

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-102-113

***Шрубченко И.В., Хуртасенко А.В., Дуюн Т.А., Воронкова М.Н.**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

E-mail: ivshrub@yandex.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ЖЕСТКОСТИ БАНДАЖА В РЕЗУЛЬТАТЕ МОБИЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ КАЧЕНИЯ

Аннотация. В статье рассмотрено исследование возможных изменений жесткости бандажа вращающейся печи, которые могут происходить в результате механической обработки его поверхностей с использованием мобильных технологий. Дано описание применяемых конструкций бандажей и основные технические требования, предъявляемые к поверхностям качения. Представлены различные конструкции специальных переносных станков, позволяющих осуществлять процесс механической обработки поверхностей качения опор вращающихся печей, без остановки основного производственного процесса. Предложено для оценки возможности восстановительной обработки поверхностей качения, а также для возможности модифицирования бандажей плавающего типа во вварной применить CAD/CAE системы, используя встроенный пакет конечно-элементного анализа – Solid-WorksSimulation. Приведена последовательность оценки напряженно-деформированного состояния отдельно для бандажа плавающего и вварного типов, а также для бандажей, установленных на корпус печи. Предложена методика определения предельно допустимых припусков на условия восстановления формы их поверхностей качения мобильными технологиями. Применение данной методики позволяет прогнозировать возможные изменения в конструкции опоры печи еще до начала обработки. Тем самым исключить вероятность выведения из строя, как отдельной опоры печи, так и всего агрегата.

Ключевые слова: бандаж вращающейся печи, восстановительная обработка, конечно-элементный анализ

Введение. В промышленности строительных материалов для сушки, обжига и других видов обработки материалов широко применяют вращающиеся печи [1–5] (рис. 1). Эти технологические агрегаты работают по непрерывному

циклу, и какие-либо внеплановые остановки приводят к существенной потере их производительности.



Рис. 1. Вращающаяся обжигочная печь для производства цементного клинкера
[Источник: <http://www.eztm.ru/catalog/tsementnoe-oborudovanie/vrashchayushchiesya-pechi>]

Следует отметить, что на их работоспособность максимальное влияние оказывает состояние опор. В зависимости от типоразмера печи, их количество может составлять от двух до восьми. Для повышения жесткости всей конструкции, на корпус печи устанавливают некоторое количе-

ство бандажей. Каждый из таких бандажей опирается на два свободно вращающихся опорных ролика, которые имеют угловое расположение относительно вертикальной оси – (60...65)°. Для обеспечения условия равномерности распределения всей массы печи, включая и сырье, исключе-

ния каких-либо продольных искривлений ее корпуса, а также возможной перегрузки отдельных опор, все опорные ролики должны находиться

в одной плоскости. Бандажи, которые применяют в конструкциях опор, выпускают плавающего типа - «П» и сварного типа - «В» [6, 7] (рис. 2).

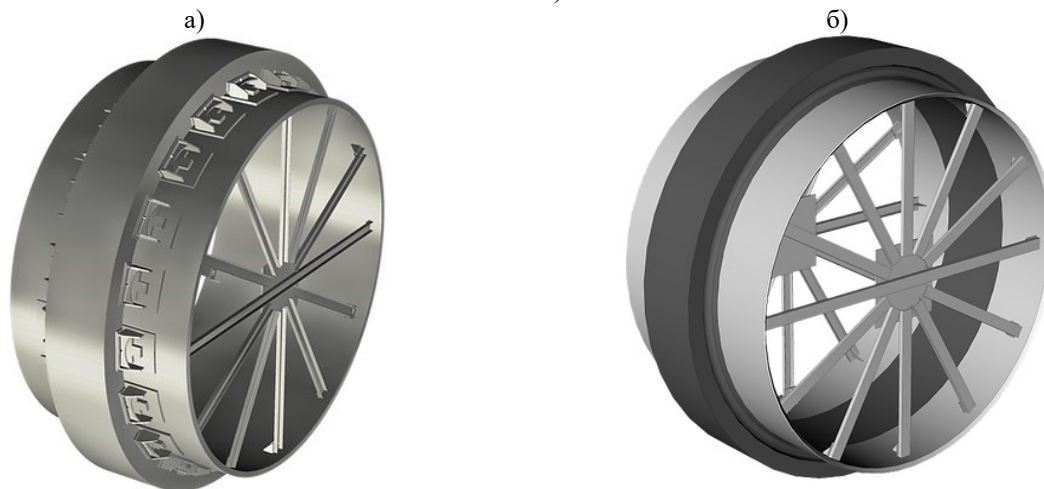


Рис. 2. Основные типы применяемых бандажей [6]: а) плавающего типа, б) сварного типа

Безусловно, что в зависимости от типоразмера печи, применяют и различные размеры бандажей. На рис. 3 представлены некоторые виды

исполнения таких бандажей и их основные размеры в таблице 1.

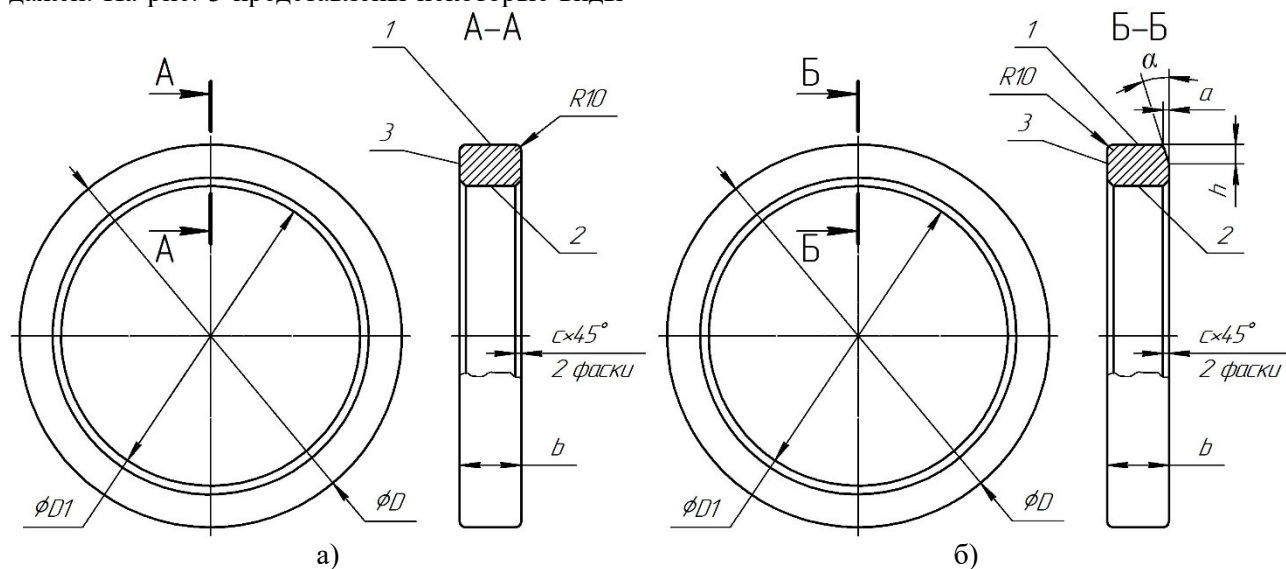


Рис. 3. Некоторые разновидности бандажей типа «П»: а) исполнение 1; б) исполнение 2

