

Міністерство освіти і науки України

Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»



ЛЕБІДЬ ВОЛОДИМИР ТИМОФІЙОВИЧ

УДК 621.002.5.52

РЕІНЖИНІРИНГ ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ СКЛАДЕНИХ ВИРОБІВ  
У ВАЖКОМУ МАШИНОБУДУВАННІ НА ОСНОВІ ГРУПОВИХ  
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ РОЗБИРАННЯ-СКЛАДАННЯ

Спеціальність 05.02.08 – технологія машинобудування

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Харків – 2014

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі інтегрованих технологій в машинобудуванні та зварювального виробництва Української інженерно-педагогічної академії Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант:

доктор технічних наук, професор  
**Резніченко Микола Кирилович**,  
Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків,  
завідувач кафедри інтегрованих технологій  
в машинобудуванні та зварювального виробництва

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор  
**Михайлов Олександр Миколайович**,  
Державний вищий навчальний заклад  
«Донецький політехнічний інститут», м. Донецьк,  
завідувач кафедри технології машинобудування

доктор технічних наук, професор  
**Степанов Михайло Сергійович**,  
Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут», м. Харків,  
декан машинобудівного факультету

доктор технічних наук, професор  
**Тарельник В'ячеслав Борисович**,  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми,  
завідувач кафедри технічного сервісу

Захист відбудеться 16 жовтня 2014 р. о 14.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.12 у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий «11» вересня 2014 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради



О. А. Пермяков

Висловлюю подяку своєму вчителю й наставникові д-ру техн. наук, професору кафедри технологій та управління якістю в машинобудуванні

**Арпентьєву Борису Михайловичу**

.УПА (м. Харків).

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Одним із основних завдань машинобудівного комплексу України є підвищення конкурентоспроможності продукції за рахунок поліпшення її якості при зниженні собівартості. Державна програма «Ресурсоощадні та енергоефективні технології машинобудування» ставить завдання створення принципово нових технологій поряд із розвитком і удосконалюванням існуючих, до яких слід віднести ресурсоощадні технології у важкому машинобудуванні.

Одним зі шляхів вирішення цих завдань є реінжиніринг великогабаритних виробів (ВГВ), що дозволяє продовжити «життєвий» цикл їх експлуатації. Для важкого машинобудування, де складальне виробництво при виготовленні ВГВ становить до 40 % від загальної трудомісткості виготовлення виробів, цей напрям є особливо актуальним. Організаційно-технічні заходи й технології, пов'язані з процесами ремонту й відновлення ВГВ, складні й вимагають поглиблених досліджень. Питання встановлення класифікації ВГВ, систематизації й вивчення процесів відновлення й визначення ресурсу експлуатації при цьому повинні мати системний характер і розглядатися з одних позицій.

Ідея створення комплексу технологічних процесів (ТП), що забезпечують ефективне відновлення ВГВ, ґрунтується на такій гіпотезі: ВГВ, що відпрацювали ресурс по робочих поверхнях, як вироби важкого машинобудування можуть підлягати реінжинірингу за наявності залишкового ресурсу елементів конструкції за циклами навантаження й станом геометричних і механічних параметрів, що дозволяє продовжити «життєвий» цикл із істотною економією на технологічних переділах.

Проблема реінжинірингу ВГВ має важливе науково-технічне значення, оскільки її вирішення дозволяє реалізувати ресурсоощадний напрям у важкому машинобудуванні, що забезпечує істотне зниження витрат цієї конкурентоспроможної продукції, заклавши на стадії проектування знову виготовлюваних ВГВ технічні рішення, які дозволяють суттєво продовжити цикл експлуатації виробів. Тому вирішення цієї проблеми, з урахуванням раніше розроблених положень щодо відновлення виробів у різних галузях промисловості, є актуальним для важкого машинобудування та визначило напрям дисертаційного дослідження.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами.** Роботу виконано на кафедрі інтегрованих технологій в машинобудуванні та зварювального виробництва Української інженерно-педагогічної академії (УІПА). Дослідження проводились в рамках НДР: «Исследование, усовершенствование конструкции, отработка технологии изготовления и восстановления крупных опорных валков» (АТ «Новокраматорський машинобудівний завод» (НКМЗ), м. Краматорськ, ДР № 01.84.0083824), «Разработка конструкции, технологии и внедрение разработок на партии отработанных опорных валков стана 2030» (АТ «Новокраматорський машинобудівний завод», м. Краматорськ, ДР № 01.91.0006351), в яких здобувач був відповідальним виконавцем. У НДР «Исследование, разработка и внедрение промышленного метода и средств контроля качества посадки составных опорных валков» (НВО «НДПТмаш», м. Краматорськ, ДР № 01.84.0081912), «Исследование, усовершенствование конструкции, отработка и внедрение технологии изготовления и восстановления крупных опорных валков» (НВО «НДПТмаш», м. Краматорськ, ДР № 01.85.0046681) здобувач був співвиконавцем.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дослідження є реінжиніринг великогабаритних складених виробів (ВГСВ) важкого машинобудування на основі групових технологічних процесів (ГТП) розбирання-складання, що забезпечує продовження «життєвого» циклу й ресурсозаощадження на технологічних переділах.

*Для досягнення поставленої мети в роботі сформульовані наступні задачі:*

- визначити й розширити область використання реінжинірингу ВГВ, проаналізувавши групи виробів, найбільше придатних за технічними характеристиками й складом деталей до повторного використання;

- створити модель структури й параметри процесу розбирання охоплювальних і охоплюваних деталей (ООД) ВГСВ. Розробити й реалізувати технологічні параметри процесу демонтажу тепловим і механічним способами деталей складених вальцювальних валків (СВВ), які відпрацювали ресурс;

- дослідити параметри ТП складання ООД ВГВ: традиційним – тепловим, альтернативним – холодом і перспективним – термоструктурним;

- дослідити прояв фретинг-процесів (ФП) на посадкових поверхнях демонтованих деталей ВГСВ і вплив цих процесів на працездатність виробів;

- узагальнити ТП відновлення ВГВ, визначивши раціональні області їх використання, працездатність відновлюваних виробів із урахуванням впливу динамічних навантажень;

- дослідити характер розподілення й перерозподілення напружень у охоплювальних деталях ВГСВ для діагностики відновлених деталей;

- скоригувати методику прогнозування довговічності з урахуванням типорозмірів відновлюваних виробів, зміни твердості їхніх робочих поверхонь, величин залишкових напружень, викликаних термічним обробленням і складанням ООД;

- виконати уточнення теоретичних основ розрахунків відновлення ВГВ і розробити методи забезпечення підвищення працездатності, які повинні враховуватися на стадіях проектування виробу й реалізовуватися в ГТП реінжинірингу;

- реалізувати дослідно-промислові розробки зі створення ГТП відновлення ВГВ і, на прикладі повторної експлуатації відновлених СВВ, оцінити результати роботи.

*Об'єкт дослідження* – процес реінжинірингу ВГВ у важкому машинобудуванні.

*Предмет дослідження* – закономірності ГТП розбирання-складання ВГВ, що зазнають реінжинірингу з метою продовження їхнього «життєвого» циклу.

**Методи дослідження.** Методологічна основа роботи: системний аналіз і комплексний розгляд функціональних призначень і конструктивних параметрів ВГСВ й технологічних систем виготовлення, експлуатації та відновлення цих виробів.

У теоретичній частині роботи при дослідженні напружено-деформованого стану охоплювальних деталей великогабаритного складеного вальцювального валка (ВГСВВ) використовується метод скінченних елементів (МСЕ) на базі програмного забезпечення COSMOS WORK, а при вирішенні термомеханічних завдань процесів складання – комплекс скінченно-елементних програм загального призначення ABAQUS. Контроль та діагностування рівня напруг у охоплювальних деталях складеного вальцювального валка при експериментальних дослідженнях заснований на неруйнуючому магнітопружньому методі. При моделюванні процесу руйнування охоплювальних деталей використаний експериментально-розрахунковий метод. Метод просторового твердотілого геометричного моделювання реалізований при розробці операцій демонтажу ВГСВВ і їх подальшого складання.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає в розвитку теоретичних, методологічних і нормативно-методичних основ реінжинірингу виробів на основі ГТП розбирання-складання:

- вперше розроблено математичну модель визначення параметрів сполучуваних поверхонь складених деталей у залежності від рівня залишкових напружень

і прогнозованого терміну служби виробу, застосування якої дозволяє удосконалити метод комплексного теоретико-експериментального дослідження й технічного діагностування ВГСВВ на стадіях реінжинірингу й експлуатації;

- отримала подальший розвиток методологія розроблення ГТП розбирання-складання на основі групування ВГСВВ за технологічною подібністю з урахуванням основних факторів організації виробництва;

- вперше розроблено й апробовано математичну модель фретинг-зносу й втоми для визначення їх параметрів на стадії проектування виробу з урахуванням конструкції вальцювального валка й схеми нанесення покриття на посадкову поверхню охоплюваної деталі, що дозволяє прогнозувати параметри ФП;

- удосконалено математичну модель визначення технологічних параметрів процесу складання ВГСВВ термодією, використання якої дозволяє прогнозувати параметри напружено-деформованого стану при змінній температурі охоплювальної (охоплюваної) деталі;

- розроблено метод візуалізації й дослідження параметрів напружено-деформованого стану деталі при складанні ВГСВВ термодією; розроблено алгоритм адаптивного керування процесом, який дозволяє скоригувати процес та зменшити час складання.

**Практичне значення отриманих результатів** для важкого машинобудування полягає у встановленні рекомендацій щодо обґрунтованого вибору процесів реінжинірингу великогабаритних вальцювальних валків і подальшого оброблення їх на фінішному етапі процесу виготовлення деталей. Розроблено метод і блок-схему для програмного забезпечення кінематики формотворення складних поверхонь. Для покращення якості з'єднання ООД і точності оброблення складених посадкових поверхонь розроблено практичні рекомендації. За результатами оцінювання показників ресурсозаощадження ряду типорозмірів виробів встановлено мінімальний поріг маси ВГВ - 20 т, визначено ресурс напрацювання відновлених виробів 70...98 % від номінального (при довірчій імовірності 0,8), при цьому в процесі відновлення ВГВВ досягається зниження таких показників: матеріалоемності на заготовках – до 1,8 разу; трудомісткості виготовлення виробів – до 1,3...1,6 разу; собівартості – до 30...35 %; енерговитрат – не менше ніж 25 % відносно виготовлення аналогічного нового виробу.

Практичне значення одержаних результатів:

- розроблена програма розрахунку показників надійності з урахуванням ФП, яка може бути використана для експериментально-промислових досліджень працездатності натурних виробів;

- розроблено й реалізовано комплексну програму повторного використання деталей складених виробів, що відпрацювали ресурс по робочій поверхні, з урахуванням циклів навантаження в процесі їх експлуатації (патент РФ № 2048937). При розрахунках осі валка на міцність доцільно використовувати границі фретинг-втоми  $\sigma_{-1F}$  замість границі витривалості  $\sigma_{-1}$ ;

- розроблено алгоритм й технологічні рекомендації з визначення параметрів процесів розбирання-складання ВГСВВ, отриманих при натурному моделюванні, доведених до рівня ГТП і впроваджених у виробництво.

Результати роботи впроваджено на ПАТ «Новокраматорський машинобудівний завод» (м. Краматорськ).

Відновлені СВВ реалізовано в клітках вальцювальних станів на підприємствах чорної металургії України та Росії: металургійних комбінатах «Азовсталь», ім. Ілліча (м. Маріуполь), «Северсталь» (м. Череповець), «Запоріжсталь» (м. Запоріжжя), Новолипецькому металургійному комбінаті (м. Липецьк).

**Особистий внесок здобувача.** Положення й результати, що виносяться на захист дисертаційної роботи, отримані здобувачем особисто. Серед них опис «життєвого» циклу великогабаритних виробів, обґрунтування економічної доцільності реалізації реінжинірингу вальцювальних валків, здобувач також сформулював плани й програми проведення експериментів реінжинірингу великогабаритних складених виробів, дослідження процесів складання вальцювальних валків та розбирання, розробка групових технологічних процесів розбирання-складання валків, обробка і узагальнення результатів діагностування охоплювальних деталей; впровадження відновлених валків у виробництво. Постановка задач досліджень, аналіз і обговорення отриманих результатів виконувалися здобувачем спільно з науковим консультантом і частково зі співавторами публікацій.

**Апробація результатів роботи.** Основні положення та результати роботи доповідались на: Республіканській конференції «Металловедение и термообработка сталей со специальными свойствами» (м. Краматорськ, 1985 р.), Республіканській науково-технічній конференції з теорії й практики надійності та якості виробів машинобудівних підприємств (м. Краматорськ, 1990 р.), Всесоюзній науково-технічній конференції АН СРСР «Износостойкость машин» (м. Брянськ, 1991 р.), науково-технічній конференції «Теория и технология процессов пластической деформации – 96» (МІСІС, м. Москва, 1996 р.), науково-технічній конференції «Проблемы развития наукоемких и малоотходных процессов обработки металлов давлением» (ДДМА – АТ «НКМЗ», м. Краматорськ, 1997 р.), IV, V і VI Міжнародних науково-технічних конференціях «Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века» (м. Севастополь, 1997–1999 рр.), Міжнародній науково-технічній конференції «Надійність машин і прогнозування їх ресурсу» (м. Івано-Франківськ – Яремча, 2000 р.), VII, VIII, IX, X, XI, XIV, XV і XVII Міжнародних науково-технічних конференціях «Машиностроение и техносфера в XXI веке» (м. Севастополь, 2000–2004, 2007, 2008, 2010 рр.), V, VI і VII Міжнародних симпозиумах українських інженерів-механіків (м. Львів, 2001, 2003, 2005 рр.), науково-технічній конференції «Надежность машин и технических систем» (м. Мінськ, 2001 р.), IV Міжнародному симпозиумі з трибофатики (ISTF4) (м. Тернопіль, 2002 р.), IV Міжнародній конференції «Прогресивна техніка і технологія» (Київ – Севастополь, 2003 р.), I Міжнародній науково-технічній конференції «Динаміка, міцність і надійність сільськогосподарських машин (DSR AM-1)» (м. Тернопіль, 2004 р.), IX Міжнародній конференції «Прогресивна техніка і технологія» (м. Київ, 2008 р.), I, II Міжнародних науково-технічних конференціях «Пошкодження матеріалів під час експлуатації, методи їх діагностування й прогнозування» (ІС DMDP), (м. Тернопіль, 2009, 2011 рр.), IV Міжнародному промисловому форумі «Реконструкция промышленных предприятий – прорывные технологии в металлургии и машиностроении» (м. Челябінськ, 2011 р.); демонструвалися на виставці «От фундаментальных исследований до практического внедрения» (ВДНГ, м. Москва, 1990 р.).

**Публікації.** Основний зміст дисертації викладено в 52 наукових публікаціях, з них: 27 статей - у наукових фахових виданнях України (2 – у виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз, 4 – у закордонних періодичних фахових виданнях), 4 – авторських свідоцтва; 3 - патенти РФ, 10 – у матеріалах конференцій.

**Структура й обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, семи розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг дисертації становить 445 сторінки, з них 157 рисунків по тексту, 61 таблиця по тексту, 80 рисунків та 26 таблиць на 66 окремих сторінках; список використаних джерел з 235 найменувань на 24 сторінках, 6 додатків на 70 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**Вступ.** Подано загальну характеристику роботи, обґрунтовано актуальність теми, визначено мету, завдання, об'єкт, предмет і методи досліджень, наведено наукову новизну й практичне значення отриманих результатів, зазначено особистий внесок здобувача, публікації, апробацію отриманих результатів і структуру дисертації.

**Перший розділ** присвячений стану проблеми ремонту й відновлення деталей у ряді галузей промисловості. Показано, що вирішення такого завдання стосовно ВГВ і одержання принципових рішень зі створення ресурсоощадного напрямку пов'язане з побудовою теоретичного опису «життєвого» циклу ВГСВ, що належать до тіл обертання, комплексом методів і ТП їх відновлення, уточненням розрахунків працездатності відновлених виробів, розробленням пристосувань і технологічного оснащення на підставі загальних ознак уніфікації ВГВ в умовах важкого машинобудування.

На підставі виконаного аналітичного огляду джерел обґрунтовано доцільність розроблення ресурсоощадного напрямку у важкому машинобудуванні, який базується на відновленні ВГВ при повторному використанні низки демонтованих деталей складеного виробу, що відпрацював ресурс по робочій поверхні.

Виконаний аналіз ТП виготовлення ВГСВВ і їх подальшої експлуатації показує: реалізація очевидних переваг, що досягаються в процесі відновлення валків, стримується відсутністю ряду необхідних заходів, ТП і технічних рішень.

