

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-12-116-124

^{1,*}Бестужева О.В., ²Бондаренко Ю.А., ²Баранов Д.С., ²Романович А.А.¹Белгородский государственный национальный исследовательский университет²Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,

*E-mail: bestuzheva@bsu.edu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕМОНТНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВРАЩЕНИЯ РАЗЛИЧНОЙ КОНФИГУРАЦИИ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

Аннотация. Работоспособность и надежность узлов особо тяжелого оборудования добывающей, горной, химической и др. промышленности зависит от точности и качества монтажа оборудования, проведения профилактических ремонтов, выявления изношенных узлов и деталей и их своевременной замены. Зачастую для измельчения сырья применяются трубные мельницы, в процессе эксплуатации которых происходит повышенный износ сопрягаемых деталей, возникающий из-за наследственных дефектов, проявляющихся вследствие нарушений исполнения технологического процесса изготовления вала, а именно обработки ответственной поверхности - цилиндрической цапфы. При сильной деформации цилиндрической цапфы необходима замена подшипникового узла и проведение ремонтных работ. Для определения параметров ротационного резания, геометрии и положения режущих инструментов, выявления аналитических взаимосвязей между технологическими условиями обработки и подлежащими оптимизации рабочими режимами задаются технические ограничения при применении токарных нестационарных станков, определяется площадь среза и линия пересечения восстанавливаемой и инструментальной поверхностей. Приводится система уравнений, описывающая линию пересечения поверхности восстанавливаемой детали и поверхности инструмента. Определяется площадь поверхности среза инструментом за один проход. Рассчитывается площадь срезаемого металла при обработке конической поверхности.

Ключевые слова: цементная промышленность, повышение работоспособности оборудования, износ цапфы валов трубной мельницы, параметры ротационного резания.

Введение. На различных предприятиях, которые относятся к предприятиям, специализирующимся на выпуск продукции для строительной сферы, в частности на предприятиях цементной промышленности, находится в эксплуатации оборудование, в состав которого входят детали и узлы с большими габаритными размерами. Например, при выпуске различной продукции в добывающей, горной, химической и других применяются на предприятиях машины и оборудование, которые имеют массу от 300 до 1800 тонн, в частности такое как помольные мельницы, вращающиеся печи и т.д.

Габаритные размеры этих изделий являются одним из основных факторов, устанавливающих технологические возможности изготовления оборудования, в состав которого они входят, а также циклы производства и монтажа конструкций, совокупность проблем транспортировки к месту эксплуатации и др. И повышение работоспособности этого оборудования также зависит от точности и качества его монтажа, проведения профилактических ремонтов, выявления изношенных узлов и деталей и их своевременная замена.

Конструктивные особенности деталей и узлов больших габаритов, а также технические требования, предъявляемые к ним различны [1]. Одним из важнейших показателей роста производи-

тельности работы оборудования данного вида является его надежность, которая зависит от многих факторов, и в значительной степени от зависящая от своевременного ремонта и технического обслуживания, для которого возможно применение специального станочного оборудования, которое разрешит восстановить, утраченную в процессе эксплуатации этого оборудования работоспособность, снизить время проведения ремонтов [2–5].

Методика. На сегодняшний день в нашей стране функционируют около 60 предприятий цементной промышленности, при этом выпуск продукции на этих предприятиях находится в пределах 80 млн. тонн в год. На этих цементных заводах имеется в наличие высокопроизводительное технологическое оборудование, которое необходимо для производства цемента с высокими показателями, в частности используются мельницы непрерывного действия сухого и мокрого помола, работающие в открытом или закрытом цикле. Наиболее часто для измельчения сырья применяют шаровые мельницы, в которых помол материала происходит внутри полого вращающегося барабана. Если длина барабана мельницы в 4–5 раз больше его диаметра, то такую мельницу принято называть трубной.

Конструктивные особенности трубных мельниц различных типоразмеров аналогичны

(рис. 1), можно выделить из узлов: барабан, загрузочное и разгрузочное устройства, опорные цапфовые подшипниковые узлы, которые воспринимают нагрузки от барабана мельницы и содержащихся в нем мелющих тел, и материала, привод, в состав которого входит электродвигатель и редуктор.



Рис. 1. Шаровая трубная мельница

В связи с тем, что в результате исполнения технологического процесса изготовления одной из основных деталей, которая входит в опорные цапфовые подшипниковые узлы, цапфы, могут возникнуть нарушения в этих техпроцессах, которые приводят к появлению некоторых наследственных дефектов (Рис. 2 2). В процессе эксплуатации шаровой трубной мельницы в цапфах валов эти дефекты могут приводить к появлению износа рабочей поверхности сопряжения этих деталей, что в последствии приводит в потери цилиндричности цапфы, а сама цапфа приобретает форму близкую к усеченному конусу или седловидность, катеноиду и др. В результате этого возникает необходимость заменить подшипниковый узел, для чего мельницу надо останавливать и проводить ремонтные работы с применением станочных модулей и ротационного резания [6–8].