В частности, бандажи типа «П», с исполнением 1 и 2, содержат следующие основные поверхности: 1 – поверхность качения, при помощи нее бандаж опирается на поверхности качения опорных роликов и, тем самым может осуществлять вращательное движение; 2 – посадочная поверхность, для непосредственной установки на подбандажную обечайку корпуса печи. В таком соединении обеспечивают наличие зазора, за счет которого обеспечивается возможность компенсации температурных деформаций.

Задаваемая величина такого теплового зазора обычно находится в пределах (3...6) мм и

обеспечивается подбором компенсирующих башмаков, устанавливаемых между подбандажной обечайкой и самим бандажом. Так как в таком подвижном соединении имеет место зазор, то корпус печи при вращении, будет перекатываться по внутренней поверхности бандажа с несколько большей угловой скоростью, чем сам бандаж. Следовательно, их относительное положение будет постоянно изменяться, на некоторую величину:

$$S = \pi \cdot (D_{\phi} - D_o), \tag{1}$$

где D_6 и D_6- соответственно диаметры посадоч-

ной поверхности бандажа и подбандажной обечайки.

Таблица 1

Параметры бандажей плавающего типа (тип «П»), исполнение 2

№	Диаметр корпуса печи	D	D1	b	c	h	a	α	Масса, кг (не более)
Исполнение 1									
1.	4000	4850	4184	800	5	-	-	-	29700
2.	4500	5470	4760	900	5	-	-	-	40400
3.	5000	6100	5300	1000	10	-	-	-	56200
4.	5000	6250	5360	1100	10	-	-	-	70700
5.	5600	6800	5960	1000	10	-	-	-	66300
6.	5600	6800	5960	1200	10	-	-	-	79600
7.	6400	7750	6800	1200	10	-	-	-	102800
8.	7000	8450	7450	1350	10	-	-	-	132400
Исполнение 2									
1.	4000	4850	4760	800	5	165	37.3	12°45'	29400
2.	4500	5470	5300	900	5	200	40.1	11°20'	39900
3.	5000	6100	5960	1000	10	200	35.9	10°10'	55800
4.	5600	6800	5960	1000	10	210	37	10°	65700
5.	5600	6800	6800	1200	10	210	37	10°	78900
6.	6400	7750	6800	1200	10	285	47.7	9°30'	101700
7.	7000	8350	7400	1200	10	285	44.3	8°50'	115100
8.	7000	8450	7450	1350	10	325	50	8°45'	130800

Следует отметить, что наличие подобных перемещений, вносит некоторую неопределенность в их базирование. В результате этого, имеющие место погрешности формы поверхностей подбандажной обечайки и бандажа, будут либо частично компенсироваться, либо суммироваться. Безусловно, что это будет сказываться и на величине нагрузки, действующей на опору и на сам бандаж. На отдельных опорах печи возможны даже условия, когда бандаж не контактирует с поверхностью качения одного или даже обоих опорных роликов. И это условие должно быть учтено при определении нагрузки, действующей на исследуемый бандаж.

На конструкциях бандажей, по исполнению 2, на торцевой поверхности 3, выполнены конические элементы. Эти поверхности, служат для контактного взаимодействия с роликами гидравлических упоров. При силовом воздействии на эту поверхность, нагрузка, действующая на исследуемый бандаж, так же будет изменяться.

Вварные конструкции бандажей так же имеют поверхность качения и коническую торцевую поверхность под гидравлический упор. Однако, жесткое соединение таких бандажей с корпусом печи, исключает наличие зазора между ними, значит и условия изменения нагрузки.

Для исследования условий изменения жесткости бандажа при его обработке, требуется еще знать и ряд предъявляемых к поверхностям технических требований. В соответствии с ОСТ 22-170-87 к поверхностям качения бандажей предъявляют ряд технических требований:

- допуск на диаметральный размер – по $h12$;
- допуск шероховатости – $(6,3 \dots 12,5) Ra$;
- высота усиления сварного шва для составного бандажа – не более 1 мм;
- точность относительного положения к другим поверхностям - в пределах допусков на соответствующие размеры;
- допуск формы для бандажей, диаметром:
 - до 4000 мм – 2 мм;
 - св. 4000 мм до 5500 мм – 2,5 мм;
 - св. 5500 мм до 6100 мм – 3 мм;
 - св. 6100 мм – 3,5 мм.

В настоящее время для периодической обработки поверхностей качения, с целью поддержания точности их формы, широко применяют их периодическую обработку с применением специальных переносных станков [8–12]. Такая технология получила название мобильной технологии. Наиболее совершенным на сегодняшний день, является специальный переносной встраиваемый станок, который базируется непосредственно на опору печи и соответственно встраивается в ее конструкцию (рис. 4). Станок такой модели содержит опорные стойки 1, одна из которых выполняется неподвижной, а вторая – подвижной с возможностью регулирования осевого положения относительно направляющей 2. Направляющая выполнена круглого сечения с направляющей шпонкой и по ней перемещается продольный суппорт 3 с двумя базирующими плоскостями. Поперечный суппорт может устанавливаться на одну из этих поверхностей, обеспечи-

вая тем самым настройку на обработку поверхности качения ролика или бандажа. Для возможности установки станка на различные типоразмеры опор печей, станок оснащается сменными технологическими наладками (СТН) 4. Применяя раз-

личные по конструкции СТН мы можем применить различные схемы установки и соответствующей обработки: сбоку опоры печи (рис. 4а) или снизу бандажа, между опорными роликами (рис. 4 б).

