УДК 621.91
А.В. Зюган, І.І.Верба
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

Спеціалізоване обладнання для розточування отворів у нежорстких деталях великої довжини.

Верстатобудування є основною фондоутворюючою галуззю для машинобудування. Тож значним чином визначає інтенсивність розвитку найрізноманітніших галузей.

Основні організаційні процеси, характерні для сучасного верстатобудування:

а) – зниження і стабілізація обсягів робіт з механічної обробки;

б) – загострення конкуренції серед виробників металообробного обладнання, яка обумовлена зокрема і зниженням купівельної спроможності машинобудівних підприємств, наприклад, в Україні;

в) – формуванням ринку обладнання, яке здійснюється зовсім по-іншому завдяки цифровізації промисловості, темпи якої зростають, а засоби вдосконалюються.

Існують оптимальні (або хоча б рекомендовані) строки для знаходження верстату у складі діючого обладнання. Залежать вони щонайперше від рівня автоматизації обладнання і, наприклад, для багатоцільових верстатів з автоматичною зміною інструменту становлять 8-10 років, а для важких та унікальних верстатів – 20-25 років [1].

Зараз вік парку металообробного обладнання переважно перевищує 20 років. І це ми не говоримо про його відповідність сучасним тенденціям розвитку як технологій обробки, так і обладнання, яке їх реалізує. Так, підприємства намагаються оновлювати верстатний парк. Але якщо стосовно традиційного, навіть дуже сучасного обладнання, яке характеризується підвищеною гнучкістю, точністю й продуктивністю, та все ж є більш-менш типовим щодо задач, які вирішуються, це впирається в першу чергу у питання наявності коштів на придбання, ну, може, ще у питання обгрунтованого вибору, то із спеціалізованим і спеціальним обладнанням інша справа.

Верстати, що були значний час в експлуатації, не втрачають свого значення для підприємства, навіть за умови, що вони морально застарілі.

© А.В. Зюган, І.І. Верба, 2020

Нестача коштів на придбання нового обладнання ставить перед підприємцями задачу відновлення верстатів з максимально можливою модернізацією. Ця тенденція характерна і для розвинених країн (при тому для фірм, що є платоспроможними), що підтверджується розширенням світового вторинного ринку верстатів, які були в експлуатації (в інтернеті та пресі використовують терміни resale, second-hand, used.). Так американські фірми на основі свого досвіду вважають, що недоцільно відновлювати й модернізувати верстати вартістю менше за 125 тис $ і намагаються відремонтувати й одночасно модернізувати великі верстати, що мають універсальне застосування – горизонтально-розточувальні та токарно- карусельні віком 30-40 років [2]. Базові деталі таких верстатів добре збереглися і є термостабілізованими. На них оброблюють деталі, потреба в яких є досить значною, а технології поки що не зазнали змін.

Останнім часом збільшилась область діяльності виробничих фірм, що займаються ремонтом і модернізацією верстатного обладнання. Так фірма New Century Remanufacturing Inc. [2] спеціалізується на ремонті і модернізації великих горизонтально-розточувальних і токарно-карусельних верстатів, замінюючи в них все, окрім лиття. У верстатах встановлюють нові підшипники, шарикові гвинтові передачі, електродвигуни, гідравлічні, електричні і мастильні системи, а також ЧПУ і приводи фірми Fanuc. Навіть для найбільших верстатів це займає на фірмі не більше 4 місяців. В результаті вартість повністю оновленого верстата становить 55 – 60% вартості нового і ця межа окупності може бути досягнута при вартості нового верстата від 250000 $. При модернізації замовники виставляють вимоги, хоча і теоретично можливі з технічної точки зору, але несумісні з конструктивними особливостями верстата, наприклад, хочуть збільшити висоту його стойки з 1,5 до 3 м, що може негативно вплинути на жорсткість і точність верстата, або завищують можливості управління, що забезпечуються ЧПУ. У цих та інших аналогічних випадках на фірмі Century Remanufacturing проводять спеціальні розрахунки, оплачені замовником, і по можливості його вимоги задовольняють.

А тепер звернемо свою увагу на Україну. Глобальна економічна ситуація в світі та висока конкуренція на ринку верстатного обладнання дуже серйозно впливають на економічні можливості України. Сьогодні на часі створення та розвиток нових галузей та підвищення технологічного рівня традиційного

© А.В. Зюган, І.І. Верба, 2020

машинобудування, наслідком чого повинно стати задоволення потреб різних галузей виробництва, зокрема можливість обслуговувати його, а не шукати вихід із ситуації у закупівлі нових деталей та вузлів.

Йдеться про конкретну проблему виготовлення гідро- та пневмоциліндрів для важкого машинобудування або ремонт пошкоджених ділянок у разі потреби.

