізм, що складається з вантажних ланцюгів, механічного приводу з електродвигуном і редуктором.

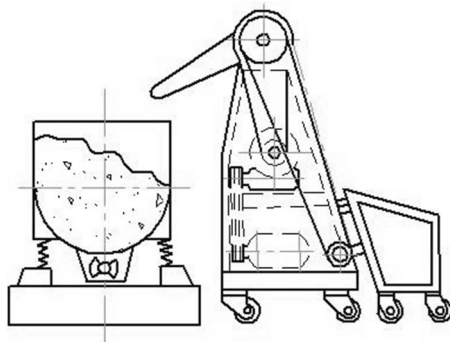


Рис. 184. Пересувний завантажувальний пристрій

На рис. 185 зображено елементи конструкції завантажувального пристрою [14], у якого з метою рівномірного висипання вмісту бункера, між поворотними дугами 1 завантажувального пристрою, встановлений віброзбуджувач 3. Віброзбуджувач взаємодіє зі стінкою-

мембраною 2, закріпленою на бункері, і сприяє рівномірному висипанню вмісту бункера, коли останній перекидається у верхньому положенні.

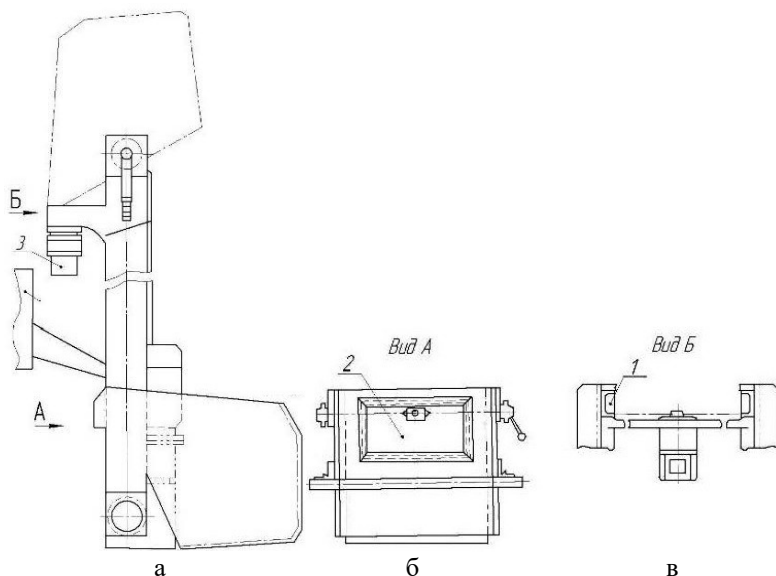


Рис. 185. Завантажувальний пристрій:
а – загальний вид пристрою; б, в – бокові види

На рис. 186 зображено завантажувальний пристрій [21] з магнітним роздільником, у якого з метою забезпечення рівномірного розподілу завантаження по довжині контейнера вібраційного верстата поворотні дуги забезпечено лотком, торцевий зріз якого орієнтований за діагональним напрямком до контейнера.

Недолік цих пристроїв полягає в тому, що вбудовані допоміжні пристрої простоюють більшу частину часу, не можуть бути використані для інших подібних вібраційних верстатів і займають значну частину корисної виробничої площі.

Ці недоліки можуть бути усунені створенням допоміжних пристроїв, які зможуть обслуговувати кілька вібраційних верстатів.

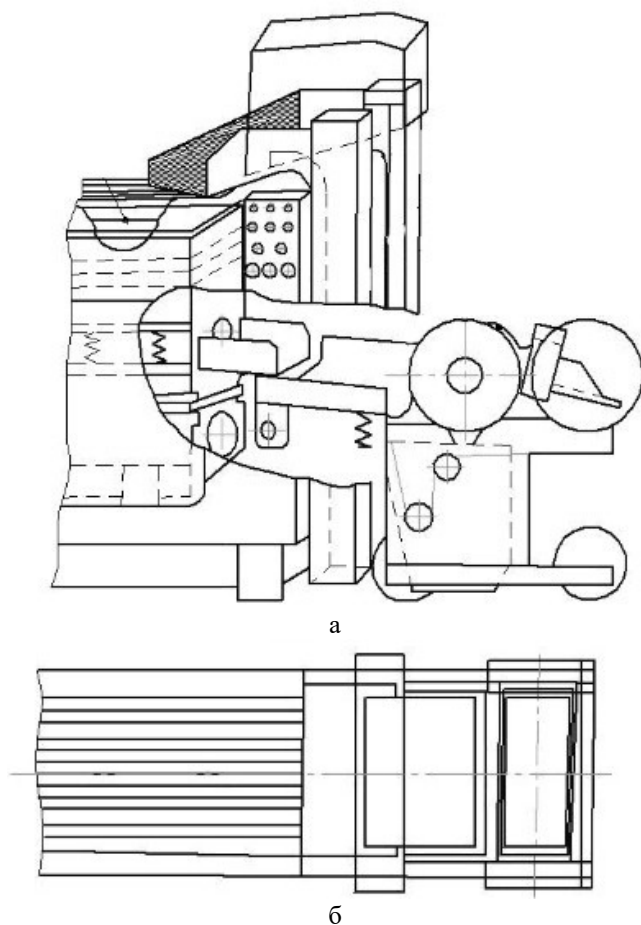


Рис. 186. Завантажувальний пристрій:
а – вид спереду; б – вид зверху

Відсепаровані деталі потрапляють на конвеєр, потім у сітчасту тару, яка подається на пасивування до ванн.

Гранула робочого середовища через вібросито потрапляє в бункер-візок, потім за допомогою тельфера завантажується в контейнер.

