

УДК 621.002.5.52

В.Т. Лебедь, доцент, канд. техн. наук,

Донбасская государственная машиностроительная академия,

ул. Шкадинова, 72, г. Краматорск, Украина, 84113

app@dgma.donetsk.ua

А.Н. Шелковой, профессор, д-р техн. наук

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»,

ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002

Shan-56@mail.ru

РЕИНЖИНИРИНГ КРУПНОГАБАРИТНЫХ СОСТАВНЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ ГРУППОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ РАЗБОРКИ - СБОРКИ

Созданы положения повышения эффективности повторного использования крупногабаритных составных изделий путем их реинжиниринга на основе разработанных групповых маршрутных процессов разборки – сборки, обеспечивающих ресурсосбережение на технологических переделах и продление их «жизненного» цикла при последующей эксплуатации

Ключевые слова: *реинжиниринг, крупногабаритные составные прокатные валки, демонтированные детали изделий, групповые технологические процессы, разборка, сборка, восстановленные изделия*

Введение. Известно, что крупногабаритные составные изделия, отработавшие ресурс по рабочим поверхностям, например, прокатные валки (рисунок 1), как изделия тяжелого машиностроения могут подлежать реинжинирингу при наличии остаточного ресурса элементов конструкции по циклам нагружения и состоянию геометрических и механических параметров, что позволяет продлить «жизненный» цикл с существенной экономией на технологических переделах.

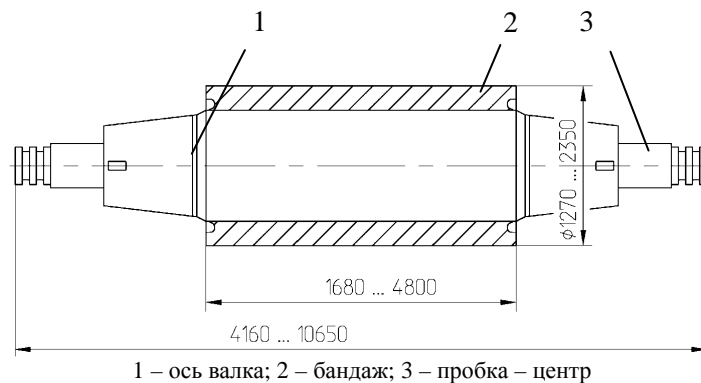


Рисунок 1 – Общая схема типовой конструкции крупногабаритного составного прокатного валка

Целью данной статьи является обоснование направлений повышения эффективности использования крупногабаритных составных изделий (КГСИ) тяжелого машиностроения путем их реинжиниринга на основе групповых технологических процессов разборки – сборки, что может обеспечить продление «жизненного» цикла изделия и ресурсосбережение на технологических переделах.

Основное содержание работы. При очевидных преимуществах (достаточный остаточный ресурс, на пример, элементов валка (рисунок 1) по усталостным напряжениям, высокие показатели по геометрическим параметрам, качеству состояния металла охватываемых и охватываемых деталей и пр.), установленных при дефектации в отработавших ресурс КГСИ по рабочим поверхностям, отмечается их ограниченное повторное использование. Отмечены недостаточно глубокие разработки по конструктивным исполнениям восстанавливаемых изделий и процессам их повторного использования с последующей эксплуатацией.

Конструктивно-технологические решения составили основу для исследований при разработке групповых технологических процессов реинжиниринга КГСИ, базирующихся на их разборке и сборке, и последующем создании энергосберегающих технологий для повторного использования демонтированных деталей в новом изделии.

Основополагающими положениями повышения работоспособности КГСИ в новом и восстановленном исполнениях является повышение несущей способности соединений с натягом.

Отмечено, что решение существующей научно-технической проблемы в области тяжелого машиностроения связано с отсутствием комплексных мероприятий, технологий восстановления КГСИ и

их конструктивных особенностей, позволяющих обеспечить второй «жизненный» цикл их эксплуатации, и требует теоретических и экспериментальных исследований для получения принципиальных решений по созданию ресурсосберегающего направления при восстановлении указанных изделий и их реализации.

