

ТЕХНОЛОГІЯ ФІНІШНОГО ОБРОБЛЕННЯ СТАНИН МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ**Пуховський Євген Степанович**

доктор технічних наук, професор
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна
ORCID: 0000-0001-7843-0922
puhovskije50@gmail.com

Фролов Володимир Костянтинович

кандидат технічних наук, доцент
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна
ORCID: 0000-0002-3697-286X
v.k.frolov@gmail.com

Приходько Василь Петрович

кандидат технічних наук, доцент
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна
ORCID: 0000-0003-1852-3777
privas0718@gmail.com

Бецко Юрій Михайлович

старший викладач
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна
ORCID: 0000-0002-7283-2207
betsko.uri@gmail.com

Оброблення великогабаритних деталей дуже трудомістке, пов'язане з великою витратою часу. Тому одним з основних питань, які доводиться вирішувати у важкому машинобудуванні, є підвищення продуктивності оброблення в результаті застосування передових технологічних рішень, подальше збільшення виробничого оснащення, його спеціалізації, механізації та часткової автоматизації. Сучасне верстатобудування характеризується значною часткою дрібносерійних і одиничних форм виробництва. Металорізальні верстати, вироблені для механічної обробки деталей, характеризуються високою металоємністю і високою трудомісткістю їх виготовлення. Для обробки станин верстатів використовується універсальне обладнання, в тому числі з числовим програмним управлінням (ЧПУ), або створюються технологічні комплекси, засновані на використанні унікального обладнання, пристроїв для базування, а також оригінальних інструментів. У зв'язку зі специфічними особливостями оброблення важких і великогабаритних станин металорізальних верстатів і низькою серійністю їх виробництва, при розробці технології неможливо механічно впроваджувати прогресивні методи і способи оброблення, а також організації роботи, що широко застосовуються в великомасштабному і масовому виробництві галузей, не пов'язаних з важким машинобудуванням. При обробленні станин часто виникає необхідність в оригінальних технічних рішеннях.

Якість чистового оброблення поверхонь напрямних станин металорізальних верстатів значною мірою впливає на їх зносостійкість, а отже, і тривалість збереження верстатом точності при експлуатації (Antonenko Y.S. (2019); Gagarin V.O. (2016)). У процесі чистового оброблення напрямних досягаються їх задана площинність, пряmolінійність, точність взаємного розташування напрямних та взаємного розташування поверхонь, що утворюють напрямні, досягаються задані параметри шорсткості поверхні та фізико-механічні властивості поверхні та поверхневих шарів металу напрямних (Pukhovskiy E.S., (2021); Tekhnologia verstatnikh robit (2015)). Тому надзвичайно актуальною у вітчизняному верстатобудуванні, що повинно відродитися, є проблема фінішної обробки поверхонь станин.

З усіх деталей верстата станина виконує одну з найбільш відповідальних функцій як в процесі її складання, так і в процесі експлуатації. Вона є базовою деталлю, за допомогою якої з'єднується і узгоджується з точністю, необхідною для роботи верстата, велика частина вузлів і значна кількість його деталей (Design and analysis of machine tool bed., (2018)).

Критерієм визначення якості станини є її початкова точність і шорсткість тертьових поверхонь, а також можливість підтримки цих показників в процесі експлуатації. Тому особливо важливо при призначенні процесів оброблення, особливо в кінцевих операціях, проаналізувати вплив прийнятих методів і способів оброблення на

експлуатаційні характеристики деталей, вибрати з них ті, які несуть в собі хорошу технологічну спадковість (Antonenko Y.S. (2019); Veselovskaia N.P. (2015); Design and analysis of machine tool bed. (2018)). Таким чином, дослідження способів фінішної обробки поверхні станин є актуальною проблемою. При цьому необхідно вирішити питання не тільки послідовності виконання операцій з метою отримання якісних показників – точності, прямолінійності, шорсткості поверхні, а і досягнення показників якості поверхневого шару, які забезпечують довговічність і точність роботи верстатів.

Значним резервом підвищення продуктивності праці у важкому машинобудуванні є раціональна організація виробництва великогабаритних деталей, заснована на використанні групових технологічних процесів, типізації процесів, нормалізації обладнання та інструментів, централізації технологічної підготовки виробництва, впровадженні науково-технічних досягнень. Питання вдосконалення технологічних процесів в серійному і масовому виробництві галузей машинобудування, не пов'язаних з важким машинобудуванням, широко висвітлюються в технічній літературі. Робіт, в яких систематизовані основні питання технології виробництва для великогабаритного важкого машинобудування, немає, частково вони висвітлені лише в розрізних виданнях. (Design and analysis of machine tool bed., (2018); Veselovskaia N.P. (2015); Application of mineral casting for machine tools beds. (2013)).