Гідро- та пневмоциліндри є надзвичайно вимогливим та відповідальним вузлом для прогресивного виробництва. Механічна робота по створенню певних зусиль (як правило, значних у гідрофікованому важкому обладнанні), забезпечення точності позиціонування, автоматизація процесів, зокрема й впровадження комп'ютеризації виробництва, лежить саме на гідро- та пневмоциліндрах. Оскільки вони мають широке використання не лише в машинобудуванні, а й інших галузях (наприклад, у видобувній промисловості), то актуальність виготовлення та ремонту вузла є досить затребуваним та актуальним напрямком, особливо якщо врахувати, що в Україні майже не залишилось підприємств, які мають можливості здійснення подібних завдань, особливо для важкого машинобудування.

Саме з подібною проблемою зіткнулось ООО "НПП" Когорта", яке займалось нею по завданню ДП "Сумитек Украина" і в розв'язку якої приймав безпосередню участь А. О. Зюган.

Завдання полягало в забезпеченні глибокого розточування (діаметр до 210 мм, довжина – до 7000 мм) з метою ремонту у польових умовах та оновлення внутрішньої циліндричної поверхні на всю довжину при стаціонарному встановлені (фіксація на станині).

Був проведений аналіз можливих технологічних засобів та обладнання-аналогів.

Для вибору аналогів аналізують певні необхідні якості – за звичай, так звані споживчі властивості. В нашому випадку це, в першу чергу, технічні характеристики, що визначають здатність обладнання забезпечити обробку необхідних деталей із заданими габаритами й якістю. Ці властивості для спеціалізованого й важкого обладнання стоять на першому місці і саме вони визначають вибір верстатів-аналогів. Враховують також експлуатаційні фактори (зручність обслуговування, надійність, ергономічність, тощо),

© А.В. Зюган, І.І. Верба, 2020

економічні фактори (не лише вартість придбання чи ремонту, а й, наприклад, наявність сертифікату якості й сервісного обслуговування).

Якщо мова йде про модернізацію, то основною метою є максимальне наближення властивостей верстата до розв'язку поставленої задачі і при цьому адекватна вартість намічених змін та отримання максимально можливого прибутку. Певну складність являє складність оцінювання робочого стану обладнання, що визначить вартість, особливо у разі спеціального замовлення щодо змінювання певних параметрів модернізованого верстату відносно вихідної моделі.

Існують важкі горизонтально-розточувальні верстати, на яких в принципі можливо здійснити подібне розточування за умови певної модернізації. Але це типове обладнання стаціонарного типу значної вартості й мова про ремонт у польових умовах взагалі не йде. Є, і навіть досить поширені, мобільні пристрої для розточування, які в принципі не вимагають облаштування окремого робочого місця. Наприклад, серію мобільних верстатів для розв'язку практично будь-яких задач ремонту, і найперше саме розточування й наплавлення, випускає компанія **York Portable Machine Tools** (Канада) [4]. Базова модель **York 4-14 ET** може експлуатуватися в умовах підземних розробок і призначена для розточування отворів діаметром 38–406 мм, але робочий хід становить лише 358 мм. Ринкова ніша містить не дуже різноманітне за конструктивними рішеннями ремонтне обладнання подібного характеру, яке реалізує переважно однаковий принцип дії і є модульним з можливістю адаптації до умов замовника.

Найближчим конструктивним аналогом визнано обладнання MIRAGE MACHINES MLB915 (рис. 1) для виконання глибокого розточування [3].

Принцип дії : Пристрій має дві планшайби 1, які використовуються для кріплення його на оброблюваній деталі. У планшайбах розташовано також підшипники кочення, в яких встановлено порожнисту борштангу 3 з хромованої сталі, що несе каретку з різцем 2. Осьовий рух каретки по борштанзі реалізується шариковою гвинтовою передачею. Установка обладнана двома гідроприводами: привод головного руху, який забезпечує обертання борштанги; та привод подач, який відповідає за рух інструмента за допомогою ШГП. Привод головного руху та подачі може бути також електричним. Обладнання є модульним.

© А.В. Зюган, І.І. Верба, 2020

Рис. 1. Обладнання MIRAGE MACHINES MLB915: загальний вигляд.
Позначено: 1– планшайби; 2–каретка з різцем; 3–борштанга.

Планшайби можуть мати провушини для гаку, щоб виконувати ремонтні роботи поза межами цеху у стані підвісу на крані. Нерухома деталь при цьому зафіксована на столі, фундаментній плиті, підставці, тощо. Ваги важкої великогабаритної деталі може бути достатньо для забезпечення нерухомості.

