

DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-7-100-109

**Тимофеев С.П.**

ООО «Промзапчасть»

E-mail: Timofeevsp@inbox.ru

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТА БАНДАЖЕЙ ЦЕМЕНТНЫХ ПЕЧЕЙ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ ОБРАБАТЫВАЮЩЕГО МОДУЛЯ

**Аннотация.** При эксплуатации крупногабаритных обжиговых печей цементных заводов из-за конструктивных особенностей и условий эксплуатации происходит постоянный износ поверхностей катания его опор, состоящих из опорных роликов и бандажей. Снижение точности формы, вызванное износом данных поверхностей, может привести к искажению формы всего агрегата и выходу его из строя. Для устранения износа и приведения формы опор до нормативных величин геометрических допусков существуют различные технологические процессы механической обработки. Наиболее эффективными из них являются бездемонтажные мобильные технологии ремонта. Отличительной особенностью данного вида технологических процессов является то, что выполнение механической обработки поверхности катания опор производится непосредственно во время технологического вращения обжиговых печей, без их остановки.

При условии применения существующих методов измерения формы поверхности катания бандажей показана возможность повышения эффективности их механической обработки за счет комплексного применения новой конструкции обрабатывающего модуля и программного модуля для построения маршрута и расчета технологических режимов резания. В работе рассмотрены основные этапы и способы выполнения нового технологического процесса механической обработки поверхности катания бандажей обжиговых печей.

**Ключевые слова:** механическая обработка бандажей, мобильные технологии ремонта, технологическая наследственность, базирование, исправление формы.

**Введение.** В широком спектре отраслей промышленности применяются крупногабаритные вращающиеся технологические барабаны, например, протирочные машины на целлюлозно-бумажных заводах или обжиговые печи на цементных заводах. Особенностью эксплуатации данных агрегатов является повышенный износ поверхностей катания их опор, состоящих из опорных роликов и бандажей. Вызванное этим снижение точности формы данных поверхностей приводит к повышению энергозатрат производства, нестабильности оси вращения агрегата и последующему разрушению деталей и узлов. Поэтому правилами эксплуатации обжиговых печей на цементных заводах предусмотрены обязательный периодический плановый контроль, с целью поддержания нормативного технического состояния бандажей и опорных роликов. Для этого производится определенный ряд работ, которые могут выполняться, как во время монтажа, так и в процессе эксплуатации. Своевременная диагностика состояния опор и их ремонт являются неотъемлемой частью эксплуатации агрегатов

Приведение формы опор до нормативных величин геометрических допусков на практике наиболее часто осуществляется за счет

применения мобильных (безрамных) технологий механической обработки [1, 2, 3]. Данный вид технологии ремонта производится на работающем оборудовании и является наиболее экономичным в виду отсутствия необходимости остановки производства и демонтажа изношенных деталей, однако имеющим ряд конструктивных и эксплуатационных особенностей. Одной из них является необходимость базирования обрабатывающего модуля непосредственно по поверхности катания бандажа [1, 2], в частности по причине не стационарности оси вращения всего агрегата. В свою очередь, указанный вид базирования накладывает целый ряд требований:

– Применение специализированного оборудования с соответствующей конструкцией, обеспечивающей необходимый тип базирования;

– Применение специальных методик расчета и назначения технологических режимов резания;

– Применение специальных методов контроля и диагностики поверхности катания бандажа для эффективного выполнения процесса механической обработки.

**Материалы и методы.** На данный момент в конструкциях обрабатывающих модулей наиболее распространены следующие

конструктивные решения, позволяющие обеспечить их базирование непосредственно по обрабатываемой поверхности:

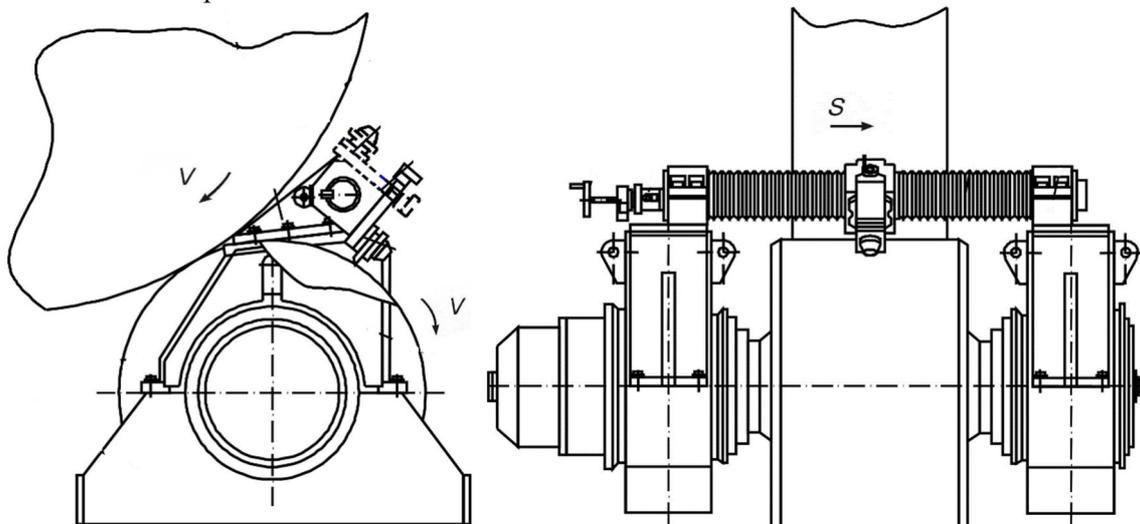


Рис. 1. Встраиваемый станочный модуль (БГТУ им. В.Г. Шухова, сертификат № 5479934)

Станочный модуль жестко монтируется в подбандажном пространстве между корпусами роликовых опор, либо на корпусе одной из них (рис. 1). Таким образом, его базирование на обрабатываемую поверхность осуществляется по двум роликовым опорам, с которыми жестко связан станочный модуль. Особенностью механической обработки, с использованием данного вида базирования, является совместное влияние погрешности формы продольного и поперечных сечений поверхности катания бандаж и обоих роликовых опор на точность и эффективность обработки. В случае выполненных при выверке оси вращения обжиговой печи разворотов и уклонов

1. Использование роликовых опор как технологической базы (рис. 1).

роликовых опор выполнение обработки с монтированием станочного модуля на корпусе одной из опор сильно затруднено, так как требует длительного процесса выверки оси перемещения режущего инструмента. Данная конструкция обрабатывающего модуля не имеет возможности отслеживания всех пространственных перемещения обрабатываемой поверхности, что может привести к чрезмерному увеличению глубины резания и поломке режущего инструмента или узлов станка.

2. Использование копировальной рамы с режущим инструментом (рис. 2)

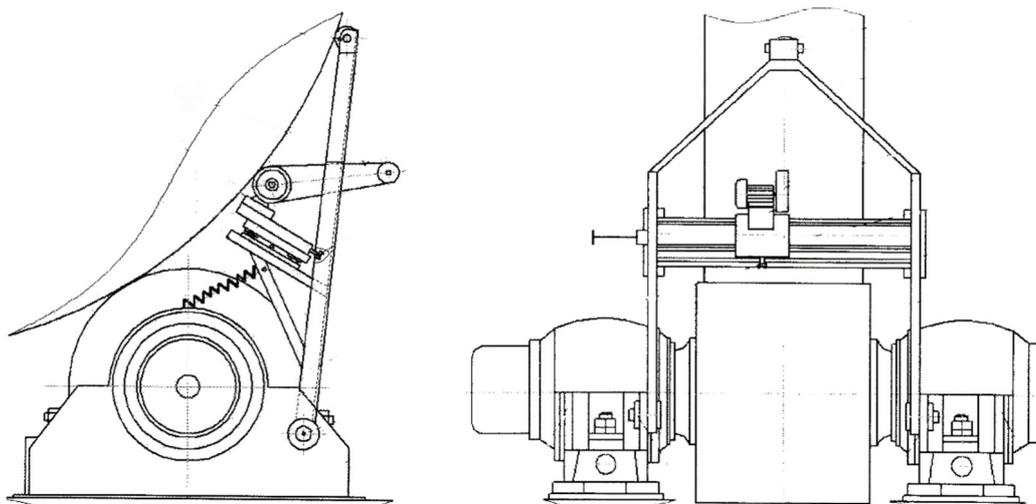


Рис. 2. Шлифовальный переносной станок (БГТУ им. В.Г. Шухова, Патент № 162422)

В данной случае, базирование обрабатывающего модуля осуществляется по одному опорному ролику и копирующему ролику, установленному сверху копировальной рамы.

Приведенный тип базирования, и соответствующая конструкция станочного модуля обеспечивают режущему инструменту возможность копирования радиальных

перемещений поверхности катания бандажа, за счет копировальной рамы, шарнирно закреплённой на корпусе роликовой опоры и подпружиненного кронштейна. Особенностью механической обработки, с использованием данного вида базирования, является совместное влияние погрешности формы продольного сечения поверхности катания бандажа и роликовой опоры на точность и эффективность обработки. Кроме того, также в случае наличия

разворотов и уклонов опорных роликов относительно оси вращения обжиговой печи, выполненных при её выверке, выполнение обработки сильно затруднено или вовсе невозможно, так как требует выполнения выверки оси перемещения режущего инструмента.

3. Использование динамического самоустанавливающегося суппорта (рис. 3 и 4).

