

Машиностроение Mechanical engineering

Научная статья
Статья в открытом доступе
УДК 67.017: 539.43
doi: 10.30987/2782-5957-2024-12-9-17

АНАЛИЗ ПРИЧИН ДОСТИЖЕНИЯ ПРЕДЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ОПОРНЫХ РОЛИКОВ ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧЕЙ

Константин Васильевич Макаренко¹, Александр Александрович Азаркин²✉

¹ Брянский государственный технический университет, Брянск, Россия

² Брянский государственный инженерно-технологический университет, Брянск, Россия

¹ makkon1@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7195-0500>

² jarret@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0004-9170-4114>

Аннотация

Рассмотрены условия работы основных узлов вращающихся печей и причины достижения предельного состояния опорных роликов вращающихся печей. С помощью диаграммы Исикавы были сгруппированы факторы, приводящие к возникновению

данных причин. Особое внимание уделено факторам, влияющим на состояние поверхностного слоя опорных роликов.

Ключевые слова: вращающиеся печи, опорные ролики, трение, износ, ползучесть.

Ссылка для цитирования:

Макаренко К.В. Анализ причин достижения предельного состояния опорных роликов вращающихся печей / К.В. Макаренко, А.А. Азаркин // Транспортное машиностроение. – 2024. - № 12. – С. 9-17. doi: 10.30987/2782-5957-2024-12-9-17.

Original article
Open Access Article

ANALYSIS OF THE REASONS FOR REACHING THE LIMIT STATE OF THE BEARING ROLLERS OF ROTARY FURNACES

Konstantin Vasilyevich Makarenko¹, Aleksandr Aleksandrohiv Azarkin²✉

¹ Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia

² Bryansk State Technological University of Engineering, Bryansk, Russia

¹ makkon1@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7195-0500>

² jarret@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0004-9170-4114>

Abstract

The working conditions of rotary furnace main components and the reasons for reaching the limit state of the bearing rollers of rotary furnaces are considered. Using Ishikawa diagram, the factors leading to these

causes are grouped. Special attention is paid to the factors affecting the condition of the surface layer of bearing rollers.

Keywords: rotary furnaces, bearing rollers, friction, wear, creep.

Reference for citing:

Makarenko KV, Azarkin AA. Analysis of the reasons for reaching the limit state of the bearing rollers of rotary furnaces. Transport Engineering. 2024;12;9-17. doi: 10.30987/2782-5957-2024-12-9-17.

Современный рынок диктует жесткие условия для промышленных предприятий. Сырьевые материалы необходимо готовить

к реализации в кратчайшие сроки, с минимальными затратами. Совмещение процессов, например, сушки и грануляции, явля-

ется важным моментом, позволяющим дополнительно сократить затраты на переработку. Простым и наиболее эффективным оборудованием для этого являются барабанные вращающиеся печи. Печи используются не только для термических процессов: обжига (цементного клинкера или ртутьсодержащих материалов), спекания (бокситовой и нефелиновой пульпы), прокаливания (гидрата окиси алюминия), для сушки сыпучих и кусковых материалов (трепела), для охлаждения материалов, прошедших термическую обработку, для кристаллизации различных неорганических и органических веществ и их растворов, но и для вельцевания (кеков цинкового производства), кальцинации (глинозема), для грануляции и т.д. [2]. Вращающиеся печи обладают крупногабаритными размерами (диаметр до 4,5 м, длина до 230 м. [3]), поэтому выход их из строя всегда связан с огромными экономическими затратами предприятия, не говоря о потерях из-за простоя оборудования, нарушении обязательств по договорам и порче сырья из-за нарушения технологического процесса. Чаще всего выход из строя печи связан с наиболее уязвимым элементом конструкции, - опорными роликами [4], поэтому целью данного исследования является выявление и классификация факторов, влияющих на состояние рабочей поверхности опорных роликов, а также узлов и деталей, входящий в его состав (оси, подшипников и оснований).