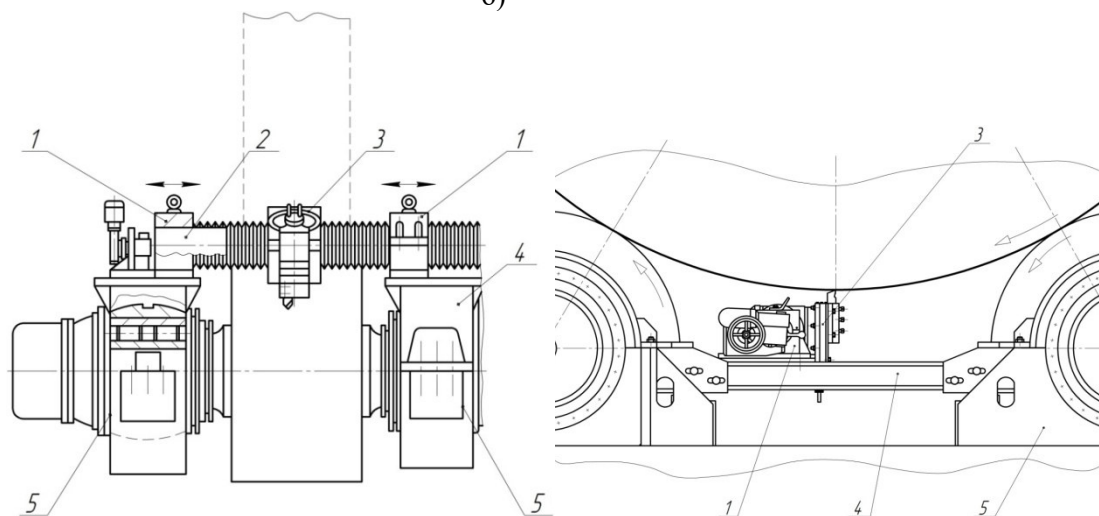


Рис. 4. Схемы установки универсального встраиваемого станка:
а) сбоку опоры печи; б) снизу бандажа, между опорными роликами

Для обработки поверхностей бандажей удобно применять стандартные резцы: 2100-0417 ВК8 ГОСТ 18878-73; 2100-0413 ВК8 ГОСТ 18878-73. Это прямые проходные резцы, с сечением державки $40 \times 25 \times 200$ или $30 \times 20 \times 170$ и пластинками твердого сплава ВК-8. Можно устанавливать так же и пластинки Т5 или Т5К10. Для условий обработки поверхности качения бандажа, имеющего бесцентровую схему [13, 14], станок оснащается динамическим самоустанавливающимся суппортом [9]. (рис. 5). Этот суппорт оснащается режущим инструментом 1, под-

пружиненной траверсой 2 и системой контактных роликов 3. За счет этой системы, все возможные изменения траектории перемещения бандажа копируются. А расположение его контактных роликов и обрабатывающего инструмента, позволяет гарантированно исправлять форму обрабатываемой поверхности качения бандажа. Как показывает опыт применения мобильной технологии, величина снимаемых припусков может достигать 5...10 мм. При обработке поверхности качения ленточно-абразивным способом, силы резания оказываются весьма незначительными, по сравнению с лезвийной обработкой.

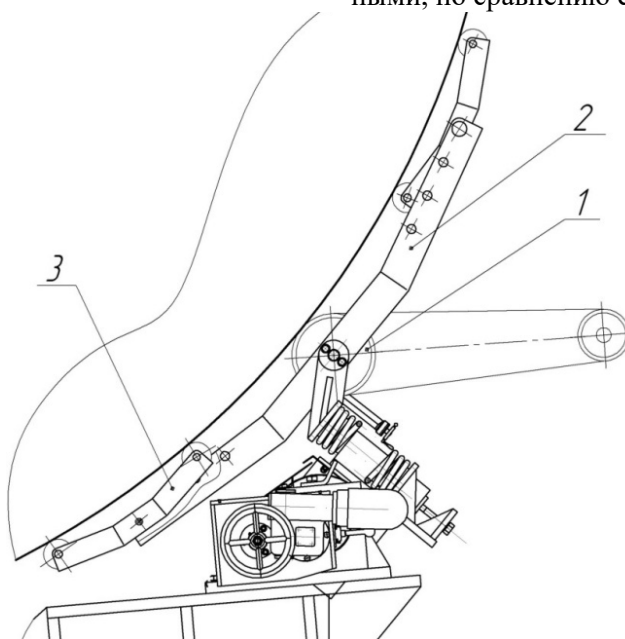


Рис. 5. Схема ленточно-абразивной обработки с использованием ДСС

Продольная подача при этом может быть задана существенно выше. Для таких условий возможно применение облегченной конструкции станка [10] (рис. 6). Такой станок базируется аналогично, используя СТН 1, на корпусе 2 ролик-опоры. Основным достоинством такого станка является применение пары стандартным прямолинейных профильных направляющих качения 4, устанавливаемых на раму 3. На продольном суппорте 5, так же на аналогичные направляющие качения 6, размещается ДСС, содержащий подпружиненную пиноль 7, с шарнирносоединенной ролик-тележкой 8, где размещена каретка 9, с лентошлифовальной головкой 10. Проверка положения станка осуществляется регулировочными винтами 11 и 12, соответственно в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

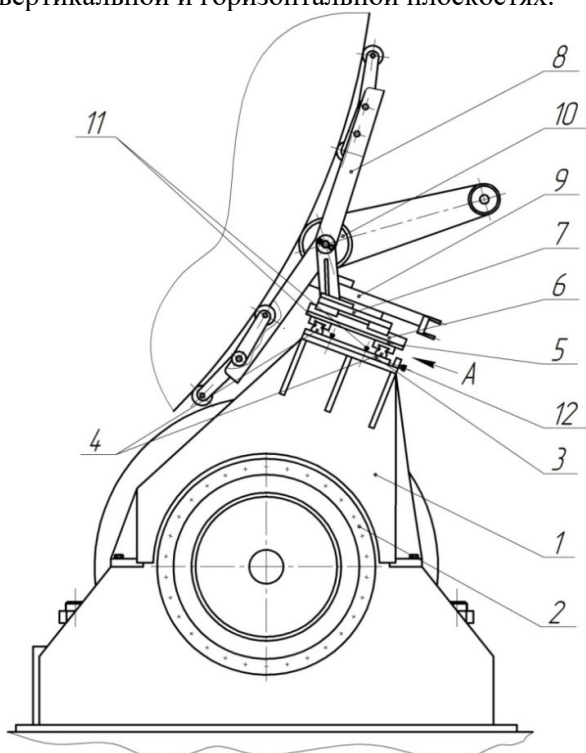


Рис. 6. Облегченная конструкция ленточно-шлифовального станка

Станок обычно оснащается абразивной бесконечной лентой **ХК870Х**, производства компании **VSM**, с керамическим зерном **CERAGRAT**. Хорошие результаты показала обработка поверхностей качения лентами с зернистостью **P24**. Ряд проведенных ранее исследований показал, что потребность в периодической обработке поверхностей качения может составлять от 6 до 8 месяцев [15].

Безусловно, что с изменением сечения бандажа, будет постепенно снижаться и его жест-

кость. Поэтому, актуальной задачей на сегодняшний день, является разработка механизмов, позволяющих моделировать возможные деформации, как самого бандажа, так и опоры вращающейся печи.