Поскольку известные методики расчета показателей надежности выполнены для вновь изготовленных изделий, то аналогичная методика расчета восстановленных изделий должна учитывать ряд основных показателей: остаточный ресурс и влияние проявления последствий фреттинг-процессов на посадочных поверхностях демонтированных деталей, а также учитывать уровень остаточных напряжений, величины натягов и форму профилирования посадочных поверхностей сопрягаемых деталей этих изделий.

Выполненные исследования по оценке трудозатрат показывают, что при достижении массы 20 т и более у рассматриваемых типоразмеров деталей валков, установлен рост показателей как по энерго- и трудозатратам, так и по металлоемкости изделий (рисунок 2). При повторном использовании крупногабаритных изделий (КГИ) обеспечивается значительное снижение указанных показателей, что подтверждает целесообразность создания технологических процессов по их восстановлению (таблица 1).

Для оценки уровня трудоемкости изготовления в процессе восстановления составных прокатных валков были проанализированы поэлементные затраты в процессе производства новых аналогичных деталей (рисунок 3).

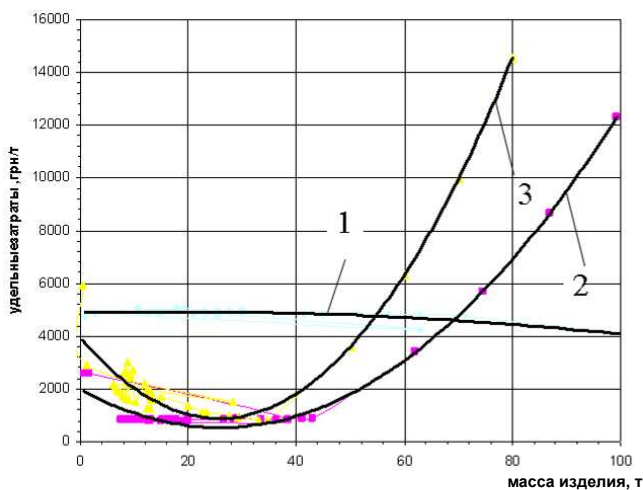


Рисунок 2 – Характер изменения затрат в процессе производства прокатных валков при увеличении их габаритов (1 – в металлургическом переделе; 2 – при выполнении термической обработки деталей; 3 – при выполнении механической обработки деталей)

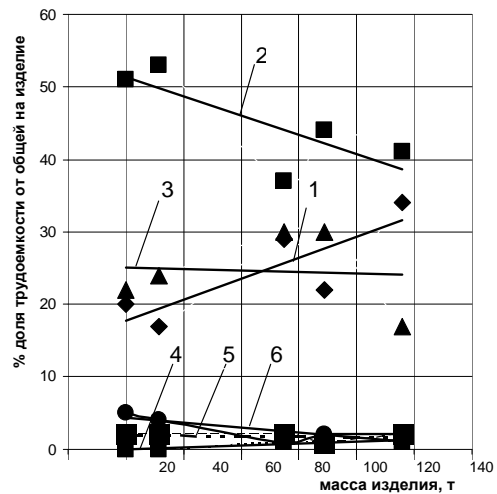


Рисунок 3 – Характер изменения трудоемкости при изготовлении нового составного прокатного валка массой 89 т (1 – оси валка; 2 – бандажа; 3 – окончательной обработки валка; 4 – пробки оси валка; 5 – ручной сборки; 6 – сборки (монтажа) оси валка с бандажом)

Углубленный подход к анализу планирования технологической подготовки производства новых деталей позволяет оценить основные положения технологических процессов (ТП) реинжиниринга изделий на стадии ее изучения [1].

Анализ распределения затрат при изготовлении крупногабаритных валков (от 20 т и до 200 т) приведен на рисунок 4.

Математическое описание отдельных процессов, определяющих основные закономерности ТП реинжиниринга, может быть представлено системами уравнений.