Істотною перевагою лінії вібраційної обробки є компактність розташування на ділянці допоміжного обладнання, що займає невелику виробничу площу, раціональне використання універсальних підйомно-транспортних засобів.

Недоліком лінії є обмежена гнучкість у разі зміни умов обробки (необхідне застосування строго гранульованих робочих тіл, неможливість обробки рівних за розмірами деталей і гранул робочого середовища та ін.).

Під час вибору основних засобів механізації допоміжних робіт необхідно розв'язувати задачі стосовно конкретних оброблюваних груп деталей, з огляду на тип виробництва, створивши для цих цілей низку допоміжних пристроїв, що обслуговують один або кілька вібраційних верстатів, або комплексну механізацію допоміжних робіт усього циклу вібраційної обробки деталей на ділянці.

Аналіз роботи вібраційних верстатів, проведений на низці підприємств, засвідчив, що в 90 випадках зі 100 вбудовані розділові пристрої не використовуються внаслідок їхньої невідповідності конструкції деталей, що обробляються.

На рис. 187 представлено пристрій для вібраційного оброблення, виконаний у вигляді поворотного, пружно підвішеного робочого контейнера, розділеного ґратами і забезпеченого розвантажувальними вікнами. З метою розвантаження-завантаження, незалежно від розвороту робочого контейнера, ці вікна виконані по довжині контейнера та розташовані з обох боків - над ґратами і під ґратами [59, 80].

Цей пристрій не знайшов широкого застосування в промисловості і представлений у вигляді патентного рішення.

В роботі [83] описано розвантаження контейнерів за допомогою тельферів у такій послідовності: контейнер розкріплюють, витягують із кошика верстата, переносять на стіл і перекидають для вивантаження.

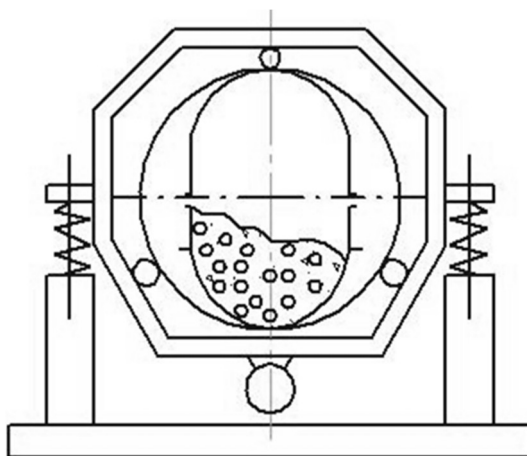


Рис. 187. Пристрій для вібраційної обробки

Більшість вібраційних верстатів оснащені люками для вивантаження робочого середовища з контейнерів. Люк відкривається вручну після відвертання гвинта - упору і зняття поперечної планки або спеціальним керуючим механізмом. Люки розташовуються з торця контейнера, на його днищі або на бічних стінках [92].

За результатами досліджень, наведених в даному розділі монографії, можна сформулювати наступні перспективні напрямки підвищення продуктивності вібраційної обробки:

Вдосконалення конструкції контейнерів та розробка спеціальних пристосувань для закріплення деталей у контейнерах.

Застосування конструктивних рішень, що підсилюють вплив робочого середовища на оброблювані деталі.

Застосування методів хімічної, електрохімічної та електрофізичної обробки.

Застосування конструктивних рішень, що забезпечують оптимальну інтеграцію пристроїв для розділення деталей і гранул робочого середовища у вібраційну систему верстата.

ВИСНОВКИ

1. Вібраційній обробці можна піддавати деталі наступних трьох груп:

- деталі простої геометричної форми, утворені з'єднанням площин, циліндричні поверхні, призми, а також подібні геометричні елементи і відкриті місця їхніх з'єднань;

- деталі з «затіненими» місцями у вигляді внутрішніх кутів, ніш, кишень, до яких доступ абразивної гранули утруднений, але можливий при виконанні певних умов, наприклад, при зменшенні розміру гранули;

- деталі складної форми з внутрішньою площиною, порівняно малими отворами та іншими місцями, важкодоступними для контакту з абразивною гранулою, а також плоскі, тонкостінні деталі, які схильні до сплутування.

2. Основною проблемою при проектуванні верстатів, призначених для вібраційної обробки, є підвищення продуктивності процесу обробки.

3. З точки зору забезпечення максимальної продуктивності вібраційної обробки найбільш ефективною є схема генерації вібрацій за допомогою дебалансного вібратора з встановленням дебаланса безпосередньо на вал контейнера і з безперервним прокачуванням робочої рідини через контейнер.

4. При поліруванні оптимальним режимом руху абразивного матеріалу та деталей є перекочування, що супроводжується інтенсивним

взаємним тертям між деталями та абразивом без удару. Такий режим руху забезпечує низьку шорсткість оброблюваних поверхонь деталей.

5. При виконанні операцій суперфінішування або тонкого шліфування найбільш сприятливим режимом руху абразивного матеріалу та деталей з точки зору оптимальної продуктивності обробки є вихровий рух, що супроводжується інтенсивним співударянням між частками абразиву та деталями, що піддаються обробці.

6. Найбільша продуктивність вібраційної обробки в верстатах загального призначення та у спеціальних верстатах, незалежно від режиму руху абразивного матеріалу та деталей, що обробляються, досягається при використанні U-образних контейнерів. При русі абразивного матеріалу та деталей у режимі перекочування такі контейнери забезпечують найбільш ефективну передачу коливань. При русі абразивного матеріалу та деталей у вихровому режимі з ударом U-образні контейнери забезпечують найбільш прості умови створення такого режиму руху.