Материалы и методы. Для исследования параметров жесткости и прочностных характеристик сложных технических объектов к которым относятся вращающиеся печные агрегаты, включая кинематические и динамические расчеты, успешно используются современные CAE системы [16]. Исследование напряженно-деформированного состояния опоры печи, при условии изменения сечения бандажа, можно осуществить в *CAD/CAE* системе *SolidWorks*, используя встроенный пакет конечно-элементного анализа – *SolidWorksSimulation* [17].

Основная часть. Для реализации расчетов настоящего исследования вначале формируем объемные модели отдельно бандажа, установленного на опорные ролики, а далее, бандажа, установленного на корпусе печи, с действующей рабочей нагрузкой.

Конструктивное исполнение бандажа может быть плавающего типа - «П» или вварного – тип «В». Форма его сечения, а также размеры, могут быть заданы в соответствие с существующими типоразмерами бандажей. На рис. 7 представлены объемные модели таких бандажей, в их натуральную величину. Система позволяет из встроенной библиотеки выбрать соответствующий материал для бандажа. Например, литая малоуглеродистая сталь. Далее, для имитации расположения бандажа на двух опорных роликах, следует назначить и соответствующие ограничения. Это своего рода фиксированная геометрия на его поверхности качения, на гранях, соответствующих зонам контакта бандажа с реальными опорными роликами (рис. 8). Необходимые параметры контакта поверхности качения бандажа с опорными роликами мы можем определить по известным формулам [18]:

$$a = 1,52 \sqrt{\frac{p}{E} \cdot \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}} \quad (2)$$

$$p = \frac{F}{S} \quad (3)$$

Таким образом, мы получаем соответствующие размеры этих граней. При рассмотрении статической задачи, бандаж будет подвергаться деформации под действием своего веса. Поэтому, справедливо в качестве действующей нагрузки, приложить действующую силу тяжести.

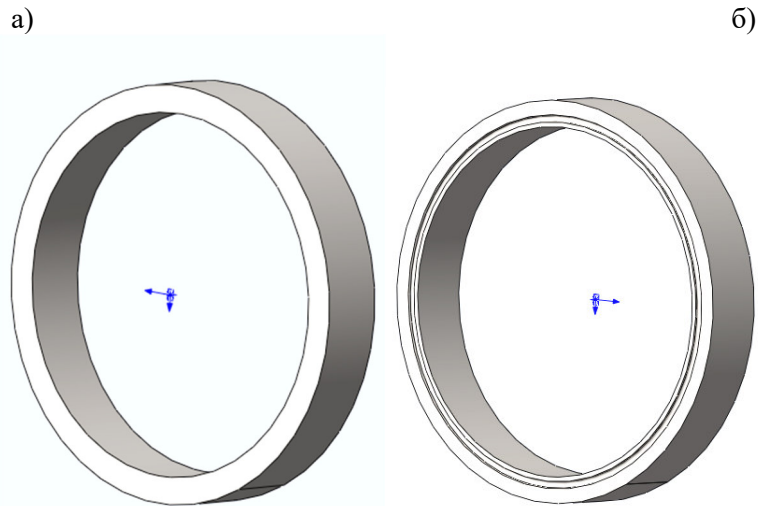


Рис. 7. Объемные модели бандажа: а) плавающего типа (с прямоугольным сечением); б) сварного типа (с кольцевыми фасонными проточками)

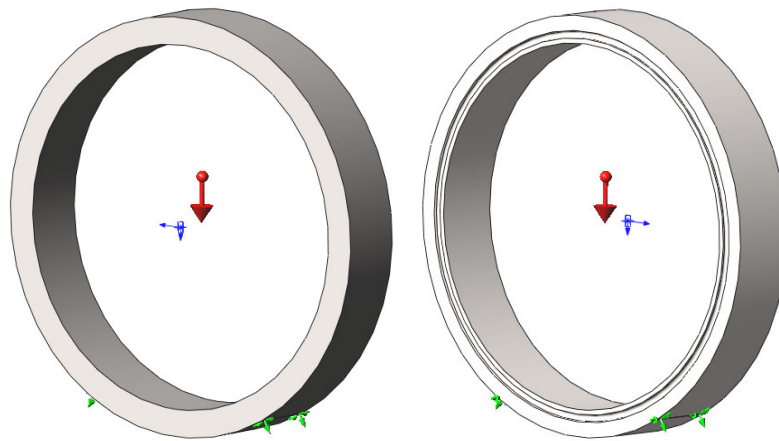


Рис. 8. Модели с введенными ограничениями

Далее, на исследуемые объекты, наносим сетку конечных элементов (рис. 9). Следует иметь в виду, что программа сама создает более уплотненную сетку конечных элементов на участках, где будут происходить изменения

напряженно-деформированного состояния. Такие участки, например, будут иметь место в зонах размещения кольцевых проточек на торцах или в зоне закрылков.

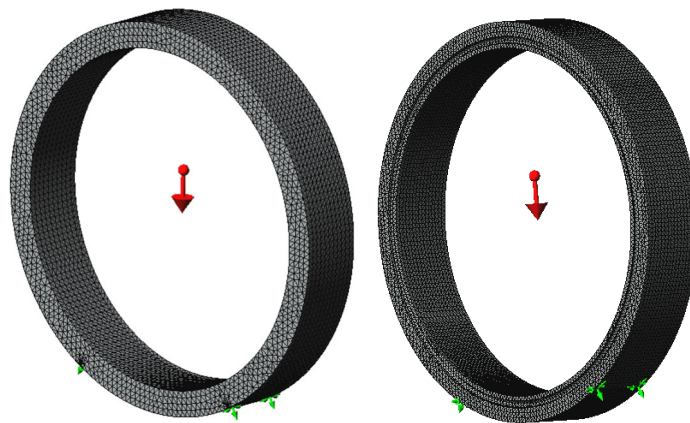


Рис. 9. Исследуемые модели с сеткой конечных элементов

Далее, выполняем вычисления. На рис. 10 представлены результаты моделирования с цветовой шкалой, по которой можно определить

ориентировочные значения напряжений, возникающих в различных зонах исследуемых моделей.