Рис. 2. Изношенная цапфа, подготовленная к ремонту

Применение приставных станков для восстановления, изношенных в процессе эксплуатации

крупногабаритных деталей, которые входят в состав, например, такого промышленного оборудования как цементные вращающиеся печи и трубные помольные мельницы, приводит к тому, что следует рассмотреть комплекс различных технологических и конструктивных задач, в связи с тем, что процесс восстановления таких деталей имеет существенные отличия от процесса восстановления изделий на стационарных станках. На первом этапе возникает проблема установления вероятности устранения изношенной поверхности детали приставным станком. Также возникает вопрос возможности ремонтного восстановления детали без демонтажа ее с промышленного оборудования [9]. На следующем этапе необходимо определиться с местом установки приставного станка на поверхности восстанавливаемой детали, с учетом того, что месторасположение станка оказывает значительное влияние на достижение заданной точности и шероховатости ремонтируемого изделия, т.е. формообразующие движения должны обеспечить данные требования. Еще одна из проблем, которую следует решить при рассматриваемом способе восстановления, заключается в том, что привод, от которого выполняется вращение изделия располагается не на станке, а вращающий момент передает через систему валов и редукторов [10]. Конструктивные особенности станка заключаются в том, что он имеет продольную и поперечную подачи, при том, что частота вращения изделия не зависит от станочного оборудования, а от промежуточной системы привода вращения этого изделия от двигателя.

В процессе эксплуатации промышленного оборудования, различные его детали подвергаются постепенным износным процессам, к этим деталям можно отнести, например, бандаж печного оборудования, сушильных барабанов, цапфы и валы прокатных станов, листоформовочных машин, бумагоделательных машин, помольных агрегатов, имеющих ремонтируемые наружные поверхности вращения. Также подлежат обработке внутренние поверхности вращения, такие как загрузочные и разгрузочные цапфы шаровых трубных мельниц, гильзы гидроцилиндров большого диаметра, горловины, работающих под давлением, крупногабаритных цистерн и сосудов. Восстановления без демонтажа с агрегата также требуют торцевые поверхности разнообразных фланцев валов, торцов крупногабаритных труб под сварку и труб, работающих в составе агрегатов под давлением, торцы бандажей печного оборудования цементной промышленности и барабанов под гидрорпор. Для восстановления и ремонта изношенных отверстий применяют нестационарные сверильные станки

[11], которые позволяют восстановить работоспособность фланцевых соединений валов, например, цапф загрузочных и разгрузочных узлов трубных мельниц, венцовых шестерен цементных печей и других фланцевых соединений различного оборудования. Для ремонта зубчатых колес печных агрегатов, торцевых поверхностей их сварных бандажей, для восстановления конструктивно различных шпоночных и шлицевых соединений, для снятия усиления сварных швов разработаны нестационарные фрезерные станки. Для обеспечения требуемой точности и шероховатости восстановленных крупногабаритных поверхностей деталей любой конфигурации во многих случаях требуется в технологический процесс восстановления и ремонта вводить операцию шлифования, которая проводится также с применением нестационарных шлифовальных станков. Следовательно, нестационарные станки могут иметь разнообразную компоновку, иметь различное назначение, применяться для выполнения разных технологических операций. Поэтому уже на этапе проектирования такого станочного оборудования решается комплекс задач. Во-первых, необходимо установить точную геометрическую конфигурацию детали, требующей ремонтного восстановления, рассмотреть величины отклонений размеров изношенной детали относительно первоначальных размеров, а также установленные нормативно-технической документацией технические требования, требования по точности и шероховатости поверхности изделия. Следует установить и обосновать выбор метода и способа восстановления поверхности износа детали с обеспечением соблюдения технических условий, определить возможность доступа при обработке к восстанавливаемой поверхности детали без снятия ее с рабочего агрегата. Далее необходимо рассмотреть исполнительные движения станка (определить формообразующие движения приставного станка в зависимости от метода и способа обработки поверхности восстанавливаемой детали) и провести анализ и обоснование выбора, применяемого для ремонтной обработки инструмента с целью обеспечения требований для восстановления работоспособности агрегата. Следует сформировать служебное назначение станка, так как станки такого типа разрабатываются под обработку установленных деталей, которые функционируют в заданных конкретных условиях. Надо рассмотреть траекторию движения (структурную схему) применяемого инструмента и необходимость, и возможность настройки на следующий инструмент для обеспечения установленных точности и шероховатости поверхности. Рассчитать погреш-

ность базирования станка относительно восстанавливаемой поверхности изделий с целью обеспечения наименьшей погрешности при формообразовании, определить динамические особенности станка и рассмотреть взаимосвязи между статической настройкой обрабатываемого оборудования и формообразующими движениями. Следует определить методы компенсации возникающих погрешностей установки в процессе восстановления и влияние особенностей перемещения ремонтируемого изделия на изменение его положения в пространстве относительно применяемого инструмента.

