

Современные крупнотоннажные дуговые сталеплавильные печи, получающие все большее распространение в последние годы, имеют емкость более 100 т, при этом продолжительность плавки сократилась с 105 до 45-60 мин, мощность трансформаторов увеличилась до 85-100 МВА, удельный расход электроэнергии составляет 300-320 кВт·ч/т. Высокие показатели работы печей, соответствующие технологии высшего технического уровня, достигнуты за счет применения современных методов интенсификации производства, увеличения доли альтернативных источников теплоты, что, безусловно, привело к изменению качественных и количественных показателей пылегазовых выбросов дуговых сталеплавильных печей.

Для обеспечения высоких экологических требований современных печей используют системы отвода и очистки газов, отличающиеся большими объемами очищаемых газов, при этом энергозатраты только на транспортирование газов могут достигать 40-60 кВт·ч/т, что составляет 15-20% и более от общих расходов энергии на выплавку стали в печи.

Учитывая высокую производительность современных дуговых печей, в настоящее время проблема экологически чистого сталеплавильного производства может быть решена предотвращением неорганизованных выбросов и повышением эффективности работы систем отвода и очистки газов. Показано, что правильный учет количественных показателей технологических и удаляемых газов, рациональная организация системы отвода и подготовки газов позволяет существенно уменьшить капитальные и эксплуатационные расходы, которые при модернизации газоочистного оборудования могут достигать 50% от расходов основного производства.

В работе также рассмотрены традиционные и альтернативные варианты системы очистки отходящих газов дуговых сталеплавильных печей, функционирующих на предприятиях литейного и металлургического производства.

Показано, что установка на ДСП систем очистки рукавных фильтров достаточно эффективно решает проблему очистки газов от пыли, а также от вредных веществ (бензпирен, фториды, цианиды, фураны и др.).

УДК 621.78.012.5

### **Математическое моделирование и анализ процессов индукционного нагрева стальных заготовок**

Студент гр. 104150 Цыкунов П.Ю.  
Научные руководители – Трусова И.А., Рафальский И.В.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Основным направлением экономии топливно-энергетических ресурсов и материалов является техническое переоснащение и модернизация производства на базе внедрения новых энерго- и ресурсосберегающих технологий, в том числе и с применением направления, связанного с компьютерными технологиями для проектирования оборудования. В настоящее время большое внимание уделяется этапу исследования тепло-физических процессов, происходящих в заготовках при индукционном нагреве. Было создано множество математических моделей объяснения того, что же действительно происходит с заготовкой.

Суть процесса индукционного нагрева - преобразование энергии электромагнитного поля, создаваемого нагревательным индуктором, в тепловую энергию нагреваемого объекта. Поэтому, первым шагом при разработке оборудования для индукционного нагрева является анализ электромагнитных процессов в системе *индуктор - нагрузка*.

Одним из наиболее эффективных методов анализа электромагнитных процессов следует считать *метод конечных элементов*. Суть метода конечных элементов заключается в том, что вся исследуемая зона разделяется на мелкие элементы, для случая 2D моделей - на

элементы треугольной формы, а для 3D моделей - на тетраэдры. Все элементы с помощью уравнений Максвелла связываются в единую систему алгебраических уравнений, а на границах исследуемой зоны задаются граничные условия, обуславливающие единственность решения этой системы. В настоящее время существует несколько вариантов компьютерных программ, использующих этот метод, разработанных различными компаниями. К примеру ELMAG Corp. использует в своей практике программу MagNet, разработанную Infolytica Corp. (Montreal, Canada).

Расчет тепловых процессов в нагрузке определяет: полезную мощность и распределение температуры в заготовке, тепловые потери, выбор частоты тока и требования к системе управления установкой, и базируется на методе интегральных уравнений.

Весь объем расчетов проводится в два этапа:

1) Расчет тепловых процессов в средней по длине зоне заготовки. В результате расчета определяются режимы нагрева, распределение температуры по радиусу заготовки, частота тока, предварительная мощность установки и условия обеспечения равномерности нагрева по сечению заготовки.

2) Расчет тепловых процессов вдоль длины заготовки. Расчет проводится после определения распределения мощности вдоль длины заготовки.

Тепловой расчет индуктора сквозного нагрева металла сводится к определению тепловой, а следовательно и электрической мощности установки сквозного нагрева. При этом необходимо также учитывать конструкционные особенности проектируемого индуктора, довольно сильно влияющие на тепловую мощность индуктора.

