

## ТЕХНИЧЕСКОЕ ПЕРЕВООРУЖЕНИЕ ПЕЧИ ВЫПРЯМЛЯЮЩЕГО ОТЖИГА АНИЗОТРОПНОЙ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ СТАЛИ АГРЕГАТА ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ №8 ЦЕХА ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ ООО ВИЗ-СТАЛЬ Г. ЕКАТЕРИНБУРГ

**Аннотация.** Увеличение производительности агрегатов, снижение затрат на энерго-ресурсы, повышение качества готовой продукции, снижение себестоимости готовой продукции на данный момент является одной из важнейших тенденция развития металлургической отрасли. Выпуск трансформаторной (анизотропной) стали относится к одному из наиболее сложных, высокотехнологичных и наукоемких видов металлургического производства и требует современной специализированной производственной базы и высокого научно-технического потенциала. Именно поэтому поиск и реализация технических решений по усовершенствованию производственного цикла является широко востребованной проблемой в данное время.

**Ключевые слова:** печь, трансформаторная сталь, техническое перевооружение, плоскостность, камеры сушки, камера нагрева, радиационная труба, электроизоляционное покрытие, агрегат выпрямляющего отжига.

**Abstract.** Increasing the productivity of units, reducing energy costs, improving the quality of finished products, reducing the cost of finished products is currently one of the most important trends in the development of the metallurgical industry. The production of transformer (anisotropic) steel is one of the most complex, high-tech and science-intensive types of metallurgical production and requires a modern specialized production base and high scientific and technical potential. That is why the search and implementation of technical solutions to improve the production cycle is a widely demanded problem at the present time.

**Key words:** furnace, transformer steel, technical re-equipment, flatness, drying chambers, heating chamber, radiant tube, electrical insulating coating, straightening annealing unit.

**Цель работы:** Разработка технических решений по перевооружению печи выпрямляющего отжига с целью увеличения производительности до 8 т/ч, повышения качества готовой продукции.

**Актуальность работы:** Осуществив техническое перевооружение агрегата, удалось добиться: повышения качества электротехнической анизотропной стали; увеличения производительности агрегата выпрямляющего отжига; экономии энергоресурсов; снижения себестоимости производства электротехнической анизотропной стали, снижение расхода защитной атмосферы.

**Краткое описание технологического цикла.**

После машины нанесения электроизоляционного покрытия полоса поступает в камеру сушки, где происходит полное высушивание покрытия при температуре 450-700 °С. Процесс сушки реализован благодаря нагреву полосы продуктами неполного сжигания природного газа. Избыточное давление в камере на уровне полосы 2-4 Па.

После сушки электроизоляционного покрытия полоса поступает в камеру нагрева, где происходит, нагрев полосы до температуры 850 °С. Далее нагретая полоса поступает в камеру выдержки, в которой обеспечивается выдержка при температуре 850 °С не менее 30 секунд.

После выдержки полоса поступает в камеру регулируемого охлаждения, в которой происходит охлаждение до температуры 600 °С с регламентированной скоростью не более 12 °С/с для исключения формирования термических напряжений.

Окончательное охлаждение до температуры не более 150 °С происходит в камере ускоренного охлаждения.

Процессы нагрева, выдержки, регулируемого и ускоренного охлаждения производятся в атмосфере АЗГ. Избыточное давление в камерах на уровне полосы около 5 Па. Отработанный защитный газ удаляется через технологическую свечу, устроенную в начале камеры нагрева. Для предотвращения окисления полосы в печь подают АЗГ с содержанием водорода до 5 %, азота от 95 %.

Снабжение печи защитным газом осуществляется от газорегуляторной установки. Входное давление защитного газа 25 кПа, выходное рабочее 10 кПа. Газорегуляторная установка оборудована ручной запорной арматурой, фильтром, регулятором давления с ПЗК, манометрами, счётчиком контроля расхода защитного газа, свечой с предохранительно-сбросным клапаном, имеет байпасный трубопровод.

#### *Недостатки существующей конструкции камеры сушки.*

На текущее положение, до технического перевооружения в печи выпрямляющего отжига в камерах сушки и нагрева реализовывалось использование электрорадиантных труб. Такое отопление печи имеет ряд существенных недостатков. После нанесения электроизоляционного покрытия полоса трансформаторной стали поступает в камеру сушки, где начинается процесс сушки покрытия. При использовании электрорадиантных труб, электроизоляционное покрытие (на основе ортофосфорной кислоты) при поступлении в камеру сушки подвергается интенсивному неравномерному нагреву с высокой скоростью, что приводит при сушке к вскипанию покрытия, образуется пузырьковый эффект, что в конечном случае является браком.

Помимо снижения качества самого покрытия, ещё один негативный эффект – это взаимодействие паров ортофосфорной кислоты с электрорадиантными трубами и нагревательными элементами. Хотя они изготовлены из жаропрочных марок стали, а в качестве нагревательного элемента применён сплав прецизионный с высоким электрическим сопротивлением, (Фехраль Х27Ю5Т) кислота со временем приводит к прогару трубы и нагревательных элементов.

Это приводит к выходу из строя электрорадиантной трубы и необходимости её замены, что в свою очередь приводит к недостижению заданной температуры в тепловых зонах печи и уменьшению скорости транспортировки и производительности агрегата. Так же стоит отметить, что изменение скорости транспортировки влияет на термический цикл (по технологии после сушки необходима 30 с выдержки), что в свою очередь не даёт осуществить процесс по заданному термическому циклу и негативно сказывается на производитель-

ности. Ещё одна причина: увеличение текущих расходов на замену электрорадиантных труб в результате выхода их из строя.