Основними завданнями при обробленні станин верстатів є: досягнення необхідної геометрії точності, шорсткості поверхні і фізико-механічних властивостей поверхневого шару (Pukhovskiy E.S., (2021); Antonenko Y.S. (2019)). Чистові та оздоблювальні операції, в процесі яких формуються фізико-механічні властивості поверхневого шару масивних деталей, а отже, і їх експлуатаційні якості, засновані на різанні матеріалів та інших прогресивних процесах обробки матеріалів (Pukhovskiy E.S., (2021); Application of mineral casting for machine tools beds. (2013)). В процесі різання поверхневі шари мають незначне зміцнення, а іноді навіть розміцнюються. У разі такого способу оброблення неможливо за допомогою режиму різання регулювати шорсткість поверхні, особливо форму мікронерівностей, а також фізико-механічні властивості поверхневого шару. Останнім часом спостерігається пожевлення робіт по використанню незвичних для виготовлення станин матеріалів, таких як граніт, полімерні матеріали, тощо (Application of mineral casting for machine tools beds., (2013); Modelling and analysis of CNC milling machine, (2018);); Study of application of a granite composite material in five-axis CNC-VMC machine tool, (2022)). Однак найбільша увага прикута до вдосконалення та розвитку традиційних для цієї галузі технологічних операцій, таких як шліфування, притирання, накатування, обкатування роликками, пневмовібродинамічна обробка та таке інше. Ці технологічні процеси забезпечують високі експлуатаційні властивості станин верстатів, в тому числі сучасних оброблюваних центрів з ЧПК, які працюють в автоматичному циклі в гнучких виробничих системах (Tekhnologiya verstatnikh robot (2015); Gagarin V.O. (2016); Veselovskaia N.P. (2015)).

Мета роботи. Аналіз та розробка прогресивних технологічних процесів фінішної обробки великогабаритних станин металорізального обладнання для забезпечення точності та продуктивної експлуатації окремих верстатів та комплексів важкого машинобудування.

Ключові слова: верстат, станина, направляючі станини, фінішна обробка, якість обробки.

DOI <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.4.13>

Виклад основного матеріалу. Одним із способів як чистового оброблення, так і оздоблювального оброблення напрямних станин є шліфування. Для цих цілей застосовують два способи шліфування (рис. 1): торцеве (вісь обертання круга перпендикулярна до поверхні, що шліфується) і периферією круга (вісь обертання круга паралельна поверхні, що шліфується).

Спочатку шліфують поверхні великих габаритних розмірів. Припуск на шліфування становить 0,2...0,3 мм.

Шліфування є продуктивним процесом, що забезпечує задану прямолінійність і низьку шорсткість прошліфованих поверхонь, однак через шаржування поверхні осколками абразивних зерен і відсутності великогабаритних поздовжніх плоскошліфувальних верстатів шліфування доцільно застосовувати тільки для оброблення сталевих або чавунних загартованих чи отбілених напрямних станин порівняно невеликих габаритних розмірів. Шліфувати незагартовані чавунні чи інші поверхні порівняно в'язких та м'яких матеріалів не рекомендується.

Для оздоблювального та зміцнювального оброблення напрямних станин та інших відповідальних поверхонь найчастіше застосовують такі способи.

Чистове стругання широкими різцями з наступним наведенням так званого «морозу», що є декоративним

візерунком у вигляді ком, шахових квадратів або ялинки. Цей спосіб оброблення напрямних широко поширений при виготовленні напрямних та інших деталей важких верстатів.

Тонке стругання широкими різцями здійснюється на поздовжньо-стругальних верстатах, ширина різального лека різців знаходиться в межах 20...100 мм. Припуск на тонке стругання становить близько 1 мм і знімається за 2-3 проходи. Глибина різання останнього проходу складає 0,03-0,07 мм, подача дорівнює половині довжини різальної кромки різця, швидкість різання становить 15...20 м/хв для швидкорізальних різців, і 40...60 м/хв для твердосплавних. Шорсткість поверхні після оброблення становить 10,0...3,2 мкм. Після стругання на поверхнях напрямних наводиться спеціальними шаберами «мороз».

Шабрування застосовується виключно в індивідуальному та дрібносерійному виробництві. При його використанні досягаються висока прямолінійність та паралельність площин (до 0,002 мм на довжині 1000 мм). Шабрування площин проводиться вручну за допомогою спеціального інструменту – шаберу. Крім ручного, застосовують і механічне шабрування, що здійснюється на верстатах, які рухають шабер в зворотньо-поступальному напрямку. Трудомісткість оброблення напрямних