7. Найбільш перспективними напрямками підвищення продуктивності вібраційної обробки є:

- вдосконалення конструкції контейнерів та розробка спеціальних пристосувань для закріплення деталей у контейнерах;
- застосування конструктивних рішень, що підсилюють вплив робочого середовища на оброблювані деталі;
- застосування методів хімічної, електрохімічної та електрофізичної обробки;
- застосування конструктивних рішень, що забезпечують оптимальну інтеграцію пристроїв для розділення деталей і гранул робочого середовища у вібраційну систему верстата.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Александров М.П. Подъемно-транспортные машины: учебник / М.П. Александров. – М.: Высшая школа, 1985. – 520 с.
2. Романченко О.В. Розширення технологічних можливостей вібраційного устаткування за рахунок створення умов обробки довгомірних деталей: дис... канд. тех. наук: 05.03.01 / Романченко Олексій Володимирович. – Чернівці, 2011. – 234 с.
3. А.с. 186306 СССР, МКИ В 24 В 31/06. Резервуар для вибрационной обработки деталей / И.Н. Карташев, М.Е. Шаинский – № 889160/25-8; заявл. 20.03.64; опубл. 12.09.66, Бюл. № 18. – 2 с.
4. А.с. 231342 СССР, МКИ В 24 В 31/06. Устройство для виброабразивной обработки металлических деталей / М.И. Шаинский – № 1005785/25-8; заявл. 05.05.66; опубл. 15.09.68, Бюл. № 35. – 2 с.
5. А.с. 232053 СССР, МКИ В 24 В 31/06. Установка для вибрационной обработки деталей в рабочем контейнере / А.П. Бабичев, В.И. Дьяченко, В.А. Магин, О.З. Горлач (СССР). – № 1133871/25-08; заявл. 13.11.67; опубл. 28.11.68, Бюл. № 36.
6. А.с. 294715 СССР, МКИ В24b 31/06. Сепаратор / В.А. Повидайло, Р.Я. Сахно – № 1325927/25-08; заявл. 22.04.1969; опубл. 04.02.1971, Бюл. № 7 – 3с.
7. А.с. 429937 СССР, МКИ В24b 31/06. Сепаратор / В.С. Сердюков, В.Б. Трунин – № 16696333/25 – 8; заявл. 07.06.1971; опубл. 30.05.1974, Бюл. № 20 – 2с.
8. А.с. 467818 СССР, МКИ В24b 31/06. Вибрационная машина / Е.В. Суботин – № 1769398/25-8; заявл. 06.04.1972; опубл. 25.04.1975, Бюл. № 15 – 4с.
9. А.с. 468770 СССР, автор О.И.Быков и др.
10. А.с. 474431 СССР, МКИ В 24 В 31/06. Рабочая камера вибрационной машины / М.Е. Шаинский, М.Е. Румянцев, И.Н. Карташев, В.А. Власов, Н.И. гаденко – № 1841660/25-8; заявл. 01.11.72; опубл. 25.06.75, Бюл. № 23. – 3 с.
11. А.с. 484973 СССР, МКИ В 24 В 31/06. Способ обработки деталей / П.Д. Денисов, В.И. Кармалюк, Н.Ф. Брайлян, В.М. Кунин – № 2028309/25-8; заявл. 28.05.74; опубл. 25.09.75, Бюл. № 35. – 2 с.

12. А.с. 496164 СССР, МКИ В 24 В 31/06. Вибрационная машина / Б.Н. Картышев, П.П. Жданкин, А.Е. Родиченко – № 1845346/25-8; заявл 09.11.72; опубл. 25.12.75, Бюл. № 47. – 2 с.
13. А.с. 500040 СССР, МКИ В 24 В 31/06. Вибрационная машина для обработки длинномерных и крупногабаритных изделий / В.А. Повидало, В.А. Щигель, П.Д. Денисов, Б.Н. Картышев – № 18906114/25-8; заявл 07.03.73; опубл. 25.01.76, Бюл. № 3. – 2 с.
14. А.с. 513837 СССР, МКИ В24В 31/06. Загрузочное устройство / А.П. Германов, А.П. Сергиев, Ю.П. Цеклин – № 2011880; заявл. 03.04.1974; опубл. 15.05.1976, Бюл. № 18 – 2с.
15. А.с. 516515 СССР, МКИ В 24 В 31/06. Установка для вибрационной обработки поверхности / А.П. Афиногенов, И.И. Вовк – № 1753725/25-8; заявл 01.03.72; опубл. 05.06.76, Бюл. № 21. – 4 с.
16. А.с. 529063 СССР, МКИ В 24 В 31/06. Машина для непрерывной вибрационной обработки деталей / В.А. Повидайло, В.А. Щигель – № 2154483/08; заявл 10.07.75; опубл. 04.04.77, Бюл. № 35. – 3 с.
17. А.с. 533471 СССР, МКИ В 24 В 31/06. Установка для обработки деталей в среде свободного абразива / П.Д. Денисов, Н.Ф. Брайлян, В.И. Кармалюк, Т.А. Илык – № 2136611/08; заявл. 22.05.75; опубл. 30.10.76, Бюл. № 40. – 3 с.
18. А.с. 542550 СССР, автор В.О.Карташян и др.
19. А.с. 554141 СССР, МКИ В 24 В 31/06. Установка для вибрационной обработки / А.И. Дмитриев – № 2143578/08; заявл. 11.06.75; опубл. 15.04.77, Бюл. № 14. – 4 с.
20. А.с. 575210 СССР, МКИ В24В 31/06. Машина двухконтейнерная для вибрационной обработки / В.А. Повидайло, В.А. Щигель, И.Ф. Заневский, Б.Д. Белин – № 2375770/25-08; заявл. 24.06.1976; опубл. 05.10.1977, Бюл. № 37 – 3с.
21. А.с. 593900 СССР, МКИ В24В 31/06. Загрузочное устройство / А.П. Германов – № 2343666/25-08; заявл. 02.04.1976; опубл. 25.02.1978, Бюл. № 7 – 2с.
22. А.с. 626940 СССР, МКИ В 24 В 31/06. Машина для вибрационной обработки / В.А. Повидайло, А.И. Будик, В.Д. Уфимцев, В.А. Щигель (СССР). – № 2123746/25-08; заявл. 08.04.75; опубл. 05.10.78, Бюл. № 37.
23. А.с. 627950 СССР, МКИ В 24 В 31/06. Вибрационная машина / П.Д. Денисов, П.Д. Нахаев, В.И. Кармалюк – № 2429828/25-8; заявл 14.12.76; опубл. 24.08.78, Бюл. № 38. – 3 с.
24. А.с. 691281 СССР, МКИ В24В 31/06. Вибрационная установка / П.Д. Денисов, И.Ф. Брайлян, В.П. Чайка, В.Г. Дубовой, И.Е. Косьмина – № 2509952/25-08; заявл. 18.07.1977; опубл. 15.10.1979, Бюл. № 38 – 4с.
25. А.с. 753613 СССР, МКИ В 24 В 31/06. Установка для вибрационной обработки / Н.И. Тимохин, Л.Г. Одинцов, Ю.А. Максимов, В.Я. Емельянов,