Обладнання типове за компоновкою, яка є характерною для мобільних верстатів, що широко розповсюджені сьогодні. Їхніми перевагами є можливість виконувати досить складні задачі при умові незначних масогабаритних характеристик та мобільності, простота монтажу та експлуатації: його закріплюють, наприклад, на оброблюваній деталі. Подібне обладнання використовують для ремонтних робіт щодо важкої техніки різного призначення в польових ремонтних цехах, в кар'єрах, лісах, шахтах тощо. Зокрема фірма-замовник обслуговує кар'єрну техніку на Полтавському гірничо-збагачувальному комбінаті (ПРАТ «Полтавський ГЗК») і дуже зручно й доцільно було б застосувати щось подібне замість купівлі нового гідроциліндру або ремонту того, що був в експлуатації: і те, і те здійснюють на заводі-виробнику, який знаходиться в Японії.

До недоліків обладнання в нашому випадку можна віднести його суто ремонтне призначення – швидке відновлення ділянок внутрішньої поверхні циліндричних деталей. Не передбачено його використання для розточування на максимальну довжину обробки (максимальна довжина 3444 мм за максимального

© А.В. Зюган, І.І. Верба, 2020

діаметру 914,4 мм), бо в цьому разі виникає резонанс, який зумовлює поломку інструменту і, відповідно, вихід обладнання з ладу. Оскільки у технічному завданні передбачено збільшення довжини розточування, то зрозуміло, що однією з основних проблем буде низька жорсткість борштанги, а другою – вихід з резонансної зони (за можливістю підвищення власної частоти коливань вибором конструктивних параметрів) і демпфірування вібрацій за рахунок спеціального інструменту й вибору режимів різання.

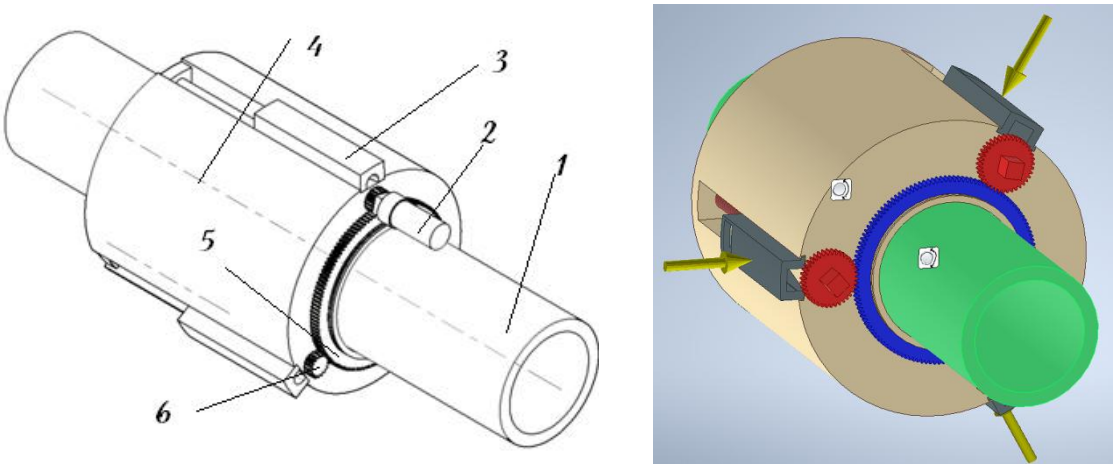
Натурне тестування розточування заготовок довжиною 3 м виявило, що резонанс відбувається на відстані 300-400 мм від початкової точки врізання. При цьому відбувалася поломка інструменту. Зроблено висновок про необхідність підвищення жорсткості, що й реалізовано за рахунок встановлення обладнання на жорстку станину верстату ДИП 500 довжиною 8 м. Після цього було проведено кілька пробних тестів з антивібраційним інструментом. В результаті змінилась власна частота коливань системи і різець потрапив в резонанс на відстані 650-700мм від початкової точки врізання. Отож напрям розробок визначено вірно.

Виробником вказано, що всі розрахунки борштанги на статичний прогин відбувалися на максимальній довжині в 3444мм. Отож постає задача перевірки статичного прогину борштанги потрібної довжини 7000 мм. З цією метою були визначені вихідні дані й здійснено твердотільне параметричне моделювання в середовищі Autodesk Inventor та відповідні розрахунки прогину, що дали незадовільний результат: прогин 3,157 мм. Цей факт став обгрунтуванням необхідності розробки конструкції компенсаційної опори для борштанги. Розглянуто кілька конструкцій і шляхом порівняльного оцінювання складності технічної реалізації обрано конструкцію з клиновим пристроєм для регулювання зазорів і підтримки борштанги (рис. 2).