Одним із основних конструктивних виконань відновлюваних ВГВ є складений варіант, який у більшості випадків забезпечує виготовлення цих виробів на машинобудівних підприємствах із урахуванням їхніх можливостей металургійного переділу. При цьому доцільність повторного використання ВГВ залежно від функціонального призначення й конструктивного виконання розглядалася фрагментарно. Унаслідок незавершеної класифікації цих виробів відзначалася перспективність системного підходу до ТП їх відновлення.

Якість технології процесу складання ООД і одержання ВГСВ розглядалася з погляду досягнення заданих значень температур і розподілу їх за деталями виробів. Аналіз робіт Г. Я. Андрєєва, Б. М. Арпентьєва, Г. А. Боровника, М. В. Гедеона, А. С. Зенкіна, В. С. Корсакова, В. Г. Лешковцева, В. І. Максака, С. П. Митрофанова, О. М. Михайлова, Б. О. Морозова, Д. М. Решетова, П. І. Полухіна і В. П. Полухіна,



Ф. П. Сніговського, В. Т. Фірсова та ін. дозволив сформулювати основні положення відновлення великогабаритних складених виробів.

За очевидних переваг (достатній залишковий ресурс за втомними напруженнями, високі показники за геометричними параметрами, якість стану металу деталей тощо) у ВГСВ, що відпрацювали ресурс, відзначається їх обмежене повторне використання.

Необхідним є створення розрахункових моделей, які встановлюють у деталях ВГСВ взаємозв'язок температурних деформацій і полів напружень, що дозволяє забезпечити якість ТП складання. Методики розрахунків при відновленні ВГВ доповнено показниками залишкового ресурсу, рівня залишкових напружень, величин натягів, форми профілювання посадкових поверхонь і впливу ФП.

Показано, що витрати за матеріало-, енерго- й трудомісткістю при реалізації процесів відновлення на прикладі дослідження ВГСВВ, залежно від стану демонтованих деталей виробів, забезпечують значну економію.

У загальному вигляді математичний опис ТП «життєвого» циклу ВГСВ, пов'язаних із процесами відновлення вальцювальних валків, подано як задачі оптимізації витрат:

$$C(t) = \sum_{i=1}^{Z=4} \sum_{j=1}^{V=n} C_{ij}(t) = K(t) \rightarrow opt(t); (1) \quad \xi(t, x) = \xi(t, x, \omega); (2) \quad C(t) = \sum_{i=1}^{Z=4} \sum_{j=1}^{V=n} C_{ij}(t) = K(t) \rightarrow \min(t); (3)$$

$$\xi(t, x_*) = \xi(t, x_*, \omega); (4),$$

де (1) і (3) – оцінка якості технологій при виготовленні нового виробу й у процесі його відновлення, відповідно; (2) і (4) – оцінка міцнісних характеристик у процесі експлуатації виробу з наступним висновком про доцільність його повторного використання та при повторному його використанні, відповідно;  $C(t)$  – загальна вартість витрат усіх процесів на рівнях ієрархії ТП виготовлення виробу в момент часу  $t$ ;  $C_{ij}(t)$  – вартість  $j$ -го процесу на  $i$ -му ієрархічному рівні ТП виготовлення нового виробу в момент часу  $t$ ;  $V$  – кількість об'єктів на  $i$ -му ієрархічному рівні ТП виготовлення виробу;  $Z$  – кількість ієрархічних рівнів ТП виготовлення виробу;  $K(t)$  – оптимізаційний функціонал, що оптимізує (або мінімізує) витрати ( $opt (min) (t)$ ) в момент часу  $t$ ;

$$C_{ij}(c_{0tM}^k, c_{tM}^k, c_{tT}^k, c_{tЧ}^k, c_{tФ}^k, t) =$$

$$= \begin{cases} \left\{ \begin{array}{l} (2,1x_{1,2} \geq x_{1,2 \text{ слит.}} \geq 1,9x_{1,2}) \vee \\ (1,8x_{1,2} \geq x_{1,2 \text{ пок.}} \geq 1,6x_{1,2}) \end{array} \right\} K(a_{mn}, b_{mn}, c_{mn}, \alpha x_{1,2}, \beta x_{1,2}, x_{1,2}, x, t) \rightarrow opt(t) & \text{– ВГСВВ знову} \\ & \text{виготовлювані;} \\ \left\{ \begin{array}{l} (x_{1\text{заг.}} \cong x_{1\text{отр. ресурс}}); \\ (2,1x_2 \geq x_2 \text{ слит.}} \geq 1,9x_2) \vee \\ (1,8x_2 \geq x_2 \text{ пок.}} \geq 1,6x_2) \end{array} \right\} L(a_{mn}, b_{mn}, c_{mn}, \gamma x_1, \alpha x_2, \beta x_2, x_{1,2}, x, t) \rightarrow \min(t) & \text{– реінжиніринг ВГСВВ} \\ & \text{у рівному виконанні;} \\ \left\{ \begin{array}{l} (x_{1\text{заг.}} \cong x_{1\text{отр. ресурс}}); \\ (x_{2\text{заг.}} \leq 0,97x_{2\text{отр. ресурс}}) \vee \\ (1,2x_{1,2\text{заг.}} \geq x_{1,2 \text{ пок.}}) \end{array} \right\} M(a_{mn}, b_{mn}, c_{mn}, \gamma x_{1,2}, \beta^l x_{1,2}, x_{1,2}, x, t) \rightarrow \min(t) & \text{– реінжиніринг ВГСВВ} \\ & \text{меншого типорозміру,} \\ \text{де } k=0, \overline{7}, \overline{15} \text{ – індекси варіантів виготовлення виробу та його реінжинірингу;} & \end{cases}$$

$X = X_1 + X_2$ , тут  $X$ ,  $X_1$ ,  $X_2$  – маса складеного виробу, ООД, відповідно;

$a_{mn}$ ,  $b_{mn}$ ,  $c_{mn}$  – коефіцієнти, які визначають питому трудомісткість виготовлення виробу;

$\alpha X_1, \alpha X_2$  – маса зливків ООД, відповідно;  $\beta X_1, \beta X_2$ ;  $\beta^l X_1, \beta^l X_2$  – маса поковок ООД зі зливків;

маса поковок ООД із демонтованих деталей-заготовок, відповідно;  $\gamma X_1, \gamma X_2$  – маса демонтованих ООД складеного виробу, використовуваних повторно, відповідно;  $2,10 \geq \alpha \geq 1,90$ ;  $1,80 \geq \beta \geq 1,60$ ;  $1,20 \geq \beta' \geq 1,15$ ;  $1,00 \geq \gamma \geq 0,93$ .

Обмеження по масі складеного виробу, що підлягає реінжинірингу

$$20\text{т} \leq (x_1 + x_2) \leq 200 \text{ т.}$$

На підставі проведених теоретичних досліджень працездатності цих виробів будується методика оцінювання надійності й довговічності, яка дозволяє з досить високим ступенем імовірності прогнозувати термін служби відновлюваних виробів. Таким чином, є можливість констатувати доцільність створення ресурсоощадного напрямку у важкому машинобудуванні.

У **другому розділі** для забезпечення технологічної гнучкості виробництва й економічності проведення процесу реінжинірингу виконано уніфікацію ТП, яка базується на класифікації складених виробів і їх деталей, а також їх конструктивно-технологічних виконань, розглянуто конструкції ВГСВ, виконано аналіз дефектів, що виникають у процесі виготовлення та подальшої експлуатації.

Запропоновано класифікацію з'єднань складених одиниць ООД. Передумови створення ресурсоощадного виробництва повторно використовуваних деталей базуються на вирішенні таких завдань: аналіз номенклатури відновлюваних деталей і групування цих виробів за конструкторсько-технологічними ознаками й подібністю для розроблення технічних рішень і ТП із використанням комп'ютерної техніки; уніфікація й стандартизація деталей і процесів їх відновлення; тематичне впорядкування досліджуваних ТП.

Керуючись загальними положеннями щодо визначення основних форм ВГВ, виконано умовний поділ виробів на класи, які наведено в табл. 1.

ВГСВ згруповано за такими загальними (постійними) й змінними (додатковими) ознаками: габаритні розміри, маса й вид з'єднання (за методом його створення) і наявність у розглянутих виробках гладкої форми сполучуваних поверхонь при з'єднанні їх натягом, симетричність деталей. Типовими представниками виробів аналізованого класу на прикладі машин вальцювального виробництва є, зокрема, зубчасті колеса редукторів приводів, опорні валки та шпинделі ліній клітей вальцювальних станів.

Керуючись загальними положеннями визначення основних форм ВГВ, доцільним є поділ на такі класи: 1) тіла обертання; 2) тіла просторової форми; 3) тіла обертання, у яких один (або декілька) з елементів має вісь, що не збігається із загальною геометричною віссю (табл. 1). При цьому залежно від величини зсуву елементів деталі щодо загальної геометричної вісі вироби можуть бути віднесені до ексцентрових валів, кривошипів або колінчатих валів.

Показано, що найбільш перспективним вибором виробів, що забезпечують реалізацію ресурсоощадного напрямку, є деталі, що належать до тіл обертання (клас виробів І).

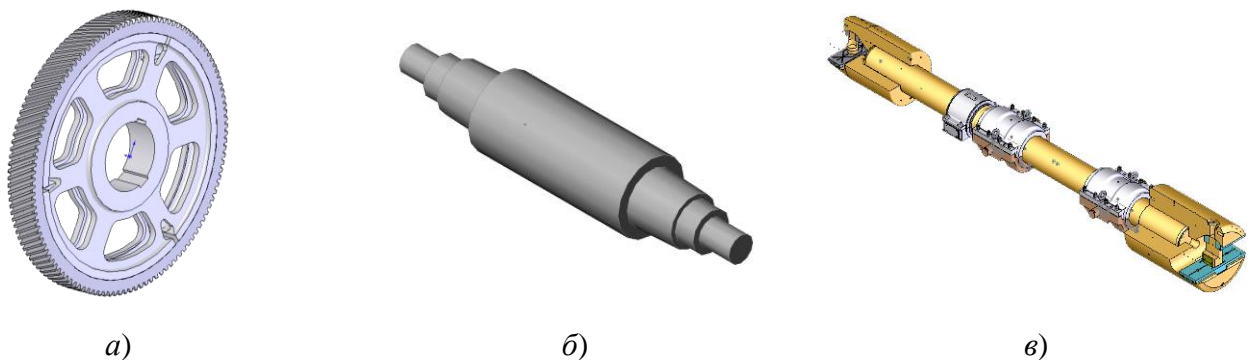
Таблиця 1 – Класифікація ВГВ важкого машинобудування за основними класами

Клас виробу	Форма великогабаритних виробів	Положення елементів деталі щодо загальної геометричної вісі	Загальний вид виробу основного представника кожного класу
I	Тіла обертання (вали, валки, гвинти, шпинделі й деталі з елементами зубчастих зачеплень)	симетричні	
II	Тіла просторової форми (корпусні, опорні та ємнісні вироби)	симетричні (а)/асиметричні (б)	
III	Тіла обертання, у яких один (або декілька) з елементів має вісь, що не збігається із загальною геометричною віссю деталі (ексцентриковий вал (в), кривошип двосторонній (г), колінчатий вал)	асиметричні	

Для розроблюваного уточненого комплексу заходів із технології реінжиніринга цих деталей установлено такий перелік класифікаційних положень:

1. Класифікація проведених комплексно-технологічних заходів: ремонт як комплекс заходів при відновленні виробу внаслідок його часткового руйнування; відновлення як комплекс заходів із повторного використання основних деталей складеного виробу після відпрацювання ним ресурсу.

2. Класифікація основних груп ВГВ на класи I, II, III і виділення з них I класу виробів, що найбільше підлягають процесам реінжинірингу. З цього класу виділено три підкласи деталей, дослідження яких викладено в матеріалах роботи (рис. 1).



а – зубчасті колеса; б – вальцювальні валки; в – універсальні шпинделі  
Рисунок 1 – Основні ВГСВ, розглянуті в якості базових деталей при вивченні процесу їх реінжинірингу

3. Класифікація за функціонально-технологічними вимогами до експлуатації деталей: за переважними режимами експлуатації виробу.

4. Класифікація за конструкцією: вироби складаються традиційно з основних двох (або трьох) охоплювальних і однієї охоплюваної деталей.

5. Класифікація за геометричними параметрами виробу, що підлягає відновленню: за геометричними розмірами (за співвідношенням  $L/D$ , де  $L$  – довжина деталі;  $D$  – найбільший зовнішній діаметр деталі); за параметрами посадкової поверхні розглянутих виробів за співвідношенням  $l/d$ , де  $l$  – довжина й  $d$  – діаметр посадкової поверхні:  $l/d$  до 0,5 для I підкласу й  $1,0 < l/d < 1,5$  для II і III; за типорозміром відновлюваного виробу аналогічного (рівного) розміру під менший типорозмір.

6. Класифікація за марками матеріалу основних деталей складеного виробу, твердістю його робочої поверхні.

7. Класифікація за станом виробу: за відпрацьованим ресурсом згідно з пас-портними даними виробу; за типом (або характером) руйнування або виявленими дефектами; за характером і формою цих дефектів, за залишковою деформацією, за розмірами дефектів або конструктивних і (або) технологічних відступів.

8. Класифікація за видами технології демонтажу (розбирання): тепловий, механічний, вибухом та інші.

9. Класифікації за видами технології складання термодією і з урахуванням особливостей конструкцій виробів: при нанесенні / без нанесення покриття на посадкову поверхню осі валка; за наявності / без наявності в конструкції осі валка додаткових фіксувальних пристроїв та інші.

Для оцінювання виведення з експлуатації виробів, зазначених на рис. 1, узагальнено критерії відпрацювання ними ресурсу по робочій поверхні (табл. 2).

Таблиця 2 – Показники, що визначають вихід із експлуатації розглянутих ВГВ

Найменування виробу	Критерій відпрацювання ресурсу виробу по робочій поверхні (величина зносу)	Узагальнена величина параметра, що визначає вихід виробів із експлуатації
1. Зубчасте колесо	$\Delta_1 \geq (0,15 \dots 0,20) S_{\text{ном.зуб.}}$	$S_{\text{мін зуб.}} = [1 - (0,15 \dots 0,20)] S_{\text{ном.зуб.}}$
2. Вальцювальний валок	$\Delta_2 > (0,05 \dots 0,070) D_{\text{зовн.}}$	$D_{\text{мін зовн.}} = [1 - (0,05 \dots 0,07)] D_{\text{зовн.}}$
3. Шпindelь	$\Delta_3 \geq (0,02 \dots 0,03) d_{\text{розт.}}$	$d_{\text{мах розт.}} = [1 + (0,02 \dots 0,03)] d_{\text{ном.розт.}}$

Для реалізації цього ресурсоощадного напрямку доцільними є дослідження різних схем відновлення виробів зазначеного класу. Це дозволяє оцінити матеріалоозаощадження, зниження трудомісткості, енергомісткості у виробництві виробів у важкому машинобудуванні.

У третьому розділі розроблено й досліджено технологічні схеми відновлення ВГВ по одному представникові з класифікованих вище підкласів: складені зубчасті колеса (I підклас); вальцювальні валки (II); шпindelі (III). На прикладах цих виробів розроблено типові схеми ТП, технологічні операції й запропоновано комплексні заходи щодо реалізації цих процесів. Запропоновано, розроблено й реалізовано ГТП розбирання й складання ВГСВВ із урахуванням уніфікації цих операцій (розд. 5).

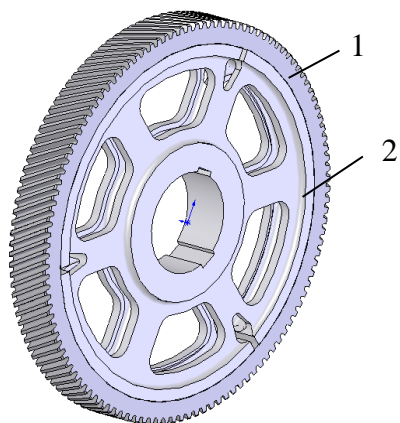
Наведено основні положення щодо розроблення ряду схем ТП стосовно виробів І підкласу, наприклад складених зубчастих коліс (рис. 2) із такими геометричними параметрами: діаметр  $D$  (по виступах зубів) – 1821...3926,96 мм; ширина  $B$  – 500...1190 мм; діаметр посадкової поверхні центру / бандажа  $D_1$  – 1500 (+ 0,125 / + 2,270; 0 / + 2,145 )...3520 (+ 0,35 / + 3,63; 0 / + 3,28) мм; модуль  $m$  / число зубів  $Z$  / кут нахилу зубів  $\beta$  – 14 / 171 /  $26^\circ 48' 40''$ ...28 / 125 /  $25^\circ 17' 19''$ ; загальна маса – 6,3...49,2 т, із урахуванням конструктивних виконань.

Для підготовки виробу до відновлення й при виконанні контролю проведено розрахункові дослідження небезпечних зон концентрації напружень із виключенням руйнування деталей методом скінченних елементів на базі COSMOS WORK.

