

В. Т. Лебедь, д-р техн. наук, доц.; А. В. Разживин, канд. техн. наук, доц. (Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск, Украина)

Совершенствование процесса и метода контроля демонтажа крупногабаритных составных изделий

В статье рассмотрены вопросы совершенствования технологического процесса реинжиниринга крупногабаритных составных прокатных валков, в частности, улучшение процесса базовой операции нагрева бандажей демонтируемых составных прокатных валков. Анализ результатов теоретических исследований нагрева охватываемых изделий под демонтаж/ сборку, а также учет конструктивных особенностей демонтируемого изделия и печи скоростного нагрева позволяют усовершенствовать процесс реинжиниринга крупногабаритных составных прокатных валков, относящихся к телам вращения, обеспечивая при этом существенное снижение показателей энергозатрат.

Ключевые слова: реинжиниринг, составные крупногабаритные прокатные валки, процесс теплового демонтажа, нагревательные печи, охватываемые и охватываемые детали составных изделий, контроль, вихревые датчики.

У статті розглянуті питання вдосконалення технологічного процесу реінжиніринга великогабаритних складених вальцювальних валків, зокрема, поліпшення процесу базової операції – нагріву бандажів складених вальцювальних валків, що демонтуються. Аналіз результатів теоретичних досліджень нагріву охоплюючих виробів під демонтаж/складання, а також облік конструктивних особливостей демонтованого виробу та печі швидкісного нагріву, дозволяють удосконалити процес реінжиніринга великогабаритних складених вальцювальних валків, які відносяться до тіл обертання, забезпечуючи при цьому істотне зниження показників енерговитрат.

Ключові слова: реінжиніринг, складені великогабаритні вальцювальні валки, процес теплового демонтажу, нагрівальні печі, охоплюючі та охоплювані деталі складених виробів, контроль, вихроструміві датчики

The problems of technological process improvement of re-engineering of forming rolls large-size components, in particular, improvement of process of basic operation concerning bracers heating of dismantled component of forming rollers are considered in the article. Analysis of the obtained results of theoretical researches concerning the external items heating in the process of dismantling/ assembling, and taking into account structural features of the dismantled items and stove of speed heating, make it possible to improve large-size component forming rolls, that are related to the bodies of rotation, providing the substantial decrease of power inputs indexes.

Keywords: re-engineering, large-size component forming rolls, process of thermal dismantling, heating stoves, external and internal details of component items, control, eddy current probes.

Постановка задачи исследований

Одним из актуальных вопросов совершенствования комплексного процесса реинжиниринга крупногабаритных составных прокатных валков (КГСПВ) (рис. 1) [1] является оптимизация процесса нагрева при демонтаже (разборке) такого изделия.

В 60-е годы XX столетия на ряде металлургических комбинатов (Магнитогорском, Новолипецком, Алчевском, «Запорожстали», Мариупольском им. Ильича и др.) был внедрен в производство процесс восстановления рабочих поверхностей моноблочных прокатных валков путем их наплавления [2]. Аналогичными работа-

ми занимались и ряд зарубежных фирм, такие как «Бритиш стил» (Великобритания), «Техас Эллоу продактс», Хьюстон (США) [3].

Известны технологии перебандажирования, разработанные на ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» и ООО «Южно-Уральский машиностроительный завод» [4, 5]. Имеются проработки по многократному использованию равнозначных типоразмеров составных валков, а также по использованию составных валков с комплектом сменных бандажей на зарубежных предприятиях, таких как «Юнион электрик стил» (США), «Кобе стил» (Япония).

Учитывая современные условия, при которых стоимость энергоносителей имеет тенденцию

к постоянному росту, применение энергосберегающих технологий становится актуальным вопросом. Обзор источников технической информации, анализ рынка сырья и возможностей потенциальных заказчиков на исследуемый вид продукции показывают, что имеется большой потенциал снижения затрат при реинжиниринге КГСПВ в процессе их производства [3].