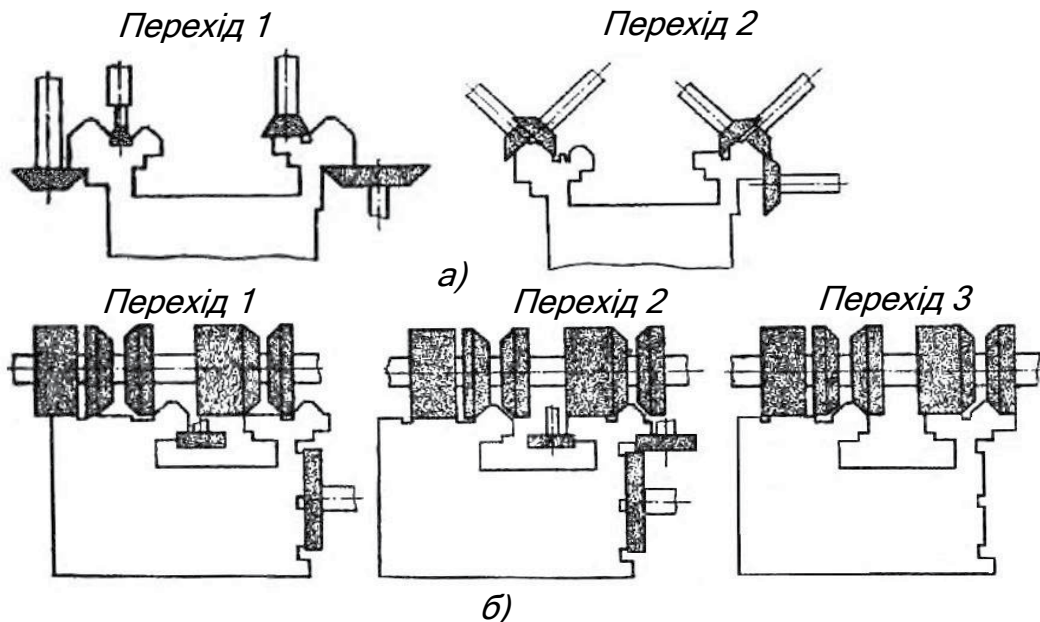


Рис. 1. Схема шліфування напрямних станини верстата:
 а)-чашковими кругами: б) – периферією шліфувальних кругів

шабруванням у 4...5 разів вища, ніж при шліфуванні. Шабрування широко застосовують при обробленні поверхонь направляючих станин, конструктивні особливості яких виключають застосування інших способів (наприклад, закриті поверхні). У зв'язку з простотою та універсальністю способу та відсутністю обладнання особливо великих габаритних розмірів його широко застосовують для станин важких верстатів, що відрізняються великими габаритними розмірами. Шабрування ведеться від більшої поверхні до меншої.

Притирання застосовується при кінцевому обробленні направляючих верстатів підвищеної точності. При цьому виконують доведення направляючих карборундовими брусками з гасом і наступне притирання з гасом або пастою до направляючих робочого столу або супорта верстата. Притирання з гасом ведуть під навантаженням 2...3 кН протягом 2...4 год, а з пастою 10...15 хв.

Наклепування поверхонь напрямних сталевими кульками показано на рис. 2. У сталевому корпусі обкатувальної головки в спеціальних пазах вміщені сталеві кульки діаметром 5 або 7 мм по 50 шт. у ряд. Кульки виступають із корпусу на 0,5 мм. Корпус головки з кульками приводиться у обертання від окремого електродвигуна зі швидкістю 30 м/с. Кульки під дією відцентрової сили наносять удари по поверхні направляючих, що рухається зі швидкістю 10 м/хв (рис. 2, б). При цьому глибина наклепаного шару становить 0,3...0,4 мм, підвищується твердість поверхневого наклепаного шару на 20...30%, шорсткість поверхні R_z знижується до 6,3... 1,6 мкм.

При обробленні площин методом пластичного деформування накатним інструментом основна мета полягає у підвищенні поверхневої твердості та досягненні низької шорсткості, а також отриманні оптимального для заданих експлуатаційних умов мікрорельєфу поверхні.

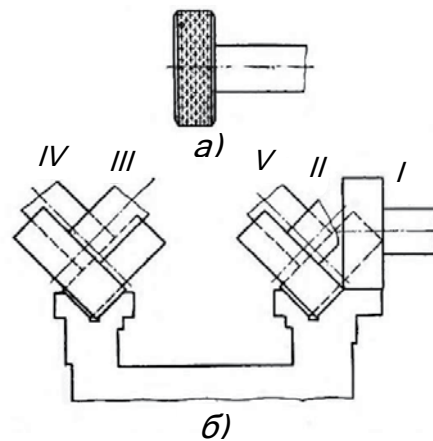


Рис. 2. Схема наклепування напрямних станини спеціальними кульковими головками (цифри I-V показують послідовність оброблення)

Точність після накатування залежить переважно від точності попереднього оброблення.

При накатуванні площини однороликівим або однокульковим інструментом, а також багаткульковою головкою нерівності оброблюваної поверхні під тиском пластично деформуються та зминаються. В результаті такого оброблення шорсткість поверхні зменшується, згладжуються гострі виступи мікронерівностей, у поверхневому шарі створюється наклеп, фізико-механічні властивості поверхневого шару металу змінюються.

Оброблення поверхні може проводитися на будь-яких стругальних, фрезерних та плоскошліфувальних верстатах. Однороликіві та однокулькові оправки затискаються в супортах або головках і їх подача здійснюється вздовж або впоперек площини, що обробляється рухом столу

і супортів або головок. Багатокулькові головки закріплюються у шпинделях фрезерних верстатів.

Під накатування поверхні обробляються до $Rz\ 20,0 \dots 6,3$ мкм. Після накатування однороликівими та однокольковими оправками шорсткість поверхні знижується до $Rz = 3,2 \dots 0,4$ мкм, багатокульковими головками – до $Rz = 6,3 \dots 0,8$ мкм.

Для отримання мінімально можливої для даного способу шорсткості поверхні, обробку слід вести з подачею $0,05 \dots 0,2$ мм/кулька при діаметрі кульок $17 \dots 18$ мм. У разі збільшення діаметра кульок слід збільшувати подачу. Швидкість кочення кульок при цьому має бути для чавуну не вище 150 м/хв, для сталі – 200 м/хв. Тиск кульки чи ролика на чавунну поверхню має бути не більше міцності матеріалу, тобто трохи більше $600 \dots 650$ Н/мм². При обробленні сталеві поверхні тиск має перевищувати межу міцності на $10 \dots 12\%$. Сталь накатується із застосуванням машинного масла, чавун – всуху, оскільки графіт, що видавлюється з чавуну, є мастилом.

