

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 м³, 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 ³	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 выплавляемого 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, выплавляемого 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