Определяются технические ограничения (интервалы допустимых значений), которые выявляют аналитическую взаимосвязь между технологическими условиями обработки и подлежащими оптимизации рабочими режимами. Не допускается несоблюдение ограничений и выход за установленные верхние и нижние предельные отклонения параметра характеристик станка, применяемого инструмента и ремонтируемого изделия.

Технические ограничения при применении токарных нестационарных станков следующие: максимально допустимые значения скорости резания, которые обеспечивают заданное стружкообразование и оптимальную схему износа инструмента; максимально допустимые значения подачи, которые обеспечивают заданное стружкообразование и оптимальную схему износа инструмента; верхние и нижние предельные отклонения от установленной подачи (минимальная заданная подача и максимальная заданная подача); предельно допустимое значение глубины резания для обеспечения установленной нормативно-технической документацией шероховатости поверхности; верхние и нижние предельные отклонения от установленного допустимого отношения толщины стружки к ее ширине (минимальное заданное отношение и максимальное заданное отношение); максимальное значение припуска, который можно снять за один проход и максимальное значение общего припуска на обработку; период стойкости инструмента, за который может быть определена форма износа должен быть минимальным; максимально допустимые значения момента на шпинделе станка, отклонения положения неизменно закрепленной детали и нагружения режущей кромки инструмента.

Общие технические ограничения: статические (которые зависят от упругости и жесткости обрабатываемой детали и станка), динамические (которые зависят от колебаний в системе станок – приспособление – инструмент – заготовка), тер-

мические (которые зависят от температурных колебаний) прочность, упругость и деформация. Общие геометрические ограничения: аналитические и графические зависимости от конфигурации, полученных размеров и точности изготовления заготовки, от геометрии применяемого режущего инструмента и всеми параметрами, связанными с ним, от длины обработки, от биения, закрепления заготовки в приспособлении. Также на нестационарные станки имеются ограничения по нагрузкам, например, по силе зажима, по частоте вращения шпинделя, по мощности и крутящему моменту.

К основным техническим ограничениям, которые выявляют аналитическую взаимосвязь между технологическими условиями обработки и подлежащими оптимизации рабочими режимами, относят шероховатость поверхности ремонтируемого изделия (необходимый уровень этого ограничения зависит от конкретных технологических целей, которые только по определению допустимой шероховатости можно разделить на черновую и чистовую обработку), упругие перемещения восстанавливаемого изделия, ограничение силы зажима и ограниченная область применения эмпирически найденных зависимостей для процесса резания.

Восстанавливать работоспособность крупногабаритных изделий, у которых в процессе работы оборудования возникли дефекты, повреждения и износные отказы можно несколькими способами. Один из способов характеризуется большим ремонтным периодом, который связан с тем, что оборудование, на котором установлено поврежденное изделие, должно быть остановлено, технологический процесс выпуска продукции прекращается. Изношенное изделие демонтируют с этого оборудования, транспортируют на машиностроительные предприятия, которые имеют станочное оборудование для обработки крупногабаритных деталей. Изделие восстанавливается, а потом транспортируется на предприятие и монтируется обратно на оборудование. Способ восстановления изделий на месте их эксплуатации без демонтажа с оборудования с применением приставных станков имеет преимущества, одним из которых является меньший ремонтный период.

Согласно рабочему чертежу детали - цапфа, которая входит в состав погрузочного и разгрузочного узлов помольных агрегатов, должна иметь шероховатость рабочей поверхности Ra-2,5, определяемую эксплуатационными требованиями. Если эту поверхность обрабатывать призматическим резцом, то требуемую шероховатость не достичь и поэтому следует после токарной обработки провести операцию шлифования