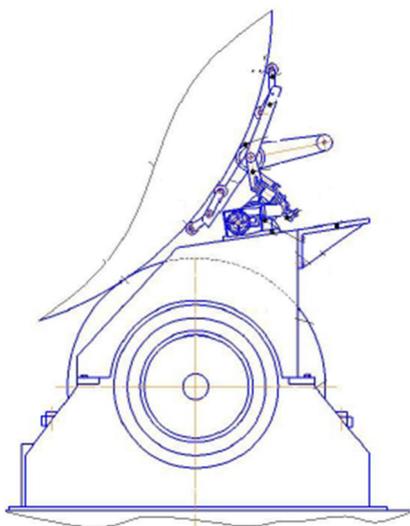


Рис. 3. Универсальный встраиваемый станок УВС-01 с ДСС (БГТУ им. В.Г. Шухова)

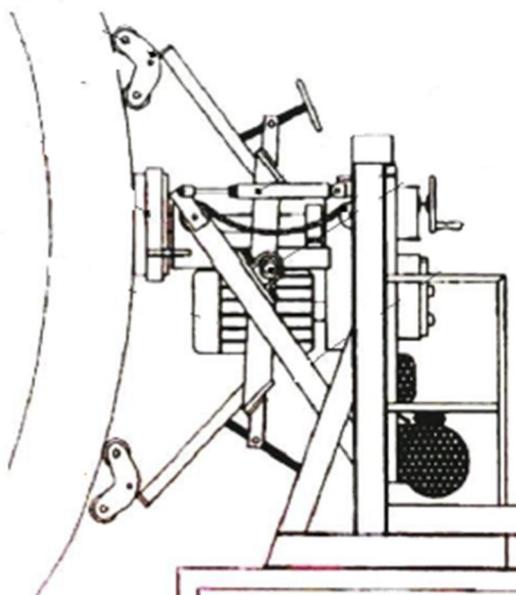


Рис. 4. Шлифовальный переносной станок компании Phillips Kiln Services LTD

В данном случае, базирование обрабатывающего модуля осуществляется по опорным роликам или кареткам с несколькими опорными роликами, расположенным на концах динамического самоустанавливающегося (следающего) суппорта, жестко совмещенного с суппортом режущего инструмента. В конструкции обрабатывающего модуля динамический самоустанавливающийся суппорт

установлен таким образом, чтобы иметь возможность обкатывания по поверхности катания бандажа, обеспечивая режущему инструменту возможность копирования её радиальных перемещений. Особенностью механической обработки, с использованием данного вида базирования, является постоянное увеличение снимаемого припуска на обработку (спиральное врезание), за каждый оборот

обрабатываемой поверхности. Данная особенность обусловлена тем, что базирование обрабатываемого модуля производится непосредственно по тому же участку поверхности, на котором и выполняется удаление припуска. В общем случае, это может привести к уменьшению периода эксплуатации и сокращению возможного количества восстановительных механических обработок из-за существенного уменьшения толщины стенки бандажа. Для устранения данного недостатка применяют различные поправочные коэффициенты на глубины резания [1, 2].

Кроме того, существует большое количество других технологических и конструктивных решений для выполнения механической обработки поверхностей катания бандажей обжиговых печей [4, 5, 6, 7].

В работе рассмотрены основные этапы и способы выполнения нового технологического процесса механической обработки поверхности катания бандажей обжиговых печей, при условии применения существующих методов измерения формы поверхности катания бандажей.

Из существующего спектра методов и средств измерения геометрических характеристик поверхности катания бандажей можно выделить две основные группы: с непосредственным измерением профиля поперечного сечения и без измерения профиля поперечного сечения. Так, например, распространенными являются работы по контролю точности формы данных

поверхностей с использованием теодолитов. В указанном случае выполняется оценка необходимости проведения ремонтных работ по фиксируемому биению поверхности, на которую в общем случае влияет не только искажение формы самой поверхности катания бандажа, но также опорных роликов и всего агрегата в целом. При данном виде работ измерение профиля поперечных сечений поверхности не производится. Для нового технологического процесса механической обработки требуются методы и средства измерения с возможностью получения данных по контуру поперечного сечения поверхности, например, приведенная в [8]. Данная оригинальная методика измерения заключается в анализе результатов многократного измерения расстояния до контролируемой поверхности с одной точки.

В работах [9, 10, 11, 12] приведены ряд решений по устранению недостатков существующих технологических процессов ремонта поверхности катания бандажей обжиговых печей, в частности устранение негативных факторов, вызванных применяемым типом базирования и соответствующей конструкции обрабатывающих модулей. Данная технология ремонта, предполагает применение новой конструкции обрабатываемого модуля [9] (рис. 5) совместно математическим моделированием процесса механической обработки для расчета технологических режимов резания на основе информации о геометрических характеристиках всей поверхности катания бандажей [13].