Проблема выхода из строя опорных роликов актуальна для всех предприятий, эксплуатирующих вращающиеся печи. Самый распространенный метод восстановления поверхности – снятие и наплавка изношенного слоя. Если со снятием опорного ролика предприятие справляется, то для восстановления необходимо специализированное оборудование, покупка и обслуживание которого экономически нецелесообразно. Такие работы для организации будут выполняться по мере необходимости, в остальное время оборудование будет простаивать. Предприятию приходится прибегать к услугам сторонних организаций, которые не заинтересованы в увеличении ресурса опорных роликов, так как это может

привести к снижению количества обращений к ним, поэтому они зачастую используют для наплавки низкоуглеродистую сталь. Анализ и классификация причин достижения предельного состояния опорных роликов вращающихся печей позволят устранить наиболее весомые проблемы, увеличить межремонтный интервал, снизить экономические и трудовые затраты для предприятий.

Вне зависимости от назначения, ключевая деталь вращающейся печи – барабан (рис. 1) представляет собой полый вращающийся сварной цилиндр диаметром $d = 3$ м, длиной 22 м с наклоном в сторону разгрузки высушенного материала [1], к внутренним стенкам которого приварены лопасти. При вращении барабана они захватывают материал и рассыпают его тонкими параллельными каскадами (струйками), занимающими все поперечное пространство барабана. На цилиндр насажены два или более (в зависимости от длины барабана) бандажа и венец зубчатый. Бандажами барабан опирается на опорные ролики. Опорный ролик состоит из цилиндрической формы тела, оси и двух упорных шайб, свободно насаженных на ось. Тело ролика изготавливается из качественной конструкционной стали марок 25, 35 и 40 или из стали 25Л, 35Л с пределом прочности $\sigma_b \geq 500$ МПа.

Отслеживание положения сушильного барабана выполняют с помощью упорных роликов (рис. 1), устанавливаемые по обе стороны от бандажа, находящегося около привода. Упорные ролики представляют собой цилиндры конической формы. При нормальном расположении барабана бандаж вместе с корпусом вращается, не соприкасаясь с упорными роликами. При смещении корпуса - бандаж начинает вращать упорный ролик, что сигнализирует о максимально допустимом смещении корпуса вдоль оси и о необходимости отцентровать его на опорах [2]. Опорные и упорные ролики высоконагруженных печей выполняются на роликоподшипниках радиальных двухрядных или конических.

Бандажи представляют собой кольца прямоугольного или квадратного сечений и являются наиболее ответственными деталями барабанных вращающихся аппаратов.

Выход из строя бандажа влечет за собой длительный простой в ремонте. Эта операция достаточно сложная, трудоемкая, дорогостоящая, ослабляющая корпус [2]. Поэтому всегда твердость поверхности бандажа превышает твердость поверхности опорных роликов.

Сушильный барабан вращается от привода через зубчатое зацепление, состоящее из малой шестерни, насаженной на вал

привода, и зубчатого венца. На обоих концах барабана имеются специальные уплотнительные устройства, предотвращающие подсосы воздуха. Они размещаются между топкой и передним концом барабана и между задним концом барабана и разгрузочной камерой. К внутренним стенкам сушильного барабана приварены лопасти. С одной стороны к барабану пристраивается топка, а с другой – выгрузочная камера.