Одним з перспективних способів підвищення зносостійкості напрямних станин є їх електромеханічне накатування, засноване на тепловому та силовому впливі ролика на оброблюваний матеріал (рис. 3). Сутність цього способу полягає в тому, що через оброблювану деталь та інструмент пропускається електричний струм великої сили та низької напруги, тому в місці контактування ролика з металом створюється теплове поле. Подальше швидке охолодження сприяє зміцненню поверхні внаслідок утворення дрібнодисперсних загартованих структур, що характеризуються високим опором зношування.

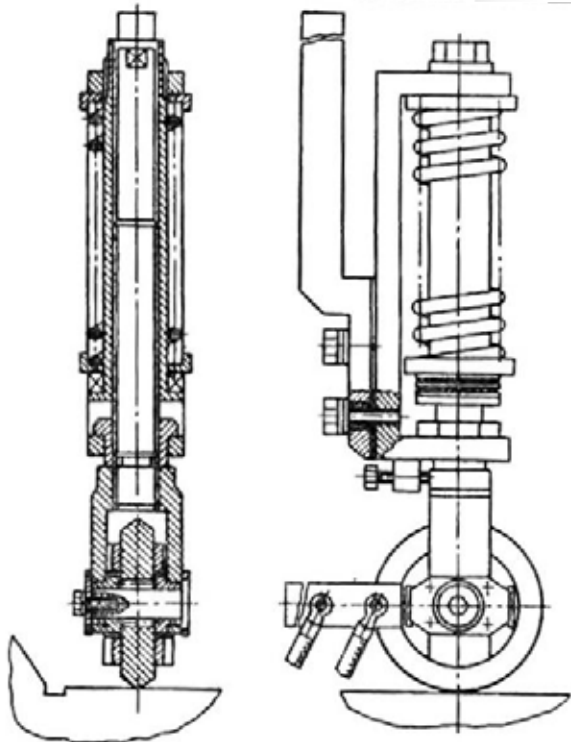


Рис. 3. Роликовий пристрій для зміцнювального оброблення напрямних станини електромеханічним накатуванням

Електромеханічна накатна оправка встановлюється в супорті поздовжньо-стругального верстата. Зусилля наочування регулюється пружиною. На поверхню станини наноситься покриття із антифрикційних матеріалів на основі міді або легкоплавких металів. Ролик виготовляється із твердого сплаву. Внаслідок електромеханічного наочування зносостійкість станин збільшується в $1,7 \dots 2,5$ рази.

Вібраційне накатування та обкатування плоских та циліндричних поверхонь полягає в тому, що в результаті складного відносного переміщення деформуючого елемента інструменту (кульки, алмазного або твердосплавного наконечника) щодо поверхні, що обробляється на ній видавлюються за певним заданим законом канавки, між якими зберігається первинний мікрорельєф поверхні або створюється повністю новий мікрорельєф.

Параметрами режиму віброобкатування (рис. 4, а) і вібронакатування (рис. 4, б), що визначають характер одержуваного мікрорельєфу поверхні, є: частота обертання заготовки при обробленні тіл обертання n_z або величина поздовжньої подачі $S_{\text{пов}}$ при вібронакатуванні, кількість осцилюючих подвійних ходів деформуючого елемента $n_{\text{ос.х}}$, амплітуда $2l$, яка рівна довжині осцилюючого ходу деформуючого елемента, подача на оберт $S_{\text{об}}$ або поперечна подача S_n на хід стола, діаметр деформуючої кулі $d_{\text{кул}}$ або радіус деформуючого алмазного або твердосплавного наконечника r_n .

В результаті взаємодії зазначених параметрів режиму за один оберт деталі або хід столу на оброблюваній поверхні деформуючим елементом (кулькою, наконечником) видавлюються канавки, що мають синусоїдальну траєкторію, амплітуда якої дорівнює довжині осцилюючого ходу деформуючого елемента $2l$, а довжина хвилі λ

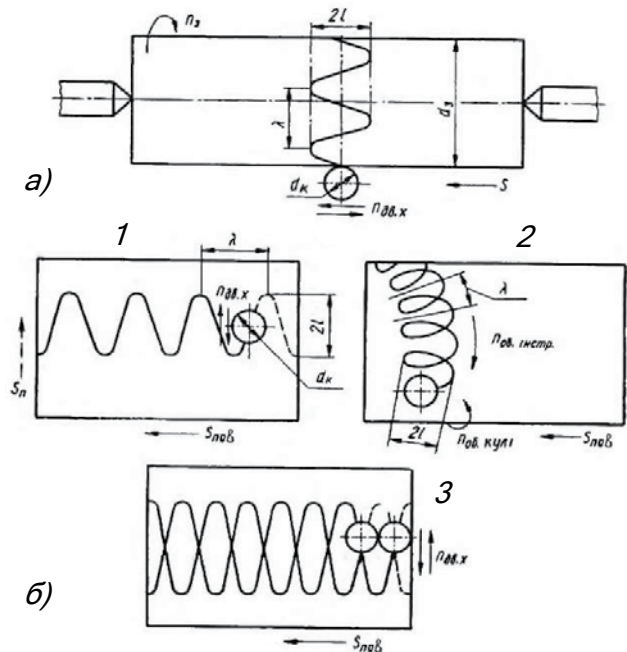


Рис. 4. Схеми вібраційного накатування та обкатування: а) – тіл обертання; б) – плоских поверхонь

залежить від співвідношення числа подвійних ходів $n_{\text{дв.х}}$ і частоти обертання заготовки n_3 або поздовжньої подачі столу $S_{\text{пов}}$.

