

*В.Т. Лебедь, Н.В. Тарельник, О.Н. Лашкарев, Ропьяк Л.Я.*

## ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СОЕДИНЕНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ СОСТАВНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Приведен анализ проблем и существующих методов повышения надежности неподвижных соединений. Для повышения качества крупногабаритных составных изделий предложена технология нанесения в области торцов охватываемых деталей на контактирующие поверхности сопрягаемых деталей, методом электроэрозионного легирования (ЭЭЛ) комбинированного покрытия: мягкого, например, из бронзы, и твердого - сплавы группы ВК (или ТК). Прогнозируется повышение работоспособности крупногабаритных составных изделий (зубчатых колес, прокатных валков, универсальных шпинделей) до 24% при промышленной реализации технологии нанесения комбинированных покрытий на посадочную поверхность охватываемой детали.

**Ключевые слова:** метод, повышение надежности, неподвижные соединения, крупногабаритные составные изделия, технология нанесения комбинированных покрытий, посадочная поверхность, охватываемая деталь.

**Введение.** Профильная номенклатура ряда заводов тяжелого машиностроения [1], в своей основе базируется на изготовлении горнорудного, металлургического, прокатного, кузнечно-прессового и подъемно-транспортного оборудования.

Значительная часть выпускаемой продукции (до 30% объема) - это крупногабаритные изделия, которые в большинстве своем изготавливают в составном варианте.

Технологические процессы изготовления и реинжиниринга крупногабаритных составных изделий (КГСИ) базируются на одной из основных операций - сборке охватывающих и охватываемых деталей, соединение которых обеспечивается гарантированным натягом (рис. 1, выделенная колонка). К таким изделиям, подлежащим процессам реинжиниринга, относятся крупногабаритные зубчатые колеса, прокатные валки, универсальные шпиндели [2].

Изучение и анализ состояния изделий после отработки ресурса рядом типоразмеров рассматриваемым изделий показывают, что до 20 % вывода изделий из эксплуатации связано с недостаточной надежностью фиксации охватывающей детали на охватываемой, что в ряде случаев влечет проворачивание (рис. 2,а), смещение (рис. 2,б) охватывающих деталей относительно охватываемых, например, в крупногабаритных составных прокатных валках (КГСПВ).

**Постановка задачи.** Повышение качества сопрягаемых соединений КГСИ является одной из важнейших задач в обеспечении надежности и долговечности данного класса изделий. Эта проблема решалась путем создания ряда дополнительных конструктивных, технологических и других видов и средств фиксации.

Процесс сборки неподвижных поверхностей КГСИ осуществляется нагреванием (охлаждением) охватывающей (охватываемой) детали с ее последу-

ющим соединением с охватываемой (охватывающей) деталью [3].

**Материалы исследований.** Исходя из анализа стоимости изготовления и реинжиниринга КГСИ и их надежности (рис. 3) следует, что при высокой базовой надежности и небольших затратах на модернизацию влияние снижения надежности на увеличение общих затрат значительно меньше, чем при низкой стоимости проектирования и изготовления, и больших затратах на модернизацию оборудования.

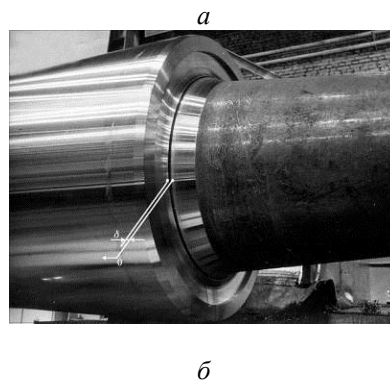
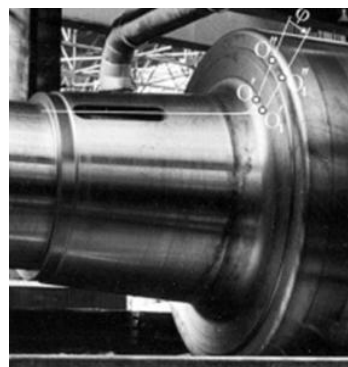