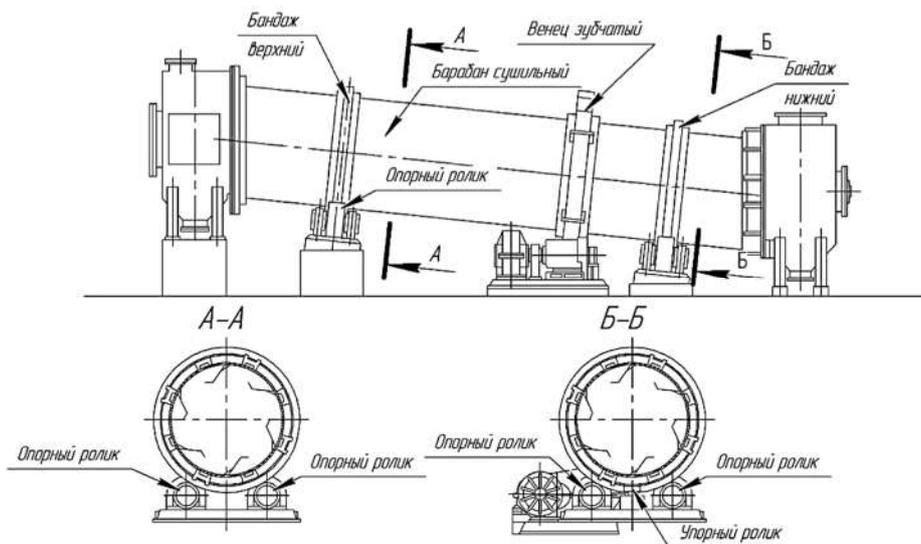


Рис. 1. Двухопорная вращающаяся печь
Fig. 1. Double-support rotary kiln

Принцип работы печи основан на нагреве сырья: внутри барабана горит топочный газ, температура распределяется следующим образом: 750 °С – на входе, 140 °С – на выходе. Тепло равномерно распределяется внутри барабана. Основная часть тепла расходуется на переработку ма-

териала, остальное рассеивается по поверхности барабана таким образом: наружная стенка барабана 200...250 °С, верхний бандаж – около 120 °С, верхние опорные ролики – около 100 °С, нижний бандаж – около 70 °С, нижние опорные и упорные ролики – около 60 °С (рис. 2).

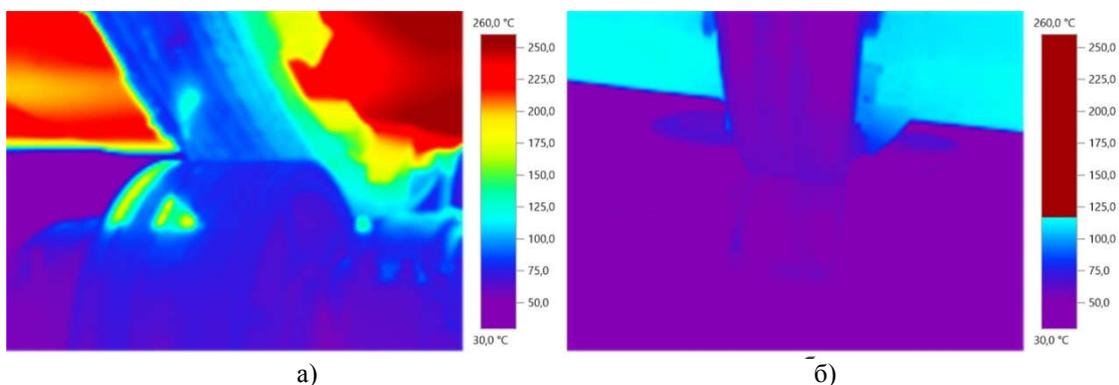


Рис. 2. Распределение температуры деталей вращающейся печи: а – в зоне контакта опорных роликов с бандажом, расположенные ближе к топочному устройству; б – тоже, но в удалении от топки
Fig. 2. Temperature distribution of rotating rotary kiln parts:
a) in the contact area of the support rollers with the bandage, located closer to the furnace device;
b) also, but away from the furnace

Опорные ролики несут на себе весь вес сушильного барабана, включающий в себя вес металлической конструкции, внутренней футеровки, а также вес загруженного в него сырья. При достижении их износа предельного значения дальнейшая эксплуатация приводит к нарушению работы оборудования, а в дальнейшем может

привести и к выходу вращающейся печи из строя. Изнашивание поверхности опорных роликов носит смешанный характер – механическое (абразивное и усталостное), молекулярно-механическое и коррозионно-механическое (рис. 3).