Вібронакатування плоских поверхонь (рис. 4, б) може бути здійснено за кілька проходів – рядковим способом (1), за один прохід при обертанні інструменту та деформуючого елемента (2) та за один прохід при осцилюючому русі деформуючого елемента (3).

Завдяки наявності подачі на оберт деталі при віброобкатуванні або на хід стола при вібронакатуванні площин у процесі оброблення на поверхні деталі можна отримувати різноманітний складний малюнок, а також профіль мікрорельєфу, який залежно від співвідношення параметрів режиму може бути поділений на чотири основні типи (рис. 4), що відрізняються між собою взаємним розташуванням канавок, що видавлюються, їх площею і об'ємом (маслоємністю): з канавками, що не перетинаються (а); з канавками, що перетинаються неповністю (б); з канавками, що повністю перетинаються (в); з канавками, що зливаються і перетинаються (г), утворюють новий мікрорельєф (I – тетрагональний, II – гексагональний).

Шляхом варіювання взаємним розташуванням утворюють мікрорельєф видавлюваних канавок і характером самого мікрорельєфу, що визначається формою і розміром нерівностей, можна отримати такі задані параметри, як $R_a, R_z, F_{on}, tp, r_e, r_{зан}, \beta$. В результаті вібраційного накачування та обкатування забезпечується високий ступінь однорідності розмірів і форми нерівностей що утворюються з радіусами виступів і западин, у сотні разів більшими, ніж при обробленні способами різання, а також поєднання оптимального мікрорельєфу зі значним зміцненням поверхневого шару, особливо при утворенні четвертого типу мікрорельєфу (з канавками, що зливаються і перетинаються).

Після вібронакатування плоских поверхонь на них виходить понад 40 плям контакту на площі 25 x 25 мм² замість 25...30 плям, що отримуються після шабріння, внаслідок чого контактна жорсткість і зносостійкість деталей підвищуються в 1,5...3 рази.

У процесі вібраційного накачування та обкатування (рис. 5) на поверхні утворюється система мастильних канавок і кишень, тому оптимізуються площа контакту деталей, що сполучаються, і маслоємність їх поверхонь; знижується коефіцієнт тертя, приблизно в 1,6...2,2 рази підвищується зносостійкість, в 1,5 ... 1,7 рази зменшується момент торкання однієї деталей у парі, що сполучається, що сприяє підвищенню плавності роботи з'єднання. При сухому терті канавки працюють як пастки затримують у собі продукти зносу, пил та абразивні складові, завдяки чому локалізується їх дряпаюча дія.

Мікрорельєф з канавками, що не перетинаються, забезпечує високу зносостійкість в парі метал-метал, з канавками що неповністю перетинаються – сприяє підвищенню опірності схоплюванню, з канавками, що повністю перетинаються, – забезпечує плавність роботи пари тертя. Четвертий тип рельєфу (з канавками, що зливаються і перетинаються) є заново утвореним, забезпечує хорошу зносостійкість і герметичність в парі тертя мета-

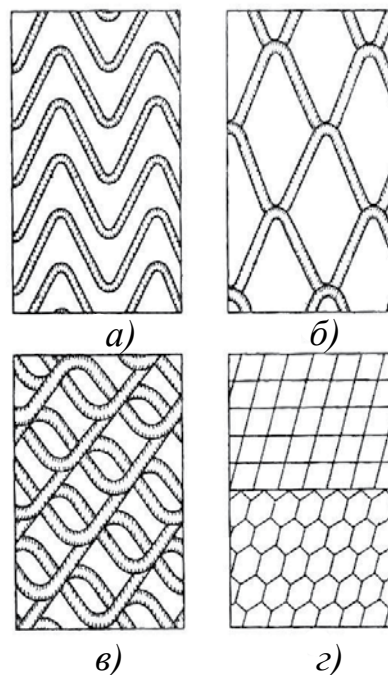


Рис. 5. Схеми поверхонь що утворюються при вібраційному обкатуванні

лехи деталей з різними гумовими, а також пластмасовими ущільнювачами і сальниками.

Великий ефект зміцнення поверхневого шару при вібронакатуванні та віброобкатуванні в порівнянні зі звичайним накачуванням або обкатуванням досягається в результаті багаторазового застосування навантажень і складного відносного руху деформуючого інструменту та оброблюваної деталі.

У деяких випадках при оздоблювальному обробленні площин застосовується плоске суперфінішування із застосуванням абразивних або алмазних брусків. Найбільш доцільним є застосування цього способу при обробці площин дисків.