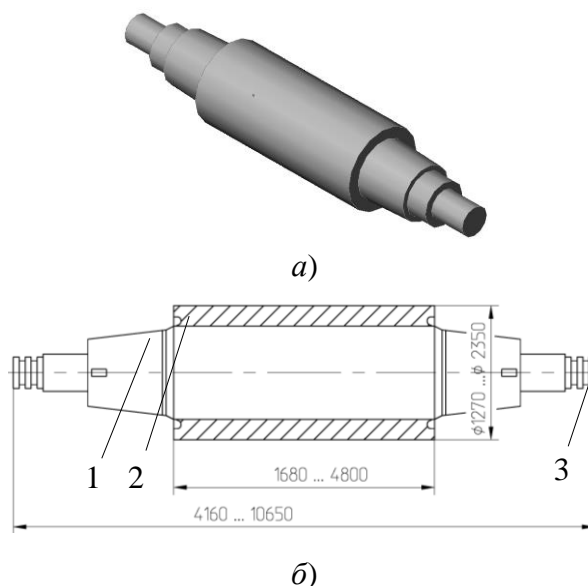
Основні положення процесів відновлення виробів ІІ підкласу досліджено на прикладах СВВ (рис. 3. а, б). Пропонований підхід до реалізації процесів реінжинірингу вимагає встановлення припустимих масово-габаритних характеристик розглянутих виробів-валків, які можуть бути відновлені за однією з розроблених технологій із урахуванням визначення напрямів. Розроблено основні положення вибору деталей для повторного формозмінення (перекуття).

Завдання відновлення ВГВ у зазначеному виконанні вирішується шляхом використання демонтованих деталей складених виробів, які відпрацювали ресурс, із подальшим їх використанням або в комбінації зі знову виготовленими деталями.

На прикладі конструкції СВВ (габаритні розміри виробу: діаметр за зовнішньою поверхнею  $D = 1600$ ...2350 мм; довжина  $L = 4970$ ...10 650 мм; діаметр посадкової поверхні осі/бандажа  $d = 1150$ ...1750 мм; загальна маса 43,1...203 т) проведено дослідження напружено-деформованого стану охоплювальних деталей і зіставлено з результатами інших даних, отриманих залежно від профілю посадкової поверхні охоплюваних деталей (розд. 4).



1 – зубчастий вінець; 2 – центр  
Рисунок 2 – Загальна схема складеного зубчастого колеса



1 – вісь валка; 2 – бандаж; 3 – пробка осі  
Рисунок 3 – ВГСВВ (а) і його базова конструктивна схема (б)

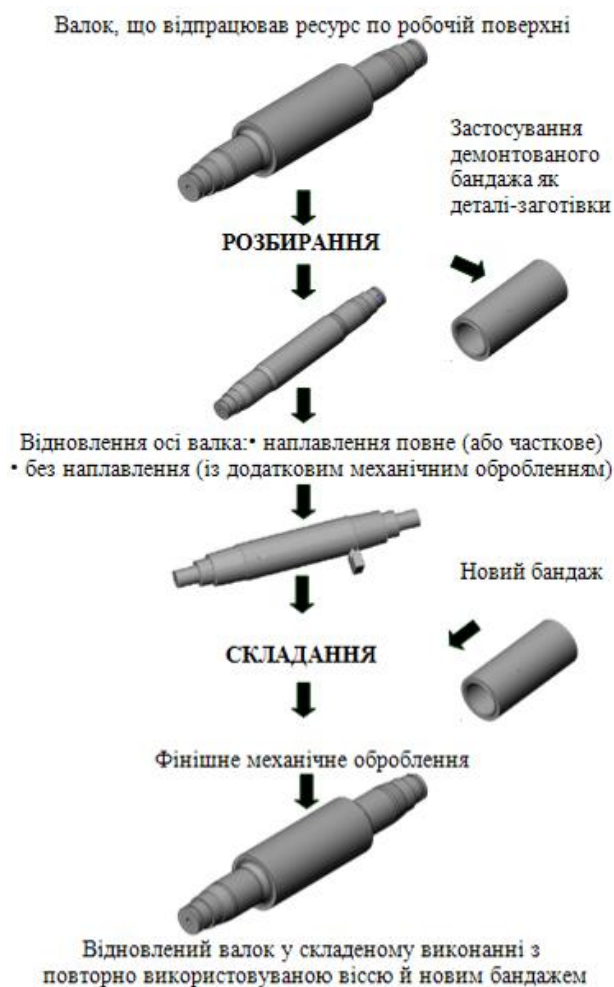
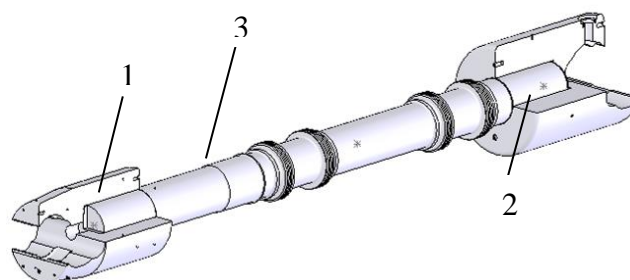


Рисунок 4 – Технологічна схема реінжинірингу вальцювального валка в складеному виконанні, що відпрацював ресурс

За низкою технологічних схем розроблено базові положення відновлення цих виробів. Одну з них наведено на рис. 4.

У процесі розроблення реінжинірингу СВВ опрацьовано й напрям із наплавлення низки елементів охоплюваних деталей.

Базові положення процесів відновлення виробів третього підкласу розглянуто на прикладі універсальних шпинделів (рис. 5), що мають відповідні технічні характеристики:  $M_{кр}$ , ном. (тах) – 202...273 (343) тм; загальна довжина виробу  $L$  – 8505...13085 мм; діаметр вала шпинделя  $d_{ср}$  – 510...620 мм; зовнішній діаметр головок менш. / більш.  $D_{min} / D_{max}$  – 950 / 1180...985 / 1150...1220 мм (моноблочний); посадковий діаметр головок  $d_1$  – 490 Н8/У8...600 Н8/У8 мм; загальна маса – 26,5...42,7 т.



1, 2 – менша й більша головки, відповідно;  
3 – вал шпинделя

Рисунок 5 – Спрощена схема складеного шпинделя

Подано загальні схеми відновлення універсального шпинделя. Аналіз розроблених варіантів формозмінення відновлюваних деталей наведено у табл. 3.

На основі синтезу ТП реінжинірингу вальцювальних валків розроблено й реалізовано ГТП цих виробів у складеному й моноблочному виконаннях. Це дозволяє виконати відбір виробу за вхідними параметрами для подальшого використання з наступним діагностуванням і регулюванням рівня напруг у відновлюваних виробках. Узагальнення результатів реалізації ряду ТП залежно від первинного стану виробів дозволило прогнозувати відновлюваність ВГВВ.

Визначено пріоритетні конструктивні виконання відновлюваних виробів, напрями виготовлення вальцювальних валків у ТС і відпрацьовано цикл ГТП по вторинному використанню двох деталей СВВ у деяких формах їх перероблення: наприклад, бандаж шляхом перекуття демонтованого аналогічного виробу більшого типорозміру, вісь валка – механічним обробленням аналогічної конструкції моноблочного валка. Після виконання попереднього монтажу й основного (термоструктурного) складання виконуються наступні технологічні операції.

Таблиця 3 – Оцінний рівень реінжинірингу ВГВ щодо формозміни їх у процесі подальшого використання

Стан ВГВ, що надходять на відновлення	Підклас виробу	Характер формозміни**	Прогнозована відновлюваність від загального обсягу розглянутих виробів, %
1	2	3	4
Вироби, що відпрацювали ресурс по робочій поверхні:			
• у складеному виконанні:			
- демонтовані деталі охоплювані / охоплювальні	I	▲/-	до 70 / -
	II	▲▼●■/▼	60; 70; 76; 68/80
	III	-/▲▼●	- / 56; 49; 41
• у моноблочному виконанні:			
- як охоплювані деталі	I	●	94
	II	▼●	93 / 89
	III	●■	80 / 80
Складені вироби, що надійшли з руйнуванням однієї з деталей (або з дефектами, що виходять за припустимі нормативи):			
- демонтовані охоплювані деталі, придатні до повторного використання	I	▲	до 78
	II	▲▼●■	78; 85; 93; 72
	III	▲▼●■	78; 92; 87; 86
- демонтовані охоплювальні деталі, придатні до повторного використання	I	-	-
	II	▼	86
	III	-	-

\*\*Характер формозміни: ▲ – без зміни типорозміру й форми при додатковому проведенні термічного оброблення; ▼ – перекуття деталі на менший типорозмір; ● – механічне оброблення деталі на менший типорозмір; ■ – наплавлення поверхні деталі.

Виходячи з основної форми реінжинірингу вальцювальних валків як базової, встановлено два основні варіанти виконання: перший - реінжиніринг рівновеликого (рівнозначного) виробу, адекватного первісній конструкції при використанні нової охоплювальної деталі та повторно використуваної охоплюваної деталі; другий - в меншому конструктивному виконанні – при повторному використанні виробу, що відпрацював ресурс, у якості деталі-заготівки.

Розроблено схеми узагальненого технологічного маршруту реінжинірингу ВГСВВ. У сформованому узагальненому маршруті реінжинірингу ВГСВВ зберігається послідовність індивідуальних маршрутів при їхньому виділенні.

Варіанти групових маршрутних ТП: I – знову виготовлювані вироби; при реінжинірингу ВГВВ: II – повторно використовувана вісь і новий бандаж; III – нова вісь і повторно використовуваний бандаж; IV – повторно використовувані демонтовані вісь і бандаж (виріб меншого типорозміру); V – повторно використовувані демонтовані вісь і бандаж; VI – повторно використовуваний моноблочний валок (під вісь, перекуття) і новий бандаж; VII – повторно використовуваний моноблочний валок (під вісь, механічне оброблення) і новий бандаж; VIII – повторно використовуваний моноблочний валок (під вісь, механічне оброблення) і перекований бандаж з демонтованої деталі більшого типорозміру; IX – повторно використовуваний моноблочний валок (під вісь, перекуття) і перекований бандаж з демонтованої деталі більшого типорозміру.

На основі аналізу заходів щодо реінжинірингу виробів, процесів повторного використання деталей і технологій розбирання й складання термічним впливом у машинобудуванні науково обґрунтовано принципи створення технологій реінжинірингу ВГВ, що дозволяють забезпечити повторне використання деталей цих виробів і продовження строку їх експлуатації.

Узагальнення результатів реалізації ТП реінжинірингу дозволило встановити прогнозовану відновлюваність ВГСВ залежно від характеру формозмінення деталей-заготовок.

Установлено певні закономірності ГТП розбирання-складання ВГСВВ, що підлягають реінжинірингу:

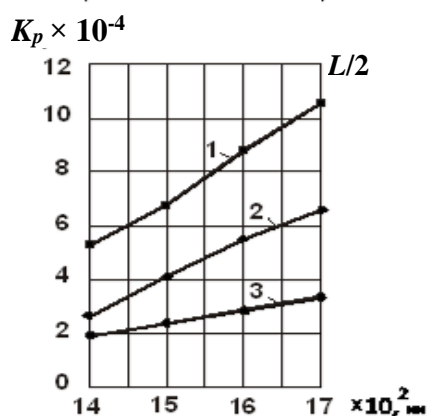
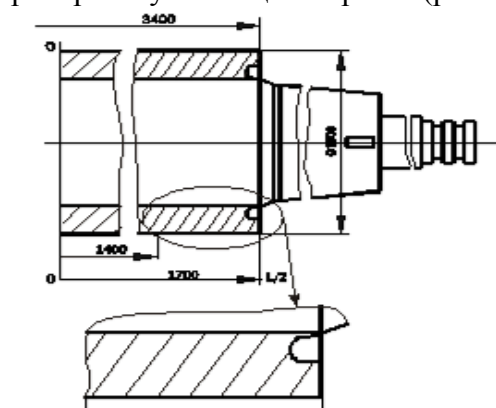
- переважною (до 86 %) по повторному використанню деталлю (із демонтованих охоплюваної й охоплювальної деталей) є охоплювана (вісь валка, центр зубчастого колеса, вал шпинделя);
- забезпечення високої якості заготовок з демонтованих деталей досягається шляхом перекуття заготовок;
- пріоритетним процесом розбирання ВГСВВ є тепловий.

Отримані теоретичні й експериментальні дані дозволили розробити оптимальні схеми реінжинірингу ВГВ, процеси розбирання термічним впливом, які створюють умови повторного використання демонтованих деталей при їхньому реінжинірингу, й наступної реалізації виробів у вальцювальному виробництві; доцільні процеси складання термічним впливом; прогнозований час експлуатації відновлених виробів з високим ступенем імовірності; конструкторсько-технологічні рішення, що забезпечують якість таких виробів.

**У четвертому розділі** викладено оцінку впливу ряду факторів на конструктивно-технологічні параметри відновлюваних демонтованих деталей ВГСВ (у процесі їх оброблення).



У результаті аналізу ФП на демонтованих деталях вальцювальних валків уточнено параметри ряду коефіцієнтів, які дозволяють скоригувати ряд їх міцнісних показників і уточнити зусилля розпресовування цих виробів (рис. 6, табл. 5).



- 1 – бандажа  $k_{F\delta}$ ;  
2 – узагальненого  $k$ ;  
3 – осі валка  $k_{F\sigma}$

Рисунок 6 – Характер зміни величин коефіцієнтів фретинг-зносу залежно від перетину в зоні фретинг-процесів

Таблиця 5 – Характер зміни зони зчеплення охоплюваної та охоплювальної деталей СВВ. Результати теоретичних досліджень

Основні стадії відпрацювання складеного виробу	Найменування встановлених величин		
	Цикл навантаження $N_i$ ( $\times 10^6$ )	Зона зчеплення $a_i$ , мм	Зусилля зчеплення $Q$ ( $\times 10^7$ ), Н
I	1	1760	5,87
II	2	1120	3,73
III	3	920	3,07
IV	4	820	2,73
V	5	720	2,40

Розроблені технологічні схеми реінжинірингу дозволили запропонувати комплекс заходів щодо повторного використання деталей ВГСВ. Виходячи із залежності визначення лінійного зносу

$$h_F = 2k_F N \mu^4 \int_0^{\pi R} p(\xi) \Delta'_z(\xi) d\xi / 3H\pi r, \text{ де } H - \text{твердість}$$

за Бринелем;  $\xi$  – лінійна координата кола посадкової поверхні радіусом  $r(\xi = r\varphi)$ ;  $\Delta'_z(\xi) = [d\Delta_z(\xi)]/d\xi$ , узагальнений коефіцієнт фретинг-зносу дорівнює

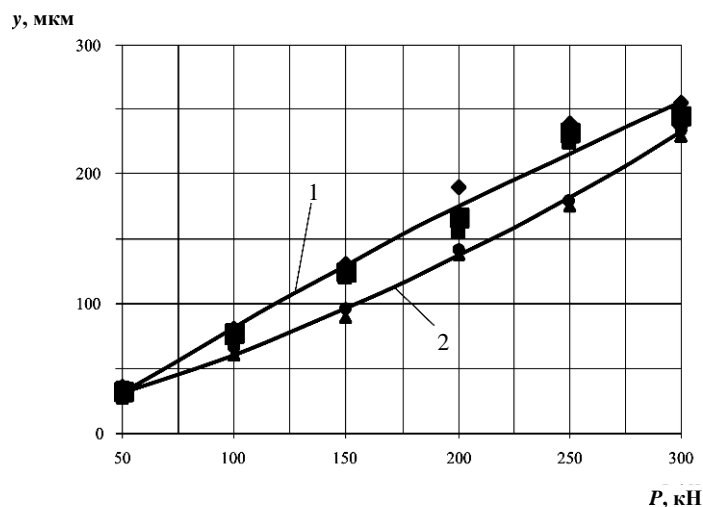
$$k_F = 3h_F H \pi / 2N \mu^4 \int_0^{\pi R} p(\xi) \Delta'_z(\xi) d\xi, \text{ де } h = h_o + h_\delta - \text{сумарний}$$

знос поверхонь осі валка й бандажа.

Із урахуванням встановлених значень інтегралів і використання значень результатів розрахунків зміни тиску  $p(\xi)$  і осьового зрушення  $\Delta(\xi)$  точок бандажа визначено узагальнений коефіцієнт зносу  $k$ , що забезпечує підвищення вірогідності теоретичних розрахунків фретинг-зношування великогабаритних складених вальцювальних валків.

