

І.С. Афтаназів, д.т.н., проф.
Я.М. Кусий, асист.
Національний університет "Львівська політехніка"
А.Свіч, д.т.н., проф., дир.
А.Собачек, м.н.с.
*Інституту технологічних інформаційних систем
при Політехніці Любелській (м. Люблін, Польща)*
І.І. Юрчишин, к.т.н., ст. викл.
Національний університет "Львівська політехніка"

ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ВИКІНЧУВАЛЬНОГО ОБРОБЛЕННЯ ДОВГОМІРНИХ СТЕРЖНЕВИХ ВИРОБІВ

Розглянуто сучасні і перспективні технології викінчувальної обробки довгомірних деталей стержневого типу. Класифіковано основні кінематичні та конструктивні ознаки обладнання для обробки довгомірних деталей циліндричної форми.

Тенденція до збільшення кількості довгомірних стержневих виробів, комплексна класифікація яких представлена на рис. 1, та зменшення їх жорсткості за рахунок зпигнення металоємності та маси промислової продукції, що спостерігається у наш час в умовах зростання швидкостей взаємних переміщень та навантажень контактуючих поверхонь, вимагає безперервного вдосконалення технології виготовлення циліндричних виробів значної довжини з метою підвищення їх експлуатаційного ресурсу та забезпечення надійності [2, 7]. Розв'язання завдання підвищення довговічності у виробничих умовах звичайно вирішується трьома шляхами: пошуком нових матеріалів, покращанням конструкції, розробленням нових ефективних та продуктивних технологій виготовлення. Проте, коли вичерпані можливості відпрацювання конструкції довгомірних циліндричних деталей на технологічність, економічно недоцільним є заміна сировини, з якої виготовлені вироби, вдосконалення існуючих технологічних методів фінішної та викінчувально-змцнювальної обробки, створення нових прогресивних технологій залишаються єдиними вирішеними проблеми забезпечення експлуатаційних характеристик довгомірних стержневих об'єктів з метою оптимізації мікрогеометрії їх виконавчих поверхонь.

Аналіз технологічних процесів (ТП) виготовлення довгомірних циліндричних виробів свідчить, що формування їх експлуатаційних характеристик відбувається в основному на викінчувальних технологічних операціях. Тому важливе значення, з точки зору формування якісних показників довгомірних деталей форми тіл обертання, забезпечення їх надійності та підвищення довговічності, має раціональний вибір структури ТП виготовлення зазначених виробів в цілому та викінчувальних операцій зокрема. Класифікація методів викінчувального оброблення ТП виготовлення довгомірних стержневих виробів (ДСВ), що запропонована авторами статті, надана на рис. 2.

До першої групи методів викінчувального оброблення ДСВ – методів оброблення різанням – відносять методи, що базуються на відокремленні частинок матеріалу від оброблюваної поверхні. Формування мікрорельєфу поверхневих шарів ДСВ традиційними методами оброблення різанням характеризується нестабільністю процесу пластичного деформування оброблюваного матеріалу в зоні його контакту з деформуючим елементом інструменту та неоднорідністю процесу відокремлення ошурків від загальної маси металу, що супроводжуються зародженням первинних мікротріщин та обмеженою можливістю забезпечення експлуатаційних характеристик виробів. Проте варто виділити оброблення зовнішніх поверхонь довгомірних циліндричних деталей інструментом з великими від'ємними передніми кутами, яке характеризується утворенням наклепаного шару певної глибини із залишковими напруженнями стиску, що суттєво підвищує втомну міцність і довговічність ДСВ. Пріоритетним напрямком у розвитку методів викінчувального оброблення різанням довгомірних деталей форми тіл обертання слід вважати вдосконалення існуючих традиційних фінішних операцій за рахунок використання вібрацій. Зокрема, було відзначено доцільність заміни традиційного шліфування віброшліфуванням, яке, крім підвищення якості поверхневого шару, стримує розвиток тріщин, згладжуючи риси та сліди від шліфувального круга на обробленій поверхні. Заслуговує на увагу метод вібраційного хонінгування, при якому усуваються негативні технологічні характеристики тонкого поверхневого шару деталі – мікротріщини, несприятлива структура, залишкові напруження розтягу.