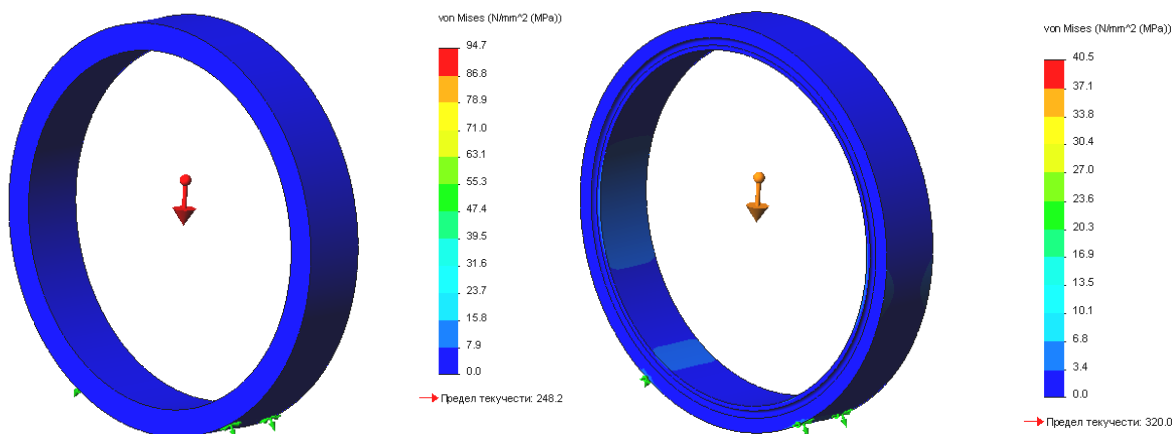


Рис. 10. Напряжения, возникающие в бандаже

Для определения точных значений напряжений в интересующих зонах, программа позволяет выводить их числовые значения (рис. 11).

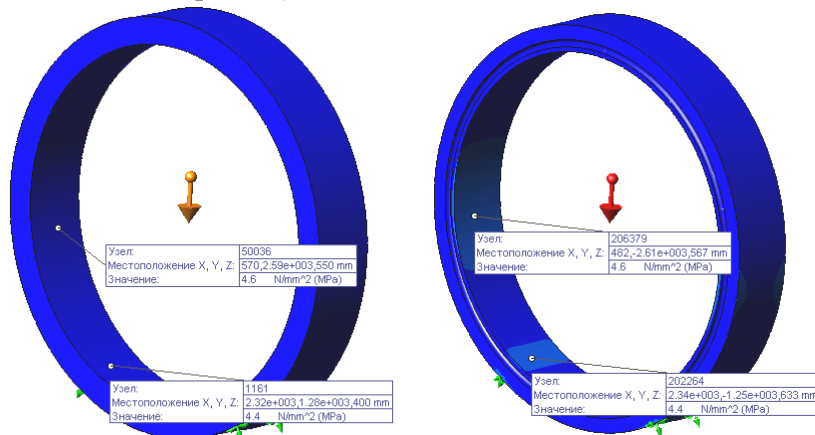


Рис. 11. Числовые значения напряжений, в локальных узлах моделей

Анализ получаемых результатов, например, показывает, что модифицирование бандажей из плавающего типа во вварной, на существенное изменение его жесткости не оказывает влияние. Несомненный интерес представляют не только напряжения, но и деформации, возникающие в конструкции бандажа. Эпюры таких перемещений также для предварительного анализа мы можем получить в цветовой гамме (рис. 12). В частности, анализ результатов применительно к конструкции исследуемого бандажа показывает, что максимальные перемещения имеют верхние зоны бандажа. Также, как и в предыдущем случае, можно вывести и числовые значения перемещений в интересующих зонах. Применительно к исследуемым конструкциям, при модифицировании бандажа, его деформации изменились на сотые доли миллиметра, что очевидно объясняется изменением сечения бандажа и его массы. Следовательно, модифицирование бандажа во вварной тип, путем формирования фасонных канавок

на его торцах, к существенному изменению его формы не приводит.

Однако, на бандаж, установленный на корпус печи, будут действовать существенно большие по величине нагрузки. Поэтому, возникает необходимость в исследовании напряженно-деформированного состояния бандажа с элементами корпуса печи. Для этого достаточно разработать модели с секциями корпуса печи, ограниченными соседними опорами (рис. 13).

Далее, необходимо вычислить массу таких объектов, учитывая массу корпуса печи, его футеровки, а также массу клинкера, находящегося внутри. Безусловно, что масса таких объектов существенно увеличится, что приведет и к изменению условий контакта поверхностей качения бандажа с опорными роликами. В частности, полуширина пятна контакта применительно к исследуемым опорам, составила – $a=1,9$ мм. Для имитации соединения исследуемых объектов с соседними опорами на торцевые грани корпуса

устанавливаем ограничения – фиксированная геометрия (рис. 14).

Формируем сетку конечных элементов (рис. 15) и производим вычисления.

