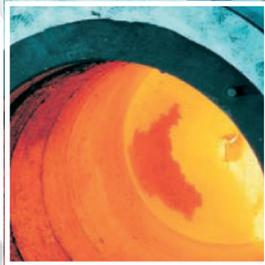
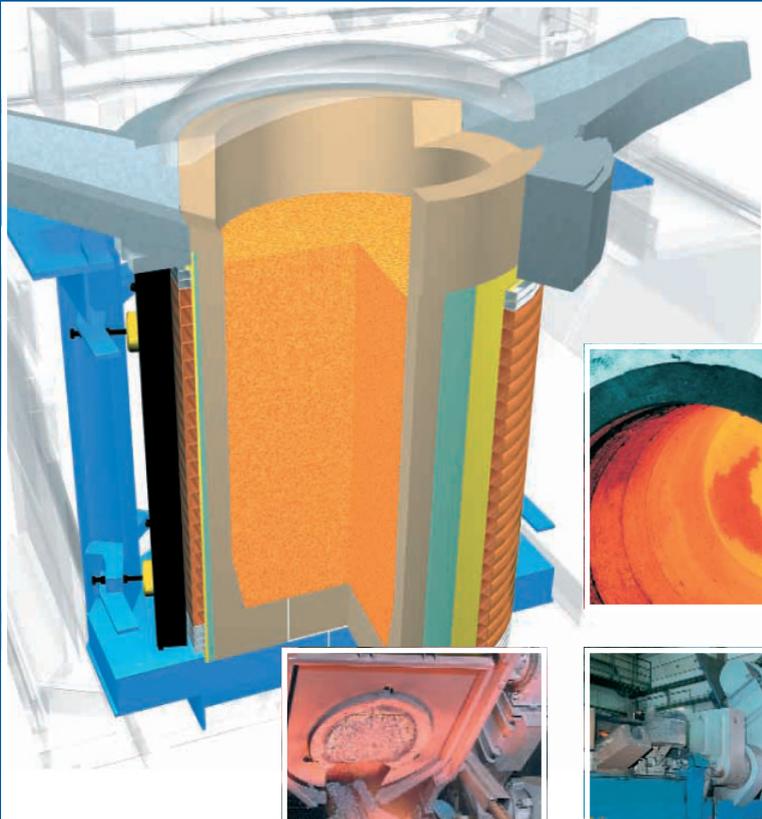




OTTO JUNKER

Надежность и экономия электроэнергии
при использовании среднечастотных
индукционных печей без сердечника

Плавка и выдержка литейного чугуна



OTTO JUNKER Group
Global and Close to the Customer

Посетите наш сайт:
www.otto-junker.de

Надежность и экономия электроэнергии при использовании среднечастотных индукционных печей без сердечника

Плавка и выдержка литейного чугуна

OTTO JUNKER Group

Global and Close to the Customer

© 2006

Компания «OTTO JUNKER GmbH»

Все права защищены.

Настоящая работа, включая весь приведенный в ней текст, защищена законом «Об авторском праве». За исключением того, что было разрешено издателем, любое применение данной работы не по назначению нарушает Немецкий закон «Об авторском праве», поэтому такие действия запрещены и будут рассматриваться как наказуемое правонарушение. Вышеуказанное распространяется на копирование/ воспроизведение, перевод, копирование микрофильма, либо хранение и обработку на электронном оборудовании.

Авторы: Фрэнк Донсбах, Д-р Уилфред Шмитц,
Д-р Детмар Траузедел

Фотографии: архивы компании «OTTO JUNKER»

Разработка и подготовка: компания «Atelier Beißel»,
отпечатано в Ахене: Компания «DAS DRUCKHAUS
Veineke Dickmanns GmbH», Карст

Несмотря на то, что при подготовке настоящего документа была проявлена большая осторожность, наличие ошибок не может быть полностью исключено. Издатель и авторы отказываются от юридической ответственности и обязательств за любую неправильную информацию, указанную в настоящем документе, а также за любые последствия. Издатель и авторы будут признательны за любые предложения по улучшению или сообщения об ошибках.