Н.А. Вилков – № 2599258/25-08; заявл 04.04.78; опубл. 07.08.80, Бюл. № 29. – 3 с.

26. А.с. 761244 СССР, МКИ В 24 В 31/06. Вибрационная машина / П.Д. Денисов, В.М. Кунин, Н.Ф. Брайлян, В.И. Кармалюк, Г.А. Боярских, Л.Д. Амбарцумян, А.И. Абрамов – № 2620976/25-8; заявл 31.05.78; опубл. 07.09.80, Бюл. № 33. – 3 с.

27. А.с. 774924 СССР, МКИ В 24 В 31/06. Многошпиндельный станок для вибрационной отделки поверхностей деталей / А.П. Бабичев, В.Г. Белоглазов, А.И. Севастьянов, В.С. Новокрещенов, В.А. Банников (СССР). – № 2650577/25-08; заявл. 31.07.78; опубл. 30.10.80, Бюл. № 40.

28. А.с. 837801 СССР, МКИ В 24 В 31/06. Виброобрабатывающая установка / Ю.Р. Копылов (СССР). – № 2751474/25-08; заявл. 12.04.79; опубл. 15.06.81, Бюл. № 22.

29. А.с. 952544 СССР, МКИ В 24 В 31/06. Устройство для вибрационной обработки длинномерных деталей / А.П. Бабичев, Э.С. Комбай, И.Н. Левин, В.Н. Щербаков, Т.Н. Рысева – № 2991674/25-08; заявл 09.10.80; опубл. 23.08.82, Бюл. № 31. – 2 с.

30. А.с. 1071408 СССР, МКИ В 24 В 31/06. Контейнер для вибрационной обработки деталей / Ю.Н. Букаранов, В.А. Власов, Ю.Л. Киреев, В.Г. Назаренко, М.Е. Шаинский, В.И. Рябинин (СССР). – № 3559116/25-08; заявл. 03.03.83; опубл. 07.02.84, Бюл. № 5.

31. А.с. 1085783 СССР, МКИ В 24 В 31/06. Устройство для вибрационной обработки деталей / В.С. Сердюк, Е.В. Матюхин, Ю.П. Анкудимов – № 3515683/25-08; заявл 26.11.82; опубл. 15.04.84, Бюл. № 14. – 3 с.

32. А.с. 1110614 СССР, МКИ В 24 В 31/06. Вибрационный станок для обработки длинномерных изделий / В.С. Сердюков, В.Г. Санамян, Е.Д. Кононенко – № 3599738/25-08; заявл. 02.06.83; опубл. 30.08.84, Бюл. № 32. – 2 с.

33. А.с. 1135621 СССР, МКИ В 24 В 31/06. Устройство для вибрационной обработки / В.А. Повидайло – № 1090540/25-08; заявл 20.04.83; опубл. 23.01.85, Бюл. № 3. – 4 с.

34. А.с. 1178570 СССР, МКИ В 24 В 31/06. Устройство для вибрационной абразивной обработки деталей / В.С. Сердюков, В.М. Георгиев, М.Г. Хабиров – № 3624895/25-08; заявл 19.07.83; опубл. 15.09.85, Бюл. № 34. – 2 с.

35. А.с. 1194657 СССР, МКИ В 24 В 31/06. Устройство для вибрационной обработки деталей в абразивной среде / Ф.С. Юнусов, Э.А. Арцибашев, В.В. Якунин, Г.А. Паутов, А.П. Абызов – № 3765061/25-08; заявл 04.07.84; опубл. 30.11.85, Бюл. № 44. – 3 с.

36. А.с. 1227434 СССР, МКИ В 24 В 31/06. Устройство для вибрационной обработки длинномерных деталей / М.А. Тамаркин, И.Н. Левин, В.П. Севец – № 3854052/25-08; заявл 11.02.85; опубл. 30.04.86, Бюл. № 16. – 2 с.

37. А.с. 1240553 СССР, МКИ В 24 В 31/067. Вибрационный станок / В.С. Сердюков, М.А. Тамаркин, В.В. Сибирский, В.Г. Санамян, С.Д.

Кононенко, Ю.А. Семькин – № 3780629/25-08; заявл. 15.08.84; опубл. 30.06.86, Бюл. № 24. – 2 с.

38. А.с. 1283057 СССР, МКИ В 24 В 31/067. Устройство для вибрационной обработки деталей / Б.Я. Опирский, П.Д. Денисов, В.К. Кузьма – № 3869156/31-08; заявл. 10.12.84; опубл. 15.01.87, Бюл. № 2. – 2 с.