а) б)
Рис. 3. Характер изнашивания поверхности опорного ролика (а) и бандажа (б)
Fig.3. The nature of wear on the surface of the supporting roller (a) and the kiln tyre (b)

Факторы, которые приводят к достижению опорными роликами предельного состояния, достаточно разнообразны по происхождению, для анализа и изучения их влияния на работоспособность, необходима систематизация. Решением проблемы изнашивания поверхности опорных роликов занимаются много организаций как отечественных, так и зарубежных. Так, например, *Xinxiang Great Wall Casting Co., Ltd* (Китай) [5] изучили и выделили следующие причины изнашивания поверхности опорных роликов:

- изменение температуры и влажности во время работы в дневное и ночное время, а также сезонное изменение климатических условий;

- отсутствие смазочного материала в зоне контакта;

- высокое содержание взвеси мелких пылевидных фракций материала, подвергающегося сушке, в цеховой атмосфере;

- изгиб барабана под собственным весом и от перемещения материала внутри него;

- непараллельность осей барабана и опорного ролика, являющейся следствием длительной эксплуатации с циклическим

нагрузением, обусловленным условиями работы оборудования;

- вибрация барабана при вращении.

Этого перечня недостаточно для полноценного анализа процесса достижения предельного состояния опорного ролика. Для исследования и определения наиболее существенных причинно-следственных взаимосвязей между факторами и последствиями, необходимо сгруппировать факторы с помощью одного из «Семи инструментов контроля качества» [6] – диаграммы Исикавы. Систематизировать причины будем по следующим группам: персонал, среда, управление, оборудование, процесс, материал поверхности роликов.

В группу «Персонал» внесена причина «Внесение абразива в зону контакта» - как показали наши исследования на предприятии, в процессе работы сушильный барабан начинает сползать с опорных роликов, чтобы предотвратить аварийную ситуацию, рабочие подсыпают абразивный материал (песок) в место контакта бандажа и опорного ролика, это приводит к увеличению трения между деталями и барабан возвращается на место. Этот метод является

нарушением условий эксплуатации, но позволяет с минимальными затратами управлять положением сушильного барабана.

Работа вращающейся печи сопровождается выделением мелкодисперсной пыли в окружающую атмосферу, что делает условия работы вредными, поэтому для квалификации персонала предъявляются невысокие требования (причина «Отсутствие компетенций») и такие работники, как правило, не заинтересованы в повышении ресурса обслуживаемого оборудования (причина «Низкий уровень заинтересованности»). Две этих причины формируют проблему,

пресловутого «человеческого фактора» [7]: не обладая должным уровнем образования и без заинтересованности в результате, персонал не контролирует состояние смазки в подшипниках («Контроль за смазочным материалом»).

В группу «Среда» включены причины, связанные с окружающей средой («Высокая влажность», «Высокая температура», «Высокая запыленность»), а также суточными и сезонными перепадами температуры («Сезонные колебания температуры», «Суточные колебания температуры»).