Принцип дії: Корпус-втулку 4, який має пази, встановлено на борштанзі 1 на 2-х опорах: підшипник в передній частині та пластикове кільце для підтримки задньої. У пазах корпусу встановлені клинові елементи, які мають отвір з гвинтовою поверхнею, тобто грають роль гайок і утворюють гвинтові з’єднання з центральною різьбовою частиною вал-шестерен 6. Вал-шестерні мають на кінцях зубчасті колеса, які отримують обертання через вінець 5, чим забезпечується однакова передача руху на всі клинові елементи. Клинові елементи 3 рухаються по пазах корпусу 4. Одна з вал-шестерен з іншого боку корпусу-втулки (на рис. 2

© А.В. Зюган, І.І. Верба, 2020

показано протилежні торці втулки) має призматичний кінець 2 «під ключ», який може бути використано для передачі крутного моменту на вал-шестерню за допомогою ручного чи механічного привода (наприклад, тросовою передачею) і, відповідно, через центральний вінець 5 всім зубчастим колесам, що забезпечує через гвинтову передачу рух клинів, які забезпечують центрування борштанги відносно оброблюваної поверхні.



а б

Рис. 2. Клиновий пристрій підтримки борштанги; а – конструктивна схема; б – 3D-модель, побудована засобами Autodesk Inventor.

Визначено параметри основних конструктивних елементів та виконано статичний розрахунок спроектованого пристрою з використанням методу скінчених елементів Приклад графічного відображення розрахунку подано на рис. 3.

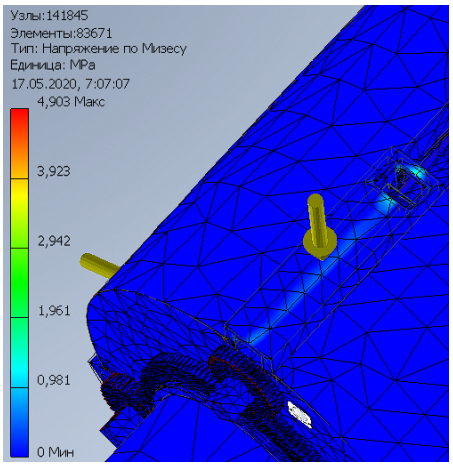


Рис.3. Графічне відображення розрахунку пристрою підтримки борштанги.

© А.В. Зюган, І.І. Верба, 2020

Розміри пристрою визначено з конструктивних міркувань у відповідності до розмірів оброблюваних поверхонь (згідно з ТЗ). Тому при статичному розрахунку величини напружень виявились незначними (колір зображення відповідає нижній частині кольорової шкали). Зміщення, які при цьому виникають, не будуть перешкоджати виконанню обробки з потрібною точністю.

На данний час виготовлено дослідний зразок і ведеться підготовка до випробувань запропонованої конструкції.

Висновки

1. Аналіз інформаційних джерел та конкретної ситуації на підприємстві показав перспективність і актуальність розробки спеціалізованого обладнання для розточування глибоких отворів у важких великогабаритних деталях.

2. Доцільними є розробки у двох напрямках: створення ремонтного мобільного обладнання, зокрема для використання у польових умовах, та створення обробного обладнання для розточування глибоких отворів у великогабаритних деталях типу гідро- та пневмоциліндрів з реалізацією принципів мобільності та автономності.

3. Існуюче на ринку мобільне обладнання різних виробників забезпечує переважно розточування отворів великих діаметрів, але незначної довжини. Розточування глибоких отворів вимагає підвищення жорсткості борштанги та вібросталості пристрою і забезпечення центрування борштанги відносно оброблюваної поверхні (підтверджено натурними тестами).

4. Запропоновано застосування компенсаційної опори. Аналіз результатів розрахунків спроектованого пристрою показав, що при його використанні деформації та напруження, які виникають при прикладанні робочого навантаження, є досить малими та допустимими при виготовленні гідроциліндрів.

Список використаних джерел

1. Корниенко А. А. Разработка организационных принципов развития парка технологического оборудования с целью технического перевооружения машиностроительного производства: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт.: спец. 05.02.22 "Организация производства (машиностроение)" / Корниенко Александр Александрович – Москва, 2007. – 24 с

© А.В. Зюган, І.І. Верба, 2020

2. Потапов В.А. Опыт американских и германских фирм по ремонту, восстановлению и модернизации станочного оборудования / В.А. Потапов [Електронний ресурс] – URL: http://stanki-katalog.ru/st_4.htm

3. MLB_Line_Boring_Machines_6-157”_UK_1.2_DS_102_1019 – https://www.miragemachines.com; /https://www.miragemachines.com/wp-content/uploads/2019/08/MLB_Line_Boring_Machines_6-157%E2%80%9D_UK_1.0_DS_102_0818.pdf

4. Компания ООО "Надежность ТМ" - официальный представитель на территории России и стан СНГ компании York Portable Machine Tools (Канада). – URL: http://nadezhnost.com/index.php?id=46&doc=_stanki_dlia_rastochki_i_naplavki_york

© А.В. Зюган, І.І. Верба, 2020