39. А.с. 1284798 СССР, МКИ В 24 В 31/067. Вибрационный станок / В.С. Сердюков, В.Г. Санамян, Л.Б. Карпенко, О.А. Баева – № 3892215/31-08; заявл. 06.05.85; опубл. 23.01.87, Бюл. № 3. – 2 с.

40. А.с. 1296379 СССР, МКИ В 24 В 31/067. Контейнер станка для вибрационной обработки / В.С. Сердюков, В.Г. Санамян, Э.С. Суханов, Л.Б. Карпенко, В.А. Самадунов – № 3932335/25-08; заявл. 23.07.85; опубл. 15.03.87, Бюл. № 10. – 3 с.

41. А.с. 1321560 СССР, МКИ В 24 В 31/06. Устройство для вибрационной обработки / П.С. Берник, А.С. Андрианов, Е.В. Солоня – № 4025988/31-08; заявл. 21.02.86; опубл. 07.07.87, Бюл. № 25. – 2 с.

42. А.с. 1348152 СССР, МКИ В 24 В 31/067. Устройство для вибрационной обработки / В.С. Сердюков, Ю.П. Анкудимов, И.Ю. Бережной, О.А. Баева – № 4081444/31-08; заявл. 30.06.86; опубл. 30.10.87, Бюл. № 40. – 3 с.

43. А.с. 1407770 СССР, МКИ В 24 В 31/067. Устройство для вибрационной обработки деталей / В.С. Сердюков, Е.В. Матюхин, М.А. Тамаркин, В.А. Самадунов, Л.Б. Карпенко – № 3981013/31-08; заявл. 26.11.85; опубл. 07.07.88, Бюл. № 25. – 2 с.

44. А.с. 1407772 СССР, МКИ В 24 В 31/067. Вибрационный станок / В.С. Сердюков, В.Г. Санамян, Л.Б. Карпенко, Э.С. Суханов, В.А. Самадунов – № 4183344/31-08; заявл. 16.01.87; опубл. 07.07.88, Бюл. № 25. – 2 с.

45. А.с. 1437195 СССР, МКИ В 24 В 31/067. Устройство для вибрационной обработки длинномерных изделий / А.П. Бабичев, В.С. Сердюков, Ю.П. Анкудимов, В.А. Самадунов, И.Г. Варламова, И.В. Анюхина – № 4072696/31-08; заявл. 03.06.86; опубл. 15.11.88, Бюл. № 42. – 2 с.

46. А.с. 1458180 СССР, МКИ В 24 В 31/067. Устройство для вибрационной обработки длинномерных деталей / А.П. Бабичев, В.С. Сердюков, В.Г. Санамян, А.Б. Коровейко – № 4289704/31-08; заявл. 27.07.87; опубл. 15.02.89, Бюл. № 6. – 3 с.

47. А.с. 1484635 СССР, МКИ В 24 В 31/067. Устройство для вибрационной обработки / В.С. Сердюков, В.Г. Санамян, М.А. Тамаркин, Л.Б. Карпенко, А.Б. Поровайко, Н.Г. Коробко – № 4152164/31-08; заявл. 03.12.86; опубл. 07.06.89, Бюл. № 21. – 3 с.

48. А.с. 1537483 СССР, МКИ В 24 В 31/06. Устройство для виброабразивной обработки / В.Н. Запорожцев, В.А. Козеровский – № 4258708/25-08; заявл. 08.06.87; опубл. 23.01.90, Бюл. № 3. – 3 с.

49. А.с. 1549726 СССР, МКИ В 24 В 31/06. Устройство для вибрационной обработки длинномерных деталей / А.П. Бабичев, В.С. Сердюков, В.Г.

Санамян, И.А. Сергеев, А.Б. Коровейко, Н.А. Бабичев – № 4458586/31-08; заявл. 26.05.88; опубл. 15.03.90, Бюл. № 10. – 2 с.

50. А.с. 1553350 СССР, МКИ В 24 В 31/067. Устройство для вибрационной обработки деталей / В.С. Сердюков, Л.Б. Карпенко, А.Б. Коровайко, А.П. Шипель, С.М. Жасимова – № 4358369/31-08; заявл. 05.01.88; опубл. 30.03.90, Бюл. № 12. – 3 с.

51. А.с. 1556879 СССР, МКИ В 24 В 31/073. Устройство для вибрационной обработки деталей / Ф.С. Юнусов, В.В. Якунин, Р.А. Тагиров, В.А. Глебов, Ш.Г. Гайнутдинов – № 4292538/31-08; заявл. 26.05.87; опубл. 15.04.90, Бюл. № 14. – 3 с.

52. А.с. 1585123 СССР, МКИ В 24 В 31/067. Способ вибрационной обработки / А.П. Бабичев, Ю.П. Анкудимов, В.С. Сердюков, В.Г. Санамян, И.Г. Варламова – № 4265620/31-08; заявл. 22.06.87; опубл. 15.08.90, Бюл. № 30. – 3 с.

53. А.с. 1593922 СССР, МКИ В 24 В 31/067. Устройство для вибрационной обработки / В.С. Сердюков, Л.Б. Карпенко, Т.В. Коробко, И.В. Дубовскова, М.Б. Ходош, О.В. Сибирская – № 4608580/31-08; заявл. 24.11.88; опубл. 23.09.90, Бюл. № 35. – 3 с.

54. А.с. 1641588 СССР, МКИ В 24 В 31/067. Способ вибрационной обработки длинномерных деталей / А.П. Бабичев, В.С. Сердюков, И.А. Бабичев, И.Г. Константинов, А.Б. Коровайко – № 4620900/08; заявл. 15.12.88; опубл. 15.04.91, Бюл. № 14. – 2 с.