Исходя из разработок по математическому описанию технологической системы (ТС) «жизненного» цикла КГСИ [2], связанной с процессами реинжиниринга таких деталей (через характеристический показатель качества новой технологии), математическое описание ТП «жизненного» цикла КГСИ, в обобщенном виде представлено как

$$C(t) = \sum_{i=1}^{Z=4} \sum_{j=1}^V C_{ij}(t) = K(t) \rightarrow opt(t) \quad (1)$$

$$\xi(t, x_*) = \xi(t, x_*, \omega) \quad (2)$$

$$C(t) = \sum_{i=1}^{Z=4} \sum_{j=1}^V C_{ij}(t) = L(t) \rightarrow \min(t) \quad (3);$$

$$\xi^I(t, x_*) = \xi^I(t, x_*, \omega) \quad (4),$$

где (1) и (3) – оценка качества технологий при изготовлении нового изделия и в процессе его реинжиниринга, соответственно; (2, 4) – оценка прочностных характеристик в процессе эксплуатации изделия со следующим выводом о целесообразности его повторного использования и прогнозируемые прочностные характеристики восстановленного изделия, соответственно; $C(t)$ – общая стоимость затрат всех процессов на уровнях иерархии ТП изготовления изделия в момент времени t ; $C_{ij}(t)$ – стоимость j -го процесса на i -м иерархическом уровне ТП изготовления нового изделия в момент времени t ; V – количество объектов на i -м иерархическом уровне ТП изготовления изделия; Z – количество иерархических уровней ТП изготовления изделия; $K(t)(L(t))$ – функционал, который оптимизирует (или минимизирует) затраты ($opt(\min)(t)$) в момент времени t .

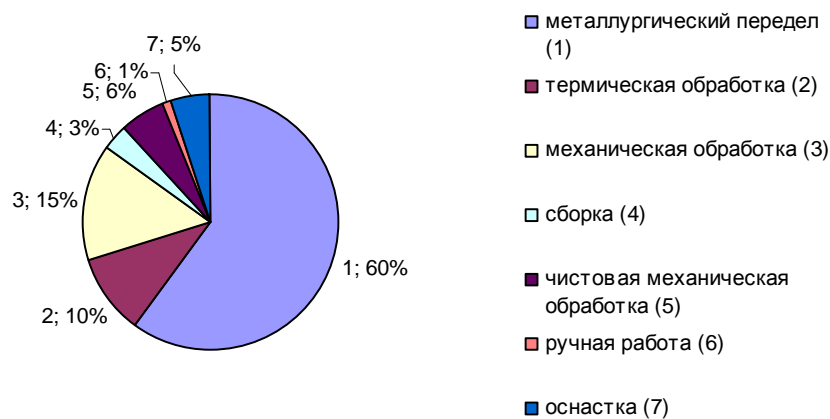


Рисунок 4 – Распределение трудоемкости ТП производства составных прокатных валков по переделам

Таблица 1 – Распределение трудоемкости по производственным переделам

	Металлургический передел (1 – рис. 4)	Вид обработки					Оснастка (7)
		терм. (2)	механ. (3)	сборка термовозд. (4)	чист. механ. (5)	ручн. (6)	
Отн. трудоемкость, %	60	10	15	3	6	1	5
Произв. переделы (Z)	I	II	III		IV		