Після оздоблювального або оздоблювально-зміцнювального оброблення напрямних проводиться остаточне оброблення отворів під опори для шпинделя. Зазвичай воно полягає в тонкому розточуванні. У одиничному виробництві важких і великих верстатів у ряді випадків застосовується шабріння.

Завершальною операцією виготовлення станин металорізальних верстатів є контроль їх якості, в процесі якого проводиться перевірка правильності геометричних форм поверхонь, що утворюють основні та допоміжні бази станини, перевірка правильності їх взаємного положення та перевірка шорсткості поверхні.

У зв'язку з тим, що площини, що утворюють напрямні станини, у переважній кількості верстатів мають відносно невелику ширину при значній довжині, особливе значення має перевірка прямолінійності напрямних. Ця перевірка складається з наступних етапів:

1. Визначення похибки напрямку, тобто кутового відхилення від еталонної прямої. При цьому використовують рівень або зорову трубу та коліматор.

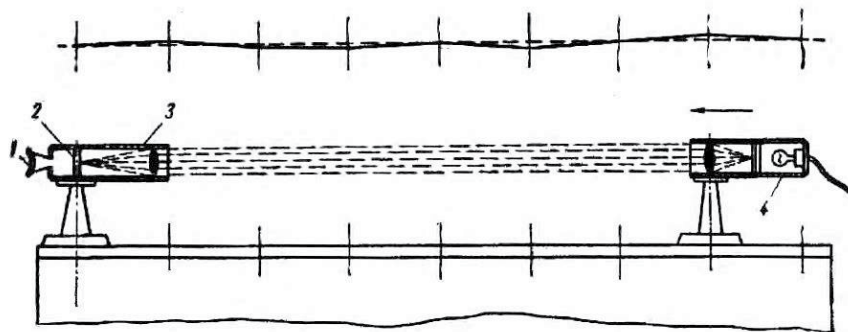


Рис. 6 Схема перевірки напрямних верстата оптичним методом при допомозі зорової труби та коліматора

При перевірці за допомогою рівня контроль проводиться послідовним переміщенням рівня вздовж усієї довжини напрямних станини з розбивкою по довжині на кілька ділянок. На кожній ділянці проводиться відлік відхилення бульбашки рівня в поділах шкали або визначається кутове відхилення кожної ділянки від еталонної прямої. Для перевірки прямолінійності вертикальних напрямних у станин четвертої та п'ятої груп для встановлення рівня використовується косинець з базовою довжиною, що дорівнює довжині рівня. Точність цього способу залежить від чутливості рівня та кількості вибраних ділянок по довжині напрямних.

Перевірка за допомогою зорової труби та коліматора проводиться наступним чином: зорова труба 3 і коліматор 4 встановлюються на кінцях напрямних станини, розбитої по довжині на кілька ділянок (рис. 6). Пучок паралельних світлових променів, що виходить з коліматора, потрапляє в зорову трубу, і на екрані 2 проєктується перетин двох ниток коліматора. При русі коліматора вздовж напрямних до зорової труби перетин ниток, видиме в окуляр 1 на екрані зорової труби, може змінювати своє місце в залежності від величини похибки. За цими відхиленнями визначають кутові відхилення від еталонної прямої. У такий спосіб можна перевіряти горизонтальні, розташовані під кутом і вертикальні напрямні.

2. Визначення похибки лінійного відхилення від еталонної прямої у двох взаємно перпендикулярних площинах. Цю перевірку виконують за допомогою лінійки, лінійки та індикатора або мінометра, рівня води як еталонної горизонтальної поверхні, індикатора з рівнем або натягнутої струни (для вертикальних напрямних).

Перевірка за допомогою лінійки може проводитися на фарбу, з використанням кінцевих мір довжини або щупів, індикатора або мінометра.

Напрявні станин великих важких верстатів перевіряють індикатором з рівнем, гідростатичним способом, а також оптичними засобами за допомогою коліматора. Найбільш простим способом перевірки прямолінійності та площинності напрямних станин довжиною більше 10 м є гідростатична перевірка за рівнем вільно налітої води (рис. 7). Для здійснення гідростатичної перевірки на направляючі станини укладаються відкриті зверху

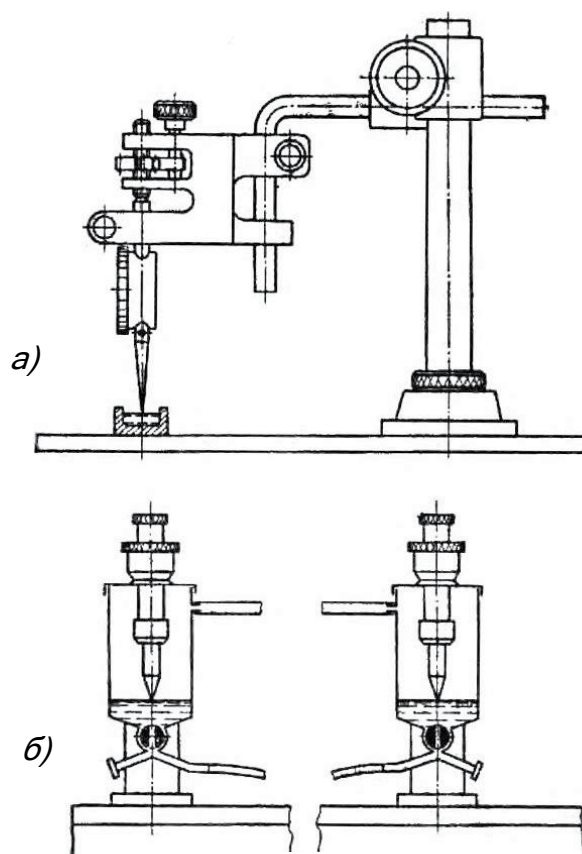


Рис. 7. Схема гідростатичної перевірки напрямних верстата відкритим (а) і закритим (б) методом