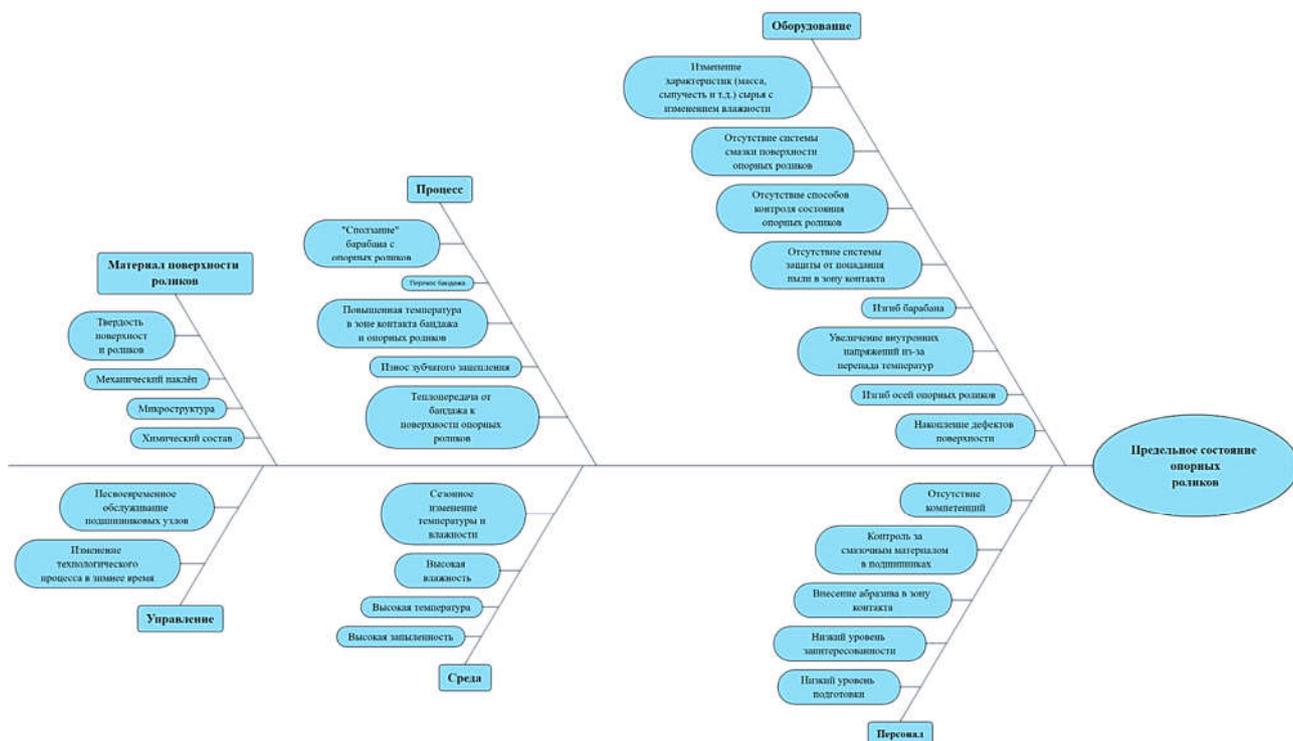


Рис. 4. Причины достижения предельного состояния поверхности опорного ролика
Fig. 4. Reasons for reaching the limit condition of the supporting roller surface

«Несвоевременное обслуживание подшипниковых узлов» и «Изменение технологического процесса в зимнее время» вынесены в группу «Управление».

Ряд изменений в структуре поверхностного слоя опорного ролика также приводят к достижению им предельного состояния (группа «Материал поверхности роликов»). Уже упоминалось, твердость поверхности опорного ролика меньше твердости бандажа, поэтому изначально опорному ролику отведена роль расходной детали, которая по мере изнашивания предназначена к замене или восстановлению геометрии, путем реализации электродуговой наплавки

(причина «Твердость поверхности ролика»). В процессе контакта с бандажом в поверхностной зоне ролика возникают циклические контактные нагрузки, которые приводят к переупрочнению поверхности – механическому наклепу (причина «Механический наклёп»), за счёт перераспределения дефектов кристаллического строения (прежде всего дислокаций) поверхности (причина «Микроструктура поверхности»). Причина «Химический состав» – содержание в поверхностном слое опорного ролика основных и легирующих элементов может изменяться при эксплуатации, часть новых

компонентов может внедряться в поверхностный слой путем механического легирования [8] при контактном взаимодействии в загрязнённой пылью атмосфере цеха. В группу «Процесс» внесены причины, возникающие в процессе выполнения технологических операций – сушки, кальцинирования, гранулирования и т.д. Вращаясь, барабан смещается вдоль своей оси и это приводит к перемещению пятна контакта по поверхности опорного ролика (причина «Сползание» барабана с опорных роликов») [9, 10]. Процесс обработки сырья происходит при высокой температуре, часть выделяемой энергии через бандаж передаётся опорным роликам, что приводит к повышенной температуре в зоне контакта (причина «Теплопередача от бандажа к поверхности опорных роликов»). Вращение барабана происходит от электродвигателя через зубчатое зацепление, которое со временем изнашивается, что приводит к возникновению опасных циклических вибраций (причина «Износ зубчатого зацепления»). В конструкции вращающейся печи есть ряд недостатков, которые влияют на состояние поверхности опорных роликов (группа «Оборудование») [11]. Чтобы сохранять положение барабана на опорных роликах, в конструкции отсутствует система смазки поверхности в зоне контакта (причина «Отсутствие системы смазки поверхности опорных роликов»). Также отсутствует система защиты зоны контакта от мелкодисперсной пыли (причина «Отсутствие системы защиты от попадания пыли в зону контакта»), кроме абразивного воздействия мелкодисперсная пыль оседает в лёгких рабочих, поэтому наилучшим вариан-