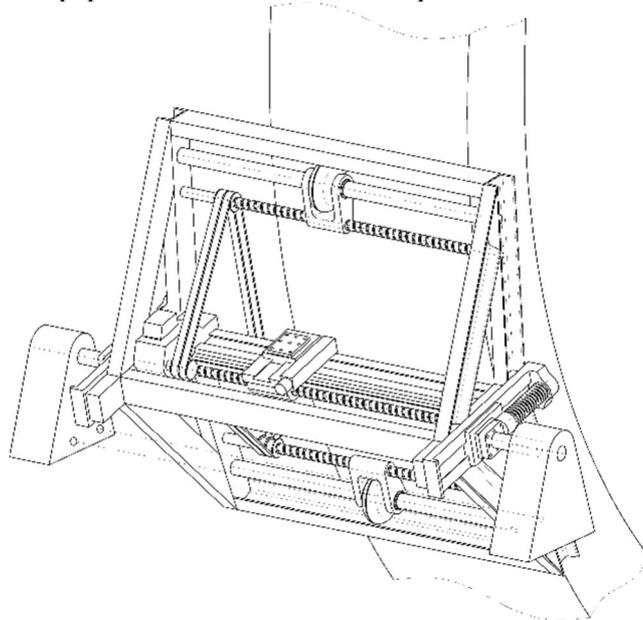


Рис. 5. Принципиальная конструкция обрабатываемого модуля (БГТУ им. В.Г. Шухова, патент № 191596)

Особенностью, приведенной на рис. 5 конструкции обрабатываемого модуля, является возможность перемещения режущего

инструмента вдоль оси вращения бандажа независимо от опорных узлов. Благодаря этому возможно обеспечение постоянной, не

изменяющейся технологической базы на технологический переход, с возможностью точного позиционирования режущего инструмента относительно обрабатываемой поверхности. Также в предложенную конструкцию обрабатывающего модуля может быть интегрирован модуль измерения и контроля. В таком случае получаемые данные о форме поверхности могут напрямую передаваться в модуль обработки данных для произведения необходимых расчетов и корректировки технологических режимов механической обработки.

Особенностью математического моделирования процесса механической обработки на основе информации о геометрических характеристиках всей поверхности катания бандажей, является возможность расчета технологических режимов механической обработки обеспечивающих минимизацию припуска с обработкой до размера

вписанного цилиндра, без его уменьшения. Кроме того, выполняется расчет максимальной глубины резания на каждый технологический переход, что позволяет задать безопасную глубину резания и определить необходимое количество рабочих ходов.

Описанная в [9, 10, 11, 12] технология с комплексным применением средств математического моделирования со средствами для механической обработки и контроля, более чем оправдана в случае, когда поверхность катания бандажа имеет сильный износ. Например, при чрезмерном износе оборудования и искажении оси вращения бандажа, в виду деформации всей конструкции обжиговой печи. В таком случае поверхность катания бандажа имеет сложно-деформированную форму, выражающуюся в одновременном искажении формы профилей продольного и поперечных сечений (рис. 6).

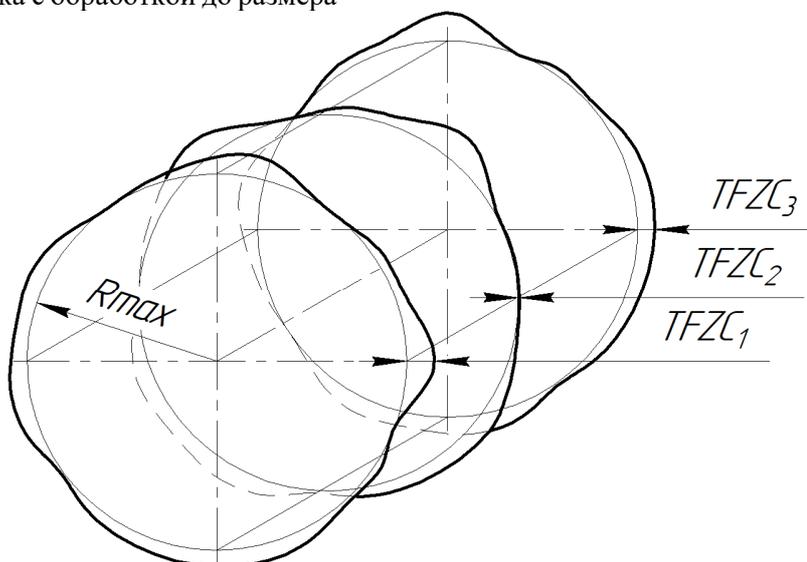


Рис. 6. Искажение формы поверхности катания ( $TFZC$  - величина отклонения реальной поверхности от вписанного в неё кругового цилиндра с радиусом  $R_{max}$  [14])

Согласно предложенной новой технологии для таких сильно изношенных поверхностей наиболее эффективным является получение путем механической обработки за минимальное количество технологических переходов участка поверхности с нормативной величиной отклонения формы поперечного сечения. Далее выполняется смена базирования обрабатывающего модуля на данный участок поверхности и обработка всей оставшейся поверхности. Тем самым обеспечивается единый профиль продольного сечения и минимизация припуска на обработку.