В процессе демонтажа используются нагревательные печи горизонтального типа (рис. 2, а) [6], где составное изделие загружается на поддон и, в соответствии с графиком ведения процесса производится его нагрев. Для исключения нагрева охватываемой детали выполняется частичная защита: термоизоляция

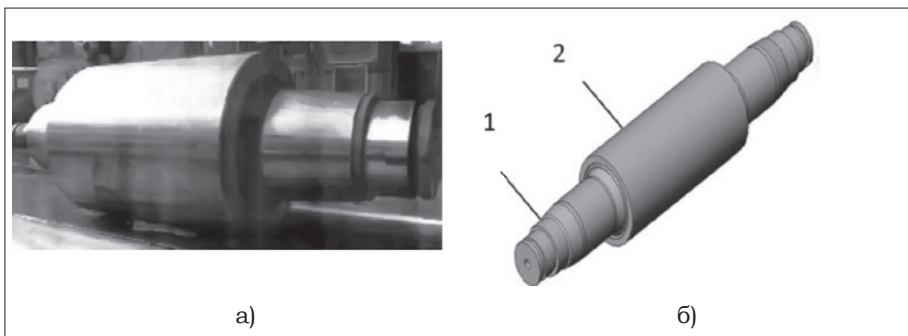


Рис. 1. Общий вид (а) и схема (б) конструкции составного прокатного вала: 1 – ось вала; 2 – бандаж

конусных шеек охватываемой детали (оси). Это составляет определенную проблему, связанную с прогревом охватываемой детали, которая исключается при нагреве в печи скоростного нагрева (ПСН) (рис. 2, б).

По результатам исследования процессов разъединения на серии моделей прокатных валков, отработавших ресурс по рабочей поверхности, а также КГСПВ, вышедших из эксплуатации вследствие аварийной ситуации, была отработана технология тепловой разборки без разрушения целостности охватывающей и охватываемой деталей (ООД) натуральных крупногабаритных составных изделий (КГСИ) массой 89 т. (рис. 1) с использованием нагревательной печи (рис. 2, а и 3).

Процессу разборки (рис. 4) предшествовал комплекс подготовительных работ, связанных с монтажом на хвостовой части вала технологической грузоподъемной оснастки и фиксации теплоизоляционного материала на конусных частях оси вала.

При доведении угла свыше 45° от линии горизонта подъема изделия с установленной грузо-



Рис. 2. Нагревательные печи: а) – нагревательная печь с выкатным подом, используемая для нагрева КГСПВ; б) – печь скоростного нагрева валков [7]

подъемной оснасткой, осуществляется процесс смещения (разъединения) бандажа с осью (осью) вала (рис. 4, 5).

Первоначально представленный процесс разборки изделия был реализован на одном из опорных прокатных валков «Толстолистового стана 3600» металлургического комбината «Азовсталь».

При разработке и исследовании процесса разъединения КГСПВ были также учтены результаты изучения демонтажа среднегабаритных прокатных валков [8].

Тепловой способ демонтажа предусматривал нагрев аналогичного СПВ в вышеуказанной печи (рис. 2, а), прогретой до температуры 800 °С, с последующей выдачей его из печи (рис. 3) и соответствующим подъемом за оснастку изделия (рис. 4 и 5). Процесс разборки по указанной технологии был произведен на партии КГСПВ и доведен до промышленного использования.

Проведенные результаты замеров демонтированных деталей (охватываемых и охватывающих) после отработки ресурса СПВ и их сопоставления с размерами, согласно технической документации, позволили обобщить такие измерения и скорректировать теоретические расчеты.

Традиционно процесс нагрева выполнялся в горизонтальной нагревательной печи (рис. 2, а). Целесообразно рассмотреть и реализовать нагревательный процесс с использованием ПСН (рис. 2, б), что позволит оптимизировать про-



Рис. 3. Нагретый валок под демонтаж на выкатном поде, перед съемом



Рис. 4. Операция разъединения бандажа с осью СПВ массой 89 т.



Рис. 5. Укладка демонтированной оси вала на прокладки в пролете цеха

цесс нагрева изделия под демонтаж и повысить культуру производства при ведении технологического процесса реинжиниринга.