Оглавление

Введение	7
1. Конструкция и эксплуатация индукционных печей без стержня . . .	8
1.1 Принцип действия	8
1.2 Конструкция оборудования	9
1.3 Системы электропитания / преобразования	11
1.4 Технология управления процессом / JOKS	14
2. Выбор подходящего оборудования	16
2.1 Размер печи и удельная мощность	16
2.2 Технология преобразователя	20
2.3 Конфигурации контура	21
3. Влияние режима работы и управления на потребление энергии . . .	23
3.1 Плавка	23
3.2 Выдержка и транспортировка расплавленного железа	32
4. Безопасность эксплуатации печи	37
5. Обновления и расширение существующих установок	49
5.1 Примеры успешно реализованных проектов	50
6. Заключение	57
Литература	61
Алфавитный указатель	62
ТРАДИЦИИ И ЭКСПЕРТНЫЕ ЗНАНИЯ	65
Компания «OTTO JUNKER GmbH» – Основные этапы развития компании	66

Надежность и экономия электроэнергии во время плавки в среднечастотных индукционных печах без сердечника

Плавка и выдержка литейного чугуна

Введение

Индукционная плавка становится все более распространенным процессом на литейном производстве и предприятиях по изготовлению заготовок благодаря высоким технологическим и экономическим показателям. Основные преимущества обеспечиваются путем непосредственной передачи тепла в металл практически без температурных выбросов, а также за счет того, что движением ванны можно выборочно управлять. Такие свойства предоставляют возможность точного контроля температуры и процесса, снижения угара металла при плавке, снижения загрязнения окружающей среды и рабочего места, а также проведения стабильных и точных анализов. Переход к среднечастотным системам печей с цифровым управлением обеспечил значительное повышение удельной мощности, при этом рабочие циклы, управляемые компьютером, гарантируют высокую степень надежности процесса. Сегодня для конкретных металлургических задач можно разработать специализированные системы, благодаря чему среднечастотную индукционную печь без сердечника можно быстро преобразовать в универсальную плавильную установку.

Однако все преимущества данной технологии могут быть получены только при должной эксплуатации и режиме управления печи, безопасных и надежных технологических режимах, а также оптимальной конструкции оборудования. Несмотря на то, что теоретически для плавления литейного чугуна при температурах до 1500°C необходимо затрачивать от 490 до 520 кВт*ч/т, средние величины потребления, которые были достигнуты на наших сталелитейных предприятиях, были значительно выше. В Англии для плавления литейного чугуна указана средняя потребляемая мощность в 718 кВт*ч/т [1], а в статистическом обзоре французских предприятий литейного чугуна [2] указано значение 855 кВт*ч/т. Таким образом можно утверждать, что существует высокий потенциал экономии электроэнергии. На самом деле снижение потребляемой мощности на 20% может быть достигнуто без значительных инвестиций, при условии соблюдения определенных правил. Такие принципы могут служить основой для эффективной стратегии снижения затрат, что все более важно в нынешние времена, когда стоимость электроэнергии постоянно повышается. Учитывая такую ситуацию, задача настоящей публикации состоит в предоставлении применимых предложений и рекомендаций, что способствует все более эффективному и надежному применению среднечастотных индукционных печей без сердечника. Для четкого понимания настоящего документа необходимо освежить свои знания по теоретическим и техническим основам технологии индукционных печей.

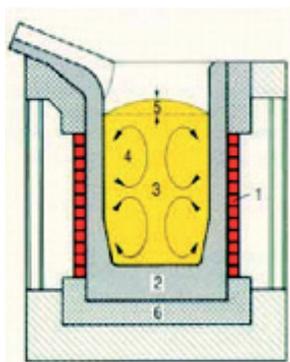
1. Конструкция и эксплуатация индукционных печей без стержня

1.1 Принцип действия

Катушка, которая обычно имеет множественную петлевую обмотку, вырабатывает переменное электромагнитное поле, когда через нее пропускается переменный ток. Данное поле проникает через электропроводный шихтовый материал, который помещен внутрь катушки, при этом по закону индукции в шихте образуются вихревые токи. По закону Джоуля вихревые токи нагревают шихту.

Когда необходимая подводимая энергия подана, шихта начинает плавиться. Хотя некоторая часть потока магнитной индукции, которая генерируется катушкой, проходит через расплавленный металл, большая его часть остается закрытой в стенке тигеля, которая находится между катушкой и расплавом. Внешнее пластинчатое ярмо обеспечивает обратный путь магнитного поля, тем самым предотвращает нагревание конструкции печи и возникновение слишком сильных посторонних магнитных полей на внешней стороне печи.

Формирование электромагнитных полей приводит к возникновению электромагнитных сил. Эти силы обеспечивают стандартное движение в индукционной печи без стержня, вызывая формирование мениска на поверхности ванны (т.е., направленного вверх выгиба), как показано на Рис.1. Движение в ванне является важной технологической функцией, так как оно способствует оптимальной гомогенизации расплава и перемешиванию добавок. Высота мениска и интенсивность движения в ванночной напрямую зависят от рабочей частоты переменного тока, подвода электрической мощности и геометрии печи.