Однако, износ поверхностей катания для бандажей обжиговых печей при своевременном выполнении регламентных работ по техническому обслуживанию происходит более

равномерно. При этом искажение формы поверхности в продольном направлении близко к одному из указанных на рис. 7, а в поперечных сечениях условно близко к форме эллипса (рис. 8), причем их большие оси будут располагаться приблизительно в одной плоскости.

Тем самым, в случае небольшого износа поверхности катания бандажей, когда величина радиального биения поперечных сечений не превышает 2-х кратной величины от регламентных значений, возможно применение предложенной технологии без необходимости получения цифровой модели всей поверхности, с применением только уже существующих методов и средств измерения формы поверхности катания бандажей [15, 2].

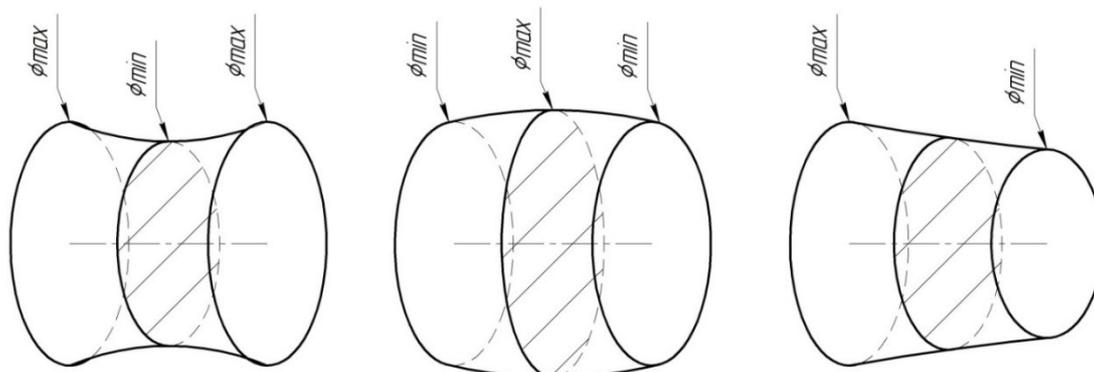


Рис. 7. Искажение формы продольного сечения

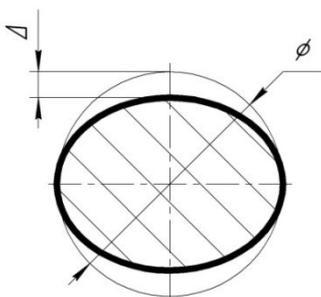


Рис. 8. Искажение формы поперечного сечения

Исходя из выше обозначенных исходных условий, технологический процесс механической обработки с применением новой конструкции обрабатывающего модуля (рис. 5) и программного модуля для математического моделирования процесса механической обработки следующий:

**Этап 1.** Для корректного назначения технологических режимов резания, перед выполнением механической обработки, необходимо выполнить измерение формы минимально необходимого набора поперечных

сечений поверхности катания бандажа обжиговой печи. Используя на практике способами, например, одним из описанных в [2, 8, 15], выполняется измерение профиля для трех поперечных сечений поверхности: 2-х расположенных по краям, отстоящих примерно на 50-100 мм от торца, и одного среднего;

**Этап 2.** Полученные данные измерения 3-х поперечных сечений передаются в программный модуль [7] для расчета величин погрешности формы и параметров вписанных окружностей (рис. 9).

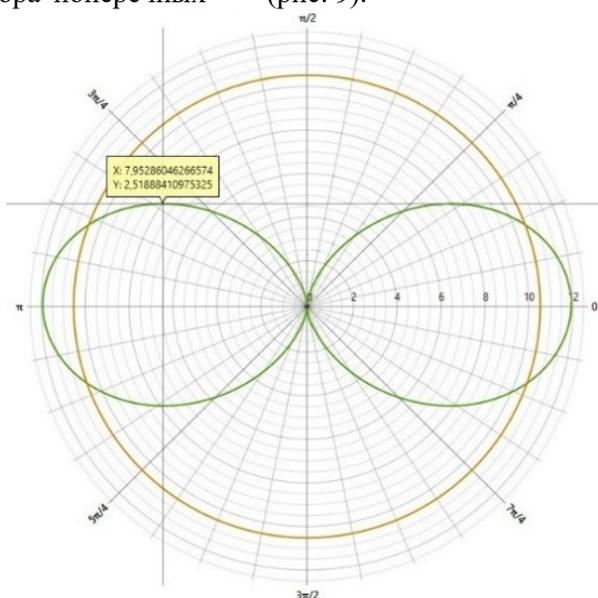


Рис. 9. Круглограмма отклонения от круглости контура поперечного сечения

**Этап 2.1.** По результатам расчета определяется соответствие типа профиля

**Этап 2.2.** Далее определяется поперечное

сечение поверхности с минимальным диаметром вписанной окружности. Данная окружность принимается как максимальный диаметр кругового цилиндра, вписанного в измеренную поверхность, а также как целевое значение для исправления формы поверхности при обработке;

**Этап 2.3.** Далее определяется сечение с минимальным значением радиального биения. Участок поверхности, в середине которого расположено данное сечение, достаточный для базирования опорных роликов обрабатывающего модуля (рис. 5), принимается за технологическую базу на первый технологический переход.