Методи хіміко-термічного оброблення та нанесення покриттів ДСВ у даний час розвиваються прискореними темпами. На сьогоднішній день актуальною є необхідність розроблення нових технологій хіміко-термічного оброблення (ХТО), спрямованих на підвищення довговічності та забезпечення надійності виробів, причому спостерігається тенденція заміни "наскрізного" ХТО поверхневим, що дозволяє реалізувати поставлені завдання. У багатьох випадках поверхнєве оброблення ХТО служить альтернативою легуванню. Бурхливий розвиток методів нанесення захисних покриттів, що нараховують більше 130 технологічних методів, як в країнах СНД, так і за кордоном визначив новий технологічний напрямок – методи керування властивостями поверхні – інженерія поверхні – спрямованого на збільшення експлуатаційного ресурсу деталей машин, виготовлення деталей зносостійкою поверхнею, що працюють в умовах тертя, підвищених температур тощо. Проте переважна більшість методів хіміко-термічного оброблення та нанесення покриттів широкої номенклатури виробів машинобудування та довгомірних циліндричних деталей зокрема вимагають значних енергозатрат, характеризуються довготривалістю оброблення, складністю обладнання, що використовується та найбільшою енергомісткістю зпоміж усіх технологій, яка сягає 20–120 кВт/год. на 1 кг зміцнюваних виробів.

Методи поверхнєвого пластичного деформування відомі на протязі декількох десятиліть. Перші дослідження з використання поверхнєвої пластичної обробки стосовно довгомірних циліндричних деталей були проведені на початку ХХ століття з метою підвищення стійкості вагонних і паровозних осей простим однодисковим жорстким інструментом з великим зусиллям притискання; в 30–40-ті роки поверхнєва пластична обробка з успіхом була застосована для підвищення втомної міцності сталевих ступінчастих валів. Багаточисельні дослідження вітчизняних та закордонних науковців переконливо свідчать, що поверхнєве пластичне оброблення при широкому застосуванні може дати значний економічний ефект. Методи ППД умовно можна поділити на три категорії: статичні, динамічні та комбіновані, що поєднують статичні та динамічні. Спільною рисою статичних методів оброблення ППД, до яких можна віднести дорнування, вигладжування, розкатування, накатування тощо, є наявність сталого контакту деформуючих тіл із оброблюваною поверхнею деталі. Прикладом використання статичних методів ППД є чистове обкатування плунжерів та валів діаметром 100–210 мм та довжиною 3000–4000 мм на Львівському заводі "Автоавантажувач" за допомогою трьохроликів обкатників пневматичної дії, які закріплюють у супорті токарного верстату; при однопрохідному обробленні досягається шорсткість $R_a = 0,32-0,1$ мм. Внаслідок постійного контакту оброблюваної поверхні деталі з поверхнею дорна, алмазу чи деформуючим тілом (роликком чи кулькою) незначної маси методи статичного зміцнення ППД довгомірних циліндричних деталей не в змозі розвинути значну локальну енергію деформації, що необхідна для забезпечення бажаного ступеня нагартування та товщини зміцненого шару.

Методи динамічного зміцнення мають переваги, у порівнянні з методами статичного зміцнення, за рахунок ударної дії на оброблювану поверхню робочих тіл або інструментів. Локальний короточасний вплив на мікронерівності в різних напрямках за рахунок зміни кінетичної енергії деформуючих елементів в умовах постійної зміни напрямку руху, згідно з дислокаційною теорією, сприяє збільшенню кількості площин ковзання в блоках в різних напрямках і зменшенню тим самим опору розвитку джерел деформації, що суттєво зменшує силу, необхідну для здійснення процесу поверхнєвого пластичного деформування матеріалів [2]. Базуючись на деформуванні матеріалу деталі за рахунок енергії розіганих до великих швидкостей деформуючих тіл, методи цієї групи забезпечують необхідні значення параметрів якості поверхні довгомірних стержневих виробів, сприяючи підвищенню їх надійності та довговічності. Досить ефективними є методи динамічного зміцнення та комбіновані методи ППД при викінчувальному обробленні зовнішніх циліндричних поверхонь ДСВ типу торсійних валів, штоків, валків прокатних станів тощо, зміцнення та комбіновані методи ППД при викінчувальному обробленні зовнішніх циліндричних поверхонь ДСВ типу торсійних валів, штоків, валків прокатних станів тощо. Однак оброблення внутрішніх поверхонь та сумісне оброблення зовнішніх та внутрішніх поверхонь довгомірних виробів форми тіл обертання через складність обладнання, що використовується, та його високу вартість, значні затрати енергетичних ресурсів, недостатню жорсткість інструменту та обмежену можливість забезпечення параметрів якості є досить проблематичним. Тому виникла потреба у розробленні нових методів зміцнення ППД, спрямованих на вирішення поставлених завдань.