55. А.с. 1689038 СССР, МКИ В 24 В 31/06. Устройство для вибрационной обработки деталей / А.П. Бабичев, В.М. Мороз, Н.В. Пикула, А.М. Кондратюк, С.Б. Пикула – № 4653478/08; заявл. 22.02.89; опубл. 07.11.91, Бюл. № 41. – 4 с.

56. А.с. 1691078 СССР, МКИ В 24 В 31/06. Устройство для вибрационной обработки / Г.Л. Никулин – № 4610652/08; заявл. 30.11.88; опубл. 15.11.91, Бюл. № 42. – 4 с.

57. Абразивні гранули для вібраційної обробки деталей: Патент № 31109 МПК В24В 31/14 / Калмиков М.О., Шумакова Т.О., Романченко О.В. – Заявл. 28.11.2007; Опубл. 25.03.2008, Бюл. №6.

58. Пилипенко О.М. Вібраційна обробка деталей – 2-е вид., перероб. та доп. / Пилипенко О.М. – К.: Наук. думка, 2014. – 134 с.

59. Пилипенко О.М. Вібраційна обробка металів – К.: Наук. думка, 2018. – 136 с.

60. Пилипенко О.М. Дослідження технологічних основ процесів обробки деталей у середовищі коливальних тіл із використанням низькочастотних вібрацій. дис. ... док. тех. наук: 05.03.01 / Пилипенко Олександр Михайлович. – Житомир, 2005. – 462 с.

61. Комбінований процес вібраційного механохімічного цинкування / О.М. Пилипенко, Ю.М. Вернигоров, В.О. Менаджиев // Вібрації в техніці та технологіях. – 2019. – №2. – С. 48-56.

62. Пилипенко О.М. Основи вібраційної технології / Пилипенко О.М. – Черкаси: ЧДТУ, 1999. – 624 с.
63. Берник П.С. Удосконалення технології об'ємної вібраційної обробки незакріплених деталей у прямолінійних робочих камерах: дис. ... док. техн. наук / П.С. Берник. – Черкаси, 2006. – 408 с.
64. Берник П.С. Вібраційні технологічні машини з просторовими коливаннями робочих органів / Берник П.С., Ярошенко Л.В. – Вінниця, 2017. – 116 с.
65. Обоснование критерия оптимизации режимов при вибрационной обработки твердосплавных деталей / П.С. Берник, Л.В. Ярошенко, В.О. Богуслаев // Вібрації в техніці та технологіях. – 1994. – №1. – С. 36-41.
66. Богуслаєв В.О. Технологія виробництва авіаційних двигунів: Ч. 3. Методи обробки деталей авіаційних двигунів / Богуслаєв В.О., Качан О.Я., Яценко та ін. – Запоріжжя: ВАТ «Мотор Січ», 2008. – 639 с.
67. Бранспиз Е.В. Повышение эффективности виброабразивной обработки путем рационального выбора ее основных параметров: дис... канд. техн. наук: 05.03.01 / Бранспиз Елена Владимировна. – Луганск, 2001. – 265 с.
68. Іскович-Лотоцький Р.Д. Методика проектного розрахунку електро-механічної частини гідроімпульсного приводу вібраційного обладнання / Р.Д. Іскович-Лотоцький, Р.Р. Обертюх, О.В. Поліщук // Вібрації в техніці та технологіях. – 2009. – № 1(53). – С. 32–35.
69. Іскович-Лотоцький Р.Д. Основи теорії розрахунку та розробка процесів і обладнання для віброударного пресування: монографія / Р. Д. Іскович-Лотоцький. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – 338 с. – ISBN 966-641-178-4.
70. Венцкевич Г.Ж. Влияние некоторых параметров абразивного наполнителя на эффективность процесса шлифования в вибрирующих резервуарах: дис... канд. техн. наук. – Одесса, 1986. – 175 с.
71. Вібрації в техніці та технологіях: зб. наук. пр. / редкол.: І.П. Паламарчук та ін.: СНУ ім. В. Даля. – Луганськ: Ноулідж, 2010. – 254 с.
72. Іскович-Лотоцький Р. Д. Спеціальний верстат для віброабразивної обробки деталей складної конфігурації / Р.Д. Іскович-Лотоцький, Ю.В. Булига, О.Д. Манжілевський // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2009. – № 6(87). – С. 86–89. – ISSN 1997-9266.
73. Іскович-Лотоцький Р. Д. Сучасне обладнання для віброабразивної обробки деталей складної конфігурації / Р. Д. Іскович-Лотоцький, Ю.В. Булига, О.Д. Манжілевський // Наукові нотатки: міжвузівський збірник. Луцьк. – 2011. – № 31. – С. 134–138.
74. Волков И.В. Повышение производительности процесса вибрационной обработки деталей на отделочных и упрочняющих операциях: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / Волков Игорь Владимирович. – Луганск, 2008. – 164 с.