Рис. 1 – Схемы проворота и смещения бандажа относительно оси КГСПВ: а – проворот; б – смещение

Таблица 1. Характер распределения затрат по всему производственному циклу изготовления КГСПВ

	Жидкий металл	Пр-во отливки	Изг. поковки	Терм. обр-ка	Мех. об-ка черновая	Терм. обр-ка	Сборка	Мех. об-ка чистовая
Отн. уд. затраты	1,0	2,0	0,8	0,2	0,4	0,2	0,1	0,3

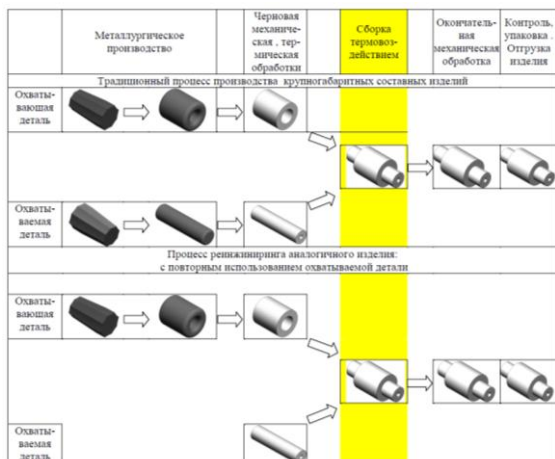


Рис. 2 – Основные положения «жизненного» цикла КГСИ вновь изготавливаемого и прошедшего впоследствии реинжиниринг

Анализ эффективности капиталовложений позволяет принять такие решения, при которых ограниченные ресурсы используются наилучшим образом, что позволяет сделать вывод о экономической и технической целесообразности проведения мероприятий по повышению качеству посадочных поверхностей охватываемых деталей путем нанесения покрытий с целью повышения качества соединения охватываемых и охватывающих деталей КГСИ.

Анализ удельных затрат показывает, что процесс сборки относительно остальных технологических операций составляет 0,1 (табл.1), однако качество соединения таких изделий во многом определяет их работоспособность.

В работе [5] отражены способы восстановления деталей сваркой, наплавкой, гальваническим наращиванием металлами, металлизацией, механической и слесарной обработкой, изменением размеров в результате пластического деформирования.

Однако вопрос повышения качества соединения КГСПВ, начиная от профилирования посадочных поверхностей охватывающих и охватываемых деталей этих изделий и нанесения покрытий недостаточно полно раскрыт. Типовая конструкция КГСПВ приведена на рис. 4.

Обзор источников технической информации показывает, что при анализе рынка сырья и возможностей потенциальных заказчиков появляется большой потенциал снижения затрат в процессе производства КГСПВ. Это позволяет изыскивать новые направления при разработке ресурсосберегающих технологий по рассматриваемой группе изделий.

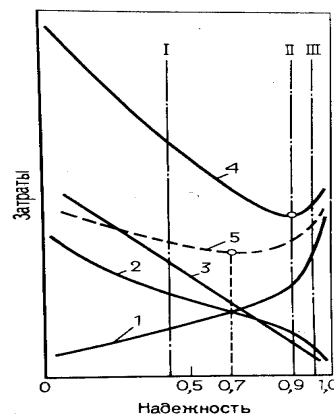


Рис. 3 – Изменения составляющих общих затрат в зависимости от заданной величины надежности

1, 2 и 3 – кривые, характеризующие затраты на проектирование и изготовление оборудования, на техническое обслуживание и ремонты, на модернизацию оборудования, соответственно; 4 и 5 – кривые, характеризующие общие затраты на достижение заданной надежности и без учета на модернизацию оборудования. Конструкция I – характеризуется низкой стоимостью проектирования и изготовления; конструкции II и III – характеризуются более высокой базовой надежностью

Для оценки величины трудоемкости изготовления деталей КГСПВ при подготовке их к сборке и общей обработке изделия были проанализированы поэлементные затраты при производстве этих деталей во вновь изготавливаемом варианте.