Так же стоит отметить, что эксплуатационные затраты на текущее состояние с использованием электрорадиантных труб выше, так как цена на электроэнергию существенно выше, чем на природный газ.

Совокупность всех этих недостатков приводят к необходимости осуществления технического перевооружения, а именно осуществить перевод камеры сушки с электрообогрева на обогрев продуктами неполного сгорания природного газа. Такое решение позволит существенно ускорить процесс сушки и снизить текущие расходы на электроэнергию.

Входной уплотняющий затвор не обеспечивает герметичность камеры сушки и поддержку избыточного давления на уровне полосы при проектном расходе АЗГ от 200 до 250  $\text{нм}^3/\text{ч}$ , фактический расход АЗГ составляет от 400 до 450  $\text{нм}^3/\text{ч}$ .

Недостатки существующей конструкции камеры нагрева КРО, камеры водяного охлаждения.

Далее лист трансформаторной стали поступает в камеру нагрева, в которой так же реализовывалось использования электрорадиантных труб. На существующее положение нет никаких возможностей разместить дополнительные мощности с целью нагрева до более высокой температуры и увеличения производительности, а также осуществить нагрев заготовки по заданному термическому циклу.

В связи с этим принято решение о модернизации системы отопления печи в камере нагрева, а именно перевод камеры нагрева с электрообогрева на обогрев продуктами сгорания природного газа в радиационных трубах. Это решение позволит осуществить нагрев по заданному термическому циклу, а также существенно улучшит качество готовой продукции, так как на электроизоляционное покрытие недопустимо попадание кислорода с продуктами сгорания природного газа, так как нагрев таким способом осуществляется только лучистой составляющей.

Существенным недостатком КРО является наличие по ширине полосы существенных градиентов температур (по кромкам полосы ниже, в центре выше), что приводит к короблению полосы и не достигаются заданные требования по плоскостности. Существующая конструкция не эффективна и по своей природе не обеспечивает требуемое по равномерной скорости охлаждения по ширине полосы.

Конструкция камеры водяного охлаждения не обеспечивает высокого коэффициента конвективной теплоотдачи, потому что охлаждение происходит естественной конвекцией за счёт градиента температур полосы и внутренними стенками камер и большого расхода воды.

Расход АЗГ из-за несовершенной конструкции входного уплотняющего затвора камеры сушки и выходного уплотняющего затвора камеры водяного охлаждения для обеспечения рабочего давления в рабочем пространстве от 20 до 50 Па фактически составляет от 1200 до 1300  $\text{нм}^3/\text{ч}$  против 850  $\text{нм}^3/\text{ч}$  проектных.

*Заключительный этап* заключается в разработке технических характеристик печи после технического перевооружения с приведением удельных показателей по расходу энергоносителей и КПД по тепловой обработке, а также сравнительный анализ показателей параметров теплового и газового режимов печи выпрямляющего отжига до и после технического перевооружения.

УДК 662.765

**К. Е. Спиридонов, А. Д. Никитин, А. Ф. Рыжков**  
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

## **РАСЧЕТ КИНЕТИЧЕСКИХ КОНСТАНТ РЕАКЦИИ ГАЗИФИКАЦИИ КОКСОВОГО ОСТАТКА С УЧЕТОМ ВНУТРИДИФУЗИОННОГО ТОРМОЖЕНИЯ**

**Аннотация.** *Методом термогравиметрического анализа проведено экспериментальное исследование кинетики газификации коксового остатка биомассы в углекислотной среде при варьировании размера частиц. Получены данные по изменению массы коксового остатка соснового опила в процессе газификации в интервале температур от 400 до 1000°C. Для условий эксперимента выполнен расчет эффективной константы скорости гетерогенной реакции, учитывающей влияние диффузии газа внутри пор частиц, и скорости газификации. В ходе расчета осуществлялся подбор значения энергии активации реакции взаимодействия коксового остатка с CO<sub>2</sub> таким образом, чтобы расчетная кривая изменения массы совпадала с экспериментальными данными. Для условий экспериментов определены температурные границы кинетического, внутридиффузионного и внешнедиффузионного режимов газификации. Для определения границ использовалось отношение эффективной константы скорости реакции к кинетической константе скорости реакции и коэффициенту массопередачи диффузией.*

**Ключевые слова:** *газификация, биомасса, конверсия, энергетика, энергия активации.*

**Abstract.** *An experimental study of the kinetics of gasification of biomass coke residue in a carbon dioxide medium was carried out by the method of thermogravimetric analysis with varying the particle size. Data on the change in the weight of the coke residue of pine sawdust during gasification in the temperature range from 400 to 1000°C were obtained. For the experimental conditions, the calculation of the effective reaction rate constant, which takes into account the influence of gas diffusion inside the pores of the particles, and the rate of gasification is performed. In the course of the calculation, the value of the activation energy of the reaction of interaction of the coke residue with CO<sub>2</sub> was selected so that the calculated curve of mass change coincided with the experimental data. For the experimental conditions, the temperature boundaries of the kinetic, internal diffusion and external diffusion modes of gasification are determined. The boundaries were determined using the ratio of the effective reaction rate constant to the kinetic reaction rate constant and to the diffusion mass transfer coefficient.*

**Key words:** *gasification, biomass, conversion, energy, activation energy.*

Антропогенное воздействие на климат в настоящее время требует к себе все большего внимания. Перспективным направлением для снижения выбросов CO<sub>2</sub> и достижения углеродной нейтральности является газификация биомассы.