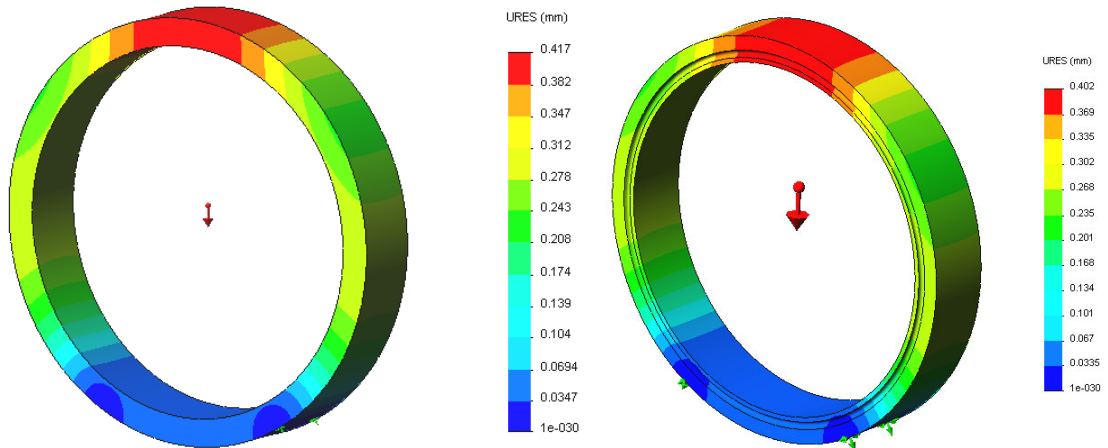


Рис. 12. Эпюры перемещений в различных зонах бандажа

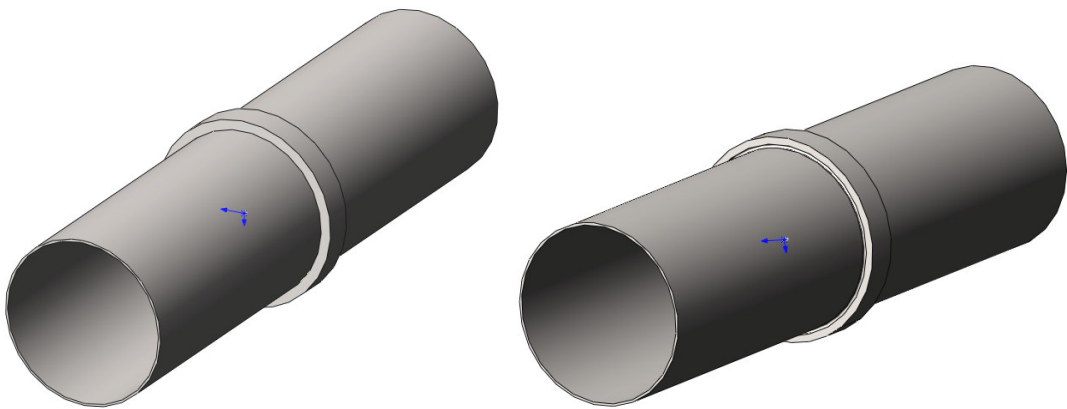


Рис. 13. Модели исследуемых бандажей с элементами корпуса

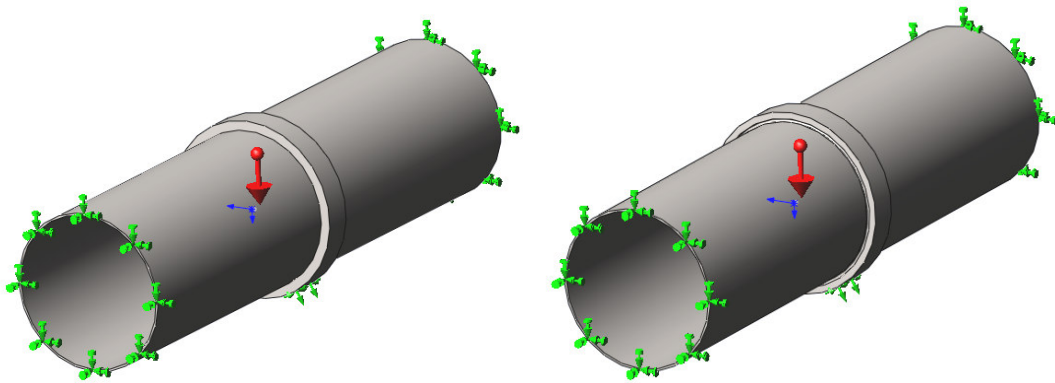


Рис. 14. Расчетные модели

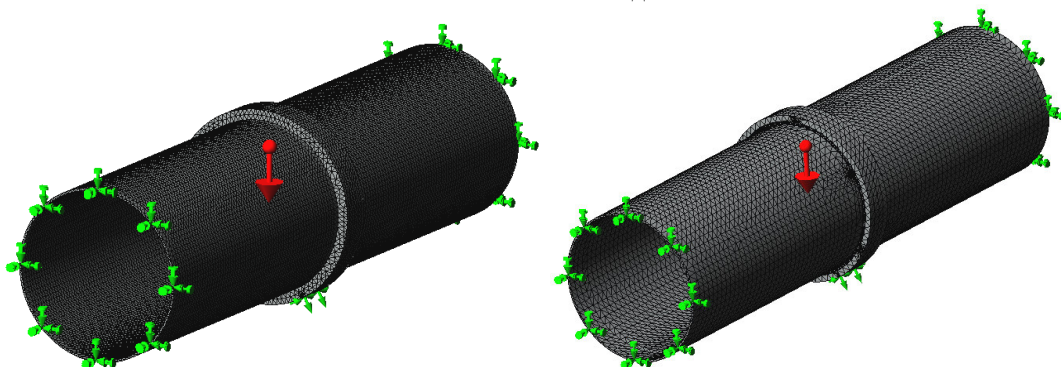


Рис. 15. Исследуемые модели с сеткой конечных элементов

В результате моделирования мы так же получаем эпюры напряжений (рис 16), а также числовые значения напряжений в интересующих узлах конструкции (рис. 17).

Так же мы получаем и эпюры перемещений (рис. 18).