**Этап 3.** Посредством программного модуля выполняется расчет и построение маршрута механической обработки. С применением данного программного модуля возможно выполнить и поиск наиболее оптимальной стратегии удаления припуска на обработку с минимизацией основного технологического времени.

При расчете технологических режимов механической обработки для технологических переходов, на которых будет выполняться обработка поверхности в первый раз, учитывается изменение профиля продольного сечения и производится соответствующая корректировка глубины резания на каждый рабочий ход.

В маршрут механической обработки также закладываются операции контрольных измерений для сопоставления с расчетными данными по точности формы поперечных сечений и корректировки технологических режимов обработки при необходимости. Операции контрольных измерений обязательно выполняются после первого перехода и в конце механической обработки, для проверки правильности назначенных режимов обработки, и полученного результата соответственно. Контрольное измерение в конце механической обработки производится только для одного поперечного сечения, так как его профиль един для всей поверхности;

**Этап 4.** Непосредственное выполнение механической обработки поверхности катания бандажа по рассчитанному в программном модуле маршруту механической обработки.

**Заключение.** Выполнение механической обработки поверхности катания бандажей обжиговых печей, указанным выше способом для восстановления точности их формы, позволяет повысить эффективность за счет следующих факторов:

1. Обеспечивается технологическое наследование точности формы для всей

поверхности, что позволяет получить единый профиль продольного сечения всей поверхности;

2. Уменьшается величина удаляемого припуска на обработку, что также позволяет обеспечить больший срок эксплуатации оборудования;

3. Обеспечивается прогнозируемость результатов механической обработки, как по затрачиваемому времени, так и по итоговой точности формы поверхности.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мурыгина Л.В. Процесс восстановления формы опор качения вращающихся печей ленточно-абразивным способом: специальность 05.02.00 "Машиностроение и машиноведение": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Мурыгина Людмила Викторовна. Белгород, 2013. 215 с.

2. Хуртасенко А.В. Технология восстановительной обработки крупногабаритных деталей с использованием методов активного контроля: специальность 05.02.08 "Технология машиностроения": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Хуртасенко Андрей Владимирович. Белгород, 2007. 170 с.

3. Шрубченко И.В., Мурыгина Л.В. Восстановление формы поверхностей качения вращающихся печей ленточно-абразивной обработкой: Монография / Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2017. 216 с.

4. Бондаренко В.Н., Кудеников А.А., Куденикова М.В. Комплексный подход к ремонтной обработке поверхностей катания цементных печей // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2005. №11. С. 274–277.

5. Шрубченко И.В. Способы обработки поверхностей качения опор технологических барабанов с использованием мобильных технологий и оборудования: Монография / Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2006. 283 с.

6. Патент на полезную модель №109688 U1 Российская Федерация, МПК В24В 23/00. Устройство для обработки крупногабаритных цилиндрических поверхностей: № 2011121078/02: заявл. 25.05.2011: опубл. 27.10.2011 / А. В. Каспаров, С. Н. Шрубченко.

7. Патент на полезную модель № 58420 U1 Российская Федерация, МПК В23Q 1/76. Следящий суппорт: № 2006120063/22: заявл. 07.06.2006: опубл. 27.11.2006 / С. Н. Санин, В. Н. Бондаренко, А. А. Погонин; заявитель Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова).

8. Тюрин С.В. Контроль геометрии цилин-

дрических вращающихся промышленных объектов путем многократных измерений дальностей до их поверхности: специальность 25.00.32 "Геодезия": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Тюрин Сергей Вячеславович. Санкт-Петербург, 2006. 123 с.

9. Тимофеев С.П., Гаврилов Д.В., Хуртасенко В.А., Воронкова М.Н. Новая модель станка для обработки поверхностей крупногабаритных деталей-тел вращения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 8. С. 94–100. DOI:10.34031/2071-7318-2021-6-8-94-100

10. Тимофеев С.П., Гринек А.В., Хуртасенко А.В., Бойчук И.П. Технология механической обработки, цифровое моделирование и реализация устройства для контроля формы крупногабаритных деталей // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2022. Т. 24, № 2. С. 6–24. DOI:10.17212/1994-6309-2022-24.2-6-24

11. Тимофеев С.П., Хуртасенко В.А., Шрубченко И.В. Методика измерения формы наружной поверхности крупногабаритных деталей-тел вращения опор технологических барабанов // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2016. Т. 20, № 9(116). С. 35–45. DOI:10.21285/1814-3520-2016-9-35-45