В условиях ПАО «НКМЗ» установлена и находится в эксплуатации ПСН (рис. 2, б) [7], предназначенная для форсированного газопламенного нагрева поверхности бочки вала. Комплекс печи оснащен двумя сменными модулями (камерами).

В зависимости от типоразмера изделия возможно установление одной из 2-х камер при максимальной массе вала до 100 т.

Для отработки технологических параметров нагрева охватываемой детали (бандажа) была рассмотрена и решена термомеханическая задача [9], которая позволила обеспечить более качественные показатели прогрева изделия.

Поскольку важной составляющей технологического процесса является нагрев, то исследование и анализ результатов расчета (рис. 6) этого процесса позволяет оптимизировать температуры и время нагрева, что обеспечивает экономию энергоресурсов.

Целью анализа теплового процесса была фиксация (с интервалом в каждый час) изменений температурных полей и напряжений при нагреве оси и бандажа, корректирование цикла нагрева и охлаждения для получения требуемого соединения. Нагрев деталей составных валков проводился по времени, согласно заданным технологическим схемам.

Расчет выполнен с помощью метода конечных элементов в программном комплексе ABAQUS / Standard [10].

Для решения тепловой задачи по ABAQUS рассматривалась осесимметричная задача, применение которой давало возможность значительно уменьшить число степеней свободы и, соответственно, позволяло упростить системы дифференциальных уравнений. Расчет теплового бандажирования вала проводился для различных форм сопрягаемых поверхностей.

Исходные данные:

- номинальный диаметр посадочной поверхности оси вала $D_0 = 980$ мм;

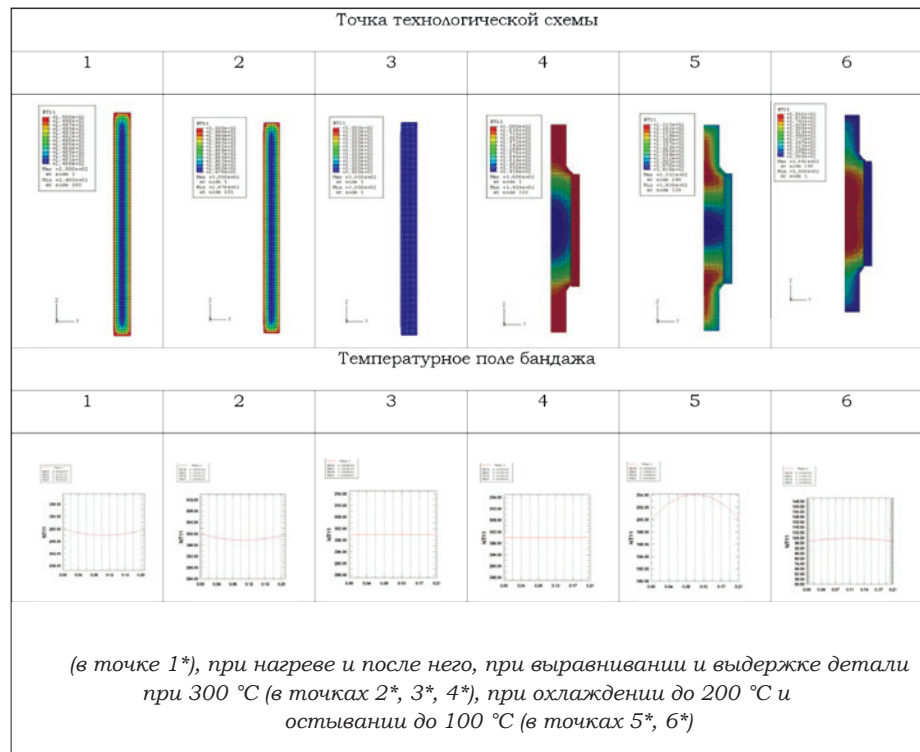


Рис. 6. Распределение температуры по толщине бандажа при его нагреве до 250 °С

- наружный диаметр бандажа $D_0 = 1400$ мм;
- длина посадочной поверхности вала $L = 2800$ мм;
- материал бандажа вала – сталь 90ХФ.

Результаты расчетов приведены на рис. 6.