$$C_{ij}(c_{otM}^k, c_{iM}^k, c_{iT}^k, c_{iЧ}^k, c_{iФ}^k, t) =$$

$$= \left\{ \begin{array}{l} \left\{ \begin{array}{l} (2,1x_{1,2} \geq x_{1,2слит.} \geq 1,9x_{1,2}) \vee \\ (1,8x_{1,2} \geq x_{1,2нок.} \geq 1,6x_{1,2}) \end{array} \right\} K \left(\begin{array}{l} a_{mn}, b_{mn}, c_{mn}, \\ \alpha x_{1,2}, \beta x_{1,2}, x_{1,2}, x, t \end{array} \right) \rightarrow opt(t) \\ \left\{ \begin{array}{l} (x_{1заг.} \equiv x_{1отп.ресурс}) \wedge \\ (2,1x_2 \geq x_{2слит.} \geq 1,9x_2) \vee \\ (1,8x_2 \geq x_{2нок.} \geq 1,6x_2) \end{array} \right\} L \left(\begin{array}{l} a_{mn}, b_{mn}, c_{mn}, \\ \gamma x_1, \alpha x_2, \beta x_2, x_{1,2}, x, t \end{array} \right) \rightarrow \min(t) \\ \left\{ \begin{array}{l} (x_{1заг.} \equiv x_{1отп.ресурс}) \wedge \\ (x_{2заг.} \leq 0,97x_{2отп.ресурс}) \vee \\ (1,2x_{1,2заг.} \geq x_{1,2нок.} \geq 1,15x_{1,2заг.}) \end{array} \right\} M \left(\begin{array}{l} a_{mn}, b_{mn}, c_{mn}, \\ \gamma x_{1,2}, \beta^I x_{1,2}, x_{1,2}, x, t \end{array} \right) \rightarrow \min(t) \end{array} \right.$$

$$C_{ij}(c_{oiM}^k, c_{iM}^k, c_{iT}^k, c_{i\varphi}^k, c_{i\Phi}^k, t) = \begin{cases} \left\{ \begin{array}{l} (2,1x_{1,2} \geq x_{1,2слит.} \geq 1,9x_{1,2}) \vee \\ (1,8x_{1,2} \geq x_{1,2нок.} \geq 1,6x_{1,2}) \end{array} \right\} K(a_{mn}, b_{mn}, c_{mn}, \alpha x_{1,2}, \beta x_{1,2}, x_{1,2}, x, t) \rightarrow opt(t) & \text{– вновь изготовленный} \\ & \text{крупногабаритный валок;} \\ \left\{ \begin{array}{l} (x_{1заг.} \equiv x_{1отр.ресурс}) \\ (2,1x_2 \geq x_{2слит.} \geq 1,9x_2) \vee \\ (1,8x_2 \geq x_{2нок.} \geq 1,6x_2) \end{array} \right\} L(a_{mn}, b_{mn}, c_{mn}, \gamma x_1, \alpha x_2, \beta x_2, x_{1,2}, x, t) \rightarrow \min(t) & \text{– реинжиниринг изделия} \\ & \text{равновеликого} \\ & \text{типоразмера;} \\ \left\{ \begin{array}{l} (x_{1заг.} \equiv x_{1отр.ресурс}) \\ (x_{2заг.} \leq 0,97x_{2отр.ресурс}) \vee \\ (1,2x_{1,2заг.} \geq x_{1,2нок.} \geq 1,15x_{1,2заг.}) \end{array} \right\} M(a_{mn}, b_{mn}, c_{mn}, \gamma x_{1,2}, \beta^I x_{1,2}, x_{1,2}, x, t) \rightarrow \min(t) & \text{– реинжиниринг изделия} \\ & \text{меньшего типоразмера,} \end{cases}$$

где $k - 0, I, II$ – индексы вариантов изготовления изделия и его реинжиниринга;

$X = X_1 + X_2$, где X, X_1, X_2 – масса составного изделия, охватываемых и охватывающих деталей, соответственно;

a_{mn}, b_{mn}, c_{mn} – коэффициенты, которые определяют удельную трудоемкость изготовления изделия;

$\alpha X_1, \alpha X_2$ – масса слитка охватываемых и охватывающих деталей, соответственно;

$\beta X_1, \beta X_2; \beta^I X_1, \beta^I X_2$ – масса поковок охватываемых и охватывающих деталей из слитков; масса поковок охватываемых и охватывающих деталей из демонтированных деталей-заготовок, соответственно;

$\gamma X_1, \gamma X_2$ – масса демонтированных охватываемых и охватывающих деталей составного изделия, используемых повторно, соответственно. Диапазон значений указанных коэффициентов $2,10 \geq \alpha \geq 1,90$; $1,80 \geq \beta \geq 1,60$; $1,20 \geq \beta^I \geq 1,15$; $1,00 \geq \gamma \geq 0,93$.

Ограничения по массе составного изделия подлежащего реинжинирингу: $20 \text{ т} \leq (x_1 + x_2) \leq 200 \text{ т}$.