12. Тимофеев С.П., Хуртасенко В.А., Шрубченко И.В. Расчет глубины резания при обработке поверхностей крупногабаритных деталей с нестационарной осью вращения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 2. С. 68–74. DOI:10.12737/article\_5a816bdf36bde2.06309800

13. Тимофеев С.П., Лесунов М.Е., Хуртасенко А.В., Маслова И.В. Методика и программное обеспечение для расчета погрешности формы цилиндрических поверхностей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 12. С. 151–161. DOI 10.34031/2071-7318-2019-4-12-151-161;

14. Гринек А.В., Тимофеев С.П., Кондратьев С.И., Хуртасенко А.В. Способ контроля параметров геометрической точности судовых валопроводов // Морские интеллектуальные технологии. 2020. № 3-1(49). С. 90–96. DOI:10.37220/МИТ.2020.49.3.011;

15. Маслова И.В. Дистанционная диагностика состояния восстанавливаемых поверхностей крупногабаритных объектов в процессе их эксплуатации: специальность 05.02.13 "Машины, агрегаты и процессы (по отраслям)", 05.02.08 "Технология машиностроения": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Маслова Ирина Викторовна. Белгород, 2013. 190 с.

*Информация об авторах*

**Тимофеев Сергей Петрович**, инженер-конструктор ООО «Промзапчасть». E-mail: Timofeevsp@inbox.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

*Поступила 29.05.2023 г.*

© Тимофеев С.П., 2023

**Timofeev S.P.**

LLC «Promzapchast»

E-mail: timofeevsp@inbox.ru

## IMPROVING THE EFFICIENCY OF CEMENT FURNACE BANDAGES REPAIR TECHNOLOGY THROUGH THE USE OF A NEW PROCESSING MODULE DESIGN

**Abstract.** During the operation of large-sized kilns of cement plants, due to the design features and operating conditions, there is constant wear of the rolling surfaces of its supports, consisting of support rollers and bandages. A decrease in the accuracy of the shape caused by the wear of these surfaces can lead to distortion of the shape of the entire unit and its failure. To eliminate wear and bring the shape of the supports to the standard values of geometric tolerances, there are various technological processes of mechanical processing. The most effective of them are non-dismountable mobile repair technologies. A distinctive feature of this type of technological processes is that the machining of the rolling surface of the supports is carried out directly during the technological rotation of the firing furnaces, without stopping them.

Subject to the use of existing methods for measuring the shape of the rolling surface of the bandages, the possibility of increasing the efficiency of their machining due to the integrated use of a new design of the processing module and a software module for constructing a route and calculating technological cutting modes is shown. The paper considers the main stages and methods of performing a new technological process of mechanical surface treatment of rolling bands of firing furnaces.

**Keywords:** mechanical processing of bandages, mobile repair technologies, technological heredity, basing, shape correction.