Установлено, что при малом количестве витков и малом диаметре теплообменника мощность устройства максимальна, однако при такой конструкции коэффициент полезного действия не является максимальным, к тому же в индукторе при этом циркулируют большие токи, которые способствуют его перегреванию. Кроме этого, с уменьшением радиуса теплообменника влияние количества витков на мощность становится сильнее, это особенно заметно при небольших количествах витков.

При увеличении диаметра провода индуктора мощность индукционного нагревательного прибора растет к определенному значению, после прохождения максимума функция медленно падает. При этом кривая плотности тока сначала резко падает, а дальше едва заметно падает, и под конец расчетной области становится приблизительно линейной. Такую зависимость мощности прибора от диаметра провода индуктора можно объяснить изменением опять же импеданса самого индуктора, в котором связаны как активное сопротивление, которое определяется через диаметр провода индуктора, так и индуктивность, которая зависит от объема, который охватывает индуктор.

Прецизионный нагрев означает однородность распределения температурного поля по всему объему заготовки в пределах нескольких градусов. Для достижения указанной точности необходимо учитывать множество взаимосвязанных факторов, к которым относится в том числе и изменение свойств материала заготовки в процессе нагрева. Кроме того, при индукционном нагреве важным является возможность учитывать изменение характеристик колебательного контура, которое при питании от параллельного инвертора приводит к изменению рабочей частоты. К таким характеристикам относится изменение индуктивности индуктора с загруженной в него заготовкой, как в случае изменения свойств материала заготовки в процессе нагрева, так и в случае нагрева в одном индукторе заготовок различной длины и диаметра.

Для получения металла роторного качества учет ошибки в несколько градусов может оказаться определяющим, поэтому для более точного моделирования процесса нагрева заготовок в индукционном нагревателе периодического действия необходимо использовать модель индукционный нагреватель - тиристорный преобразователь частоты, которая позволяет оценить изменение энергетических характеристик нагревательного контура и качества нагрева заготовок в зависимости от изменения частоты источника питания.

Практика применения математического и компьютерного моделирования достаточно широка. Существующие пакеты программ позволяют проектировать установки, подстраиваясь под различные нужды любых технологий производства, тем самым повышая степень интеграции установок индукционного нагрева.

УДК 621.74

### Анализ энергоемкости выплавки чугуна в различных агрегатах

Студент гр.104151 Наумчик А.Д.  
 Научный руководитель – Кабишов С.М.  
 Белорусский национальный технический университет  
 г. Минск

В докладе приведены результаты сравнения энергоемкости выплавки чугуна в условиях действующего производства машиностроительных предприятий, выполненные на основании анализа существующей технической литературы. На первом этапе осуществлен сравнительный анализ затрат на выплавку 1 тонны жидкого чугуна в вагранках различного типа (таблица 1) с учетом стоимости исходного топлива (кокс – 284,7 у.е. за 1 т; природный газ – 275,9 у.е. за 1000 м<sup>3</sup>, электродный бой - 0,8 у.е. за 1 кг).

Таблица 1 – Затраты на выплавку 1 тонны жидкого чугуна в вагранках различного типа

Наименование материала	Единица измерения	Газовая вагранка		Коксовая вагранка	
		кол-во	стоимость, у.е.	кол-во	стоимость, у.е.
Кокс	кг			400	113,9
Природный газ	м <sup>3</sup>	60	16,55		
Электродный бой	кг		48,2		110

Приведенные в табл.1 результаты свидетельствуют о существенной экономической выгоде при использовании в качестве топлива природного газа. Кроме этого, очевидны и другие преимущества вагранок, отапливаемых природным газом:

- выбросы пыли в 10-15 раз ниже, остальные выбросы находятся в пределах допустимых выбросов;
- большой интервал регулирования температуры выплаваемого чугуна;
- низкое содержание серы в чугуне (от 0,02% до 0,04%);
- возможность выплавки чугуна с необходимым химическим составом с применением в шихте до 100% чугунного и стального лома%
- возможность получения высокопрочного чугуна с шаровидным графитом.

На втором этапе выполнена оценка себестоимости чугуна, выплаваемого в индукционных печах. Расход электроэнергии в зависимости от емкости печи приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Расход электроэнергии в зависимости от емкости печи

Показатель	Емкость печи, т							
							0	6
Расход электроэнергии на 1 тонну чугуна в индукционной плавильной печи	60	60	50	50	40	30	20	00
Стоимость электроэнергии, у.е.	8,7	8,7	7,6	7,6	6,6	5,5	4,5	2,4