На рисунке 5 приведены схемы обобщенного технологического маршрута реинжиниринга крупногабаритных составных прокатных валков. К базовому маршруту M_i присоединяется маршрут M_j и т.д. до M_n . В результате построения получен обобщенный маршрут $M_{Y_i}^*$. «Залитые» области показывают эквивалентные операции, которые определяют мощность пересечения нескольких маршрутов. Коды операций C_{iM_i} и C_{iM_j} и пяти маршрутов M_i, \dots, M_n будут определять эквивалентность этих операций при условии $C_{iM_i} \equiv C_{iM_j}$, т.е. должны быть эквивалентны коды операций.

Для любых эквивалентных операций выполняется условие:

В обобщенный маршрут включается первая операция

$$\forall C_{iM_i} C_{iM_j} \in (C_{iM_i} \equiv C_{iM_j}) M_{Y_i}^* \ni (C_{iM_i} \nabla C_{iM_j}) \rightarrow C_{iM_i}.$$

В сформированном обобщенном маршруте реинжиниринга крупногабаритных составных прокатных валков сохраняется последовательность индивидуальных маршрутов при их выделении. Обеспечение этого условия выполняется

$$1) \forall C_p C_q \in (M_i \cap M_j) \left[(C_p < C_q; C_p, C_q \in M_i \rightarrow (C_p < C_q); C_p, C_q \in M_j) \right],$$

т.е. для любых двух операций C_p и C_q , входящих в пересечение маршрутов M_i и M_j , если операция C_p предшествует операции C_q в маршруте M_i , : $C_p < C_q$, операция C_p предшествует операции C_q и в маршруте M_j

$$2) \forall M_i (\forall C_p, C_q \in M_i [(C_p < C_q; C_p, C_q \in M_i) \rightarrow (C_p < C_q; C_p, C_q \in M_{Y_i}^*)]),$$

т.е. для любого индивидуального маршрута M_i и для любых операций C_p и C_q , входящих в него, если $C_p < C_q$ в M_i , то $C_p < C_q$ и в обобщенном маршруте $M^*_{Y_i}$

Варианты групповых маршрутных ТП [3]: I – вновь изготавливаемого изделия; при реинжиниринге крупногабаритных прокатных валков: II – вторично используемая ось и новый бандаж; III – новая ось и повторно используемый бандаж; IV – повторно используемые демонтированные ось и бандаж (изделие меньшего типоразмера); V – вторично используемые демонтированные ось и бандаж; VI – вторично используемый моноблочный валок (под ось, переков) и новый бандаж; VII – вторично используемый моноблочный валок (под ось, механическая обработка) и новый бандаж; VIII – вторично используемый моноблочный валок (под ось, механическая обработка) и перекованный бандаж из демонтированной детали большего типоразмера; IX – вторично используемый моноблочный валок (под ось, переков) и перекованный бандаж из демонтированной детали большего типоразмера (рисунок 5).