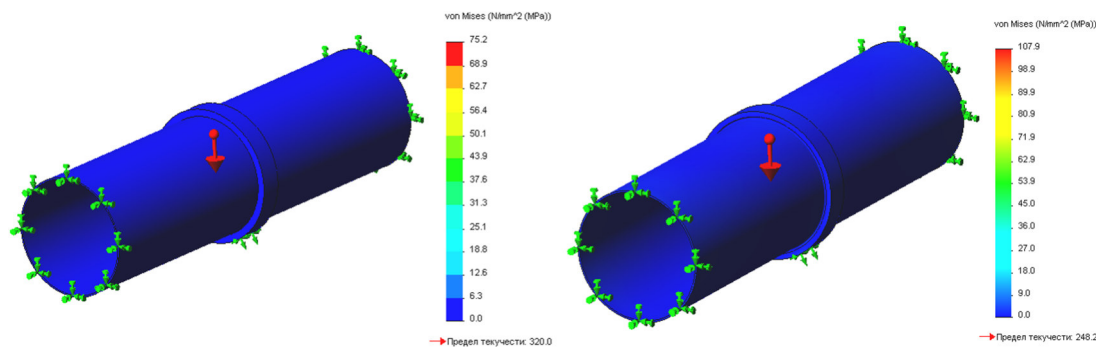


Рис. 16. Эпюры напряжений, возникающих в конструкции

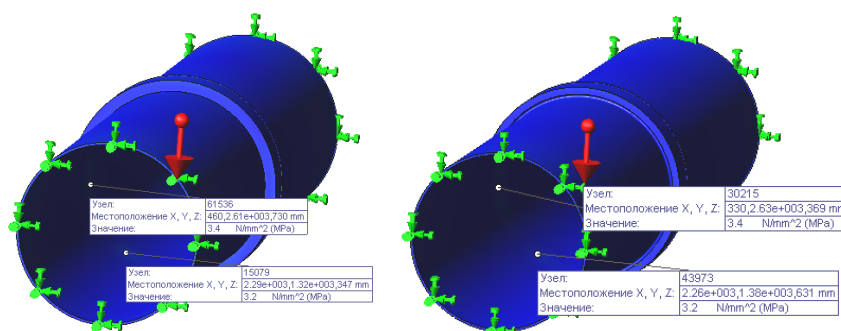


Рис. 17. Числовые значения напряжений в отдельных узлах

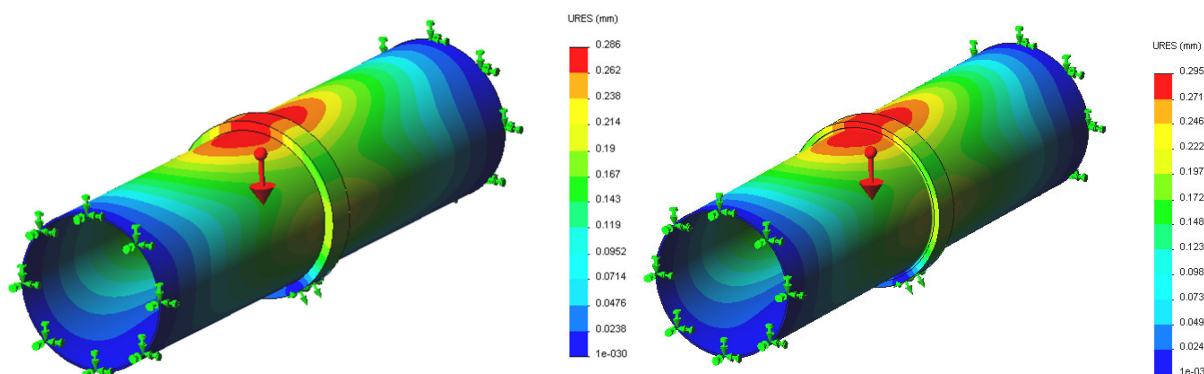


Рис. 18. Эпюра перемещений в моделях

Таким образом, мы получаем значения напряжений и деформации в различных узлах конструкции. Далее, задаваясь соответствующей величиной припуска, который мы должны снимать в результате механической обработки поверхности качения, мы изменяем в модели сечение бандажа и моделируем опять напряженно-деформированное состояние. Предложенная методика позволяет учитывать возможное возникновение погрешности положения детали рассматриваемого узла и на стадии проектирования технологии обработки определять возможность восстановления формы путем снятия припуска, а также максимальное его значение, допустимое с учетом возникающих деформаций.

Выводы. Достоинством такого моделирования является то, что оно позволяет прогнозировать возможные изменения в конструкции опоры печи еще до начала обработки. Тем самым мы можем исключить вероятность выведения из строя, как отдельной опоры печи, так и всего агрегата. Положительным моментом является и то, что получаемая информация об изменении параметров деформаций рассматриваемых узлов в зависимости от величин уменьшения сечения тела бандажа дает возможность установить предельные значения припусков, которые могут быть назначены на механическую обработку поверхностей качения, с целью их восстановительной

обработки с применением мобильных технологий. Кроме того, получаемые расчетные значения смещений в опорных элементах, включая изменение положения центра вращения в сечении одной или нескольких опор, позволяют дополнительно уточнить значения регулируемых перемещений в конструкциях блоков опорных роликов, которые необходимы для обеспечения прямолинейности оси вращающегося печного агрегата и выполняются после восстановительной обработки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Vijayan S.N., Sendhilkumar S. Industrial Applications of Rotary Kiln in Various Sectors - A Review. *International Journal of Engineering Innovation & Research*. 2014. Vol. 3. Pp. 342–345.
2. Phillips Kiln Services. [Электронный ресурс]. URL: <https://britishrema.co.uk/what-we-do/rotary-engineering/overview/> (дата обращения 15.12.2021).
3. Boaten A.A. Rotary Kilns. Elsevier Inc. Publ., 2015. 390 p.
4. Design features of rotary kilns. [Электронный ресурс]. URL: https://www.cementkilns.co.uk/kiln_design.html. (дата обращения: 09.11.2021)
5. FLSmidth. Rotary Kilns. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.flsmidth.com/en-gb/products/rotary-kilns> (дата обращения 12.11.2021).
6. Бандажи плавающие и бандажи вварные. URL: <https://www.npp-prom.com/zapasnye-chasticehej-vrashayushih> (дата обращения: 05.12.2021)
7. Бандажи для промышленных печей. [Электронный ресурс]. URL: <https://tulpech.ru/bandazhi-dlya-promyshlennyh-reshchey> (дата обращения: 05.12.2021)
8. Универсальный встраиваемый станок УВС-01 / Федеральный каталог высокотехнологичного оборудования и объектов научного потенциала России. [Электронный ресурс]. URL: <https://каталог-нп.рф/project/281> (дата обращения 12.11.2021).
9. Пат. 110013, Российская Федерация, МПК В 23 В5/00 (2006.01). Станок для обработки наружных поверхностей бандажей / Л.В. Мурыгина, И.В. Шрубченко, Н.А. Архипова, В.Ю. Рыбалко, А.С. Черняев; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2011111455/02, заявл. 25.03.2011; опубл. 10.11.2011, Бюл. № 31.
10. Пат. 125499, Российская Федерация, МПК В 23 В5/00 (2006.01). Станок для обработки бандажей / И.В. Шрубченко, Л.В. Мурыгина, В.Ю. Рыбалко; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. – № 2012121121/02, заявл. 22.05.2012; опубл. 10.03.2013, Бюл. № 7.
11. Санин С.Н., Оникиенко Д.А. Разработка концепции мобильного стенда для механической обработки бандажей вращающихся печей с базированием по торцовой поверхности и отверстию // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 2. С. 104–109.
12. Пат. 191596, Российская Федерация, МПК В 23 В5/00 (2006.01). Станок для обработки поверхностей крупногабаритных деталей-тел вращения / С.П. Тимофеев, А.В. Хуртасенко, И.В. Шрубченко, М.Н. Воронкова; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2019114537, заявл. 13.05.2019; опубл. 13.08.2019, Бюл. № 23.
13. Захаров О.В. Минимизация погрешностей формообразования при бесцентровой абразивной обработке. Саратов: СГТУ, 2006. 152 с.
14. Захаров О.В. Стабильность силового замыкания контакта при бесцентровом шлифовании на неподвижных опорах // СТИН. 2011. №7. С. 8–10.
15. Шрубченко И.В. О периодичности обработки поверхностей качения бандажей и роликов вращающихся цементных печей // Промышленность строительных материалов. Серия 1. Цементная промышленность. М., 2003. Вып. 1–2 (ВНИИЭСМ). С. 16–20.
16. Ramanenka D., Stjernberg J., Jonsén P. FEM investigation of global mechanisms affecting brick lining stability in a rotary kiln in cold state. *Engineering Failure Analysis*. 2016. Vol. 59. Pp. 554–569.
17. Алямовский А.А. Инженерные расчеты в SolidWorksSimulation. М.: ДМКпресс, 2019. 464 с.
18. Шрубченко И.В., Кузнецова И.И. Исследование характеристик пятна контакта поверхностей качения технологических барабанов // Механика – XXI веку. Сборник докладов V межрегиональной научно-технической конференции с международным участием. Братск. 2006. С. 242–245.

Информация об авторах

Шрубченко Иван Васильевич, доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения. E-mail: ivshrub@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Хуртасенко Андрей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения. E-mail: hurtintbel@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Дуюн Татьяна Александровна, доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения. E-mail: tanduun@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Воронкова Марина Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения. E-mail: mkuzko@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 27.12.2021 г.