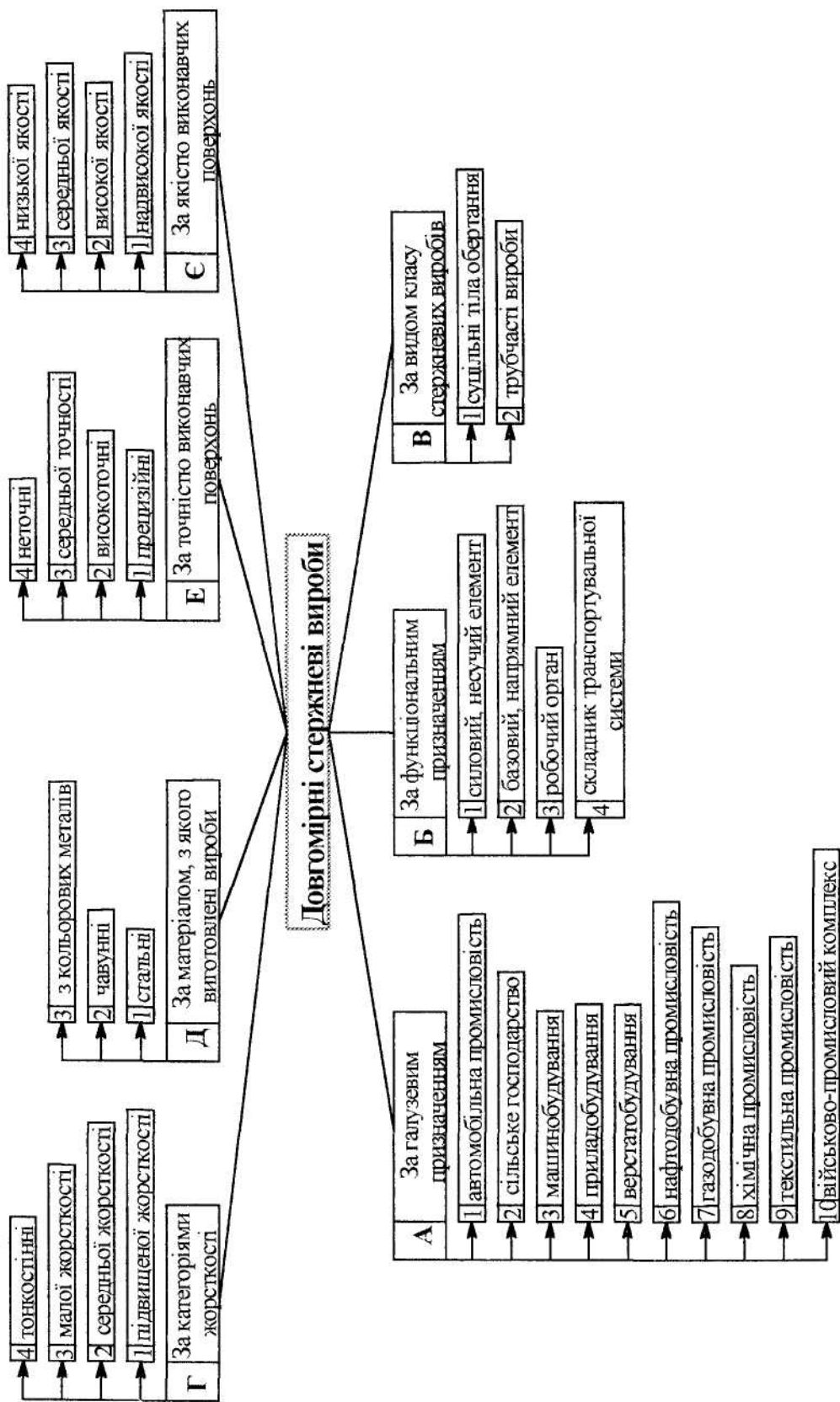


Рис. 1. Комплексна класифікація довгомірних стержневих виробів

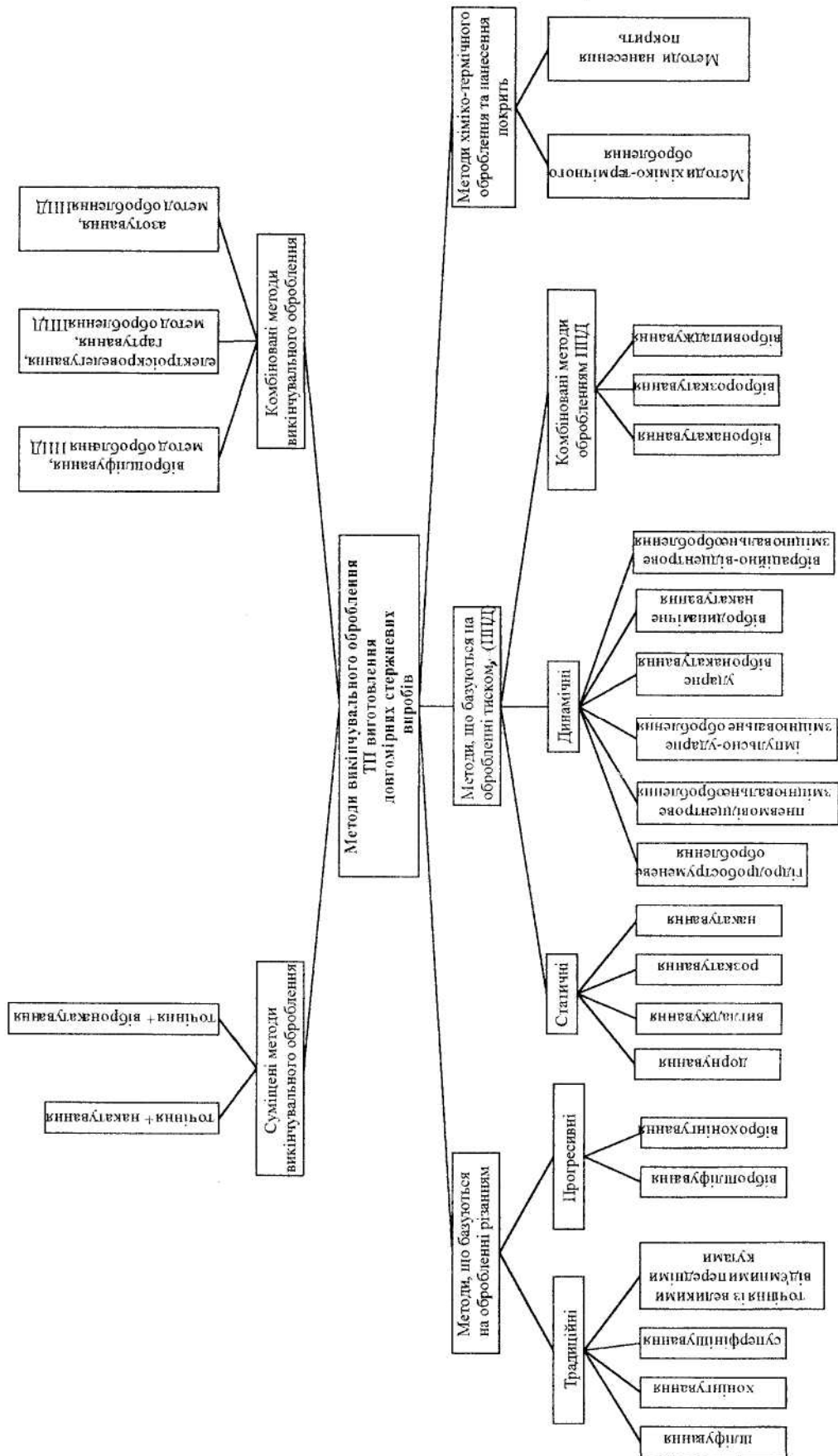


Рис. 2. Класифікація методів викінчувального оброблення довгомірних стержневих виробів

Суміщені методи викінчувального оброблення, що поєднують методи оброблення різанням та тиском, та комбіновані методи викінчувального оброблення (рис. 2) в значній мірі ефективні для трубчастих виробів підвищеної жорсткості та суцільних стержневих деталей, однак вирішити поставлені завдання для трубчастих ДСВ середньої, малої жорсткості та тонкостінних.

Розроблений у Національному університеті "Львівська політехніка" метод вібраційно-відцентрового зміцнювального оброблення (ВВЗО) довгомірних деталей форми тіл обертання, завдяки ударній взаємодії зміцнювального інструмента з оброблюваною поверхнею деталі, відносять до групи методів динамічного зміцнення. Перевагами даного методу є забезпечення високого рівня енергії деформування, висока продуктивність, простота, надійність, компактність та універсальність зміцнювальних пристроїв, можливості якісного оброблення внутрішніх поверхонь довгомірних циліндричних деталей. Процес нагартування ВВЗО не змінює геометричної форми деталі і не вимагає спеціального припуску під оброблення. Метод ВВЗО може бути використаний для зміцнення довгомірних деталей форми тіл обертання, виготовлених як із кольорових металів та сплавів, так і з різноманітних марок сталі, які піддаються деформуванню у холодному стані, при цьому необхідно лише підібрати оптимальні режими зміцнювального оброблення. Особливо ефективна ВВЗО для зміцнення деталей, які піддаються в процесі експлуатації знакозмінним циклічним навантаженням.