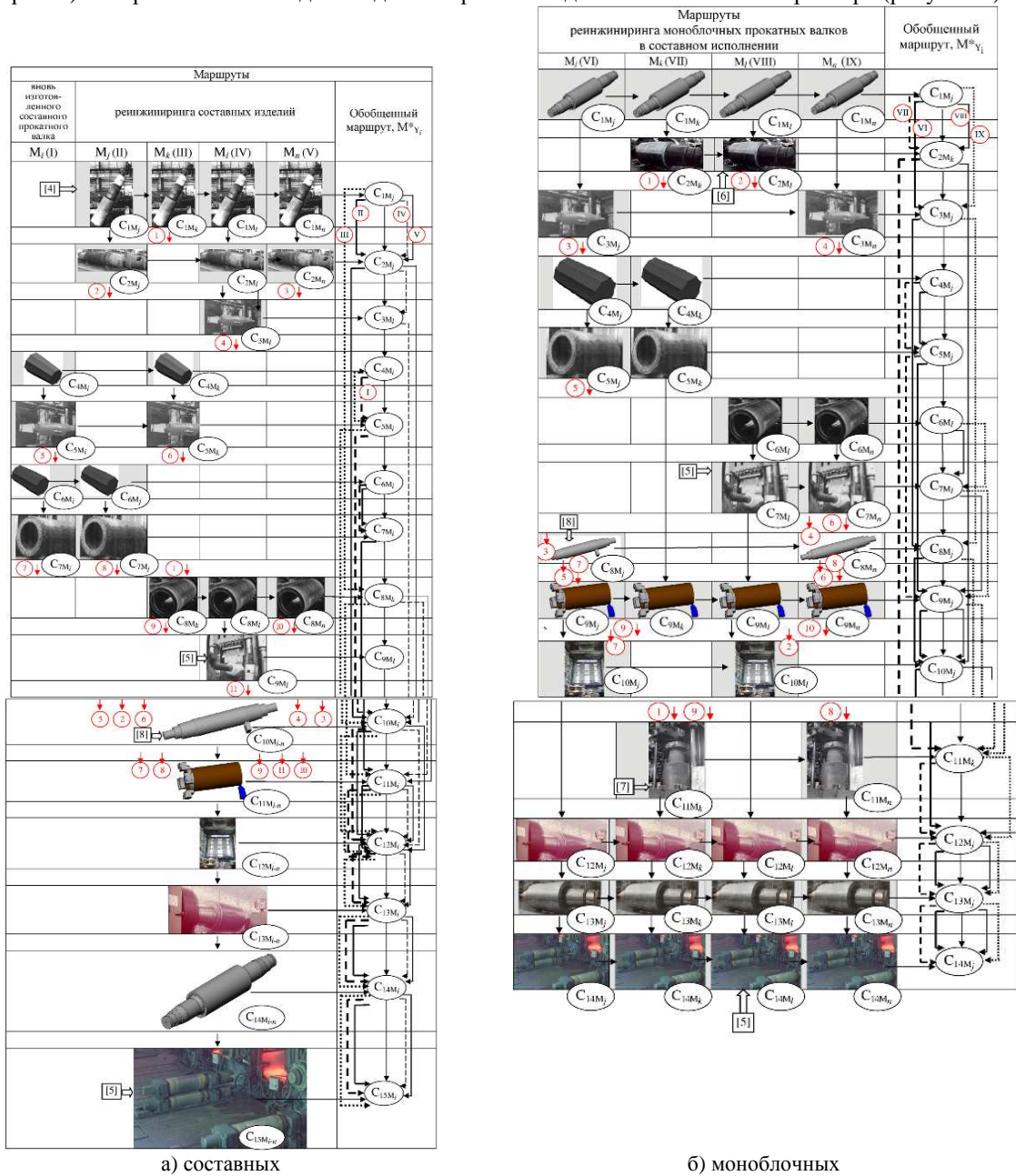


Рисунок 5 – Групповые маршрутные ТП вновь изготавливаемых и восстанавливаемых прокатных валков (рисунок 1)

Обобщенный маршрут представлен упорядоченным множеством операций для обработки (в данном случае) двух разновидностей восстановленных составных прокатных валков. Далее выполняется присоединение следующего маршрута и т.д.

Решена актуальная научно-прикладная проблема современного машиностроения, состоящая в разработке ресурсосберегающего направления в тяжелом машиностроении, базирующаяся на реинжиниринге крупногабаритных прокатных валков.

На основе анализа мероприятий по реинжинирингу изделий, процессов повторного использования деталей и технологий разборки и сборки термическим воздействием в машиностроении научно обоснованы принципы создания технологий реинжиниринга крупногабаритных изделий, позволяющих обеспечить повторное использование деталей этих изделий и продления срока их эксплуатации.

Выводы. В результате выполненных теоретических изысканий и проведенных экспериментальных исследований реализованы групповые технологические процессы при реинжиниринге крупногабаритных составных прокатных валков. Предложены принципиальные конструктивно-технологические решения, которые являются общими для реинжиниринга крупногабаритных изделий. Это позволяет проектировать эффективные технологии на основе классификации, унификации таких изделий и разрабатывать мероприятия по повторной реализации восстановленных изделий в металлургическом производстве.