поверхности. Введение в технологический процесс ремонта изделия дополнительной операции значительно увеличивает трудоемкость и себестоимость проведения ремонта. Требуемую шероховатость поверхности без применения операции шлифования можно обеспечить, используя ротационное резание. Этот способ обработки имеет ряд преимуществ: в связи с тем, что резец постоянно вращается (вращение или принудительное или самовращение), то процесс характеризуется незначительным линейным износом, который при этом не накапливается как при резании с применением призматических резцов, на обычном постоянном участке режущей кромки инструмента, а распределяется по всей поверхности резания равномерно; так как в процессе обработки каждый участок режущей кромки инструмента постоянно меняется, то этим обеспечиваются оптимальные условия теплоотвода от работающих участков в режущую чашку инструмента, которая имеет имеющую значительный радиус кривизны; непрерывное вращение инструмента во время работы обеспечивает большую протяженность круговой режущей кромки ротационного резца, характеризующее постоянное прерывание и незначительный период времени работы каждого его участка, позволяя тем самым осуществлять охлаждение лезвия во время холостого пробега, при этом температура в зоне резания уменьшается на величину до 40 % и уменьшается истинная скорость резания по сравнению со скоростью главного движения. В зоне резания наблюдается невысокая температура и это позволяет увеличивать скорость восстановления детали и производительность. При применении ротационных резцов можно допускать увеличение скорости резания, а это в конечном счете приводит к повышению производительности при выполнении ремонтных работ. Если рассмотреть основные закономерности и особенности, работоспособность и надежность чашечных резцов, условия стружкообразования при выполнении операции, то эти свойства обуславливают кинематические параметры ротационного резания. Стойкость ротационных резцов повышается в десятки раз по сравнению с призматическими резцами при последовательном повышении режимов резания, чему способствует снижение сил трения между режущей кромкой ротационного инструмента и обрабатываемой поверхностью изделия. Применение таких резцов позволяет исключить операцию шлифования, в связи с тем, что микрорельеф обработанной поверхности изделия характеризуется округленными вершинами и впадинами микронеровностей и большой в 1,3 раза по сравнению с обработкой призматическим резцом.

ческими резцами опорной длиной профиля поверхности [12, 13]. Округленный микрорельеф впадин и выступов увеличивает износостойкость восстановленной поверхности. Размерная стойкость таких резцов выше, чем традиционных, этот фактор является важным при обработки крупногабаритных деталей, так как точность восстановленных поверхностей деталей, которая установлена в нормативно-технической документации, при применении призматических резцов не может быть достигнута, в связи с тем, что период стойкости таких резцов не обеспечивает завершение одного полного рабочего хода, а процесс восстановления ротационным резанием проводится без смены режущего инструмента. При высокой размерной стойкости ротационного инструмента обеспечивается геометрическая точность валов большой длины, создается наклеп восстановленной поверхности изделия, поэтому нет необходимости в технологический процесс вводить операцию накатки. Все перечисленные особенности ротационного резания позволяют сделать вывод, что для обеспечения заданной нормативно-технической документацией шероховатости, точности, а также для повышения производительности ремонтных работ, получения наклепа обработанной поверхности, желательно при восстановительной обработке крупногабаритных деталей применять чашечные резцы.

При использовании таких резцов на обработанной поверхности образуется характерный микрорельеф, который зависит от радиуса режущей чашки, наклона ротационного инструмента относительно восстанавливаемой поверхности, а

также от способа ее вращения (самовращение или принудительное вращение) [14, 15].

Основная часть. Чтобы определить параметры ротационного резания, геометрические параметры резца, такие как угол поворота оси режущей чашки в горизонтальной плоскости, размеры чашечного резца, угол установки резца была рассмотрена действительная площадь среза. Она получается при пересечении конуса режущей чашки и поверхности детали, имеющей различные формы, Схема расположения резца относительно обрабатываемой поверхности (рис. 3) в форме катеноида, расчетная схема расположения режущей чашки относительно восстанавливаемой детали с износом в виде конуса (рис. 4).