Изучению подлежали пять типоразмеров изделий близких по конструктивному исполнению (рис.4) в диапазоне масс от 20 до 116 тонн (20, 32, 75, 89, 116 т). При этом доля трудоемкости основных вновь изготовленных деталей в общем объеме производства указанной группы изделий составляет для: •бандажа 37-54%; •оси вала 17-34%; •окончательной механической обработки составного изделия 17-34 %.

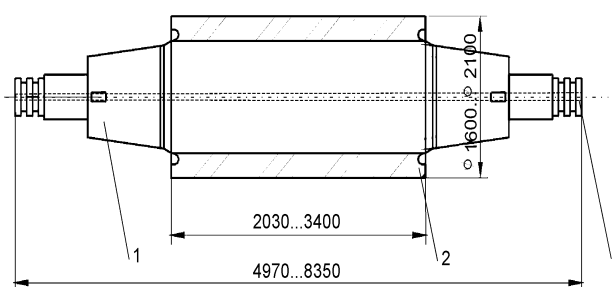


Рис. 4 – Базовая конструктивная схема составного крупногабаритного прокатного вала: 1- ось вала; 2 – бандаж (штулка); 3 – пробка оси

Реинжиниринг указанных деталей осуществляется по ряду схем [2].

Общей задачей как для вновь изготавливаемых крупногабаритных составных изделий, так и для их последующего реинжиниринга остается обеспечение качества соединения сопрягаемых охватывающих и охватываемых деталей.

Достигнутые результаты при нанесении различных видов покрытий позволили скорректировать конструкцию составного изделия и повысить качество соединения демонтированных КГСРВ

Анализ трудоемкости технологического процесса по нанесению покрытия на всю протяженность посадочной поверхности охватывающей детали затрагивает вопрос целесообразности 100 % покрытия. Проведено теоретическое изучение обеспечения равнозначных показателей прочности соединения от протяженности покрытия [6].

Теоретическими расчетами установлено, что реализация технологии комбинированного покрытия (чередование твердых и мягких кольцевых участков покрытия), обеспечивающей повышение коэффициента трения  $f$  до 0,30...0,40 увеличивает жесткость составного изделия до 10...15 %, повышает усилие распрессовки; уменьшает величину остаточного прогиба в 1,5...2,0 раза и зону распространения фреттинг-процесса на сопрягаемых поверхностях с 70 до 25 %; устраняет усталостное разрушение охватывающих деталей.

Известны многочисленные способы изменения качества поверхности деталей, один из них, например, изложен в [7]. Одним из перспективных является метод электроэрозионного легирования (ЭЭЛ) [8, 9], при помощи которого достигается изменение твердости металлической поверхности путем нанесения на нее материала более высокой твердости или диффузионного введения в поверхностный слой необходимых химических элементов. Для понижения твердости наносятся на поверхность более мягкие материалы, а с целью повышения качества посадочной поверхности изделия из незакаленного металла, допускающего термическую обработку, возможно применение импульсов с большей энергией или более длительным циклом. Это позволяет достичь большей суммарной толщины слоя [10], что существенно улучшает прочностные характеристики изделия.

Предложен способ [7], обеспечивающий решение задачи путем формирования ЭЭЛ на предварительно термически обработанной посадочной поверхности детали поверхностного слоя при помощи графитового электрода.

Известно, что повышение качества сопряжения деталей неподвижных соединений КГСРВ возможно за счет нанесения специальных покрытий, изменяющих структуру контактирующих поверхностей. В [8] предложен способ обработки сопрягаемых поверхностей стальных (и/или чугунных) деталей базирующийся на нанесении методом ЭЭЛ покрытия из никеля, микротвердость которого меньше мик-

ротвердости материала рассматриваемых деталей. После этого на поверхностный слой из никеля этим же методом при аналогичных режимах электродами из твердых сплавов группы ВК (или ТК) наносятся кольцевые участки покрытия с интервалом и шириной от 4 до 6 мм (рис. 5).