Получены новые теоретические и экспериментальные данные, которые позволили установить: – оптимальные схемы реинжиниринга крупногабаритных изделий, процессы разборки термическим воздействием, которые создают условия повторного использования демонтированных деталей для их реинжиниринга и последующей реализации в прокатном производстве; – целесообразные процессы сборок термическим воздействием; – прогнозируемый срок эксплуатации восстановленных изделий с высокой степенью вероятности; – конструкторско-технологические решения, обеспечивающие качество восстанавливаемых изделий.

Перспективы дальнейших исследований в данной области. Такой подход позволяет рассмотреть реинжиниринг крупногабаритных составных прокатных валков путем их наплавления, (базируясь на глубоких теоретических и практических результатах восстановления таким способом моноблочных изделий этого класса), демонтированных деталей составного изделия как перед их сборкой, так и в составном исполнении изделия в целом.

Библиографический список использованной литературы

1. Лебедь В. Т. Сборка крупногабаритных изделий ответственного назначения с использованием термовоздействия / Лебедь В.Т., Арпентьев Б. М. // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»: зб. наук. праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків : НТУ «ХПІ», 2009. – № 2. – С. 74–82.
2. Лебедь В. Т. Основы теории создания технологических систем восстановления крупногабаритных изделий в тяжелом машиностроении / В. Т. Лебедь // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 6/1 (66). – С. 18–25.
3. Митрофанов С.П. Групповая технология машиностроительного производства: В 2-х т. Т. 1. Организация группового производства / С.П. Митрофанов. – 3-е изд. перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1983. – 407с.
4. 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. 12.09.1988 ; опубл. 07.12.1991, Бюл. № 45. – 3 с. : ил.
5. 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. 22.01.1990 ; опубл. 27.11.1995, Бюл. № 33. – 6 с. : ил.
6. А. с. СССР № 1508409 В21 В27/02, 1987. Составной прокатный валок / И. А. Бобух, В. Т. Лебедь, В. А. Тарасов. – № 4224173; заявл. 10.02.1987 ; не публикуется.
7. Патент SU 1388441 С2109/38 Способ изготовления составных прокатных валков / Ю. А. Башнин, И. А. Бобух, А. И. Боровко, А. С. Гавришко, М. В. Гедеон, Ю. А. Грушко, Л. И. Киселева, В. Т. Лебедь, В. А. Николаев, Г. М. Скударь, А. В. Тырышкин и В. М. Чернин.
8. Патент SU 1444371 С21 D9/38, 1988. Способ термической обработки прокатных валков / Ю. А. Башнин, И. А. Бобух, А. И. Боровко, М. В. Гедеон, Ю. А. Грушко, Л. И. Киселева, В. Т. Лебедь, В. А. Николаев, Л. В. Плеханова, Г. М. Скударь, А. В. Тырышкин и В. М. Чернин. – № 4155687 / 23–02 ; заявл. 27.10.1986 ; опубл. 15.04.1988.

Поступила в редакцию 18.12.2013 г.

Лебідь В.Т., Шелковий О.М. Реінжиніринг великогабаритних складених виробів на основі групових технологічних процесів розбирання - складання

Створена модель підвищення ефективності повторного використання великогабаритних складених виробів (на прикладі вальцювальних валків) шляхом їхнього реінжинірингу на основі розроблених групових маршрутних процесів розбирання – складання, що забезпечують ресурсозбереження на технологічних переділах і продовження їх «життєвого» циклу при наступній експлуатації

Ключові слова: реінжиніринг, великогабаритні складені вальцювальні валки, демонтовані деталі виробів, групові технологічні процеси, розбирання, складання деталей, відновлені вироби

Lebed V., Shelkovoy A. Re-engineering of large-scale compound articles on the basis of group technological processes of assembling and disassembling

The model of effectiveness increase of large-scale compound articles reuse by means of their re-engineering on the basis of elaborated group route processes of assembling and disassembling, providing with resources-saving at technological changes and their life-cycle extension by further use is made

Keywords: re-engineering, large-scale compound forming rolls, disassembled parts, group technological processes, disassembling, machine parts assembling, remanufactured articles