том было бы организовать систему фильтрации воздуха, которая позволила бы очищать воздух и собирать ценное сырьё [12]. Барабан обладает большими габаритными размерами, в добавок внутри находится некоторое количество сырья, общая масса достаточно внушительна – это приводит к изгибу барабана [13] (причина «Изгиб барабана»), который усугубляется изменением характеристик сырья (причина «Изменение характеристик (масса, сыпучесть и т.д.) сырья с изменением влажности»), неравномерность прогрева поверхности барабана, а также суточные и сезонные перепады температур (причина «Увеличение внутренних напряжений из-за перепада температур»). Изгиб барабана является одной из причин возникновения вибраций, а также неравномерности распределения удельного давления [14]. Опорный ролик с натягом сидит на оси, которая в свою очередь также подвержена изгибу (причина «Изгиб осей опорных роликов»), ось в свою очередь сидит на подшипниках, изгиб оси может вызывать подклинивание подшипников или перекося опорного ролика. Конструкцией вращающейся печи не предусмотрен контроль состояния опорных роликов: износ, накопление дефектов в поверхностном слое, изменение микроструктуры и т.д. (причина «Отсутствие способов контроля состояния опорных роликов»).

Каждый из перечисленных факторов в различной степени способствует достижению предельного состояния опорным роликам. Систематизация причин и факторов, их вызывающих, позволит разработать оптимальные механизмы повышения долговечности поверхностного слоя опорного ролика без ущерба для бандажа (таблица).

Таблица
Факторы и причины, приводящие к достижению предельного состояния опорных роликов

Factors and reasons leading to reaching the limit state of bearing rollers

Table

| № п/п | Факторы | Причины | Мероприятия по предотвращению или ликвидации |
|-------|----------|---|---|
| 1 | Вибрация | Изгиб барабана | Упрочнение барабана, внедрение дополнительных ребер жесткости |
| | | Изгиб оси опорного ролика | Упрочнение оси, контроль смазки в подшипниках |
| | | Износ бандажа | Шлифовка поверхности бандажа |
| | | Выход из строя подшипника | Своевременное обслуживание/Замена изношенных деталей |
| | | Износ зубчатого зацепления | Замена изношенных деталей |
| | | Неравномерный износ поверхности опорного ролика | – |

| № п/п | Факторы | Причины | Мероприятия по предотвращению или ликвидации |
|-------|--|---|---|
| 2 | Абразивное изнашивание | Отсутствие системы смазки | Внедрение системы смазки |
| | | Попадание абразива в зону контакта | Изменение способа контроля положения барабана |
| | | Высокое содержание пыли в окружающей атмосфере | Внедрение системы фильтрации воздуха или защиты контактных поверхностей |
| 3 | Пластическое деформирование | Изменение микроструктуры | Использование материалов со стабильной микроструктурой |
| | | Изменение химического состава сплава | Контроль процесса восстановления поверхности опорного ролика |
| | | Перераспределение дефектов кристаллического строения в поверхностном слое | Нагрев, релаксация напряжений |
| | | Изгиб барабана | Упрочнение барабана, внедрение дополнительных опор |
| | | Изгиб оси опорного ролика | Упрочнение оси, контроль смазки в подшипниках |
| | | Сползание барабана с опорных роликов | - |
| | | Вес сушильного барабана | - |
| 4 | Коррозионно-механическое изнашивание | Перепады температуры и влажности окружающей среды | Система регулирования температуры и влажности окружающей среды |
| | | Повышенная температура в зоне контакта бандажа и опорных роликов | Система регулирования температуры в зоне контакта |
| 5 | Молекулярно-механическое изнашивание | Перепады температуры и влажности окружающей среды | Система регулирования температуры и влажности окружающей среды |
| | | Повышенная температура в зоне контакта бандажа и опорных роликов | Система регулирования температуры в зоне контакта |
| | | Вес сушильного барабана | - |
| 6 | Изменение формы и размеров контактных площадок и контактных напряжений | Изгиб барабана | Упрочнение барабана, внедрение дополнительных опор |
| | | Изгиб оси опорного ролика | Упрочнение оси, контроль смазки в подшипниках |
| | | Перемещение барабана по поверхности опорных роликов вдоль оси вращения | Работа упорных роликов |

Выводы

1. На достижение предельного состояния опорных роликов влияет достаточно большое число факторов, причины которых различны по своей природе.