75. Булига Ю.В. Математична модель віброустановки із гідроімпульсним приводом для очищення труб великого діаметра / Ю.В. Булига, О.І. Проценко, О. Д. Манжілевський // Промислова гідравліка та пневматика. – 2012. – № 2(36). – С. 81–84. – ISSN 1994-4691.
76. Патент України на корисну модель № 42228, МПК (2009) B24B 1/04. Пристрій для вібраційного очищення великогабаритних деталей та деталей складної конфігурації / Р. Д. Іскович-Лотоцький, Ю.В. Булига, О.Д. Манжілевський; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u200901114; заявл. 12.02.2009; опубл. 25.06.2009, Бюл. № 12 – 2 с.
77. Шумакова Т.О., Ніколаєнко А.П. Аналіз зносостійкості абразивних гранул // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2024. – № 2(282). – С. 30–36.
78. Серілко Л.С. Аналіз визначення сили різання і зняття металу при обробці деталей в абразивному середовищі вібраційно-відцентрового станка / Л.С. Серілко, О.М. Кондратюк // Вібрації в техніці та технологіях. – 2007. – № 2(47). – С. 64–69.
79. Капустин Н.М. Автоматизация проектирования технологических процессов в машиностроении / Н.М. Капустин – М.: Машиностроение, 1985. – 304 с.
80. Карташов Н.И. Обработка деталей свободными абразивами в вибрирующих резервуарах / И.Н. Карташов, М.Е. Шаинский, В.А. Власов – К.: Вища школа, 1975. – 188 с.
81. Romanchenko O.V. Development of technological processes of vibration machine long container from composite materials // Technology audit and production reserves. – 2015. – № 6/1(26). – Р. 17-21.
82. Шумакова Т.О. Підвищення продуктивності обробки деталей у вибрируючих контейнерах шляхом вибору форми інструменту: дис... канд. тех. наук: 05.03.01 / Шумакова Тетяна Олександрівна. – Харків, 2010. – 225 с.
83. Исследование зависимости интенсивности вибрационной обработки от расположения вибровозбудителя / А.П. Николаенко, М.А. Калмыков // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2009. – № 2/5(38). – С. 54 – 57.
84. Ланець О.С. Високоєфективні міжрезонансні вібраційні машини з електромагнітним приводом: моногр. / О.С. Ланець. – Львів: «Львівська політехніка», 2008. – 300 с.
85. Лубенская Л.М. Особенности энергетических процессов в деформируемых рабочих средах при обработке деталей в вибрирующих контейнерах: дис... канд. техн. наук. – Луганск, 1992. – 203 с.
86. Медяник В.А. Исследование эффективности процесса виброобработки в зависимости от некоторых технологических параметров виброустановок: дис... канд. техн. наук. – Ворошиловград, 1986 – 199 с.

87. Мицык В.Я. Интенсификация обработки деталей в вибрирующих резервуарах встречно движущимися потоками рабочей среды: дис.... канд. техн. наук. – Ворошиловград, 1986. – 246 с.
88. Romanchenko O. Principles of design of specialized technological equipment // *Diagnostyka*. – 2022. – Vol. 23. – № 1: 2022109.
89. Отделочно-абразивные методы обработки: справ. пособие / Л.М. Кожуро, А.А. Панов, Э.Б. Пономарева, П.С. Чистосердов; под общ. ред. П.С. Чистосердова. – Минск.: Высшая школа, 1983. – 287 с.
90. Галан Ю.Я. Підвищення ефективності технологічного процесу вібраційно-відцентрової обробки деталей в сипучому абразивному середовищі: дис. ... канд. техн. наук / Ю.Я. Галан. – Тернопіль, 2021. – 194 с.
91. Отделочные операции в машиностроении: справ. / П.А. Руденко, М.Н. Шуба, В.А. Огнivec и др. / Под общ. ред. П.А. Руденко. – К.: Техника, 1985. – 136 с.
92. Официальный сайт Европейской патентной базы данных [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.espacenet.com>, свободный. – Загол. з екрану.
93. Пат. 395 ФРН, МПК B24B31/06. Apparat zur Erzeugung von Schrot, resp. Metallkugeln aus Metall aller Art: / Franz Seraficus Koehler, Keyling Ludwig; опубл. 04.02.1889.
94. Пат. 3037 Фінляндія, МПК B24B29/00. Polermaskin/ Otto Dander (Фінляндія); опубл. 29.08.1907.
95. Пат. 108960 Великобританія, МПК B24B33/00. Improvements in Apparatus for Grinding and Polishing the Interiors of Hollow Projectiles and other Objects or Vessels/ Kay George (Великобританія). опубл. 30.08.1917.
96. Пат. 370056 (ФРН), МПК B24B31/00. Poliertrommel mit Schuettel- und Drehbewegung/ Karl Praefried (ФРН), Heinrich Ruder (ФРН). опубл. 26.02.1923.
97. Пат. 1354866 (США), МПК B24B33/00. Grinder for cylinders/ Wolfe Charles (США). Оpubл. 05.10.1920.
98. Пат. 1719122 (США), МПК B02C19/00. Impeller for vibrators/ Mitchell Benjamin (США). опубл. 02.07.1929.
99. Пат. 190925134 Великобританія, МПК B24C3/00. Improvements in Sand Blast Machines/ Johnson James Yate (Великобританія). опубл. 12.05.1910.
100. Пат. 191503207 Великобританія, МПК B24B31/00. Improvements in and relating to Covers or Guards for Mixing and like Machines / William Vincent Hobkirk Capps (Великобританія). опубл. 11.11.1915.
101. Топільницький В. Г., Кусий Я. М., Ребот Д. П. Дослідження динаміки вібраційних машин для оброблення поверхонь виробів шляхом математичного моделювання // *Вібрації в техніці і технологіях*. – 2020. – № 1 (96). – С. 35–43.
102. Interaction of abrasive working environment particles at vibrating processing with the treated surface details / Oleksandr Kondratyuk, Oleg Lyashuk,

Volodymyr Klendii, Yuri Galan // Вісник ТНТУ. – Т.: ТНТУ, 2017. – Том 86. – № 2. – С. 32–40.

103. Investigation of abrasive granule movement relatively to the workpiece surface during vibration treatment / Olexander Kondratiuk; Leonid Serilko; Oleg Lyashuk; Yuriy Galan. // Вісник ТНТУ. – Т.: ТНТУ, 2020. – Том 98. – № 2. – С. 59–68.