На рис. 3 представлені класифікаційні критерії вібраційно-відцентрового зміцнювального оброблення довгомірних циліндричних деталей, як які вони використані:

- ❖ тип оброблюваної поверхні;
- ❖ розташування зміцнювальних пристроїв відносно оброблюваної поверхні;
- ❖ форма оброблювальних тіл;
- ❖ рух виконавчого органу зміцнювальних пристроїв;
- ❖ характер подачі;
- ❖ тип приводу, що використовується;
- ❖ з'єднання елементів приводу з виконавчими органами зміцнювальних пристроїв.

Дана класифікація охоплює лише основні кінематичні та конструктивні ознаки зміцнювального обладнання при використанні методу ВВЗО для оброблення довгомірних деталей форми тіл обертання. Крім цього, зміцнювальні пристрої відрізняються за кількістю та розташуванням деформівних елементів (одно-, дворядні тощо), характером відбитка, що спричиняють деформівні тіла (каплеподібний, еліпсоїдний), за конструкцією деталей для закріплення деформівних елементів тощо.

На підставі класифікаційних критеріїв розроблені різноманітні принципові схеми ВВЗО, які відрізняються за формою, характером фіксування та особливостями руху деформівних тіл, характером подачі зміцнювального пристрою, типом приводу, що використовується, та характером здійснюваних переміщень виконавчого органу зміцнювальних пристроїв.

Зміцнювальні пристрої для оброблення ДСВ методом ВВЗО звичайно містять привід, ударну систему та допоміжні елементи. З точки зору мінімальної енергомісткості та компактності, на даний час найбільш перспективними вважають конструкції зміцнювальних пристроїв із електромагнітним приводом та пружною системою, принципова схема пристрою зі спеціальним спорядженням для викінчувального оброблення внутрішніх поверхонь ДСВ зображена на рис. 4. Оброблення поверхневих шарів ДСВ відбувається шляхом передачі енергії від складників електромагнітного приводу (якоря 3 та статора 4) до виконавчих органів зміцнювальних пристроїв за допомогою елементів пружних систем – торсіонів 5, 6, причому відповідні пружні системи, що приєднані до основи 1, налагоджені у білярезонансний режим роботи. Виконавчі органи зміцнювальних пристроїв виконані у вигляді дисків-сепараторів 7, 8, по бігових доріжках яких переміщуються деформуючі кульки 9, починають здійснювати коливально-обкатні рухи, які супроводжуються ударами по оброблюваній поверхні 12 ДСВ виступаючими деформуючими тілами. Контактують поверхневого шару ДСВ із виконавчим органом зміцнювального пристрою через незначну кількість деформівних елементів спричиняє поверхневе деформування та нагартування виробу. За рахунок розташування платформ 14, 15 на пневмобалонах 16 на різних рівнях відносно горизонту, пристрій під дією сили тяжіння переміщується на напрямних роликів 10 вздовж твірної оброблюваної поверхні 12 до платформи, котра в даний момент розміщена нижче. Дія пристрою на кінцевий перемикач командоапарату призводить до зміни тиску в пневмобалонах 16, до зміни на протилежний кут нахилу оброблюваної деталі і, в підсумку, до переміщення пристрою до протилежної

платформи. Товщину зміцненого шару, ступінь наклепу і рівномірність зміцнення регулюють зміною амплітуди коливань виконавчих органів, швидкістю їх руху та кількістю повторних переміщень вздовж оброблюваних поверхонь.