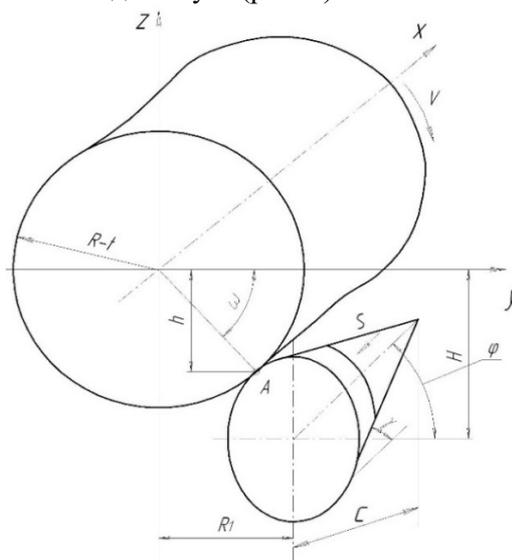


Рис. 3. Расположение режущей чашки относительно обрабатываемой поверхности

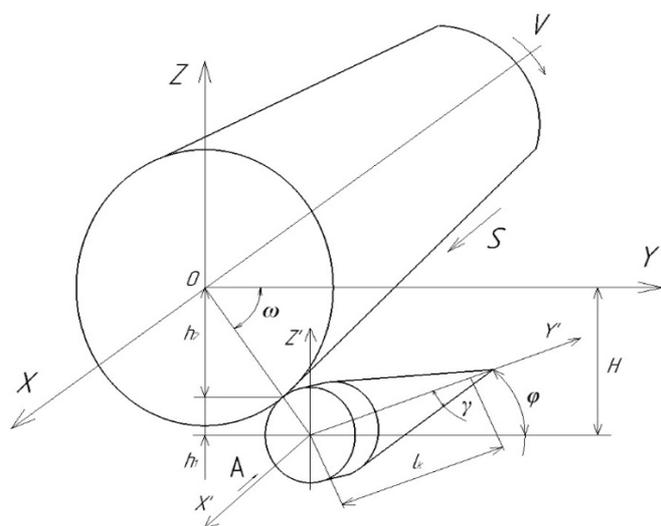
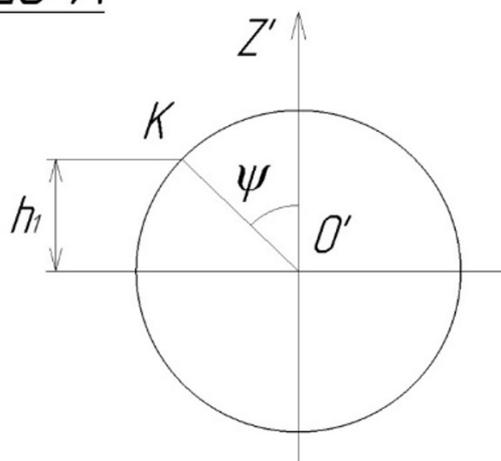


Рис. 4. Расчетная схема расположения режущей чашки относительно обрабатываемой детали
Площадь среза определяется по формуле:

$$z = \left(\begin{matrix} r^2(y + r \cdot \sin\varphi - R \cdot \cos\omega + t - r \cdot ctg\gamma \cdot \cos\varphi)^2 - \\ -c^2(x - r \cdot \cos\varphi - (R \cdot \cos\omega - t) \cdot tg\varphi - r \cdot ctg\gamma \cdot \sin\varphi)^2 \end{matrix} \right) 0.5c^{-1} - H \quad (1)$$

Упростив выражение, получим:

Вид А



$$R = m \cdot c \cdot h \left(\frac{x-l}{d} \right) \tag{2}$$

$$R' = \frac{m \cdot c \cdot h \left(\frac{x-l}{d} \right) \cos \omega - t}{\cos \varphi} \tag{3}$$

Таким образом:

$$P = \int_{R_1=m \cdot c \cdot h \left(\frac{x-l}{d} \right) \cos \omega - t}^{R_2=m \cdot c \cdot h \left(\frac{x-l}{d} \right) \cos \omega} dy \int_0^x \sqrt{1 + \left(\frac{dz}{dx} \right)^2 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2} dx \tag{4}$$

Далее рассмотрим вариант обработки изношенной конической поверхности изделия.

Закономерность изменения величины радиуса контакта резца и обрабатываемой поверхности устанавливаем при использовании схемы (Рис. 5 5).

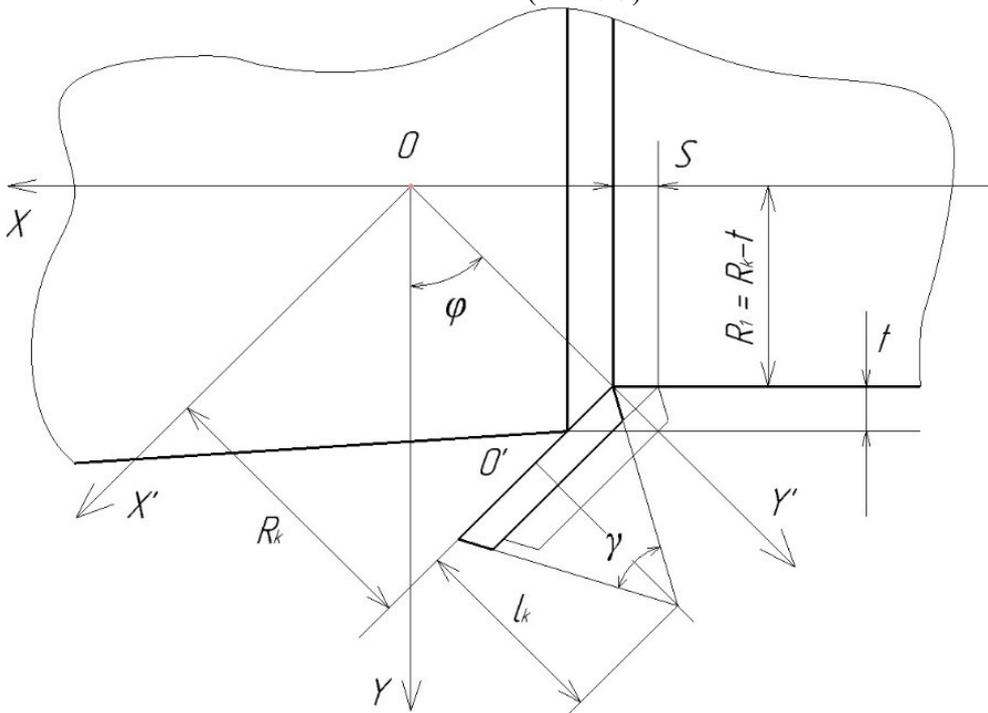


Рис. 5. Расчетная схема для определения параметров при обработке конической поверхности