104. Investigation of the operation of vibration-centrifugal installation for automobile parts machining / Oleg Lyashuk, Leonid Serilko, Ivan Hevko, Olexander Kondratiuk, Oleg Tsion, Yuriy Galan // Scientific Journal of TNTU. – Tern.: TNTU, 2021. – Vol 101. – №1. – P. 79–88.

105. Ivanov K., Vaisberg L. New Modelling and Calculation Methods for Vibrating Screens and Separators // Lecture Notes in Control and Information Sciences. – 2015. – Vol. 22. – P. 55–61.

107. Сердюк Л.И. Управляемые вибрационные машины с дебалансными вибровозбудителями колебаний // Вибрации в технике и технологиях. – 1994. – №1. – С. 31 – 35.

108. Субач А.П. Динамика процессов и машин объемной вибрационной и центробежной обработки насыпных деталей / А.П. Субач. – Рига: Знание, 1991. – 400 с.

109. Розширення технологічних можливостей вібраційної обробки деталей / О.М. Кондратюк, Б.М. Гевко, О.Л. Ляшук, Ю.Я. Галан // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. – 2016 – № 2(74). – С. 276-286.

110. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения: в 10 т. / под ред. Ф.В. Новикова, А.В. Якимова. – Одесса: ОНПУ, 2002. – 802 с.

111. Lawinska K., Modrzewski R. Analysis of sieve holes blocking in a vibrating screen and a rotary and drum screen // Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii – Physicochemical Problems of Mineral Processing. – 2017. – Vol. 53. – P. 812–828.

112. Хусу А.П. Шероховатость поверхности / А.П. Хусу, Ю.Р. Виттенберг, В.А. Пальмов – М.: Наука, 1975. – 344 с.

113. Theoretical substantiation of vibration-centrifugal finishing of parts by loose abrasive / Oleksandr Kondratiuk, Volodymyr Teslia, Ivan Kuchvara, Pavlo Bosiuk, Yuriy Galan // Motrol. Commission of motorization and energetic in agriculture. – Lublin-Rzeszow, 2018. – Vol. 20 – № 1. – P. 73–79.

114. Стоцько З.А., Сокіл Б.І., Топільницький В.Г. Резонансні режими роботи вібраційних машин об'ємної обробки виробі // Вісник НУ ЛП: Оптимізація і технічний контроль в машинобудуванні і приладобудуванні. – 2001. – № 422 – С. 86-91.

115. Topilnytskyy V., Rebot D., Sokil M., Velyka O., Liaskovska S., Verkhola I., Kovalchuk R., Dzyubyk L. Modeling the dynamics of vibratory separator of the drum type with concentric arrangement of sieves // Eastern-

European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol 2. – No 7(86): Applied Mechanics. P. 26–35.

116. Шаинский М.Е. Проблемы развития виброабразивной обработки в стране / М.Е. Шаинский, Виброабразивная обработка деталей: Сб. материалов Всесоюзного научно-техн. семинара. Ворошиловград, 1978. – С.3-8.

117. Zhou N. Dynamic characteristics analysis and optimization for lateral plates of the vibration screen // Journal of Vibroengineering (J. VIBROENG). – 2015. – Vol. 17 (4). – P. 1593–1604.

118. Р.Д. Іскович-Лотоцький. Віброабразивна обробка деталей на установках з гідроімпульсним приводом / Р.Д. Іскович-Лотоцький, О.Д. Манжілевський. – Вінниця: ВНТУ, 2014 – 152 с.

119. Ясунік С.Н. Повышение эффективности процесса обработки деталей в вибрирующих контейнерах: дис. ... канд. тех. наук: 05.03.01 / Ясунік Светлана Николаевна. – Луганск, 2003. – 215 с.

120. ROSLER finding a better way... [Електронний ресурс]: Галтовочна техніка / Лінійні прохідні установки. – Режим доступа: http://www.rosler.ru/produkte/gleitschlifftechnik/linear_durchlaufanlagen/, доступ вільний. – Загол. з екрану.

121. ROSLER finding a better way... [Електронний ресурс]: Сфери застосування / Галтовочна техніка. – Режим доступа: <http://www.rosler.ru/anwendungsgebiete/gleitschlifftechnik/>. – Загол. з екрану.

122. T-Generation [Електронний ресурс]. – Режим доступа: http://www.t-generation.ru/003_chronology.html, доступ вільний. – Загол. з екрану.

123. Vibratoryfinishing [Електронний ресурс]: Used equipment/ – Режим доступа: <http://vibratoryfinishing.com/used.htm>, доступ вільний. – Загол. з екрану.

124. Walther-trowal [Електронний ресурс]: Products / Mass finishing / Circular Vibrators. – Режим доступа: <http://www.walther-trowal.com/en/products/mass-finishing/trough-vibrators/>, доступ вільний. – Загол. з екрану.

Наукове видання

РОМАНЧЕНКО Олексій Володимирович
ШУМАКОВА Тетяна Олександрівна
ШЕВЧЕНКО Олександр Володимирович
ЛОГУНОВ Олександр Миколайович
НІКОЛАЄНКО Анна Павлівна

ВІБРАЦІЙНІ ВЕРСТАТИ
(еволюція обладнання вібраційної обробки)

Монографія

Редактор О.В. Шевченко

Оригінал-макет О.В. Могильна

Підписано до друку_25.06.2026.

Формат 60х84¹/₁₆. Гарнітура Times.

Умов. друк. арк. 13,95. Обл.-вид. арк.15,3.

Вид. № 3446.

Видавництво Східноукраїнського національного університету
імені Володимира Даля

Свідectво про реєстрацію: серія ДК No 1620 від 18.12.03 р.

Адреса університета: вул. Іоанна Павла II.,
17 м. Київ, 01042, Україна
e-mail: vidavnictvosnu.ua@gmail.com