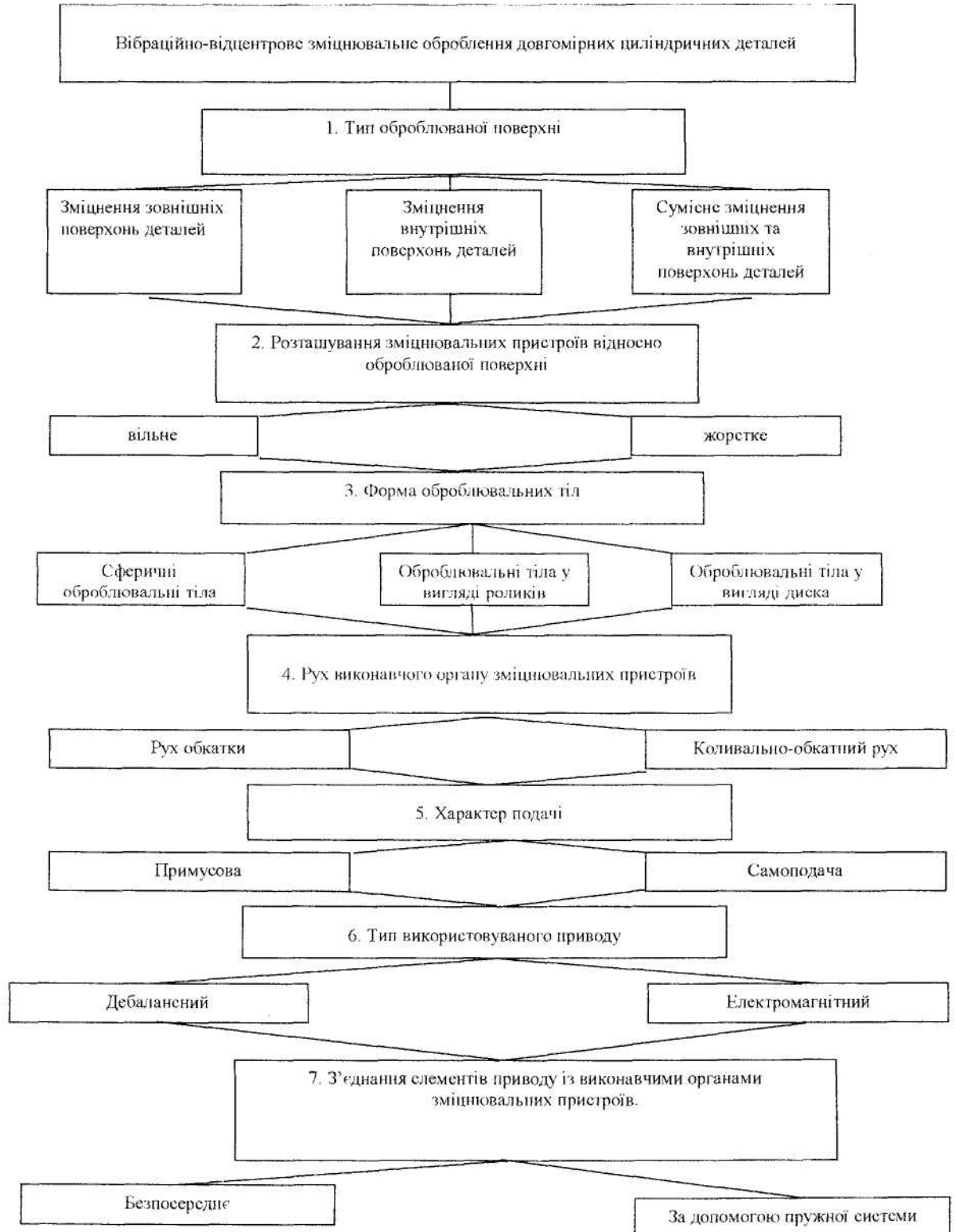


Рис. 3. Класифікаційні критерії вібраційно-відцентрового зміцнювального оброблення довгомірних циліндричних деталей