Система уравнений, описывающая линию пересечения поверхности восстанавливаемой детали и поверхности инструмента:

$$\begin{cases} \frac{y^2}{R_0^2} + \frac{z^2}{R_0^2} = \frac{\left(x + \frac{L \cdot R_0}{R_0 - r_0} \right)^2}{\left(\frac{L \cdot R_0}{R_0 - r_0} \right)^2}; \\ \left(x - r \cdot \cos \varphi \left(\left(R_0 - \frac{R_0 - r_0}{L} \cdot \varepsilon \right) \cos \omega - t \right) \operatorname{tg} \varphi - r \cdot \operatorname{ctg} \gamma \cdot \sin \varphi \right)^2 + \\ + \left(z + \left(R_0 - \frac{R_0 - r_0}{L} \cdot \varepsilon \right) \sin \omega + \frac{r}{1 + \frac{\operatorname{tg}^2 \omega}{\sin^2 \varphi}} \right)^2 = \\ = \left(y + r \cdot \sin \varphi - \left(R_0 - \frac{R_0 - r_0}{L} \cdot \varepsilon \right) \cos \omega + t - r \cdot \operatorname{ctg} \gamma \cdot \cos \varphi \right)^2 \operatorname{tg}^2 \gamma \end{cases} \tag{5}$$

Тогда:

$$y = \pm \sqrt{\frac{\left(x + \frac{L \cdot R_0}{R_0 - r_0} \right)^2}{\frac{L^2}{(R_0^2 - r_0^2)}} - z^2} \tag{6}$$

Получим:

$$\left[x - r \cos \varphi - \left(\left(R_0 - \frac{R_0 - r_0}{L} \varepsilon \right) \cos \omega - t \right) \operatorname{tg} \varphi - r \cdot \operatorname{ctg} \gamma \cdot \sin \varphi \right]^2 + \left[z + \left(R_0 - \frac{R_0 - r_0}{L} \varepsilon \right) \sin \omega + \frac{r}{\sqrt{1 + \frac{\operatorname{tg}^2 \omega}{\sin^2 \varphi}}} \right]^2 = \left[\sqrt{\frac{\left(x + \frac{L R_0}{R_0 - r_0} \right)^2}{L^2} - z^2 + r \cdot \sin \varphi - \frac{\left(R_0 - \frac{R_0 - r_0}{L} \varepsilon \right) \cos \omega + t - r \cdot \operatorname{ctg} \gamma \cdot \cos \varphi}{(R_0 - r_0)^2}} \right]^2 \operatorname{tg}^2 \gamma \quad (7)$$

Площадь поверхности среза инструментом за один проход определяется по формуле:

$$S = \int_{R_0}^{r_0} dy \int_0^{x_1} \sqrt{1 + \left(\frac{dz}{dx} \right)^2 + \left(\frac{dz}{dy} \right)^2} dx \quad (8)$$

Окончательно площадь срезаемого слоя металла при обработке конической поверхности можно рассчитать по формуле:

$$S = \int_{R_0}^{r_0} dy \int_0^{x_1} \sqrt{1 + \frac{B_1(x) + B_2(y) \operatorname{tg}^2 \gamma}{B_2(y) - B_1(x)}} dx \quad (9)$$

Выводы

1. Выявлено, что к износу опорных деталей барабанов трубных мельниц, приводят отступления от технологических процессов изготовления деталей, ошибки, связанные с монтажными работами агрегатов, работа оборудования в агрессивной абразивной среде, вибрации, несоответствие металла требованиям конструкторской документации.

2. Установлено, что одним из оптимальных вариантов ремонта, является восстановление работоспособности таких агрегатов в процессе эксплуатации оборудования.

3. Установлено, что на основании анализа изменения геометрических размеров, нарушения конструктивных и технологических параметров рабочих поверхностей, величины биения в сопряжениях появляется возможность прогнозирования времени и объема ремонтных работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федоренко М.А., Бондаренко Ю.А., Маркова О.В., Антонов С.И. Технологии ремонта некоторых узлов вращающихся цементных печей и их модернизация // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. № 5. С. 193–197.
2. Банит Ф.Г., Крижановский Г.С., Якубович Б.И. Эксплуатация, ремонт и монтаж оборудования промышленности строительных материалов. М.: Стройиздат, 1971. 368 с.
3. Боганов А.И. Механическое оборудование цементных заводов. М.: Машгиз, 1961. 384 с.
4. Вальтер Г.Д. Цемент. М.: Стройиздат, 1982. 464 с.