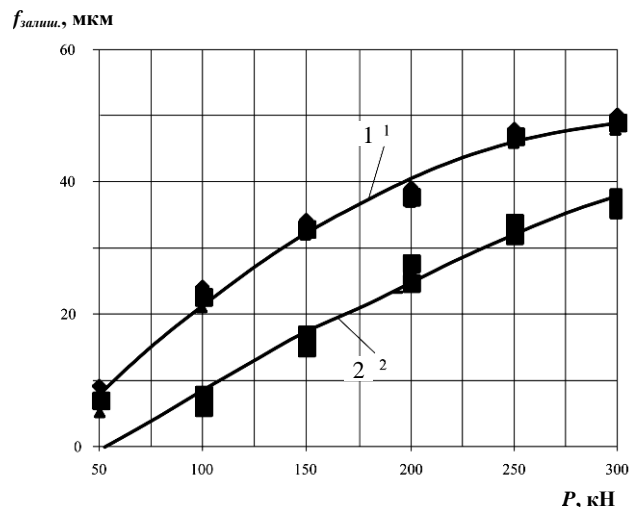
Комплексне вивчення й дослідження процесу експлуатації СВВ підтверджують зниження сили розпресовування  $Q_p$  ООД, пов'язане зі зношуванням посадкових поверхонь цих деталей унаслідок ФП (табл. 5). При повторному використанні зазначених виробів доцільним є прогнозування працездатності за встановленим  $Q_p$ . Визначений прогнозований поріг появи початку процесу розпресовування складеного валка найбільш імовірний після  $(8 \dots 10) \times 10^6$  циклів навантаження.

Якість з'єднання деталей складених виробів багато в чому визначає працездатність ВГСВ. Наприклад, характер зміни прогину й залишковий прогин моделей СВВ наведений на рис. 7, 8 показує доцільність нанесення покриття на посадкову поверхню охоплюваної деталі.



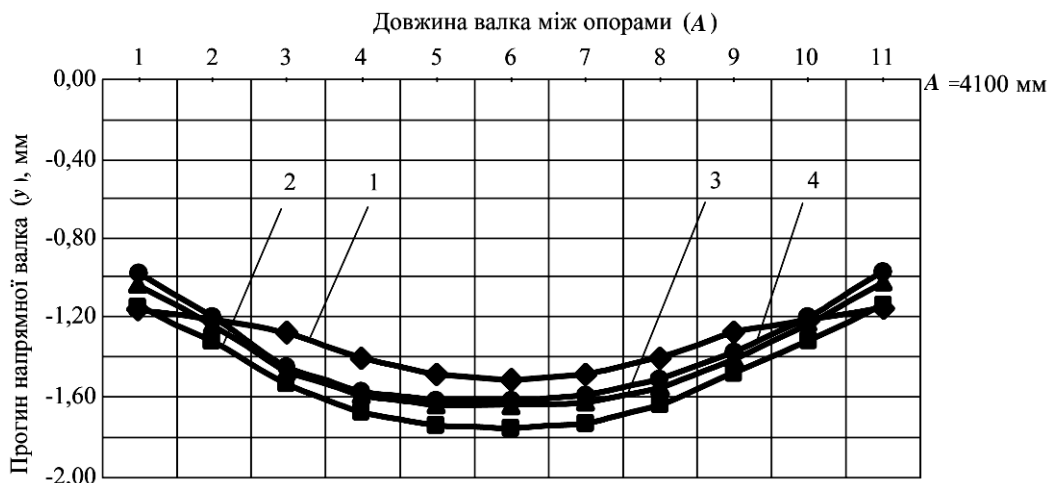
- 1 – у моделі без покриття;  
2 – при нанесенні електрокорунду на посадкову поверхню осі валка

Рисунок 7 – Характер зміни прогину у моделей СВВ щодо опор при їх навантаженні



- 1 – у моделі без покриття;  
2 – при нанесенні електрокорунду на посадкову поверхню осі валка
- Рисунок 8 – Залишковий прогин  $f_{ост}$  моделей СВВ

Порівняння впливу низки геометричних параметрів СВВ на прогин цього виробу й аналогічного моноблочного валка наведено на рис. 9. Перевагу над іншими складеними валками має виріб, виконаний за варіантом 4.



- 1 – на моноблочний валок; 2 – на аналогічний складений валок при  $d = 1200$  мм,  $\Delta = 1,2$  мм; 3 –  $d = 1300$  мм,  $\Delta = 1,2$  мм; 4 –  $d = 1300$  мм,  $\Delta = 1,4$  мм

Рисунок 9 – Розподіл величин прогинів у по геометричній вісі валка між його опорами під час навантаження

Іншим альтернативним удосконаленням зниження впливу ФП у з'єднаннях ВГВ є конструкція виробу – СВВ із проміжною охоплювальною деталлю (гільзою) (патент РФ № 2048937).

На рис. 10 наведено аналіз розподілу розрахункових напружень залежно від форми профілювання посадкових напружень. На рис. 11 показано вдосконалену форму профілювання посадкової поверхні.

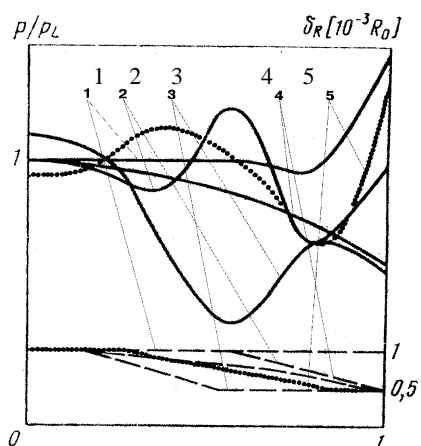


Рисунок 10 – Розподіл контактних напружень при різних формах профілювання осі СВВ

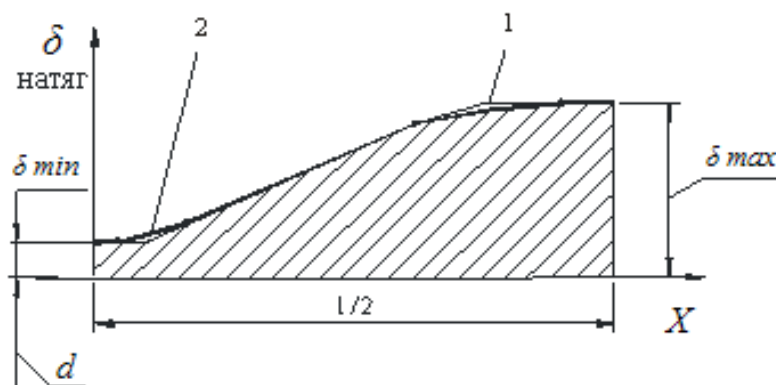


Рисунок 11 – Схеми профілювання посадкової поверхні осі СВВ за традиційною (1) та вдосконаленою (2) формами

За запропонованою формою профілювальної поверхні (2) осі валка (рис. 11) і методикою розрахунків значення величин натягу по поточній координаті  $X$  (що збігається з віссю валка) визначаються дискретні величини цієї координати на розрахунковій (характерній) ділянці й значення кута нахилу для конкретної координати  $X$ :  $\delta(X) = \delta_{\min} + \sum_{i=1}^n \Delta_i(X)$ , де  $X$  – поточна координата довжини характерної ділянки (торець бандажа:  $X = 0$ ; середина –  $L/2$ );  $\delta(X)$  – значення величини натягу по поточній координаті  $X$ ;  $\delta_{\min}$  – мінімальне значення величини натягу;  $n$  – кількість характерних ділянок посадкової поверхні осі валка;  $\Delta_i(X)$  – величина збільшення натягу  $\delta$  на  $i$ -й ділянці посадкової поверхні.

Для знову виготовлюваних деталей ВГСВ, що мають перспективу повторного використання, доцільним є виконання дійсних розмірів за їх верхніми граничними значеннями (рис. 12). Це дозволяє забезпечити в процесі перешліфування більш широке варіювання дійсними розмірами відновлюваного виробу.

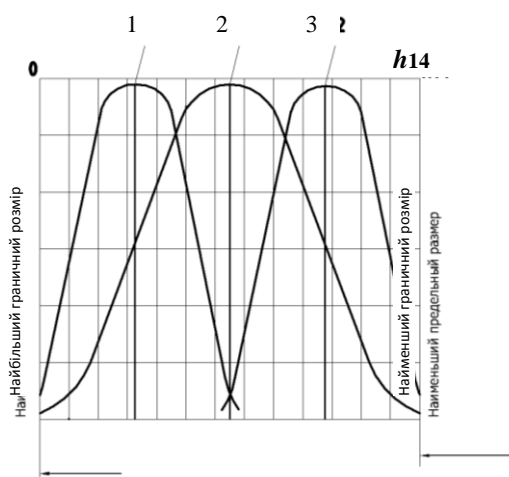


Рисунок 12 – Розподіл величин розмірів осі валка СВВ: номінальні величини, згідно із зазначеним полем допуску (1); фактичні (2) й рекомендовані (3) для виробу, що вперше виготовляється, при перспективі його повторного використання

На підставі проведених досліджень працездатності таких виробів уточнено й скориговано методику оцінювання їх надійності й довговічності. Імовірність  $P$  безвідмовної роботи відновленого валка масою 116 т згідно з виконаними розрахунками за критеріями міцності зчеплення охоплюваної та охоплювальної деталей ( $P_c$ ), фретинг-зношування ( $P_h$ ), фретинг-утоми ( $P_F$ ), крихкої міцності ( $P_{KI}$ ), матеріалів охоплюваної та охоплювальної деталей ( $P_{nf}$ ) відповідає залежності

$$P = P_c \times P_h \times P_F \times P_{KI} \times P_{nf} = 1,000 \times 0,999 \times 1,000 \times 0,960 \times 0,980 = 0,940 \quad (5).$$

У зв'язку з відсутністю низки необхідних характеристик матеріалів осі валка й бандажа, зокрема  $K_{IC}$ ,  $\sigma_{OH}$ ,  $l_d$ ,  $\bar{Q}$ ,  $\nu_Q$ ,  $\nu_P$  – для охоплювальної деталі та, відповідно,  $\sigma_{-1}$ ,  $K_{th}$ ,  $\sigma_{OH}$ , – для охоплюваної, а також  $C_o, m$  параметрів рівняння Періса, наведений коефіцієнт  $P_{nf}$ . Тут  $K_{IC}$  – критичне число коефіцієнта інтенсивності напруг матеріалу бандажа;  $\sigma_{OH}$  – залишкові напруги;  $l_d$  – величина дефекту в бандажі;  $\bar{Q}$  – зовнішня осьова сила;  $\nu_Q$  – коефіцієнт варіації осьової зсувної сили;  $\nu_P$  – коефіцієнт варіації зусилля вальцювання;  $\sigma_{-1}$  – напруга межі утоми;  $K_{th}$  – граничне значення коефіцієнта інтенсивності напруг матеріала вісі.

Розрахункова величина (5) ймовірності безвідмовної роботи такого виробу додатково підтверджує доцільність його повторного використання.

Одним із основних показників працездатності ВГВ є рівень напружень у охоплювальній деталі (рис. 13, 14), встановлений МСЕ.

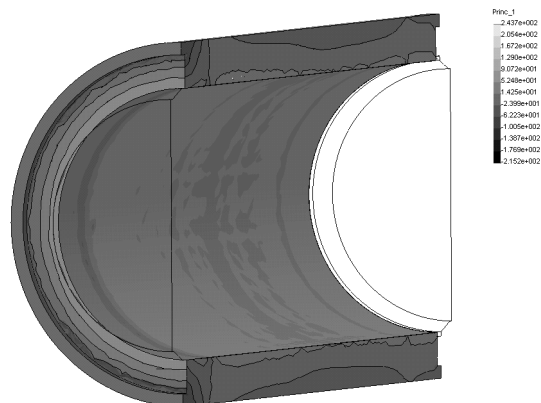


Рисунок 13 – Розподіл напружень по товщині бандажа валка, що відпрацював ресурс (вісь валка показано умовно)

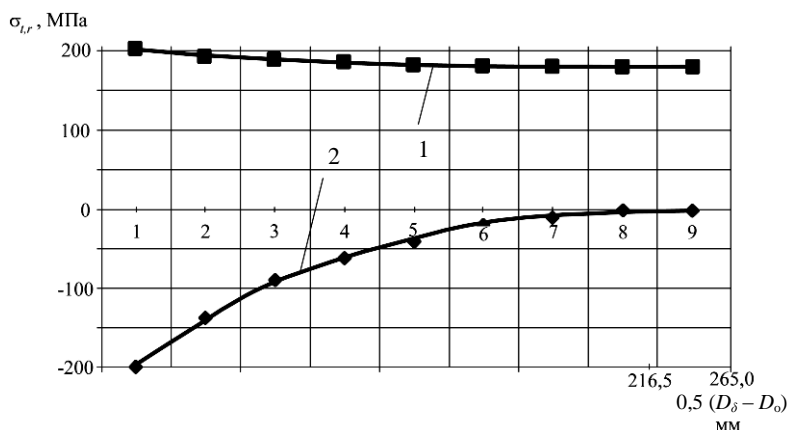
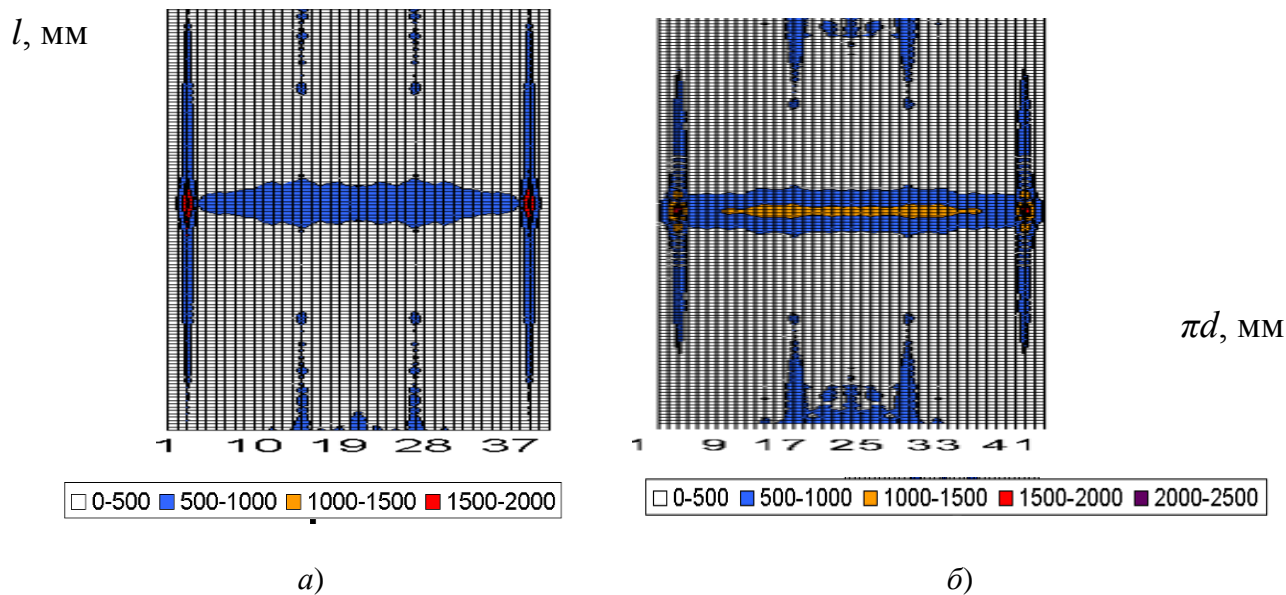


Рисунок 14 – Розподіл тангенціальних  $\sigma_t$  (1) і радіальних  $\sigma_r$  (2) напружень по товщині бандажа валка, що відпрацював ресурс

При комплексному теоретичному дослідженні працездатності СВВ стана 3000 виконано аналіз міцності валків (рис. 15, 16) за трьома варіантами різної зміни лінійного натягу: 1(3) – максимальний натяг на горизонтальній ділянці в центрі бочки осі валка, що дорівнює  $\delta_{max} = 1,75(1,53)$  мм, мінімальний – на горизонтальній ділянці краю посадкової поверхні  $\delta_{min} = 0,8(1,1)$  мм; 2 – відрізняється зміною форми

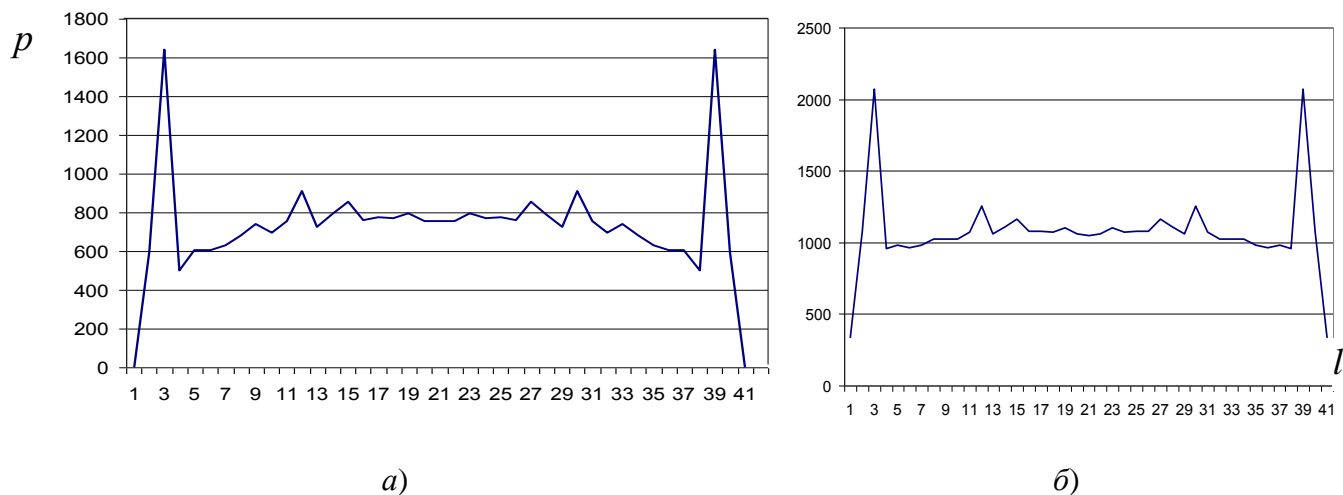
ділянок зчленування паралельних і похилих твірних при аналогії з варіантом 1. Мінімальні колові напруження на торці бандажа  $\sigma_t$  гарантуються зміною величини натягу біля краю в бік їх зменшення (варіанти 1, 2).