## REFERENCES

1. Murygina L.V. The process of restoring the shape of rolling bearings of rotating furnaces by a belt-abrasive method [Process vosstanovleniya formy opor kacheniya vrashchayushchihya pechej lentochno-abrazivnym sposobom]: special'nost' 05.02.00 "Mashinostroenie i mashinovedenie": dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. Murygina Lyudmila Viktorovna. Belgorod, 2013. 215 p. (rus)
2. Hurtasenko A.V. Technology of restorative processing of large-sized parts using active control methods [Tekhnologiya vosstanovitel'noj obrabotki krupnogabaritnyh detalej s ispol'zovaniem metodov aktivnogo kontrolya]: special'nost' 05.02.08 "Tekhnologiya mashinostroeniya": dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. Hurtasenko Andrej Vladimirovich. Belgorod, 2007. 170 p. (rus)
3. Shrubchenko I.V., Murygina L.V. Restoration of the shape of rolling surfaces of rotating furnaces by belt-abrasive treatment [Vosstanovlenie formy poverhnostej kacheniya vrashchayushchihya pechej lentochno-abrazivnoj obrabotkoj]: Monografiya. Belgorod: BSTU named after V.G. Shukhov, 2017. 216 p. ISBN 978-5-361-00275-7 (rus)
4. Bondarenko V.N., Kudenikov A.A., Kudenikova M.V. An integrated approach to the repair treatment of rolling surfaces of cement kilns [Kompleksnyj podhod k remontnoj obrabotke poverhnostej kataniya cementnyh pechej]. Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2005. No 11. Pp. 274–277. (rus)
5. Shrubchenko I.V. Methods of processing rolling surfaces of technological drum supports using mobile technologies and equipment [Sposoby obrabotki poverhnostej kacheniya opor tekhnologicheskikh barabanov s ispol'zovaniem mobil'nyh tekhnologij i oborudovaniya]: Monografiya. Belgorod: Belgorod: BSTU named after V.G. Shukhov, 2006. 283 p. (rus)
6. Patent na poleznuyu model' No 109688 U1 Rossijskaya Federaciya, MPK B24B 23/00. Device for processing large cylindrical surfaces [Ustrojstvo dlya obrabotki krupnogabaritnyh cilindricheskikh poverhnostej]: № 2011121078/02: zayavl. 25.05.2011: opubl. 27.10.2011 / A. V. Kasparov, S. N. Shrubchenko. (rus)
7. Patent na poleznuyu model' No 58420 U1 Rossijskaya Federaciya, MPK B23Q 1/76. Tracking caliper [Sledyashchij support]: № 2006120063/22: zayavl. 07.06.2006: opubl. 27.11.2006. S. N. Sanin, V.N. Bondarenko, A.A. Pogonin; zayavitel' Belgorod: BSTU named after V.G. (rus)
8. Tyurin S.V. Control of the geometry of cylindrical rotating industrial objects by repeated measurements of distances to their surface [Kontrol' geometrii cilindricheskikh vrashchayushchihya promyshlennyh ob'ektov putem mnogokratnyh izmerenij dal'nostej do ih poverhnosti]: special'nost' 25.00.32 "Geodeziya": dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. Tyurin Sergej Vyacheslavovich. Sankt-Peterburg, 2006. 123 p. (rus)
9. Timofeev S.P., Gavrilov D.V., Hurtasenko V.A., Voronkova M.N. A new model of the machine for surface treatment of large-sized parts-bodies of rotation [Novaya model' stanika dlya obrabotki poverhnostej krupnogabaritnyh detalej-tel vrashcheniya]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 8. Pp. 94–100. DOI:10.34031/2071-7318-2021-6-8-94-100 (rus)
10. Timofeev S.P., Grinek A.V., Hurtasenko A.V., Bojchuk I.P. Mechanical processing technology, digital modeling and implementation of a device for controlling the shape of large-sized parts [Tekhnologiya mekhanicheskoy obrabotki, cifrovoe modelirovanie i realizaciya ustrojstva dlya kontrolya formy krupnogabaritnyh detalej]. Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty). 2022. Vol. 24, No. Pp. 6–24. DOI:10.17212/1994-6309-2022-24.2-6-24 (rus)
11. Timofeev S.P., Hurtasenko V.A., Shrubchenko I.V. Method of measuring the shape of the outer surface of large-sized parts-bodies of rotation of the supports of technological drums [Metodika izmereniya formy naruzhnoj poverhnosti krupnogabaritnyh detalej-tel vrashcheniya opor tekhnologicheskikh barabanov]. Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2016. Vol. 20, No. 9(116). Pp. 35–45. DOI:10.21285/1814-3520-2016-9-35-45(rus);
12. Timofeev S.P., Hurtasenko V.A., Shrubchenko I.V. Calculation of the cutting depth when processing the surfaces of large-sized parts with a non-stationary axis of rotation [Raschet glubiny rezaniya pri obrabotke poverhnostej krupnogabaritnyh detalej s nestacionarnoj os'yu vrashcheniya]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2018. No. 2. Pp. 68–74. DOI:10.12737/article\_5a816bdf36bde2.06309800 (rus)
13. Timofeev S.P., Lesunov M.E., Hurtasenko A.V., Maslova I.V. Methodology and software for calculating the shape error of cylindrical surfaces [Metodika i programmnoe obespechenie dlya rascheta pogreshnosti formy cilindricheskikh poverhnostej]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No 12. Pp. 151–161. DOI:0.34031/2071-7318-2019-4-12-151-161 (rus)
14. Grinek A.V., Timofeev S.P., Kondrat'ev S.I., Hurtasenko A.V. Method of control of parameters of geometrical accuracy of ship shaft lines [Sposob kontrolya parametrov geometricheskoy

tochnosti sudovyh valoprovodov]. Marine intellectual technologies. 2020. No. 3–1(49). Pp. 90–96. DOI: 10.37220/MIT.2020.49.3.011(rus)

15. Maslova I.V. Remote diagnostics of the condition of the restored surfaces of large-sized objects during their operation [Distancionnaya diagnostika sostoyaniya vosstanavlivaemyh pover-

hnoziej krupnogabaritnyh ob"ektov v processe ih ekspluatacii]: special'nost' 05.02.13 "Mashiny, agregaty i processy (po otraslyam)", 05.02.08 "Tekhnologiya mashinostroeniya": dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauka Maslova Irina Viktorovna. Belgorod, 2013. 190 p. (rus)

*Information about the authors*

**Timofeev, Sergey P.** Design engineer LLC «Promzapchast». E-mail: Timofeevsp@inbox.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

*Received 29.05.2023*

**Для цитирования:**

Тимофеев С.П. Повышение эффективности технологии ремонта бандажей цементных печей за счет применения новой конструкции обрабатывающего модуля // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 7. С. 100–109. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-7-100-109

**For citation:**

Timofeev S.P. Improving the efficiency of cement furnace bandages repair technology through the use of a new processing module design. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2023. No. 7. Pp. 100–109. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-7-100-109