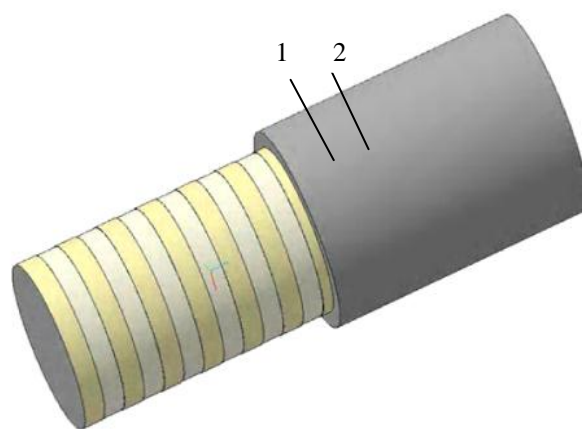


Рис. 5 – Поверхность охватываемой детали с кольцевыми участками электроэрозионных покрытий: 1 – твердым сплавом группы ВК (или ТК); 2 – никелем

Показатели прочности неподвижного соединения в сформированном последовательным нанесением никеля и твердого сплава ВК (или ТК) поверхностном слое обеспечиваются покрытием, состоящим из кольцеобразных участков (участки 1, 2, рис. 5). В данном случае образуется покрытие с твердым, износостойким и имеющим высокий (от 0,3 до 0,7) коэффициент трения поверхностным слоем, под ним находится слой, микротвердость которого ниже микротвердости основы. В процессе сборки твердый поверхностный слой вминается в нижележащий мягкий слой.

Согласно [10] предел выносливости образцов диаметром  $d = 20$  мм из стали 40Х со ступицами диаметром  $D = 37$  мм и длиной 90 мм, имеющих кольца из красной меди М2, повысился при чистом изгибе с частотой 50 Гц в 2 раза (с 150 до 300 МПа).

Повышение эффективности использования КГСРВ достигается путем нанесения методом ЭЭЛ на посадочные поверхности охватываемых деталей составных изделий комбинированных покрытий (твердых и мягких).

На качество покрытий при ЭЭЛ оказывают влияние множество факторов. При этом наиболее целесообразным следует считать режимы легирования.

В процессе исследований использовались цилиндрические образцы из стали 20 диаметром 38 мм и длиной 25 мм, соединенные проставками диаметром 25 мм и длиной 15 мм. Поверхности образца перед ЭЭЛ шлифовались до  $Ra = 0,5$  мкм. ЭЭЛ производилось на механизированной установке модели «ЭИЛ-9» [10].

Реализация этого процесса исключает искажение исходной геометрической формы восстанавли-

ваемой (или упрочняемой) детали, а также поводки, что связано с особенностью процесса легирования (температура нагрева детали до 100 °С). Материал электродов - проволока марки БрО10Ф1.

Процесс ЭЭЛ осуществлялся бронзой марки БрО10Ф1 на механизированной установке «ЭИЛ-9» за два прохода при толщине слоя бронзы за один проход (0,17 - 0,18) мм.

### Выводы

1. Для повышения качества неразъемных соединений (увеличения несущей способности, прочности охватываемых деталей составных изделий, снижения фреттинг-коррозии) разработаны технологии, связанные с введением в зону контакта сопрягаемых посадочных поверхностей деталей КГСИ комбинированных прослоек, состоящих из мягких и твердых материалов.

2. Согласно экспериментальным результатам прогнозируется повышение работоспособности КГСИ (зубчатых колес, прокатных валков, универсальных шпинделей) до 24% при промышленной реализации технологии нанесения комбинированных покрытий на посадочную поверхность охватываемой детали.