а – при зусиллі  $P_1 = 2000$  тс максимальний тиск  $\Delta P = 160$  МПа;

б – при  $P_2 = 4000$  тс –  $\Delta P = 207$  МПа

Рисунок 15 – Розподіл контактного тиску  $\Delta P$  по посадковій поверхні осі валка (розгортка  $360^\circ$ )  $l$ , мм



а –  $P_1 = 2000$  тс; б –  $P_2 = 4000$  тс

Рисунок 16 – Розподіл тиску по довжині осі валка по лінії дії навантаження (рис. 15, лінія I–I)

Оскільки розрахункові пікові контактні тиски знаходяться в центральній частині посадкової поверхні (варіант 1), то, враховуючи міцність бандажа, більш доцільним є виконання профілю за варіантом 2. Враховуючи статистичні дані параметрів зон ФП виконано коригування розрахунків осі валка на фретинг-утому. Це дозволило встановити, що рівнозначна межа фретинг-утому осі валка забезпечується за варіантами 2 і 3. Визначено, що значення згинальних напружень є найменшими за варіантом 3, незважаючи на найбільші тиски в зоні проковзування охоплювальної

деталі до охоплюваної. Граничне збільшення кількості циклів навантаження наведено на рис. 17.

Результати досліджень показників міцності складених валків наведені в табл. 4.

$\times 10^6 \Delta n$

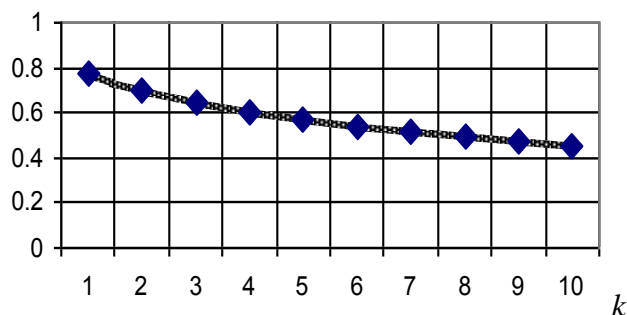


Рисунок 17 – Граничне збільшення кількості циклів навантаження  $\Delta n$  відновлених СВВ від кількості відпрацьованих кампаній ( $k$ ), що передують черговій

Таблиця 4 – Відносна оцінка показників міцності СВВ при зміні форми посадкової поверхні охоплюваної деталі за результатами теоретичних розрахунків

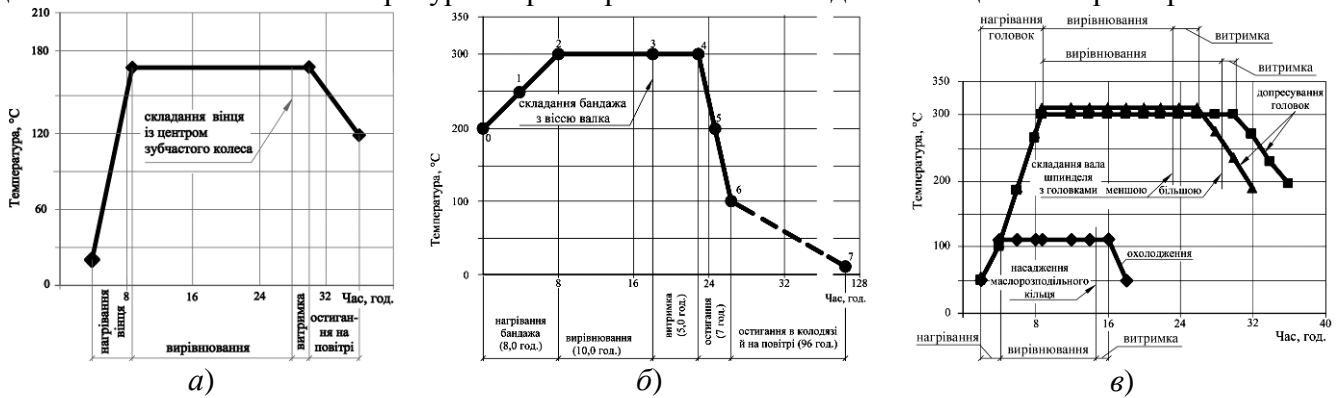
Варіант виконання форми профілю посадкової поверхні	Особливості форми посадкової поверхні охоплюваної деталі	Міцність бандажа	Згинальна жорсткість	Межа фретинг-		Прогнозована межа початку зсуву охоплювальної деталі за циклами навантаження
				зносу	утоми	
1	$\Delta_{max(min)} = 1,75(0,80)$ мм		< 1,00 (0,88)	-	> 1,00	$N > (8...10) \times 10^6$
2	Скориговані області переходів від паралельних до похилих твірних за 1-м варіантом виконання	+	< 1,00 (0,96)	1,00	> 1,00	
3	$\Delta_{max(min)} = 1,53(1,10)$ мм		1,00	1,22	1,00	

У п'ятому розділі викладено ряд розрахунково-модельних і експериментально-промислових досліджень процесів складання термодією деталей ВГСВ традиційним тепловим способом і альтернативним способом складання – холодом (теоретично), а також процесів їх демонтажу термодією та механічними способами. Це дозволило уточнити температурні поля й часові режими, що забезпечують виконання процесів складання.

Результати теоретичних досліджень на основі чисельного розрахунку дозволили оптимізувати параметри процесу складання, у тому числі, наприклад, знизити до 12...16 % загальний час циклу монтажу за першим варіантом і прогнозувати реалізацію процесу з мінімальними витратами енергоносіїв у відсотках із довірчою ймовірністю 85 % – за другим. Уточнено з доведенням до практичних результатів технологію термоструктурного складання (ТСС) ВГСВВ. Досліджено ряд схем процесів складання ВГВ термодією, які є відповідальними операціями (рис. 18) зубчастих коліс (а), вальцювальних валків (б) і універсальних шпинделів (б).

На базовій моделі досліджуваного СВВ змодельовано й вивчено процеси складання (рис. 18, б) та оцінено технологічні параметри нагрівання й параметри їх деформацій і напружень у охоплювальній деталі (табл. 5).

Виконано теоретичні дослідження вибору технологічних параметрів альтернативного способу складання СВВ із використанням холоду (рис. 19, 20). Чисельне моделювання цього процесу дозволило встановити температурні параметри охоплюваної деталі й оцінити характер їх зміни.



а – зубчастих коліс; б – вальцювальних валків; в – універсальних шпинделів  
Рисунок 18 – Температурні параметри складання відновлюваних ВГСВ термодією

Таблиця 5 – Зіставлення результатів розрахунків напружень у тілі бандажа

Показники	Результати розрахунків				Співвідношення значень Ляме/AS
	за Ляме	AS			
		min	max	середнє	
1. Контактний тиск, МПа	53,55	47,80	90,00	68,90	0,78
2. Еквівалентне напруження за 3-ю теорією міцності, МПа	210,00	182,00	220,00	201,00	1,04
3. Радіальне напруження на внутрішній поверхні бандажа, МПа	-53,55	-47,80	-90,00	-68,90	0,78
4. Колове напруження на внутрішній поверхні бандажа, МПа	156,45	152,00	148,00	150,00	1,04
5. Радіальне збільшення внутрішнього діаметра бандажа, мм	0,81	0,82	-	-	0,99

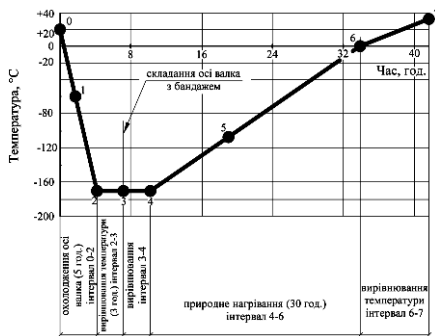


Рисунок 19 – Технологічна схема процесу складання СВВ із використанням холоду

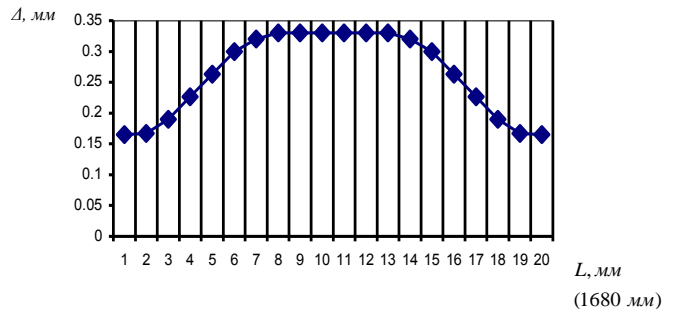


Рисунок 20 – Базова форма профільованої посадкової поверхні осі валка під складання

Перспективний напрям ТСС ВГСВВ (рис. 21) поглиблено розробленням й уточненням режимів складання й ряду конструктивних параметрів виробу, у тому числі пов'язаних з формою посадкової поверхні (рис. 22, а, б). Для попереднього складання ООД установлюється монтажний зазор із умови  $S \leq f_{yc} - \Delta$ , де  $S$  – монтажний зазор між посадковими діаметрами осі й бандажа, мм;  $f_{yc}$  – величина усадки бандажа в його середині при безперервно-індукційному електрозагартуванні, мм;  $\Delta$  – величина натягу, мм. Визначення усадки бандажа по середині його довжини при складанні базувалося на залежності  $f_{yc} = (5,15 \lg l/D - 11 \lg h/t + 6,9) \times 10^{-3} d$ , мм, де  $d, D, l, t$  – внутрішній і зовнішній діаметри, довжина й товщина охоплюваної деталі,

відповідно;  $h = (600k) / \sqrt{\tau}$ ; – глибина електропрогрівання стінки бандажа, мм;  
 $k = 1,0 \dots 2,0$  – коефіцієнт, що характеризує глибину прогріву такої стінки, мм.

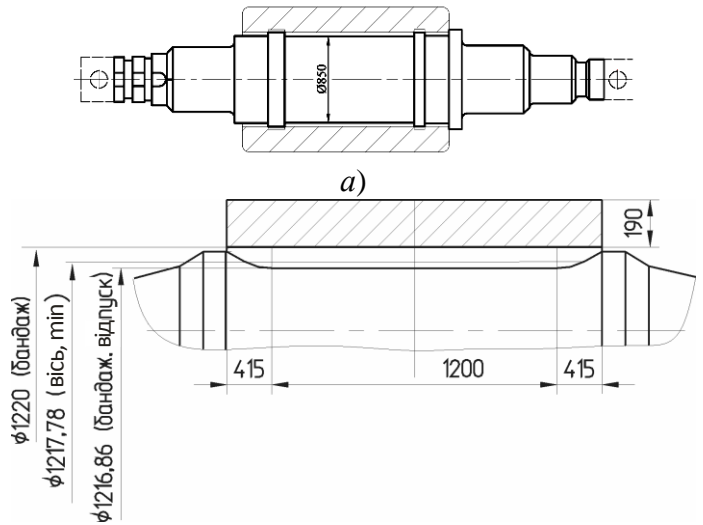
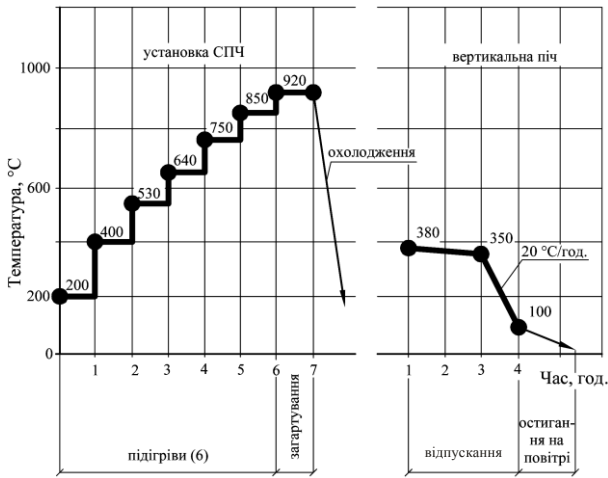
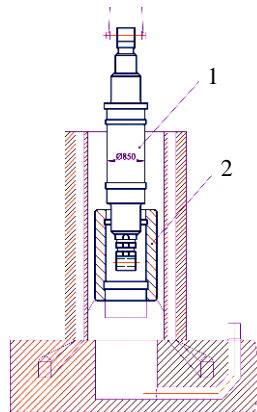


Рисунок 21 – Технологічні параметри ТСС вальцювального валка (конструктивне вик. 2, рис. 22, б) масою 43 т

а – Ø 1240/850-1680 (вик. 1);  
 б – Ø 1600/1220-2030 (констр. вик. 2)  
 Рисунок 22 – Схеми посадкових поверхонь вальцювального валка під ТСС

Різниця між величинами геометричних параметрів зовнішнього діаметра бандажа при загаруванні валка (вик. 1, рис. 22, а) на установці струмом промислової частоти (СПЧ) 1500 і пічному відпусканні при 380...400 °С дорівнює 0,08 мм.

Результати реалізації операції складання виробу (рис. 23) оцінювалися експериментально за показниками твердості зовнішньої поверхні бандажа (табл. 6) і деформації (усадки) (рис. 24).



а)

б)

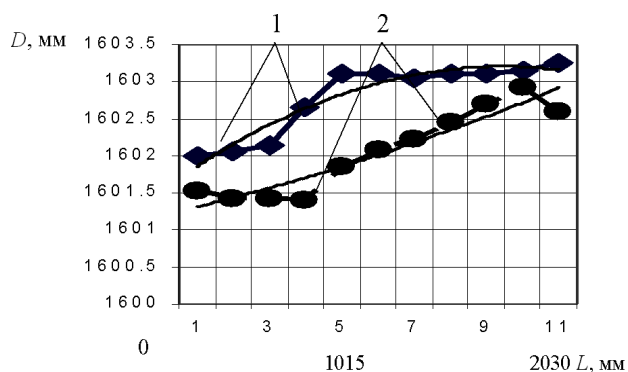
Рисунок 23 – Схема проміжного (попереднього) складання (а) вісі (1) та бандажа (2) і реалізація процесу ТСС відновлюваного СВВ на установці індукційного нагрівання (б)

Таблиця 6 – Виміри поверхневої твердості бандажа після відпускання в печі

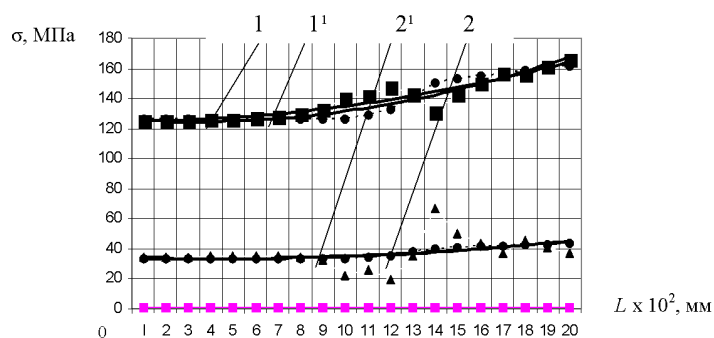
Номер твірної	Твердість, HSD						
	1	68	69	70	69	68	70
2	68	68	68	68	68	69	70
3	70	71	70	69	71	70	69



Оцінку розподілу напружень у охоплювальній деталі після складання показано на рис. 25.