2. Сортировка факторов по характеру возникновения поможет разрабатывать комплексы мероприятий по повышению ресурса опорных роликов с минимальными трудозатратами.

3. Наибольший интерес представляют факторы, вызывающие изменения в поверхностном слое опорного ролика, что и ведет к достижению ими предельного состояния.

4. От материала поверхности роликов зависят: твердость поверхности роликов; самоупрочнение поверхностного слоя в результате механического наклепа; изменение микроструктуры и химического состава.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Лисиенко В.Г., Щелоков Я.М., Ладыгичев М.Г. Вращающиеся печи: теплотехника, управление и экология: Справочное издание: В 2-х книгах.

Книга 1 [Текст] / Под ред. В.Г. Лисиенко. – М.: Теплотехник, 2004. - 688 с.

2. Козловский Э. А. Барабанные вращающиеся аппараты: учеб. пособие / Э. А. Козловский, А. Э.

- Козловский, И. А. Повтарев; Иван. гос. хим-технол. ун-т. Иваново: ИГХТУ, 2019. 106 с.
3. OST 26-01-147-89 Apparatuses drying machines with rotating drums. General technical requirements.
 4. Azarkin A.A., Makarenko K.V. Investigation of the influence of working heating on achieving the limiting state of the support rollers of rotary furnaces. Collection of Scientific Papers of the National Conference, February 07-10, 2024: Actual Issues of Engineering, Science, Technology. Bryansk: BSTUE; 2024.
 5. <http://www.greatwallcasting.com/newsroom/surface-of-rotary-kiln-supporting-roller.html>
 6. Спицнадель В.Н. Системы качества (в соответствии с международными стандартами ISO семейства 9000): Уч. пос. СПб.: Издательский дом «Бизнес-пресса», 2000. 336 с.
 7. Human factors in simulation and training / editors, Dennis A. Vincenzi ... [et al.]. – CRC Press: Taylor & Francis Group, 2009. – 450 p.
 8. Механическое легирование / Кузьмич Ю.В., Колесникова И.Т., Серба В.И., Фрейдин Б.М. М.: Наука, 2005. 213 с.
 9. Гончаров, М.С. Технологическое обеспечение параметров контакта опор вращающихся печей путем совершенствования мобильной технологии обработки поверхностей качения: специальность 05.02.08 «Технология машиностроения»; диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Гончаров Михаил Сергеевич ; Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Белгород, 2019. 214 с.

10. Шрубченко, И.В. Технологические основы обеспечения формы и условий контакта поверхностей качения опор технологических барабанов при обработке мобильным оборудованием: специальность 05.02.08 «Технология машиностроения»; автореферата диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Шрубченко Иван Васильевич ; Московский авиационный институт. Москва, 2007. 44 с.
11. Boateng, A.A. Rotary Kilns: Transport Phenomena and Transport Processes / Second Edition. The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford: Elsevier, 2016. 368 p.
12. Софич, Д.О. Утилизация отходов кремниевого производства / Д.О. Софич, А.Я. Машович // Экология и безопасность в техносфере : Современные проблемы и пути решения : Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции 27–28 ноября 2013 г. / Коллектив авторов. М.-Берлин: Директ-Медиа, 2015. С. 208 -209.
13. Rotary Kiln Cylinder Deformation Measurement and Feature Extraction Based on EMD Method / Kai Zheng, Yun Zhang, Chen Zhao and Lei Liu // Article in Engineering Letters · November 2015: - https://www.researchgate.net/publication/285470858_Rotary_Kiln_Cylinder_Deformation_Measurement_and_Feature_Extraction_Based_on_EMD_Method
14. РД 26-01-158-86. Apparatuses drying machines with rotating drums. Norms and methods of calculation of strength.