Нагрев деталей вала (в частности, охватываемых деталей – бандажей) происходит в нагревательном устройстве печного типа. Бандаж, перед процессом тепловой сборки, вводится в предварительно нагретую до 200 °С печь и в течении восьми часов нагревается, затем выдерживается при этой температуре 10 часов. Далее производится сборка охватываемой и охватываемой деталей [6].

Разработка методики демонтажа с учетом решения термомеханических задач и отработка процессов разборки были выполнены на ряде КГСПВ, отработавших ресурс по рабочей поверхности.

При работе ПСН необходимо обеспечение равномерного нагрева поверхности бандажа вала, размещенного в рабочем модуле, что требует тестирования работы горелок.

С помощью компьютера выполняется ввод технологических

параметров ведения процесса нагрева.

После установки составного вала на люнет ПСН предусмотрен следующий перечень операций:

- согласно разработанной технологии в компьютер вводятся исходные параметры технологического процесса теплового нагрева охватываемой детали изделия под демонтаж;
- обеспечивается (согласно нормативам) расход газа для нагревательной печи;
- нижние части вставок переводятся в рабочее положение;
- выставляются упоры торцевого ориентирования;
- включается вращение и проверяется реверс;
- закрывается крышка печи;
- на вставки подается воздух и включается вентиляция;
- нагрев производится по заданной технологии.

Процесс нагрева бандажа составного вала под демонтаж целесообразно проводить в автоматическом режиме.

Актуальным вопросом при демонтаже крупногабаритного составного прокатного вала является отслеживание момента

разъединения ООД. Однако непосредственно проконтролировать момент процесса разъединения в процессе нагрева составного изделия ПСН сложно. В связи с этим становится актуальной задача разработки метода косвенного контроля установления момента разъединения сопрягаемых поверхностей.

При решении поставленной задачи рассмотрены и проанализированы возможные методы установления момента разъединения охватываемой и охватывающей деталей применительно к производственным условиям предприятий тяжелого машиностроения.

Процесс разъединения составного изделия в результате нагрева в ПСН сопровождается излучением звуковой энергии «глухим звуком», возникающей вследствие соударения. Сила звука, излучаемого отделяющимся бандажом, зависит от массовых характеристик охватываемой и охватывающей деталей КГСРВ. Данный физический эффект позволяет производить контроль процесса разъединения с помощью звуковых индикаторов. Звукометрические индикаторы измеряют общий уровень при вращении изделия в ПСН или интенсивность той части звукового спектра, которая, наиболее точно характеризует заполнение разъединение бандажа [11].

Структурная схема электроакустического индикатора состоит из микрофона 1, усилительно-преобразующего блока 2, вторичного прибора 3, потенциометра 4 (рис. 7).

Звукометрические датчики характеризуются следующим рядом недостатков:

- влияние производственного шума и низкая помехоустойчивость;
- сложность, громоздкость и высокая стоимость оборудования;
- влияние на показания датчика износа приводной системы вращения изделия.

Это приводит к тому, что звукометрические датчики допускают большие погрешности в работе и в ряде случаев, как показывает опыт эксплуатации, оказываются неработоспособными в производ-

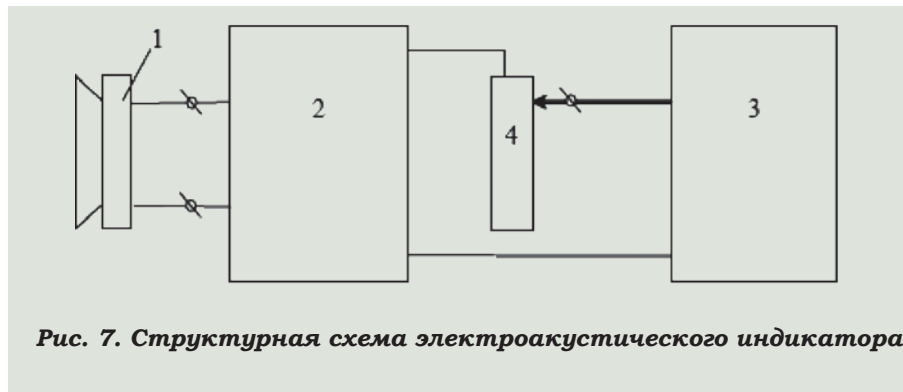


Рис. 7. Структурная схема электроакустического индикатора

ственных условиях.