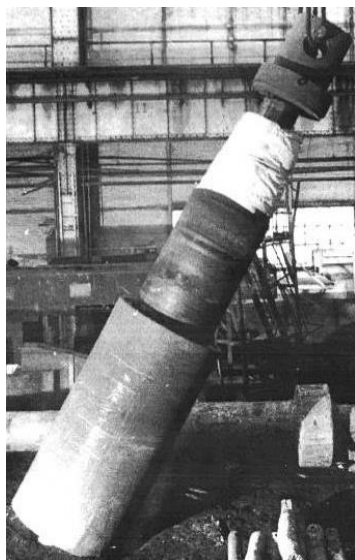
1 – початкове значення зовнішнього діаметра бандажа; 2 – фактична величина діаметра після процесу  
Рисунок 24 – Характер зміни величини зовнішнього розміру бандажа до/після ТСС



1(2) – тангенціальні (контактні) тиски, установлені за методом граничних інтегральних розв'язків;  
1<sup>1</sup>(2<sup>1</sup>) – при розв'язанні за Ляме  
Рисунок 25 – Розподіл напружень у тілі бандажа СВВ після ТСС

Процеси розбирання складених виробів досліджувалися на серії СВВ двома основними способами. Розбирання тепловим способом (рис. 26, а) виконувалося за температурним циклом, наведеним на рис. 27.

Наведений процес розбирання механічним способом (рис. 26, б) базувався на комплексній програмі як із вивчення процесу режимів різання, так і з встановленням розподілу напружень у тілі охоплювальної деталі на стадії її руйнування методом скінченних елементів на базі програмного забезпечення COSMOS WORK (рис. 28).



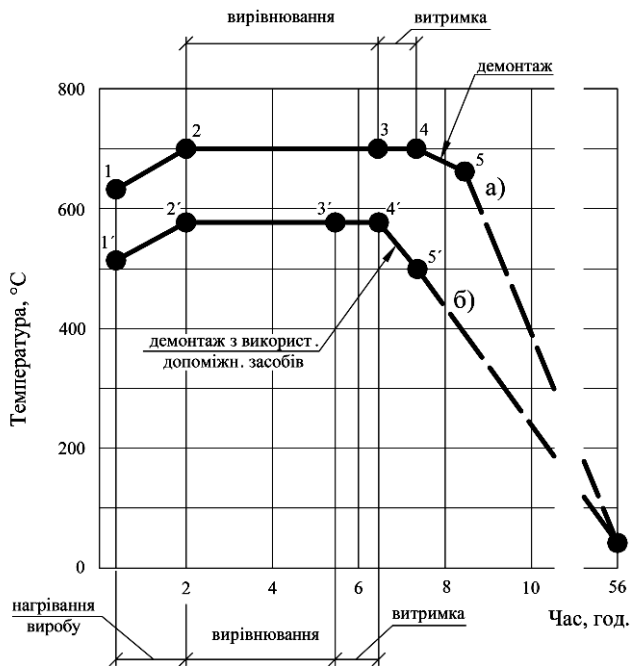
а)



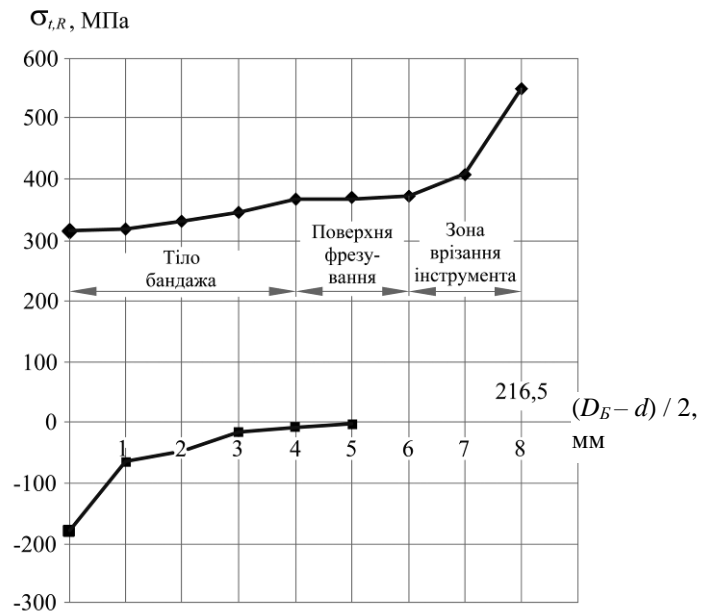
б)

а – термодією; б – механічним способом  
Рисунок 26 – Процеси розбирання СВВ

Виконані розробки й дослідження основних операцій процесів складання й розбирання вальцювальних валків дозволяють забезпечити підвищення якості відновлених виробів.



а – при цілісності охоплювальної деталі;  
б – при наявності тріщини в ній  
Рисунок 27 – Технологічні параметри прогрівання бандажа СВВ при його демонтажі з осі валка

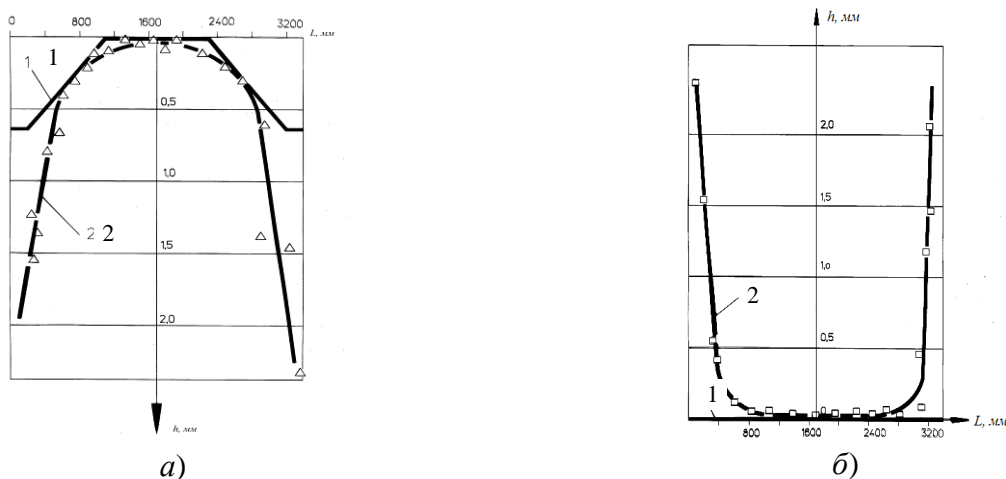


1 – тангенціальних  $\sigma_t$ ; 2 – радіальних  $\sigma_R$   
Рисунок 28 – Розподіл напружень по товщині бандажа після завершення процесу фрезування поверхні

У шостому розділі подано експериментальні дослідження, які виконано в лабораторних і промислових умовах науково-дослідних закладів (УПА, ДГМА) і на низці підприємств (НКМЗ, МК ім. Ілліча).

В основу покладено методику, яка базувалася на включенні всіх основних стадій експерименту: від вибору матеріалу зразків, вимірювальних приладів, натурних деталей і їх з'єднань до розроблення й створення технології відновлення, що супроводжує встаткування, пристосування й оснащення. При дослідженнях залишкових напружень у охоплювальних деталях використовувався прилад вимірювача залишкових напружень ИОН-4М, яким також виконувалися вимірювання напружень у бандажах при ТСС СВВ. Експерименти зі складання й розбирання проводилися на моделях вальцювальних валків, але в більшості випадків на натурних виробках СВВ масою 30...116 т.

Магнітопружним методом встановлено розподіл напружень у тілі бандажа за чотирима напрямними поверхні бандажа в процесі перешліфування діаметра з 2012,4 до 2007,7 мм при вимірюванні ИОН-4М в умовах виробництва. При демонтажі виробу механічним способом задіяний розточувальний верстат фірми Škoda W-250. Лінійні розміри величин деформації ООД при їх складанні й розбиранні, а також зон ФП вимірювалися метричними інструментами: мікрометром МРИ 1400-0,01 (ГОСТ 4381-87) і нутроміром НМ 1250 (2500)-0,01 (ГОСТ 10-88) (рис. 29).



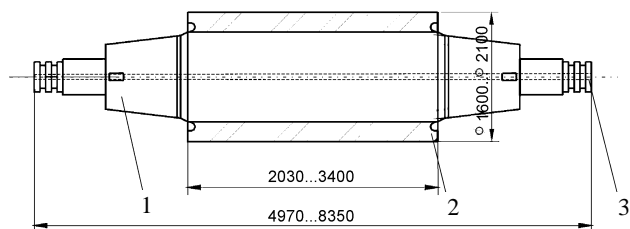
а – осі: 1 – для знову виготовленої; 2 – після відпрацювання нею ресурсу ;  
 б – бандажа: 1 – для знову виготовленого; 2 – після відпрацювання ним ресурсу

Рисунок 29 – Профілограми посадкових поверхонь СВВ масою 89 т

Експериментальні дослідження дозволили довести процес реінжинірингу ВГСВВ до промислової реалізації у важкому машинобудуванні, а відновлені вироби повторно використовувати у вальцювальному виробництві.

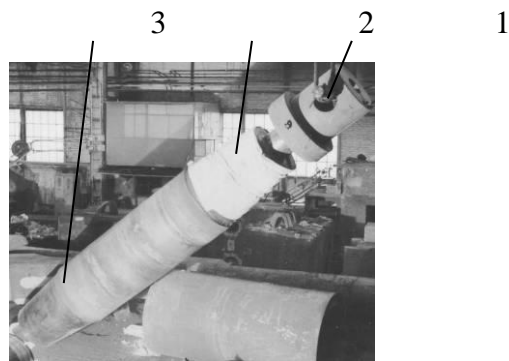
**У цьому розділі** подано результати промислового використання технологій відновлення ВГСВВ (рис. 30) і експлуатації відновлених виробів.

Базове оснащення, використовуване при демонтажі ВГСВВ, показано на рис. 31. На рис. 32 наведено процеси перекуття бандажа (а) і осі валка (б).



1 – вісь валка; 2 – бандаж;  
 3 – пробка – центр

Рисунок 30 – Базова конструкція ВГСВВ

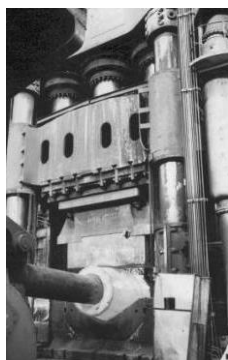


1 – вантажопідіймний пристрій;  
 2 – теплоізолювальна тканина;  
 3 – вісь із вантажними ланцюгами

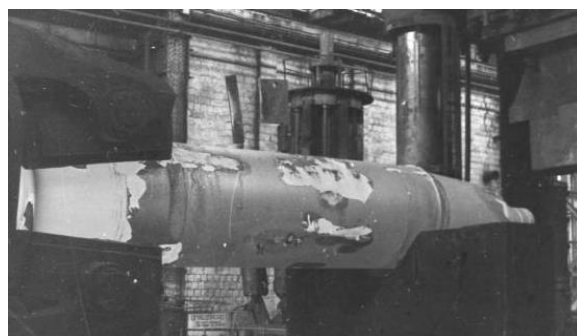
Рисунок 31 – Технологічне оснащення при розбиранні валка тепловим способом

Цикл відновлення моноблочного валка в складеному виконанні базувався на таких основних положеннях (рис. 33): 1) деталь - заготівка осі СВВ, виготовлена з моноблочного валка, що відпрацював ресурс; 2) заготовка-деталь бандажа, виготовленою шляхом перекуття демонтованого бандажа більшого типорозміру; 3) попереднє складання ООД; 4) монтаж оснащення для забезпечення положення бандажа на осі валка перед ТСС; 5) процес монтажу підйомного хомута на виробі; 6) підготовлений до ТСС вальцювальний валок; 7) транспортування виробу на установку

СПЧ; 8) загартування бандажа цього виробу зі спреєрним охолодженням; 9) остаточне механічне оброблення валка; 10) відновлений вальцювальний валок у складеному виконанні за варіантом «повторно використовувана охоплювана деталь – повторно використовувана охоплювальна деталь».



а)



б)

а – охоплювальної деталі (бандажа); б – охоплюваної деталі (вісі валка)

Рисунок 32 – Процеси перекуття на заготовки для аналогічного вальцювального валка меншого типорозміру

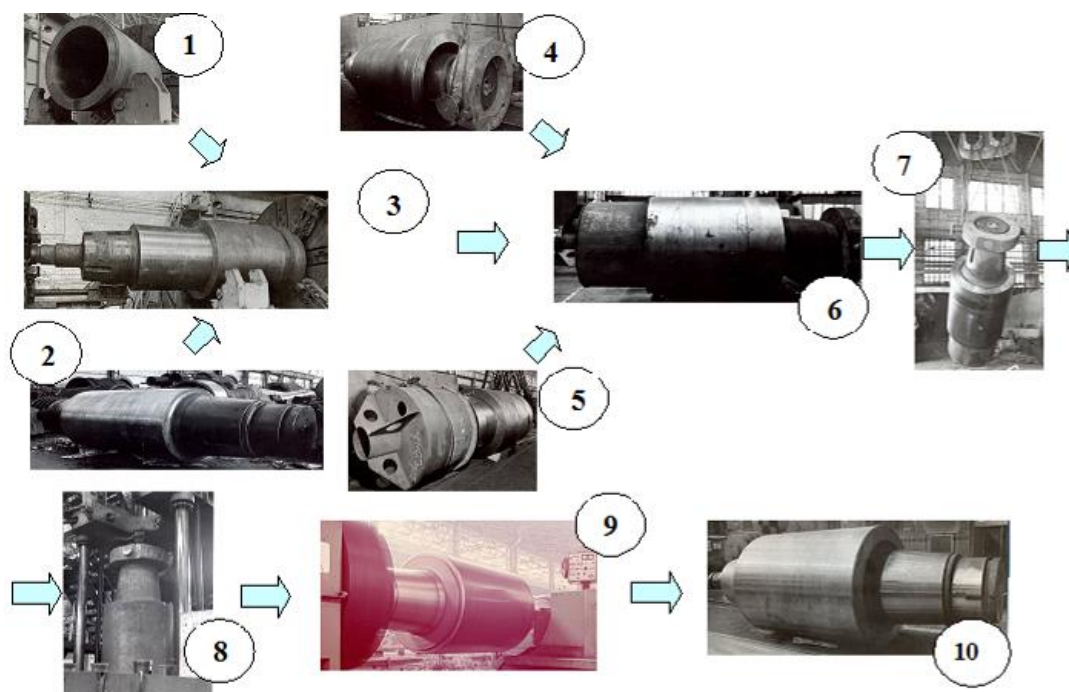


Рисунок 33 – Схема основних операцій реінжинірингу моноблочного вальцювального валка в складеному виконанні

Реалізація технології відновлення при повторному використанні ООД зазначених виробів забезпечує збереження їх функціональних властивостей при зниженні матеріало- і енерговитрат до 30 % і продовження їх «життєвого» циклу експлуатації.

У додатках наведено витримки технологічних процесів реінжинірингу ВГСВ та низка актів впровадження результатів роботи.

## ВИСНОВКИ

У дисертації вирішено науково-практичну проблему реінжинірингу складених ВГВ на основі ГТП розбирання-складання, що дозволяє продовжити «життєвий» цикл із істотною економією на технологічних переділах. Проведені теоретичні й експериментальні дослідження дозволяють зробити такі висновки:

1. З дослідженої номенклатури продукції важкого машинобудування при її класифікації встановлено три класи, виділено один клас ВГВ – перший. Це вироби, що відносяться за формою до тіл обертання. Деталі цього класу додатково класифіковано за співвідношенням  $L/D$  на три підкласи: перший –  $L/D < 1,0$ ; другий –  $1,0 < L/D < 5,0$  і третій –  $L/D > 5,0$  і вище й розглянуто в якості базових деталей, що підлягають реінжинірингу, зокрема зубчасті колеса, вальцювальні валки й універсальні шпинделі. Розраховано математичну модель «життєвого» циклу для встановленого класу ВГВ, що дозволяє розглянути, дослідити й розробити ГТП відновлення виробів, що відпрацювали ресурс по робочій поверхні. Встановлено закономірності ГТП розбирання-складання ВГСВВ, які підлягають реінжинірингу.

2. На прикладі прийнятого в якості базового досліджуваного виробу ВГВВ, що належить згідно з нормативними документами до категорії «інструмент», виконано повний обсяг теоретичних, експериментальних і промислових досліджень ГТП реінжинірингу й додатково встановлено ряд особливостей фретинг-процесів ВГСВ. За результатами оцінювання показників ресурсозаощадження ряду типорозмірів виробів встановлено мінімальний поріг маси ВГВ – 20 т, визначено ресурс наробітку відновлених виробів 70...98 % від номінального (при довірчій ймовірності 0,8), при цьому в процесі відновлення ВГВВ досягається зниження таких показників: матеріалоємності на заготовках – до 1,8 разу; трудомісткості виготовлення виробів – до 1,3...1,6 разу; собівартості – до 30...35 %; енерговитрат – не менше ніж 25 % щодо виготовлення аналогічного нового виробу.

За розробленими методиками оцінено фізичні причини відмов з урахуванням зносу й порушення посадкових розмірів поверхонь ВГСВ, що сполучаються (довірча ймовірність  $> 0,8$ ); дефекти, не сумісні з роботою деталей виробу, і їх кількісні показники, викликані порушенням цілісності з'єднання ООД.