5. Дроздов Н.Е. Эксплуатация, ремонт и испытание оборудования строительных материалов. М.: Высшая школа, 1979. 312 с.

6. Бестужева О.В., Федоренко М.А., Бондаренко Ю.А. Экспериментальное исследование восстановления поверхности вращения крупногабаритных деталей промышленного оборудования // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 11. С. 122–127.

7. Банит Ф.Г., Нивицкий О.А. Механическое оборудование цементных заводов. М.: Машиностроение, 1975. 318 с.

8. Сапожников М.Я. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций. М.: Высшая школа, 1971. 311 с.

9. Пат. 89830, Российская Федерация, МПК7 В23В5/00. Станок для обработки внутренних поверхностей цапф помольных мельниц / Т.М. Санина, Ю.А. Бондаренко, М.А. Федоренко; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова; №2009132048/22; заявл. 25.08.2009, опубл. 20.12.2009, Бюл. № 35. 1 с.

10. Fedorenko M.A., Bondarenko J.A., Pogonin A.A. Impact of oscillations of shafts on machining accuracy using non-stationary machines // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: Processing Equipment. 2018. Vol. 327 (4). 042030. DOI: 10.1088/1757-899X/327/4/042030

11. Федоренко М.А., Бондаренко Ю.А., Погонин А.А., Бестужева О.В. Обеспечение точности при сверлении отверстий во фланцевых соединениях // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 5. С. 104–110. DOI:10.12737/article_5af5a7330752d2.61639267

12. Ермаков Ю.М. О развитии способов ротационного резания. М.: ВНИИТЭМР, 1989. 56 с.

13. Землянский В.А. Геометрия износа режущей кромки ротационного резца. // Сб. «Резание и инструмент». Вып. 3. Харьков. Изд-во ХГУ. 1970. С. 3–4.

14. Ящерицын П.И., Борисенко А.В., Дригун И.Г., Лебедев В.Я. Ротационное резание материалов. Минск.: Наука и техника, 1987. 228 с.

15. Ящерицын П.И., Рыжов Э.В., Аверченков В.И. Технологическая наследственность в

машиностроении. Минск.: Наука и техника, 1977. 255 с.

Информация об авторах:

Бестужева Ольга Васильевна, кандидат технических наук, доцент. Email: bestuzheva@bsu.edu.ru. Белгородский государственный национальный исследовательский университет. Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

Бондаренко Юлия Анатольевна, доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения. E-mail: kds2002@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Баранов Денис Сергеевич, ассистент кафедры технологии машиностроения. E-mail: den-3218@yandex.ru Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Романович Алексей Алексеевич, профессор, доктор технических наук кафедры подъемно-транспортных и дорожных машин. E-mail: Alexejrom@yandex.ru, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 27.08.2024 г.

© Бестужева О.В., Бондаренко Ю.А., Баранов Д.С., Романович А.А., 2024

^{1,*}*Bestuzheva O.V.*, ²*Bondarenko Yu.A.*, ²*Baranov D.S.*, ²*Romanovich A.A.*

¹*Belgorod State National Research University*

²*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*

**E-mail: bestuzheva@bsu.edu.ru*

STUDY OF REPAIR RESTORATION OF SURFACES OF REVOLUTION OF VARIOUS CONFIGURATIONS OF LARGE DIAMETER

Abstract. *The performance and reliability of units of particularly heavy equipment in the mining, quarrying, chemical and other industries depend on the accuracy and quality of equipment installation, preventive maintenance, detection of worn-out units and parts and their timely replacement. Tube mills are often used to grind raw materials. During operation, they cause increased wear of mating parts due to hereditary defects that occur as a result of violations in the execution of the technological process of shaft manufacturing, namely, machining of the critical surface - the cylindrical journal. In case of severe deformation of the cylindrical journal, it is necessary to replace the bearing unit and carry out repair work. To determine the parameters of rotary cutting, geometry and position of cutting tools, to identify analytical relationships between the technological conditions of processing and the operating modes subject to optimization, technical limitations are set when using non-stationary turning machines, the cutting area and the intersection line of the restored and tool surfaces are determined. A system of equations is provided that describes the intersection line of the surface of the restored part and the tool surface. The area of the surface cut by the tool in one pass is determined. The area of metal to be cut when processing a conical surface is calculated.*

Keywords: *cement industry, increasing equipment performance, wear of the journal of the tube mill shafts, rotary cutting parameters.*

REFERENCES

1. Fedorenko M.A., Bondarenko Yu.A., Markova O.V., Antonov S.I. Repair technologies for some units of rotary cement kilns and their modernization [Tekhnologii remonta nekotorykh uzlov vrashchayushchihnya cementnykh pechej i ih modernizaciya]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2015. No. 5. Pp. 193–197. (rus)

2. Banit F.G., Krizhanovsky G.S., Yakubovich B.I. Operation, repair and installation of equipment for the building materials industry [Ekspluatatsiya, remont i montazh oborudovaniya promyshlennosti stroitel'nykh materialov]. Moscow: Stroyizdat, 1971.