Теоретически возможно контролировать отделение бандажа от поверхности вала по активной мощности электродвигателя приводных роликовых опор. В качестве измерителя активной мощности можно применять стандартные приборы. Это является достоинством предлагаемого способа.

Следует также отметить, что активная мощность является функцией веса вращаемого тела в ПСН, а также отклонением центра его тяжести от вертикальной оси симметрии при отделении бандажа, что приведет к отклонению сил внутреннего трения об опорные приводные ролики. Такой эффект будет вызывать изменение силы тока в роторной обмотке приводного электродвигателя. Следовательно, при отделении бандажа прогнозируется наблюдение равномерных скачков силы тока в роторе электродвигателя привода опорных роликов. Однако, изменения активной мощности (силы тока) на электродвигателе могут быть вызваны также эффектом проскальзывания шейки вала на приводных роликовых опорах в зависимости от их степени износа.

Поскольку в процессе нормальной работы привода вращения вала вышеуказанные факторы являются переменными величинами, силы внутреннего трения изменяются, и однозначно судить о моменте разъединения посадочных поверхностей бандажа и оси вала по активной мощности электродвигателя привода роликов не целесообразно.

При пассивном наблюдении рассматриваемого технологиче-

ского процесса следует отметить, что в момент разъединения наблюдаются вибрация шеек вала, находящихся на опорных роликах. Данный эффект вызван изменением траектории движения бандажа с вращательной на параболическую.

При контроле вибрации вызванной смещением бандажа с оси вала, целесообразно использовать вихретоковые измерители для контроля осевого смещения и радиального биения вала [12], либо на подшипниках приводных роликов. Применение для этих целей датчиков скорости и ускорения допустимо, но нецелесообразно, вследствие слабого отклика на низких частотах (< 10 Hz) и значительного поглощения вибрации массивным объемом изделия, поскольку в результат вносится большая величина погрешности. Вихретоковый метод напротив обладает исключительной точностью, поскольку не только не имеет нижнего предела по частоте, но и не требует математической обработки результатов измерения ввиду прямого соответствия выходного сигнала текущему смещению бандажа с вала.

Рассматривается для измерения величины радиальной вибрации использование двух датчиков установленных перпендикулярно оси вала и развернутых друг относительно друга на 90 градусов (рис. 8).

Данный метод измерения является практически безынерционным, поскольку скорость получения информации с преобразователя равна скорости распространения и взаимодействия электромагнитных полей в рассматриваемой металлической сре-

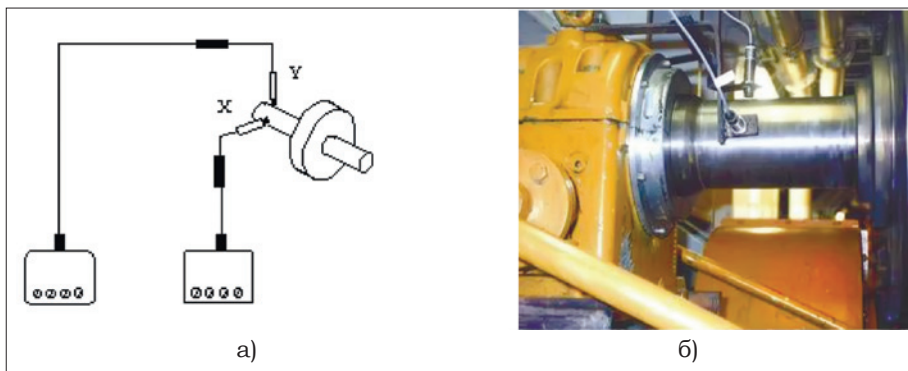


Рис. 8. Схематическое (а) и иллюстрационное (б) размещение датчиков контроля вибрации

де валка. Пределы измерения частот вибрации данным способом находятся в диапазоне от нуля до сотен килогерц, что позволяет выделить реакцию измерительной системы, по частотному спектру колебаний, вызванных разделением охватывающей и охватываемой деталей составного прокатного валка.