3. З урахуванням установлених технологічних параметрів дослідженого процесу розбирання на моделях валка й серії натуральних виробів (більше за 20 шт.) відпрацьовано й доведено до типової технологічної операції у важкому машинобудуванні процес розбирання ВГСВВ (20...120 т). Це дозволило використовувати демонтовані ООД у якості деталей-заготовок при їх повторному використанні в ГТП реінжиніринга.

4. Змодельовано протікання процесів складання й з'єднання термодією ООД ВГСВ й оцінено їхні технологічні параметри для двох способів: першого – шляхом температурного нагрівання охоплювальної деталі (бандажа валка), другого – температурним охолодженням охоплюваної деталі (осі валка). Результати теоретичних вишукувань зіставлені з фактичними даними традиційного теплового складання зазначених деталей. Це дозволяє за рахунок зниження до 16 % загального часу оптимізувати цикл процесу складання. Розрахункове моделювання процесу складання при охолодженні охоплюваної деталі дозволяє (з довірчою ймовірністю 95 %) про

гнозувати реалізацію зазначеного процесу зі зниженням до 2,8 разу витрат на енергоносії щодо традиційної.

Стосовно ВГСВВ досліджено й реалізовано технологію ТСС, що включає проміжну операцію складання ООД з гарантованим зазором і наступне проведення безперервно-послідовного індукційного загартування, яке забезпечує усадку охоплювальної деталі. У результаті досягається гарантований натяг і нормативна твердість робочої поверхні виробу. Визначено значення монтажного зазору й натягу за встановленими величинами усадки діаметрів бандажів залежно від технологічних параметрів термічного оброблення. Спрощено вибір параметрів, закладених у аналітичних формулах встановлення величини усадки бандажів.

5. У результаті розбирання серії ВГСВВ на ООД досліджено ФП, які сприяють збільшенню областей (зон) проковзування до 20 % від загальної довжини посадкової поверхні та є однією з причин руйнування виробів. Це спричиняє зниження твердості до 7 %, появи залишкового прогину, що досягає 0,7 мм на загальну довжину валка, і до зниження зусилля розпресовування до 30 %, а також до зростання граничних розтягувальних напружень у бандажі до 470...490 МПа. Зсув охоплювальної деталі щодо охоплюваної обумовлений зниженням сил тертя під дією циклічного навантаження внаслідок збільшення фізичного зносу до  $(1,95...3,2) \times 10^{-3}$  мм на 1 мм діаметра посадкової поверхні, що обумовлене проявом ФП по площі, яка досягає 8 % від сумарної площі сполучуваних поверхонь. Рівень залишкових напружень, що визначає в більшості випадків руйнування охоплювальної деталі, пов'язаний зі значними окружними розтягувальними напруженнями, що перевищують 450 МПа. Причини такої ситуації – похибки технологічних параметрів термічного оброблення деталей, процесу їх складання й характеру експлуатації цих виробів із урахуванням циклічних вигинів при знижених показниках крихкої міцності.

6. Визначено основні форми реінжинірингу представників виробів розглянутих підкласів: відновлення рівновеликого виробу, адекватного первісній конструкції; повторне використання виробу, що відпрацював ресурс у якості деталі-заготовки, для відновлення його в меншому конструктивному виконанні. Розроблено й реалізовано ТП реінжинірингу виробів, які дозволяють виконати відбір виробу за його вхідними параметрами для вторинного використання з наступним постійним контролем і регулюванням рівня напружень у відновлюваних деталях за рахунок коригування ряду геометричних і технічних параметрів у процесі їх реінжинірингу й дотримання зворотного зв'язку в загальному технологічному циклі.

7. В результаті оброблення статистичних даних за накопиченими наробками ВГВ й систематизації рівнів напружень у охоплюваних деталях ВГСВВ у процесі їх виготовлення й експлуатації, а також при реінжинірингу цих виробів уточнено й розроблено теоретичні основи розрахунків. При цьому враховано напружено-деформовані стани ООД, що з'єднуються термодією, їх вигин у процесі експлуатації при врахуванні дотичної піддатливості стику з'єднання, змінності величини натягу по довжині посадкової поверхні; значення величин фретинг-зносу і, як наслідок, зменшених величин натягу в зоні контакту деталей, осьової сили розпресовування з'єднання при дії циклічного згинального навантаження; показників фретинг-утоми осей валків із урахуванням характеру їх навантаження.

Пропонується уточнена методика розрахунку міцності відновлених валків (імовірна вірогідність 0,7), заснована на комплексному вирішенні контактних

завдань теорії пружності, механіки крихкого руйнування й використанні критеріїв утомного руйнування з урахуванням масштабного фактора, залишкових напружень, результатів вимірювань твердості й сили тертя в зоні контакту сполучуваних поверхонь. При розрахунках осі валка на міцність доцільно використовувати границі фретинг-утоми  $\sigma_{-1F}$  замість границі витривалості  $\sigma_{-1}$ .

8. Результати експериментально-промислових досліджень працездатності натурних виробів у складеному виконанні на прикладах ВГСВВ дозволили скоригувати програму розрахунків імовірності безвідмовної роботи з урахуванням ФП й установити її рівень, що відповідає 0,94.

9. На прикладі відновлених ВГСВВ розроблено й реалізовано комплексну програму повторного використання деталей складених виробів, що відпрацювали ресурс по робочій поверхні, з урахуванням циклів навантаження в процесі їх експлуатації (патент РФ № 2048937). 10. Основні положення дослідно-промислових розробок, конструктивних рішень і ГТП реінжинірингу ВГВ закладено в основу при створенні ресурсоощадного напрямку у важкому машинобудуванні й доведено до реалізації, зокрема, на НКМЗ. При цьому ряд із них захищено авторськими свідоцтвами, патентами РФ і України (наприклад, а. с. № 119748, а. с. № 1696023, а. с. № 1388441, патент РФ № 2020007, патент РФ № 2048937). Відновлені СВВ реалізовано в клітках вальцювальних станів на низці підприємств чорної металургії України та Росії: металургійних комбінатах (МК) «Азов-сталь», ім. Ілліча (м. Маріуполь), «Северсталь» (м. Череповець), «Запоріжсталь» (м. Запоріжжя), Новолипецькому металургійному комбінаті (м. Липецьк). Економічний ефект від впровадження склав 7 684 тис. грн.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Лебедь В.Т. Деформация пустотелых бандажей при непрерывно-последовательной индукционной электротермообработке / Ю. А. Башнин, В. А. Николаев, М. В. Геден, Л. И. Киселева, И. А. Бобух, В. Т. Лебедь // Прогрессивные технологические процессы в заготовительном и механосборочном производстве. – Краматорск : НПО «НИИПТмаш», 1986. – С. 53–59.

*Здобувачем оцінено дослідження, здійснені щодо уточнення впливу структурних і термічних напружень, які діють у процесі безперервно-послідовного індукційного електрозагартування на ефект усадки моделей втулок із різних марок сталей і узагальнено результати геометричних величин усадок внутрішнього та зовнішнього їх діаметрів.*

2. Лебедь В.Т. Особенности технологии изготовления крупных образцов для контактно-усталостных испытаний материала валков крупных листовых станов / И. А. Бобух, В. З. Камалов, В. Т. Лебедь // Напряжения, деформации и прочность металлургических машин. – М. : ВНИИмет-маш, 1988. – С. 176–179.

*Здобувачем оцінено й здійснено реалізацію технологічних операцій із виготовлення комплектів кілець-зразків і їх дослідження на випробувальному стенді.*

3. Лебедь В.Т. Особенности изготовления валка с бандажом из пустотелого слитка ЭШП / Л. И. Киселева, М. В. Геден, И. А. Бобух, В. Т. Лебедь // Тяжелое машиностроение.- М., 1990. – № 7. – С. 20–22.

*Здобувачем здійснено реалізацію низці технологічних операцій при виготовленні складеного виробу.*

4. Лебедь В. Т. Снижение материалоемкости при изготовлении крупных составных прокатных валков / В. Т. Лебедь, И. А. Бобух // Тяжелое машиностроение. – М., 1992. – № 3. – С. 25–27.

*Здобувачем здійснено реалізацію технологічних операцій по виготовленню відновлених складених вальцювальних валків.*

5. Лебедь В.Т. Исследование фреттинг-износа крупных деталей, соединенных натягом / В. Т. Фирсов, В. Т. Лебедь, И. А. Бобух, Г. М. Гречужкин // Вестник машиностроения.- М., 1991. – № 3. – С. 14–16.

*Здобувачем виконано пропозицію та реалізацію технології демонтажу великогабаритних складених вальцювальних валків і здійснено дослідження стану зон фреттинг-процесів на охоплюваних і охоплювальних деталях низки виробів, вивчено основні особливості фреттинг-процесів у аналізованому діапазоні типорозмірів виробів.*

6. Лебедь В. Т. Исследование фреттинг-износа составных крупногабаритных деталей / В. Т. Лебедь // Прогрессивные технологии и системы машиностроения : в 3 т. – Донецк : ДонГТУ, 1998. – Вып. 6, т. 2. – С. 158–161.

7. Лебедь В. Т. Повышение работоспособности составных крупногабаритных прокатных валков / В. Т. Лебедь // Прогрессивные технологии и системы машиностроения . – Донецк : ДонГТУ, 1999. – Вып. 8. – С. 147–150.

8. Лебедь В. Т. Совершенствование технологических и конструктивных параметров составных деталей / В. Т. Лебедь // Прогрессивные технологии и системы машиностроения . – Донецк : ДонГТУ, 2000. – Вып. 12. – С. 191–195.

9. Лебедь В. Т. К вопросу контроля и оценки напряженного состояния составных изделий / В. Т. Лебедь // Прогрессивные технологии и системы машиностроения : междунар. сб. науч. трудов. – Донецк : ДонГТУ, 2001. – Вып. 15. – С. 156–162.

10. Лебедь В. Т. Оценка напряженного состояния составных изделий / В. Т. Лебедь // Прогрессивные технологии и системы машиностроения : междунар. сб. науч. трудов. – Донецк : ДонГТУ, 2001. – Вып. 17. – С. 11–15.

11. Лебедь В. Т. Пути повышения надежности и долговечности составных крупногабаритных изделий / В. Т. Лебедь // Надежность машин и технических систем. – Минск : Институт технической кибернетики НАН Беларуси, 2001. – Т. 2. – С. 80–81.

12. Лебедь В. Т. К вопросу о ресурсосберегающих технологиях при производстве крупногабаритных составных изделий / В. Т. Лебедь // Вісник Національного технічного університету «Київський політехнічний інститут». Машинобудування. – 2003. – № 44. – С. 164–167.

13. Лебедь В. Т. Обеспечение надежности и долговечности крупных деталей, соединенных натягом / В. Т. Лебедь // Прогрессивные технологии и системы машиностроения . – Донецк : ДонГТУ, 2002. – Вып. 23. – С. 90–97.

14. Лебідь В. Т. Вплив фреттинг-процесу на працездатність складених великогабаритних деталей / Лебідь В. Т. // Машинознавство. – 2003. – № 6. – С. 36–38.

15. Лебедь В. Т. К вопросу изучения распределения напряжений в составных крупногабаритных валках / В. Т. Лебедь, А. Е. Вольвач, А. А. Кулаченко // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – Донецк : ДонНТУ, 2003. – Вып. 25. – С. 203–212.



*Здобувачем поставлено задачу та знайдено її комплексне вирішення зі створення й реалізації технології демонтажу шляхом механічної порізки охоплювальних деталей великогабаритних вальцювальних валків.*

16. Лебедь В. Т. Технология тепловой сборки составных крупногабаритных деталей / В. Т. Лебедь, А. А. Кулаченко // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – Донецк : ДонНТУ, 2004. – Вып. 28. – С. 84–94.

*Здобувачем запропоновано пропозицію з розроблення розрахункового моделювання процесу теплового складання й виконано аналіз результатів розрахунків, пов'язаних із оптимізацією й мінімізацією витрат традиційного складання великогабаритних складених вальцювальних валків.*

17. Лебідь В. Т. Фретинг-процеси у складених важконавантажених валках / В. Т. Лебідь // Надійність і довговічність машин і споруд : міжнар. наук.-техн. зб. – Київ : Інститут проблем міцності ім. Г. С. Писаренка НАН України, 2005. – Вип. 25. – С. 69–74.

18. Лебедь В. Т. Оптимизация процесса сборки крупногабаритных составных валков с применением холода / В. Т. Лебедь, А. А. Кулаченко // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – Донецк : ДонНТУ, 2007. – Вып. 34. – С. 120–127.

*Здобувачем розроблено пропозицію щодо створення розрахункової моделі процесу складання великогабаритних складених вальцювальних валків із застосуванням холоду, виконано аналіз результатів розрахунку та проведено оцінювання основних показників модельованого процесу.*

19. Лебедь В. Т. Технология восстановления крупногабаритных составных прокатных валков / Лебедь В. Т. // Вісник Національного технічного університету «Київський політехнічний інститут». Машинобудування. – К. : НТУУ «КПІ», 2008. – 52. – С. 66–77.

20. Лебедь В. Т. Оптимизация технологии нанесения покрытий в соединениях крупногабаритных составных валков для повышения несущей способности / В. Т. Лебедь, А. А. Кулаченко // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць. – Краматорськ – Київ, 2008. – Вип. № 23. – С. 240–247.

*Здобувачем запропоновано загальні схеми часткового нанесення покриття в з'єднаннях великогабаритних складених вальцювальних валків із подальшим дослідженням різних комбінацій ділянок із покриттям. При цьому виконано оцінювання результатів розрахунку, встановлено найбільш оптимальні варіанти розташування ділянок із покриттям.*

21. Лебедь В. Т. Общие положения технологии восстановления крупногабаритных прокатных валков / В. Т. Лебедь // Прогресивні технології і системи машинобудування. – Донецьк : ДонНТУ, 2008. – Вип. № 36. – С. 94–101.

22. Лебедь В. Т. Технологии восстановления крупногабаритных и тяжеловесных составных изделий / В. Т. Лебедь // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків : НТУ «ХПІ», 2009. – № 1. – С. 62–70.

23. Лебедь В. Т. Сборка крупногабаритных изделий ответственного назначения с использованием термовоздействия / В. Т. Лебедь, Б. М. Арпентьев // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків : НТУ «ХПІ», 2009. – № 2. – С. 74–82.

*Здобувачем запропоновано технології відновлення ВГВ типу складених зубчастих коліс, універсальних шпинделів ліній вальцювальних клітей.*

24. Лебедь В. Т. Общий подход к созданию комплексных мероприятий при восстановлении крупногабаритных составных изделий / В. Т. Лебедь // Прогресивні технології і системи машинобудування . – Донецьк : ДонНТУ, 2010. – Вип. № 39. – С. 116–124.

25. Лебедь В. Т. Обеспечение повышения качества восстанавливаемых крупногабаритных изделий / В. Т. Лебедь // Прогресивні технології і системи машинобудування . – Донецьк : ДонНТУ, 2010. – Вип. № 40. – С. 113–119.

26. Лебедь В. Т. Продление срока эксплуатации крупногабаритных изделий / В. Т. Лебедь // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків : НТУ «ХПИ», 2011. – № 22. – С. 69–80.

27. Лебідь В. Т. Реалізація залишкового ресурсу великогабаритних складених виробів / В. Т. Лебідь // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 2011. – Ч. 1. – С. 148–154.

28. Лебедь В. Т. Основы теории создания технологических систем восстановления крупногабаритных изделий в тяжелом машиностроении / В. Т. Лебедь // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2013. – № 6/1 (66). – С. 18–25.

29. Лебедь В. Т. Реинжиниринг крупногабаритных составных изделий на основе групповых технологических процессов разборки – сборки / В. Т. Лебедь, А. Н. Шелковой // Вестник СевНТУ: Изд-во СевНТУ – 2014. – № 142. – С. 122–128.

*Здобувачем у процесі розроблення групової ТП реінжинірингу ВГСВВ сформовано узагальнений маршрут ТП розбирання-складання СВВ, встановлено раціональні варіанти реалізації процесу реінжинірингу.*

30. Лебедь В.Т. К вопросу восстановления отработавших ресурс по рабочей поверхности крупных составных валков / И. А. Бобух, В. Т. Лебедь. – М., 1991. – Деп. в ЦНИИТЭИтяжмаш № 9(239), 756-ТМ 91

*Здобувачем здійснено реалізацію низки технологічних процесів по виготовленню відновлених великогабаритних вальцювальних валків.*

31. А. с. СССР № 1508409 В21 В27/02, 1987. Составной прокатный валок / И. А. Бобух, В. Т. Лебедь, В. А. Тарасов. – № 4224173; заявл. 10.02.87 ; не публикуется.