368 p. (rus)

3. Boganov A.I. Mechanical equipment of cement plants [Mekhanicheskoe oborudovanie cementnykh zavodov]. Moscow: Mashgiz, 1961. 384 p. (rus)

4. Walter G.D. Cement [Cement]. M.: Stroyizdat, 1982. 464 p. (rus)

5. Drozdov N.E. Operation, repair and testing of construction materials equipment [Ekspluatatsiya, remont i ispytanie oborudovaniya stroitel'nykh materialov]. Moscow: Higher School, 1979. 312 p. (rus)

6. Bestuzheva O.V., Fedorenko M.A., Bondarenko Yu.A. Experimental study of restoration of the surface of rotation of large-sized parts of industrial equipment [Eksperimental'noe issledovanie

vosstanovleniya poverhnosti vrashcheniya krupnogabaritnykh detalej promyshlennogo oborudovaniya]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2016. No. 11. Pp. 122-127. (rus)

7. Banit F.G., Nivizhsky O.A. Mechanical equipment of cement plants [Mekhanicheskoe oborudovanie cementnykh zavodov]. Moscow: Mashinostroenie, 1975. 318 p. (rus)

8. Sapozhnikov M.Ya. Mechanical equipment of enterprises of building materials, products and structures. [Mekhanicheskoe oborudovanie predpriyatij stroitel'nykh materialov, izdelij i konstrukcij]. Moscow: Higher School, 1971. 311 p. (rus)

9. Sanina T.M., Bondarenko Yu.A., Fedorenko M.A. Machine for processing internal surfaces of grinding mill journals. Patent RF, no. 2009132048/22, 2009.

10. Fedorenko, M.A., Bondarenko, J.A., Pogonin A.A. Impact of oscillations of shafts on machining accuracy using non-stationary machines. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: Processing Equipment. 2018. Vol. 327 (4). 042030. DOI: 10.1088/1757-899X/327/4/042030

11. Fedorenko M.A., Bondarenko Yu.A., Pogonin A.A., Bestuzheva O.V. Ensuring accuracy

when drilling holes in flange connections [Obespechenie tochnosti pri sverlenii otverstij vo flancevykh soedineniyah]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2018. No. 5. Pp. 104–110. DOI:10.12737/article_5af5a7330752d2.61639267 (rus)

12. Ermakov Yu.M. On the development of rotary cutting methods. [O razvitiy sposobov rotacionnogo rezaniya]. Moscow: VNIITEMR, 1989. 56 p. (rus)

13. Zemlyansky V.A. Geometry of wear of the cutting edge of a rotary cutter. Collection "Cutting and Tool". [Geometriya iznosa rezhushchej kromki rotacionnogo rezca. Sb. «Rezanie i instrument»]. Issue 3. Kharkov. Publishing house of Kharkov State University. 1970. Pp. 3–4. (rus)

14. Yashcheritsyn P.I., Borisenko A.V., Drivotin I.G., Lebedev V.Ya. Rotary cutting of materials [Rotacionnoe rezanie materialov]. Minsk: Science and Technology, 1987. 228 p. (rus)

15. Yashcheritsyn P.I., Ryzhov E.V., Averchenkov V.I. Technological heredity in mechanical engineering. [Tekhnologicheskaya nasledstvennost' v mashinostroenii]. Minsk: Science and Technology, 1977. 255 p.

Information about the authors

Bestuzheva, Olga V. PhD. E-mail: bestuzheva@bsu.edu.ru. Belgorod State National Research University. Russia, 308015, Belgorod, Pobedy St., 85.

Bondarenko, Yulia A. DSc, Professor. E-mail: kds2002@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova St., 46.

Baranov, Denis S. Assistant. E-mail: den-3218@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova, 46.

Romanovich, Alexey A. DSc, Professor. E-mail: Alexejrom@yandex.ru, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 27.08.2024

Для цитирования:

Бестужева О.В., Бондаренко Ю.А., Баранов Д.С., Романович А.А. Исследование ремонтного восстановления поверхностей вращения различной конфигурации большого диаметра // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. № 12. С. 116–124. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-12-116-124

For citation:

Bestuzheva O.V., Bondarenko Yu.A., Baranov D.S., Romanovich A.A. Study of repair restoration of surfaces of revolution of various configurations of large diameter. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2024. No. 12. Pp. 116–124. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-12-116-124