Предложенное ортогональное X-Y размещение датчиков повышает потенциал диагностических возможностей, поскольку при наличии соответствующих средств мониторинга позволяет визуально наблюдать траекторию движения шеек валка в радиальной плоскости.

После окончания процесса «выдержки» в ПСН производится:

- подъем механизма торцевого ориентирования;
- прекращение вращения;
- вывод нижних частей вставок из рабочего положения;
- отключение горелок при открытии крышки печи;
- передача валка на демонтаж.

Валок укладывается на подложки с предварительно подложенной(ым) керамоволокнистой футеровкой (асбестовым полотном) и производится замер величин температуры в ряде точек по образующей бандажа. Далее выполняется процесс демонтажа изделия (рис. 4, 5).

Выводы

В результате проведенных комплексных исследований, экспериментов на моделях изделий и на ряде типоразмеров натурных

КГСПВ разработаны рекомендации по совершенствованию процесса и метода контроля демонтажа крупногабаритных составных изделий, которые заключаются в следующем:

1. На основе моделирования процесса тепловой сборки и демонтажа СПВ и решения температурно-контактной задачи в среде программного комплекса ABAQUS / Standard уточнены технологические параметры нагрева охватывающей детали под сборку и демонтаж.

2. На основе скорректированных технологических параметров процесса демонтажа применительно к КГСПВ установлена возможность использования, при выполнении операции разборки этих изделий, нагревательной печи скоростного нагрева.

3. Обосновано использование вихретоковых датчиков для установления момента разъединения бандажа от оси валка при выполнении операции разборки изделий типа КГСПВ, что позволяет при наличии соответствующих средств мониторинга визуально наблюдать траекторию движения шеек валка в радиальной плоскости.

Список литературы:

1. Планета НКМЗ. Часть II. Энциклопедия / рук. проекта В. Жулий, авт. – сост. В. Зорина. – Краматорск, 2009. – 399 с.
2. Повышение работоспособности наплавленных опорных валков НРС горячей прокатки / [Ветер В. В. и др.] // Сталь. – 1986. – № 7. – С. 54–56.
3. Маслов А. А. Повышение стойкости и методы восстанов-

ления прокатных валков за рубежом / А. А. Маслов // Экспресс-информация. – М.: Центральный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований черной металлургии, 1975. – 24 с.

4. Патент РФ № 2147947 В21В28 / 02. Способ подготовки к эксплуатации комплекса составного валка / [А. Ю. Фиркович и др.]. – опубл. 27.04.2000.

5. Повышение стойкости опорных валков станов горячей прокатки / [И. В. Боровников и др.] // Сталь. – 2001. – № 1. – С. 55–57.

6. Лебедь В. Т. Ресурсосбережение в тяжелом машиностроении. Реинжиниринг крупногабаритных изделий: монография / В. Т. Лебедь, А. А. Пермяков, А. Н. Шелковой. – Краматорск: ДГМА, 2015. – 301 с.

7. Планета НКМЗ. – Донецк: Типография ООО «Новый Мир», 2004. – 210 с.

8. Демонтаж составных прокатных валков методом форсированного нагрева / [Ю. А. Грушко, Н. А. Адамова, Ю. А. Карасюк, С. А. Новачук] // Сталь. – 1989. – № 7. – С. 64–66.

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

10. Complex of certainly element general-purpose programs, designed by the company «Hibbit, Karlsson & Sorensen, Inc» (HKS, USA). License N44 of JSC «НКМЗ». – November 2003. – 742 p.

11. Измерения в промышленности: Справ. изд. в 3-х кн. кн. 3. Способы измерения и аппаратура: Пер. с нем. / Под ред. Профоса П. – [2-е изд. перераб. и доп.]. – М.: Металлургия, 1990. – 344 с.

12. Приборы и системы измерения вибрации, шума и удара: Справочник в 2-х кн. кн. 1 / [под ред. В. В. Клюева]. – М.: Машиностроение, 1978. – 448 с.