трубки або жолоби, у які заливається з бачка вода. Для підтримки системи постійного рівня вони з'єднані гумовими шлангами з бачком. Вимір відхилення від прямолінійності проводять мікрометричним гвинтом в момент, коли вістря ніжки спеціального індикаторного пристрою торкається поверхні води. Переміщаючи штатив з індикатором вздовж напрямних по всій довжині, можна виміряти кожну ділянку напрямних. Помилки виміру знаходяться в межах 0,07...0,1 мм. Низька точність вимірювання пояснюється впливом на відкриту поверхню води атмосферного тиску, можливим випаровуванням рідини в процесі перевірки, забрудненням

рідини, а також коливаннями поверхні рідини під впливом вібрацій, струсів полу або контрольної плити, на якій встановлена станина.

З метою виключення можливості впливу зазначених вище факторів на точність вимірювання використовуються закриті гідростатичні головки, що забезпечують точність вимірювання прямолінійності та площинності напрямних великої довжини в межах 0,01...0,015 мм.

Контроль прямолінійності напрямних станин завдовжки 30 м і більше виконують за допомогою оптичних приладів – коліматорів та спеціальних телескопів.

Правильність взаємного розташування поверхонь напрямних встановлюють шляхом перевірки їх паралельності або взаємної перпендикулярності методом порівняння положення поверхонь, що перевіряються з положенням еталона за допомогою індикаторних

плит, шаблонів, спеціальних пристосувань або на фарбу.

Таким чином, використання фінішних операцій при виготовленні станин металорізальних верстатів дозволяє забезпечити не тільки параметри точності при їх обробці, але й якісні показники поверхневого шару напрямних станин, що підвищує їх працездатність та функціональність на протязі великого часу.

Висновки. Розглянуті сучасні можливості підвищення якості великогабаритних станин металорізальних верстатів. Запропонована послідовність виконання фінішних операцій з метою досягнення не лише точності обробки станин, а і забезпечення параметрів поверхневого шару напрямних, завдяки чому підвищується довговічність їх роботи та забезпечується якість обробки деталей на цих верстатах.

Бібліографічні посилання:

1. Antonenko Y.S. (2019) *Pidvizhennia tochnosty vazhkikh verstativ shliakhom upravlinnia parametrami nesutoi sistemi.* [Increasing the accuracy of heavy machines by controlling the parameters of the carrier system], Diss. Kand. Tekh. Nauk., Kramatorsk, 136 s. [In Ukrainian].
2. Gagarin V.O. (2016) *Udoskonalennia tekhnologichnikh system plazmovogo gradientnogo zmitznennia velikogabaritnikh detalei.* [Improvement of technological system of plasma hardening of large-sized parts], Diss. Kand. Tekh. Nauk. K, 136 s. [In Ukrainian].
3. Pukhovskiy E.S. (2021) *Progresivni protzesi obrobki materialiv.(elektronniy resurs),* [Progressive processes of materials processing], (1 fail 8,38 MB), Kyiv, NTUU (KPI) im. I. Sikorsogo, – 132 c., <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41197>. [in Ukrainian].
4. Vaintraus M.A., Zalevsky V.I., Popov D.V. *Tekhnologia verstatnikh robit* (2015), [Machine tool technology) – K., 199 s. [in Ukrainian].
5. Veselovskaia N.P. (2015) *Analiz verstatnikh kompleksiv mekhanichnoi obrobki v mashinibuduvanni.* [Analysis of machine tool complexes of mechanical processing in mechanical engineering]. Vinnitza, VDU, 8 s. [In Ukrainian].
6. Application of mineral casting for machine tools beds.(2013), N. Kopczak, V. Pavlovski. *Mecanical Engeineering*, vol. 17, № 4 p. 285-289. Lodz University of Technology.
7. Shukia A., Sing L.P. *Design and analysis of machine tool bed.* (2018) *Jetir*, September, vol. 5, issue 9.
8. Kamble J., Katimani S.R. *Modelling and analysis of CNC milling machine bed with advanced material.* (2018) *International Journal of Reseach*, vol. 7, oct.
9. Chuang H.C., Chen C.R. *Study of application of a granite composite material in five-axis CNC-VMC machine tool.* (2022) *Journal of Xian Shiyou University*, vol.65, issue 05, DOI:10.17605/OSF.10/8

Pukhovskiy E. S., Doctor of Technical Sciences, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

Frolov V. K., Candidate of Technical Sciences, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

Prykhodko V. P., Candidate of Technical Sciences, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

Betsko Yu. M., Senior Lecturer, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

Finishing technology of bed of metal-cutting machines

Processing large-sized parts is very time consuming, associated with a lot of time. Therefore, one of the main issues that have to be addressed in heavy engineering is to increase the processing productivity as a result of the use of advanced technological solutions, a further increase in production equipment, its specialization, mechanization and partial automation. Modern machine tools are characterized by a significant proportion of small-scale and single forms of production. Metal-cutting machines produced for machining parts are characterized by high metal consumption and high labor intensity of their manufacture. For processing the bed of machines, universal equipment is used, including those with numerical program control (CNC), or technological complexes are created based on the use of unique equipment, basing devices, as well as original tools.