*Здобувачем розроблено конструктивні виконання профілювання посадкових поверхонь осей вальцювальних валків.*

32. А. с. СССР № 1696023 В21 В28/02, 1988. Способ восстановления работоспособности составных опорных валков / В. П. Приходько, Ю. А. Офицеров, В. В. Гарькавый, А. Т. Чепелев, Ю. А. Грушко, И. А. Бобух, С. А. Новачук, В. Т. Лебедь, Е. И. Трейгер, В. М. Суханов, В. Д. Морозов, А. Е. Руднев. – № 4480882 / 02; заявл. 12.09.88; опубл. 07.12.91 ; Бюл. № 45. – 3 с. : ил.

*Здобувачем розроблено конструктивні елементи кільцевих розточень.*

33. А. с. СССР № 1388441 С21 D9/38, 1986. Способ изготовления составных прокатных валков / Ю. А. Башнин, И. А. Бобух, А. И. Боровко, А. С. Гавришко, М. В. Геден, Ю. А. Грушко, Л. И. Киселева, В. Т. Лебедь, В. А. Николаев, Г. М. Скударь, А. В. Тырышкин и В. М. Чернин. – № 4155687/23–02 ; заявл. 27.10.86; опубл. 15.04.88 ; Бюл. № 14. – 2 с. : ил.

*Здобувачем розроблялися й спрацьовувалися технологічні параметри складання сполучуваних деталей складеного вальцювального валка.*

34. А. с. СССР № 1658474 В21 В28/02, 1989. Способ эксплуатации бандажированных прокатных валков / И. А. Бобух, В. Т. Лебедь, В. И. Пономарев, М. В. Гедеон, В. Д. Плахтин, В. В. Кубай. – № 4782472 / 02 ; заявл. 05.12.89. – 3 с. : ил.

*Здобувачем запропоновано схему повторного подвійного гарячого деформування бандажа й осі валка.*

35. Патент SU 1444371. С21 D9/38, 1988. Способ термической обработки прокатных валков / Ю. А. Башнин, И. А. Бобух, А. И. Боровко, М. В. Гедеон, Л. И. Киселева, В. Т. Лебедь, В. А. Николаев, Л.В. Плеханова, Г. М. Скударь, А. В. Тырышкин и В. М. Чернин. – № 4253046 / 23–02 ; заявл. 10.04.1987 ; опубл. 15.12.1988, Бюл. № 46. – 2 с. : ил.

*Здобувачем розроблялися й спрацьовувалися технологічні параметри термічного оброблення вальцювальних валків.*

36. Патент РФ № 2020007 В21 В27/03, 1991. Составной прокатный валок / И. А. Бобух, В. Т. Лебедь, В. И. Пономарев, И. Г. Волченков, Н. Ф. Андрианов. – № 5014004/27 ; заявл. 01.07.91 ; опубл. 30.09.94, Бюл. № 18. – 3 с. : ил.

*Здобувачем розраховувалися рівні напруг у бандажах валків залежно від величини натягу складеного виробу.*

37. Патент РФ № 2048937 В21 В27/02, 1995. Составной прокатный валок / И. А. Бобух, В. Т. Лебедь, В. И. Пономарев, В. Д. Плахтин, А. Е. Руднев, А. А. Матула. – № 4801098/27 ; заявл. 22.01.90 ; опубл. 27.11.95, Бюл. № 33. – 6 с. : ил.

*Здобувачем визначено конструктивні параметри трьохелементного складеного валка.*

38. Исследование фреттинг-износа крупных составных валков прокатных станов / В. Т. Фирсов, В. Т. Лебедь, И. А. Бобух, Г. М. Гречушкин // Всесоюзная науч.-техн. конф. «Износостойкость машин» : тезисы докладов – Брянск : АН СССР, 1991. – Ч. 1 – С. 35–36.

39. Лебедь В. Т. Совершенствование валков листопрокатного производства / И. А. Бобух, В. Т. Лебедь, В. И. Пономарев // Науч.-техн. конф. «Теория и технология процессов пластической деформации – 96». – М.: МИСИС, 1996. – С. 2.

40. Лебедь В. Т. Ресурсосберегающая технология производства крупногабаритных составных деталей / В. Т. Лебедь, И. А. Бобух // Прогрессивные технологии машиностроения и современность : сборник трудов международной научно-технической конференции, (Севастополь, 9–12 сентября 1997 г.). – Донецк : ДонГТУ, 1997. – С. 143–144.

*Здобувачем виконано розроблення, виготовлення й дослідження низки вальцювальних валків із повторним використанням деталей демонтованих великогабаритних складених вальцювальних валків.*

41. Лебедь В. Т. Совершенствование составных прокатных валков листопрокатного производства / И. А. Бобух, В. Т. Лебедь, Ю. А. Воробьев // Науч.-техн. конф. «Проблемы развития наукоемких и малоотходных процессов обработки металлов давлением», (Краматорск, ДГМА – АО «НКМЗ», 24–26 февраля 1997).

42. Лебедь В. Т. Повышение работоспособности составных крупногабаритных прокатных валков / В. Т. Лебедь // Машиностроение и техносфера на рубеже XXI

века : сб. науч. трудов междунар. науч.-техн. конф., (Севастополь, 13–18 сентября 1999 г.). – Донецк : ДонГТУ, 1999. – С. 119–122.

43. Лебідь В. Т. Підвищення надійності складених великогабаритних деталей / В. Т. Лебідь // Надійність машин та прогнозування їх ресурсу : доповіді міжнар. наук.-техн. конф., (Івано-Франківськ – Яремча, 20–22 вересня 2000 р.). У 2 т.– Івано-Франківськ : ІФДТУНГ ; Факел, 2000. – Том 1. – С. 309–313.

44. Лебідь В. Т. До питання створення ресурсозберігальної технології для відновлення складених великогабаритних деталей / В. Т. Лебідь // П'ятий міжнародний симпозиум українських інженерів – механіків у Львові : тези доповідей. – Львів : КІНПАТРИ ЛТД, 2001. – С. 9.

45. Лебедь В. Т. Пути повышения надежности и долговечности составных крупногабаритных изделий / В. Т. Лебедь // Надежность машин и технических систем : м-лы науч.-техн. конф. : в 2 т. (Минск, 16–17 октября 2001 г.) / под общ. ред. О. В. Берестнева. – Минск : Институт технической кибернетики НАН Беларуси, 2001. – Т. 2. – С. 80–81.

46. К вопросу технологий изготовления и эксплуатации крупногабаритных составных изделий / В. Т. Лебедь // Машиностроение и техносфера в XXI веке : сб. трудов междунар. науч.-техн. конф., (Севастополь, 9–15 сентября 2002 г.) : в 3 т. – Донецк : ДонГТУ, 2002. – Т. 2. – С. 44–47.

47. Лебідь В. Т. Дослідження фретинг-процесу у великогабаритних складених деталях / В. Т. Лебідь // Трибофатика : праці 4-го Міжнародного симпозиуму з трибофатики (ISTF4), (23–27 вересня 2002 р., Тернопіль (Україна)) : у 2 т. / відп. ред. В. Т. Трошено. – Тернопіль : Тернопільський державний технічний університет імені І. Пулюя. – Том 1. – С. 244–248.

48. Лебідь В. Т. Вплив фретинг-процесу у складених великогабаритних деталях / В. Т. Лебідь // Шостий міжнародний симпозиум українських інженерів у Львові : тези доповідей. – Львів : КІНПАТРИ ЛТД, 2003. – С. 208–209.

49. Лебідь В. Т. Моделювання процесу теплової зборки складених валків / В. Т. Лебідь, А. А. Кулаченко // Сьомий міжнародний симпозиум українських інженерів у Львові : тези доповідей. – Львів : КІНПАТРИ ЛТД, 2005. – С. 210.

50. Лебідь В. Т. Фретинг-процеси у складених важконавантажених валках / В. Т. Лебідь // Динаміка, міцність і надійність сільськогосподарських машин : праці 1-ї Міжнародної науково-технічної конференції (DSR AM-1), (4–7 жовтня 2004 р., Тернопіль (Україна)) / відп. ред. В. Т. Терещенко. – Тернопіль : Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя, 2004. – С. 376–380.

51. Лебедь В. Т. Диагностирование крупногабаритных составных изделий в тяжелом машиностроении / В. Т. Лебедь // Пошкодження матеріалів під час експлуатації, методи його діагностування і прогнозування : Міжнар. наук.-техн. конф. (IC DMDP), (21–24 вересня 2009 р., Тернопіль (Україна)) / відп. ред. В. Т. Терещенко. – Тернопіль : Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя, 2009. – С. 170–175.

52. Лебедь В. Т. Инновационное оборудование НКМЗ для модернизации металлургических предприятий. Ресурсосберегающие технологии восстановления крупногабаритных изделий в тяжелом машиностроении / В. Т. Лебедь // IV Международный промышленный форум «Реконструкция промышленных предприятий – прорывные технологии в металлургии и машиностроении». – Челябинск, 2011. – С. 8.

## АНОТАЦІЇ

**Лебідь В. Т. Реінжиніринг великогабаритних складених виробів у важкому машинобудуванні на основі групових технологічних процесів розбирання-складання.** – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування. - Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2014.

У дисертації вирішена актуальна науково-прикладна проблема сучасного машинобудування, що полягає в розробці ресурсощадного напрямку у важкому машинобудуванні, який базується на реінжинірингу великогабаритних складених виробів.

На основі аналізу заходів щодо відновлення виробів, процесів повторного використання деталей і технологій їх складання й розбирання науково обґрунтовані принципи створення технології реінжинірингу великогабаритних складених вальцювальних валків. Запропоновані принципові конструктивно-технологічні рішення є загальними для реінжинірингу таких виробів. Це дозволило створити ефективні групові технологічні процеси на основі розбирання-складання й розробити заходи щодо повторної реалізації відновлених виробів.

Отримані нові теоретичні й експериментальні дані дозволили встановити: оптимальні схеми реінжинірингу складених виробів, процеси розбирання й складання термодією, які забезпечують умови повторного використання демонтованих деталей; доцільні процеси складання термодією; прогнозований термін служби відновлюваних виробів; фретинг-процеси на посадкових поверхнях деталей складених валків; конструкторсько-технологічні рішення, що дозволяють забезпечити якість відновлюваних виробів.

Розроблені фізико-математичні моделі, які описують неоднорідні нестационарні теплові процеси нагрівання й охолодження деталей і теплообміну в з'єднаннях, що дозволяють визначити оптимальні технологічні параметри різних видів складання вальцювальних валків та рівень напруг в охоплюваних деталях таких виробів.

Результати досліджень, які мають прикладний характер, впроваджені у виробництво в важкому машинобудуванні й реалізовані на низці вальцювальних станів.

*Ключові слова:* «життєвий» цикл і реінжиніринг великогабаритних складених виробів; повторне використання демонтованих деталей; групова технологія розбирання-складання складених виробів.

**Лебедь В. Т. Реинжиниринг крупногабаритных составных изделий в тяжелом машиностроении на основе групповых технологических процессов разборки-сборки.** – На правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени доктора технических наук по специальности 05.02.08 – технология машиностроения. – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2014.

В диссертации решена актуальная научно-прикладная проблема современного машиностроения, заключающаяся в разработке ресурсосберегающего направления в тяжелом машиностроении, которое базируется на реинжиниринге крупногабаритных составных изделий.

Из представленной и изученной продукции тяжелого машиностроения и ее классификации на три установленных класса крупногабаритных составных изделий выделен первый, состоящий из деталей, относящихся по форме к телам вращения. Изделия этого класса дополнительно разделены на три подкласса. Согласно классификации рассмотрены в качестве базовых деталей, подлежащих реинжинирингу, в частности, зубчатые колеса, прокатные валки и универсальные шпиндели. В результате теоретического изучения, экспериментально - промышленных исследований и функционально-стоимостного и морфологического анализа, рассчитана математическая модель «жизненного» цикла для установленного класса крупногабаритных изделий, позволяющая рассмотреть, изучить и разработать технологические процессы реинжиниринга изделий, отработавших ресурс по рабочей поверхности.

На основе обобщения мероприятий по восстановлению изделий, процессов повторного использования деталей, технологий их сборки и разборки научно обоснованы принципы создания технологии реинжиниринга крупногабаритных составных прокатных валков. Установлены закономерности групповых технологических процессов разборки-сборки крупногабаритных составных прокатных валков, подлежащих реинжинирингу.

Предложенные принципиальные конструктивно-технологические решения являются общими для реинжиниринга таких изделий, что позволило создать эффективные групповые технологические процессы на основе разборки-сборки и разработать мероприятия по повторной реализации восстановленных изделий.

Полученные новые теоретические и экспериментальные данные позволили установить: оптимальные схемы реинжиниринга составных изделий, процессы разборки и сборки термовоздействием, которые обеспечивают условия повторного использования демонтированных деталей; целесообразность процессов сборки термовоздействием; прогнозируемый срок службы восстанавливаемых изделий; фреттинг-процессы на посадочных поверхностях деталей составных валков; конструкторско-технологические решения, позволяющие обеспечить качество восстанавливаемых изделий.

Разработаны физико-математические модели, описывающие неоднородные нестационарные тепловые процессы нагрева и охлаждения деталей и теплообмена в соединениях, позволяющие определить: оптимальные технологические параметры тепловой сборки охватываемых и охватывающих деталей прокатных валков; режимы сборки термовоздействием – холодом; оптимальные технологические параметры термоструктурной сборки крупногабаритных составных прокатных валков; уровень напряжений в охватываемой детали составного изделия в момент ее разрушения.

В результате обработки статистических данных по накопленным наработкам крупногабаритных изделий и систематизации уровней напряжений в охватываемых деталях крупногабаритных составных прокатных валков в процессе их изготовления, эксплуатации, реинжиниринга уточнены и разработаны теоретические основы расчета, в которых учтены: напряженно-деформированные состояния охватываемых и охватывающих деталей, соединяемых термовоздействием, их изгиб в процессе эксплуатации при учете касательной податливости стыка соединения, переменности величины натяга по длине посадочной поверхности; значения величин фреттинг-износа и, как следствие, уменьшенных величин натяга в зоне контакта деталей, осевой силы

распрессовки соединения при действии циклической изгибающей нагрузки; показателей фреттинг-усталости осей валков с учетом характера их нагружения. Исследования позволили выдвинуть научные положения по ресурсосберегающему направлению в тяжелом машиностроении при реинжиниринге крупногабаритных изделий.

Результаты исследований, которые имеют прикладной характер, внедрены с 1988 г. в производство в тяжелом машиностроении и реализованы на ряде прокатных станов металлургических комбинатов. Это дало возможность снизить затраты в зависимости от конструкции и габаритов изделий до 40 %. Ресурс восстановленных прокатных валков с вероятностью 0,8 доведен до номинального ресурса аналогичных изделий.

*Ключевые слова:* «жизненный» цикл и реинжиниринг крупногабаритных составных изделий; повторное использование демонтированных деталей; групповая технология разборки-сборки составных изделий.

**Lebed V. T. Re-engineering of large (compound/sleeved) products in heavy engineering industry based on batch technological operations of assembling-disassembling.** – Manuscript copyright.

Inaugural dissertation for a Doctor of Science (Tech.) degree in speciality 05.02.08 – Machinebuilding techniques. – National Technical University «Kharkiv Polytechnical University», Kharkiv, 2014.

The paper deals with theoretical and practical pressing issue of modern mechanical engineering that is developing of resource-saving technology in heavy engineering, which is based on re-engineering of large-sized (compound/sleeved) products.

On the basis of products reconditioning activities analysis, parts reuse procedures and disassembling – assembling technologies in mechanical engineering, there have been scientifically grounded the principles of re-engineering technological processes development related to large-sized (compound/sleeved) rolls.

Suggested fundamental functional process solutions are general for such products re-engineering, that allowed creating of high performance re-engineering batch technological operations on the basis of assembling-disassembling, and developing activities as for reapplication of reconditioned parts.

New obtained theoretical and experimental data made possible to determine: optimum reengineering patterns for large-sized (compound/sleeved) products, disassembling – assembling procedures through thermal action, which create disassembled parts reuse conditions; reasonable procedures of assembling through thermal action; projected operation life of reconditioned products; fretting-processes at mounting surfaces of the sleeved rolls components; design-engineering solutions enabling to provide quality of the parts to be reconditioned. Physico-Mathematical models have been developed, describing nonhomogeneous unstationary thermal processes of parts heating and cooling and also heat-exchange in joint assembly, enabling to determine: optimum technological parameters for various assembly patterns of rolling mill rolls; stress level in male parts of such products.

The results of research investigation that is of applied nature have been introduced in heavy engineering production and realized in operation of some rolling mills.

*Key words:* large-sized (compound/sleeved) products re-engineering and operational life, dismantled parts reuse, batch disassembling - assembling procedures for compound/sleeved products.



Підп. до друку 09.09.2014. Формат 60 x 84/16.  
Ум. друк. арк. 1,9. Обл.-вид. арк. 1,9.  
Тираж 100 пр. Зам. № 71.

Донбаська державна машинобудівна академія  
84313, м. Краматорськ, вул. Шкадінова, 72.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
ДК №1633 від 24.12.2003