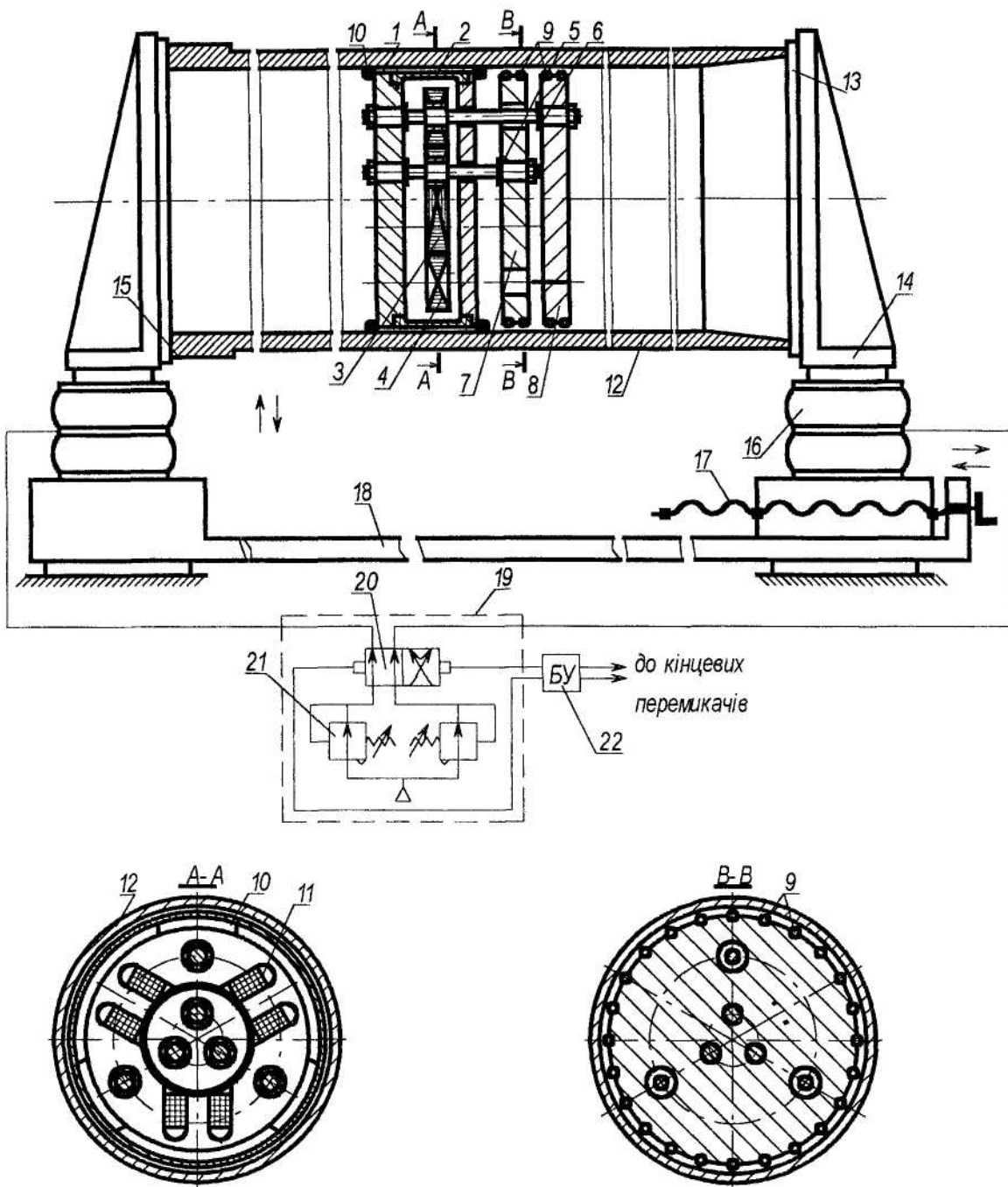


Рис. 4. Принципова конструктивна схема пристрою з електромагнітним приводом та пружною системою для зміцнення внутрішньої поверхні ДСВ:

- 1 – основа; 2 – захисний кожух; 3 – якір; 4 – статор; 5, 6 – торсіони;
- 7, 8 – диски-сепаратори; 9 – деформівні кульки; 10 – напрямні ролики; 11 – електромагніти;
- 12 – оброблювана деталь; 13 – затискний механізм; 14 – права платформа;
- 15 – ліва платформа; 16 – пневмобалони; 17 – ходовий гвинт; 18 – рама;
- 19 – командоапарат; 20 – пневмоелектрозолотник; 21 – регулятор тиску;
- 22 – блок управління пневмоелектрозолотником

Зміцнювальні пристрої для оброблення ДСВ методом ВВЗО звичайно містять привід, ударну систему та допоміжні елементи. З точки зору мінімальної енергомісткості та компактності, на даний час найбільш перспективними вважають конструкції зміцнювальних пристроїв із електромагнітним приводом та пружною системою, принципова схема пристрою зі

спеціальним спорядженням для викінчувального оброблення внутрішніх поверхонь ДСВ зображена на рис. 4. Оброблення поверхневих шарів ДСВ відбувається шляхом передачі енергії від складників електромагнітного приводу (якоря 3 та статора 4) до виконавчих органів зміцнювальних пристроїв за допомогою елементів пружних систем – торсіонів 5, 6, причому відповідні пружні системи, що приєднані до основи 1, налагоджені у біларезонансний режим роботи. Виконавчі органи зміцнювальних пристроїв виконані у вигляді дисків-сепараторів 7, 8, по бігових доріжках яких переміщуються деформуючі кульки 9, починають здійснювати коливально-обкатні рухи, які супроводжуються ударами по оброблюваній поверхні 12 ДСВ виступаючими деформуючими тілами. Контактвання поверхневого шару ДСВ з виконавчим органом зміцнювального пристрою через незначну кількість деформівних елементів спричиняє поверхневе деформування та нагартування виробу. За рахунок розташування платформ 14, 15 на пневмобалонах 16 на різних рівнях відносно горизонту, пристрій під дією сили тяжіння переміщується на напрямних роликах 10 вздовж твірної оброблюваної поверхні 12 до платформи, котра в даний момент розміщена нижче. Дія пристрою на кінцевий перемикач командоапарату призводить до зміни тиску в пневмобалонах 16, до зміни на протилежний кут нахилу оброблюваної деталі і, в підсумку, до переміщення пристрою до протилежної платформи. Товщину зміцненого шару, ступінь наклепу і рівномірність зміцнення регулюють зміною амплітуди коливань виконавчих органів, швидкістю їх руху та кількістю повторних переміщень вздовж оброблюваних поверхонь.