© Шрубченко И.В., Хуртасенко А.В., Дуюн Т.А., Воронкова М.Н., 2022

*Shrubchenko I.V., Khurtasenko A.V., Duyun T. A., Voronkova M.N.
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
E-mail: ivshrub@yandex.ru*

STUDY OF POSSIBLE CHANGES IN RIGIDITY OF THE BANDAGE AS A RESULT OF MOBILE TECHNOLOGY OF TREATMENT OF THE ROLLING SURFACE

Abstract. *The article deals with the study of the change in the rigidity of the bandage as a result of mechanical treatment of its surfaces using mobile technologies. It was proposed to use the CAD / CAE system Solid Works to assess the possibility of restoring the treatment of rolling surfaces, as well as for the possibility of modifying floating-type bandages into welded-in bandages. And use the built-in package of finite element analysis - Solid Works Simulation. The sequence for assessing the stress-strain state is given separately for the floating and welded-in type bandage, as well as for the bandages installed on the furnace body. A method is proposed for determining the maximum allowable allowances for the conditions for restoring the shape of their rolling surfaces using mobile technologies. The use of this technique allows predicting possible changes in the design of the furnace support even before the start of processing. Thus, to exclude the likelihood of disabling, as an individual support of the furnace, and the entire unit.*

Keywords: *rotary kiln bandage, restorative treatment, finite element analysis*

REFERENCES

- Vijayan S. N., Sendhilkumar S. Industrial Applications of Rotary Kiln in Various Sectors - A Review. International Journal of Engineering Innovation & Research. 2014. Vol. 3. Pp. 342–345.
- Phillips Kiln Services. URL: <http://www.pkse.co.uk/services/resurfacing.php> (date of treatment: 05.11.2021).
- Boaten A.A. Rotary Kilns. Elsevier Inc. Publ., 2015. 390 p.
- Design features of rotary kilns. URL: https://www.cementkilns.co.uk/kiln_design.html. (date of treatment: 09.11.2021).
- FLSmidth. Rotary Kilns. URL: <https://www.flsmidth.com/en-gb/products/rotary-kilns> (date of treatment: 12.11.2021).
- Floating and welded-in bandages [Bandazhi plavayushchie I bandazhi vvarnye]. URL: <https://www.npp-prom.com/zapasnye-chasti-pechej-vrashayushih> (date of treatment: 05.12.2021) (rus)
- Bandages for industrial furnaces [Bandazhi dlya promyshlennyh pechej]. URL: <https://tulpech.ru/bandazhi-dlya-promyshlennyh-pechej> (date of treatment: 05.12.2021) (rus)
- Universal Embedded Machine UEM-01 [Universal'ny'j vstraivaemy'j stanok UVS-01]. Federal'ny'j catalog vy'sokotekhnologichnogo oborudovaniya i ob'ektov nauchnogo potentsiala Rossii. URL: <https://katalog-np.rf/project/281> (date of treatment: 05.12.2021) (rus)
- Murygina L.V., Shrubchenko I.V., Arkhipova N.A., Rybalko V.Yu., Chernyaev A.S. Machine for processing the outer surfaces of bandages. Patent RF, no. 2011111455/02, 2011.
- Shrubchenko I.V., Murygina L.V., Rybalko V.Yu. Machine for processing bandages. Patent RF, no. 2012121121/02, 2013.
- Sanin S.N., Onikienko D.A. Development of the concept of a mobile stand for mechanical processing of rotary kiln rims based on the end surface and the hole [Razrabotka koncepcii mobil'nogo stenda dlya mekhanicheskoy obrabotki bandazhej vrashchayushchihsya pechej s bazirovaniem po torcovej poverhnosti i otverstiyu]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2016. No. 2. Pp. 104–109. (rus)

12. Timofeev S.P., Khurtasenko A.V., Shrubchenko I. V., Voronkova M.N. Machine for surface treatment of large-sized parts-bodies of revolution. Patent RF, no. 2019114537, 2019.

13. Zaharov O.V. Minimization of shaping errors during centerless abrasive machining [Minimizatsiya pogreshnostej formoobrazovaniya pri bescentrovoy abrazivnoj obrabotke]. Saratov: SGTU. 2006. 152 p. (rus)

14. Zaharov O.V. Stability of the force contact closure during centerless grinding on fixed bearings [Stabil'nost' silovogo zamykaniya kontakta pri bescentrovom shlifovanii na nepodviznyh oporah]. STIN. 2011. No. 7. Pp. 8–10. (rus)

15. Shrubchenko I.V. On the frequency of treatment of rolling surfaces of tires and rollers of rotating cement kilns [O periodichnosti obrabotki poverhnostej kacheniya bandazhej i rolikov vrashchayushchihsya cementnyh pechej]. Industry of building materials. Series 1. Cement industry. Moscow. 2003/ Issue. 1-2 (VNIIESM). Pp. 16–20. (rus)

16. Ramanenka D., Stjernberg J., Jonsén P. FEM investigation of global mechanisms affecting brick lining stability in a rotary kiln in cold state. Engineering Failure Analysis. 2016. Vol. 59. Pp. 554–569.

17. Alyamovskij A.A. Engineering Calculations in SolidWorks Simulation [Inzhenernye raschety v Solid Works Simulation]. M.: DMK Press. 2019. 464 p. (rus)

18. Shrubchenko I.V., Kuznetsova I.I. Investigation of the characteristics of the contact patch of the rolling surfaces of technological drums [Issledovanie harakteristik pyatna kontakta poverhnostej kacheniya tekhnologicheskikh barabanov]. Mechanics - XXI century. Collection of reports of the V international scientific and technical conference with international participation. Bratsk. 2006. Pp. 242–245. (rus)

Information about the authors

Shrubchenko, Ivan V. DSc, Professor. E-mail: ivshrub@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Khurtasenko, Andrey V. PhD, Assistant professor. E-mail: hurtintbel@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Duyun, Tatiana A. DSc, Assistant professor. E-mail: tanduun@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Voronkova, Marina N. PhD, Assistant professor. E-mail: mkuzko@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 27.12.2021

Для цитирования:

Шрубченко И.В., Хуртасенко А.В., Дуюн Т.А., Воронкова М.Н. Исследование возможных изменений жесткости бандажа в результате мобильной технологии обработки поверхности качения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 2. С. 102–113. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-102-113

For citation:

Shrubchenko I.V., Khurtasenko A.V., Duyun T. A., Voronkova M.N. Study of possible changes in rigidity of the bandage as a result of mobile technology of treatment of the rolling surface. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 2. Pp. 102–113. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-102-113