REFERENCES

1. Lisienko VG, Shchelokov YaM, Ladygichev MG. Rotary furnaces: heat engineering, management and ecology. Moscow: Teplotekhnika; 2004.
2. Kozlovsky EA, Kozlovsky AE, Povtarev AE. Drum rotary devices: textbook. Ivanovo: ISTUCT; 2019.
3. OST 26-01-147-89 Drying machines with rotating barrels. Specifications. Moscow; 1989.
4. Azarkin AA, Makarenko KV. Study of the influence of working heating on achieving the limiting state of the support rollers of rotary furnaces. Collection of Scientific Papers of the National Conference, February 07-10, 2024: Actual Issues of Engineering, Science, Technology. Bryansk: BSTUE; 2024.
5. <http://www.greatwallcasting.com/newsroom/surface-of-rotary-kiln-supporting-roller.html>
6. Spitsnadel VN. Quality systems (in accordance with international standards ISO family 9000): textbook. St. Petersburg: Publishing house "Business Press"; 2000.
7. Dennis A. Vincenzi, editors. Human factors in simulation and training. CRC Press: Taylor and Francis Group; 2009.
8. Kuzmich YuV, Kolesnikova IT, Serba VI, Freydin BM. Mechanical alloying. Moscow: Nauka; 2005.
9. Goncharov MS. Technological support for contact meters of rotary furnace supports by improving mobile rolling surface treatment technology [dissertation]. [Belgorod (RF)]: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov; 2019.
10. Shrubchenko IV. Technological bases for ensuring contact shape and conditions of rolling surfaces of technological drum supports during machining with mobile equipment [dissertation]. [Moscow (RF)]: Moscow Aviation Institute; 2007.
11. Boateng AA. Rotary kilns: transport phenomena and transport processes. Oxford: Elsevier; 2016.
12. Sofich DO, Mashovich AY. Recycling of silicon production waste. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference, November 27-28, 2013: Ecology and Safety in Technosphere : Modern Problems and Solutions. Moscow-Berlin: DirectMedia; 2015.
13. Kai Zheng, Yun Zhang, Chen Zhao and Lei Liu. Rotary kiln cylinder deformation measurement and feature extraction based on EMD method. Article in Engineering Letters [Internet]. November 2015. Available from: https://www.researchgate.net/publication/285470858_Rotary_Kiln_Cylinder_Deformation_Measurement_and_Feature_Extraction_Based_on_EMD_Method

tion/285470858_Rotary_Kiln_Cylinder_Deformation_Measurement_and_Feature_Extraction_Based_on_EMD_Method

14. RD 26-01-158-86. Drying machines with rotating drums. Norms and methods of strength calculation. Moscow; 1986.

Информация об авторах:

Макаренко Константин Васильевич – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Машиностроение и материаловедение» Брянского государственного технического университета; тел.: +7(4832) 58-82-18.

Азаркин Александр Александрович – аспирант, Брянский государственный инженерно-технологический университет, тел.: +7(4832) 74-21-29.

Makarenko Konstantin Vasilyevich – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Mechanical Engineering and Material Science at Bryansk State Technical University; phone: +7(4832) 58-82-18.

Azarkin Aleksandr Aleksandrovich – Postgraduate student, Bryansk State Technological University of Engineering, phone: +7(4832) 74-21-29

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья опубликована в режиме Open Access.
Article published in Open Access mode.

Статья поступила в редакцию 11.10.2024; одобрена после рецензирования 28.10.2024; принята к публикации 27.11.2024. Рецензент – Шалыгин М.Г., доктор технических наук, доцент Брянского государственного технического университета, член редсовета журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 11.10.2024; approved after review on 28.10.2024; accepted for publication on 27.11.2024. The reviewer is Shaligin M.G., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of Technical Sciences, Associate Professor of Bryansk State Technical University, member of the Editorial Council of the journal *Transport Engineering*.