Due to the specific features of the processing of heavy and large-sized beds of metal-cutting machines and the low seriality of their production, in the development of technology it is impossible to mechanically introduce progressive methods and methods of processing, as well as work organization that are widely used in large-scale and mass production of industries not related to heavy engineering. When cutting the bed, there is often a need for original technical solutions. The quality of finishing of the surfaces of the guides of the beds of metal-cutting machines significantly affects their wear

resistance, and, consequently, the duration of preservation of accuracy during operation by the machine (Antonenko Y.S. (2019); Gagarin V.O. (2016)).

In the process of finishing the guides, their specified flatness, straightness, accuracy of the relative position of the guides and the relative position of the surfaces forming the guides are achieved, the specified parameters of surface roughness and physical and mechanical properties of the surface and surface layers of the metal of the guides are achieved (Pukhovskiy E.S., (2021); Tekhnologia verstatnikh robit (2015)). Therefore, extremely relevant in the domestic machine tools, which should be revived, is the problem of finishing the surfaces of the bed.

Of all the parts of the machine, the bed performs one of the most important functions both in the process of its assembly and during operation. It is the basic part by which it is connected and consistent with the accuracy necessary for the operation of the machine, most of the components and a significant number of its parts (Design and analysis of machine tool bed., (2018)). The criterion for determining the quality of the bed is its initial accuracy and roughness of rubbing surfaces, as well as the ability to maintain these indicators during operation. Therefore, it is especially important when assigning processing processes, especially in final operations, to analyze the influence of accepted methods and methods of processing on the performance characteristics of parts, to choose from them those that carry good technological heredity (Design and analysis of machine tool bed., (2018) ; Veselovskaia N.P. (2015); Application of mineral casting for machine tools beds.(2013)).

Thus, the study of methods for finishing the surface of the bed is an urgent problem. At the same time, it is necessary to solve the issue of not only the sequence of operations in order to obtain quality indicators – accuracy, straightness, surface roughness, but also to achieve quality indicators of the surface layer, which ensure the durability and accuracy of the machines.

A significant reserve for increasing labor productivity in heavy engineering is the rational organization of the production of large-sized parts, based on the use of group technological processes, typification of processes, normalization of equipment and tools, centralization of technological preparation of production, introduction of scientific and technological achievements. The issues of improving technological processes in serial and mass production of mechanical engineering branches not related to heavy engineering are widely covered in the technical literature (Modelling and analysis of CNC milling machine, (2018); Study of application of a granite composite material in five-axis CNC-VMC machine tool, (2022)).

There are no works in which the main issues of production technology for large-sized heavy engineering are systematized, they are partially covered only in disparate publications (Design and analysis of machine tool bed., (2018) ; Veselovskaia N.P. (2015); Application of mineral casting for machine tools beds.(2013)). The main tasks in the processing of bed machines are: achieving the required geometry of accuracy, surface roughness and physical and mechanical properties of the surface layer ((Pukhovskiy E.S., (2021); Antonenko Y.S. (2019)).). Finishing operations, during which the physical and mechanical properties of the surface layer of massive parts are formed, and therefore their operational qualities, are based on cutting materials and other progressive material processing processes ((Pukhovskiy E.S., (2021); Application of mineral casting for machine tools beds.(2013)).). In the process of cutting, the surface layers have a slight hardening, and sometimes even strengthen. In the case of this method of processing, it is impossible to adjust the roughness of the surface, especially the shape of micro-irregularities, as well as the physical and mechanical properties of the surface layer using the cutting machine tools. Recently, there has been a revival of work on the use of materials unusual for the manufacture of beds, such as granite, polymeric materials, etc. (Application of mineral casting for machine tools beds., (2013); Modelling and analysis of CNC milling machine, (2018); Study of application of a granite composite material in five-axis CNC-VMC machine tool, (2022)). However, the greatest attention is focused on the improvement and development of traditional technological operations for this industry, such as grinding, lapping, rolling, rolling by rollers, pneumovibrodynamic processing and so on (Application of mineral casting for machine tools beds., (2013); Modelling and analysis of CNC milling machine, (2018); Study of application of a granite composite material in five-axis CNC-VMC machine tool, (2022)). These technological processes provide high operational properties of machine-tool beds, including modern CNC machining centers that operate in an automatic cycle in flexible production systems (Tekhnologia verstatnikh robit (2015); Gagarin V.O. (2016); Veselovskaia N.P. (2015)).

The purpose of the work. Analysis and development of progressive technological processes of finishing large-sized beds of metal-cutting equipment to ensure the accuracy and productive operation of individual machines and complexes of heavy engineering.

Key words: machine-tool, bed, bedding guides, finishing, processing quality.