Пристрої з електромагнітним приводом та пружною системою завдяки своїм перевагам (забезпечення високого рівня енергії деформування, придатність для оброблення різних за довжиною деталей, простота та надійність конструкції зміцнювача, можливість якісного оброблення внутрішніх поверхонь довгомірних циліндричних деталей) можуть застосовуватися для зміцнення торсійних валів, штоків, гідроциліндрів, жерл гармат, бурових та обсадних труб, труб високого тиску тощо зі значним економічним ефектом.

Результати проведених нами експериментальних досліджень свідчать, що при поверхневому обробленні методом ВВЗО зразків зі сталей 35, 45 та 20ХС електромагнітними зміцнювальними пристроями мікротвердість поверхневого шару підвищується на 24–52 %, товщина зміцненого шару складає 0,3–0,6 мм, причому зерна верхньої частини пластично деформованого шару кристалічної ґратки оброблюваних зразків набувають визначеної просторової орієнтації у напрямку силової дії інструменту, компенсуючи шкідливий вплив концентраторів напруг.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Афтаназів І.С., Кусий Я.М.* Аналіз та вибір оптимальних фінішних операцій технологічного процесу виготовлення довгомірних циліндричних деталей // Вісник Національного університету "Львівська політехніка" "Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні і приладобудуванні". – № 412. – 2000. – С. 3–11.
2. *Ящерицький П.И., Минаков А.П.* Упрочняющая обработка нежестких деталей в машиностроении. – Минск: Наука и техника, 1986. – 215 с.
3. *Афтаназів І.С., Кусий Я.М.* Пристрої з електромагнітним приводом для зміцнення зовнішніх поверхонь довгомірних деталей / "Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні і приладобудуванні". – № 359. – 1999. – С. 36–41.
4. *Шнейдер Ю.Г.* Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом. – Л.: Машиностроение, Ленинград. отд-ние, 1982. – 248 с.
5. *Ляшенко Б.А., Клименко С.А.* Тенденции развития упрочняющей поверхностной обработки и положение в Украине / Сучасне машинобудування. – № 1. – 1999. – С. 94–104.
6. *Хворостухин Л.А., Шишкин С.В., Ковалев И.П., Ишмаков Р.А.* Повышение несущей способности деталей машин поверхностным упрочнением. – М.: Машиностроение, 1988. – 144 с.
7. *Проскуряков Ю.Г.* Технология упрочняюще-калибрующей и формообразующей обработки металлов. – М.: Машиностроение, 1971. – 208 с.
8. *Афтаназів І.С., Кусий Я.М.* Пристрої з електромагнітним приводом для зміцнення поверхонь довгомірних циліндричних деталей. – Львів: Машинознавство, 1999. – № 12. – С. 33–36.

АФТАНАЗІВ Іван Семенович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри “Технологія машинобудування” Національного університету “Львівська політехніка”.

Наукові інтереси:

– вібраційна обробка матеріалів.

КУСИЙ Ярослав Маркіянович – асистент Національного університету “Львівська політехніка”.

Наукові інтереси:

– зміцнення внутрішніх поверхонь довгомірних деталей методами пластичного деформування з накладенням вібрацій.

СВІЧ Антоній – доктор технічних наук, професор, директор інституту технологічних інформаційних систем при Політехніці Любелській, м. Люблін, Польща.

Наукові інтереси:

– системи автоматизованого проектування в машинобудуванні.

СОБАЧЕК Анджей – молодший науковий співробітник інституту технологічних інформаційних систем при Політехніці Любелській, м. Люблін, Польща.

Наукові інтереси:

– системи автоматизованого проектування в машинобудуванні.

ЮРЧИШИН Ігор Іванович – кандидат технічних наук, старший викладач Національного університету “Львівська політехніка”.

Наукові інтереси:

– технологічні процеси складання з застосуванням робототехніки.

Подано 10.05.2001