**Список литературы:** 1. Справочник единой номенклатуры промышленной продукции, изготавливаемой предприятиями Минтяжмаша / Утв. начальником ПЭУ Л.А. Бусяцкой - М.: 1984.- 176с. 2. 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. – No 2. – С. 74–82. 3. 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. 4. Плахтин В.Д. Термтехнология в металлургии. / В.Д. Плахтин - М.: «Металлургия», 1979, 84с. 5. Цеков В.И. Восстановление деталей металлургического оборудования / В.И. Цеков. – М. : Металлургия, 1977. – 152 с. 6. 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. No 23. – С. 240–247. 7. Спосіб обробки сполучуваних поверхонь деталей (варіанти): Пат. 66105. Україна. МПК В23Н 1/00 /В.С. Марцинковський, В.Б. Тарельник; Опубл. 10.04.08, Бюл. No 7.-3 с. 8. Способ обработки сопрягаемых поверхностей стальных и/или чугунных деталей: Пат. 2410212. Российская Федерация. МПК В23Н 9/00 / В.С. Марцинковский, В.Б. Тарельник, Е.В. Коноплянченко, И.А. Олейник; Опубл. 27.01.11, Бюл. No 3.-7 с. 9. Способ изготовления неподвижного соединения типа вал-ступица стальных деталей (варианты): Пат. 2501986. Российская Федерация. МПК В23Н 9/00 /В.С. Марцинковский, В.Б. Тарельник, М.П. Братушак, Опубл. 20.12.2013, Бюл. No 35.-14 с. 10. Лебедь В.Т. Проблемы и перспективы повышения качества крупногабаритных составных прокатных валков /В.Т. Лебедь, Н.В. Тарельник // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць. – Краматорськ, 2014. – Вип. No 34. – С. 42–50

**Bibliography (transliterated):** 1. *Guide unified nomenclature of industrial products manufactured by the enterprises of Mintime UTV.* chief PES L. A. Busacca - Moscow: 1984.- 176 p. 2. Lebed V.T. Arpentiev. M.B. *Assembly of large products with the use of heat.* Bulletin of National technical University "Kharkiv Polytechnic Institute".- Kharkov : NTU "KHPI", 2009. - No. 2. pp. 74-82. 3. Lebed V.T., Kulachenko A.A. *Technology thermal composite Assembly of large parts. Progressive technologies and systems engineering.* - Donetsk: Donetsk National Technical University, 2004.- Vol. 28. pp. 84-94. 4. Plahin V. D. *Terotechnology in metallurgy.* - Moscow: metallurgy, 1979, p. 5. Cekov V.S. *Restoration of parts of metallurgical equipment.* - Moscow : Metallurgy, 1977. - 152 p. 6. Lebed V.T., Kulachenko A.A. *Optimization of the coating in the joints of large composite rolls to increase the bearing capacity.* Instrument reliability and optimization of technological systems : proceedings of science. labors. - Donetsk - Kyiv, 2008. - Vol. 23. pp. 240-247. 7. *Method of machining the mating surfaces of the parts (options):* Pat. 66105. Ukraine. IPC VN 1/00 /V.S. Martsinkovsky, V.B. Tarelnik; Publ. 10.04.08, bull. No. 7.-3 p. 8. *Method of machining the mating surfaces of the steel and/or cast iron parts:* Pat. 2410212. Of The Russian Federation. IPC VN 9/00 / V.S. martsinkovsky, V.B. Tarelnik, E. V. Konoplynenko, I.A. Oleinik; Publ. 27.01.11, bull. No. 3.-7 p. 9. *A method of making a fixed connection type shaft-hub steel parts (options):* Pat. 2501986. Of The Russian Federation. IPC VN 9/00 /V. S. Martsinkovsky, V. B. Tarelnik, M. P. Bratushak, Publ. 20.12.2013, bull. No. 35.-14 p. 10. Swan V. T., Tarelnik N. I. *Problems and prospects of improving the quality of large composite rolls.* Instrument reliability and optimization of technological systems : proceedings of science. labors. - Kramatorsk, 2014. - Vol. No. 34. pp. 42-50.

Поступила (received) 01.03.2015

**Лебедь Владимир Тимофеевич** – док. техн. наук, ДГМА, Краматорск;

**Тарельник Н. В.** – канд. экон. наук, доц. Сумського НАУ, Сумы;

**Лашкарев Олег Николаевич** - директор производства ЗАО «Ижметмаш»;

**Ропьяк Любомир Ярославич**– канд. техн. наук, доц., Ивано-Франковского НТУ нефти и газа .