1. Индукционная катушка
2. Огнеупорная футеровка
3. Ванна расплавленного металла
4. Движения в ванне
5. Мениск
6. Изоляция

Рис. 1: Движение в ванне и мениск

Таким образом, эти параметры можно избирательно контролировать. В целом не существует предела температуры, которой можно достигнуть индукционным нагреванием, и она ограничивается только характеристиками материала тигеля и шихты.

1.2 Конструкция оборудования

Конструкция усовершенствованной высокопроизводительной системы индукционной плавки показана на Рис. 2. В частности, система промышленного применения будет состоять из следующих компонентов:

плавильная установка, которая состоит из

- корпуса печи и катушки
- люльки печи
- гидравлического блока питания
- панели управления оператора

система подачи электропитания, которая состоит из

- трансформатора с выпрямителем
- преобразователя частоты
- стеллажа конденсаторов
- силовых кабелей



Рис. 2: Общий вид среднечастотной плавильной установки

система управления процессом, которая состоит из

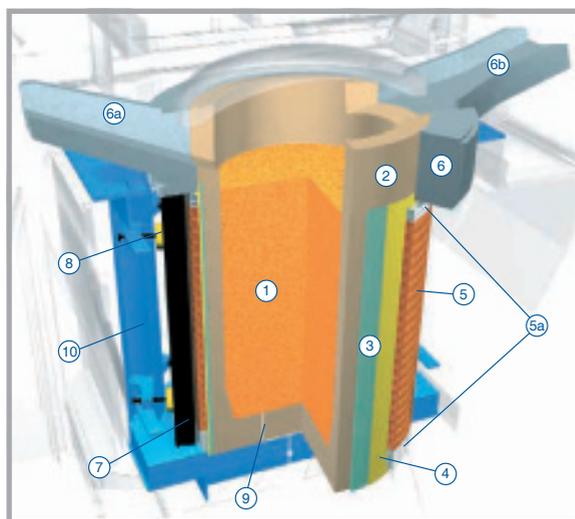
- системы весов
- шкафа управления оператора
- плавильного процессора

дополнительное и вспомогательное оборудование, например

- загрузочное оборудование
- система повторного охлаждения воды с воздушным охладителем / градирней и
- система сбора пыли с вытяжками

Корпус печи в основном состоит из цилиндрической катушки печи, которая окружает тигель (обычно изготавливается из керамического огнеупорного материала), ярма из пластин листового металла, которое направляет магнитное поле, а также несущей стальной конструкции. Корпус печи установлен в люльке печи и его можно наклонять при помощи гидравлических цилиндров (Рис. 3).

Водоохлаждаемая катушка разработана для генерирования электромагнитного поля, а также для поглощения радиальных усилий из тигеля. Дополнительными компонентами печи являются крышка печи, вытяжка, система весов и система мониторинга тигеля.



1. Ванна расплавленного металла
2. Огнеупорный тигель
3. Теплоизоляция
4. Постоянная футеровка
5. Индукционная катушка
- 5а. Охлаждающий змеевик
6. Верх печи
- 6а. Разливочный желоб
- 6б. Желоб для удаления шлака
7. Ярма
8. Поглотитель вибраций
9. Крестовина для слежения за утечкой на землю
10. Кожух катушки

Рис. 3: Конструкция печи без сердечника

1.3 Системы электропитания / преобразования

Индукционная печь без сердечника снабжается энергией либо от сетевого источника электропитания через подходящий трансформатор (в данном случае она называется «печь промышленной частоты»), либо через систему преобразования частоты, которая способна подавать более высокие частоты переменного тока.

Печи, снабжаемые энергией от преобразователей, в основном работают в диапазоне средней частоты от 110 до 1000 Гц. В проектах новых печей они практически вытеснили установки промышленной частоты благодаря множеству преимуществ. Одним из основных преимуществ является то, что переменная (и более высокая) частоты позволяет запускать печь при твердом шихтовом материале без потерь мощности, а также в том, что ее можно надежно эксплуатировать при удельной мощности, которая в разы превосходит печи промышленной частоты.

Это вызвано способом, которым рабочая частота влияет на глубину проникновения и движение в ванне. Оба эти параметра снижаются с повышением частоты (Рис. 4). В первых силовых блоках средней частоты по-прежнему применяются преобразователи поворотного типа. Они были заменены магнитными преобразователями с увеличением частоты в 3, 5 или 9 раз относительно промышленной частоты. Такие преобразователи называются умножителями на три (150 Гц), умножителями на пять (250 Гц) и т.д.

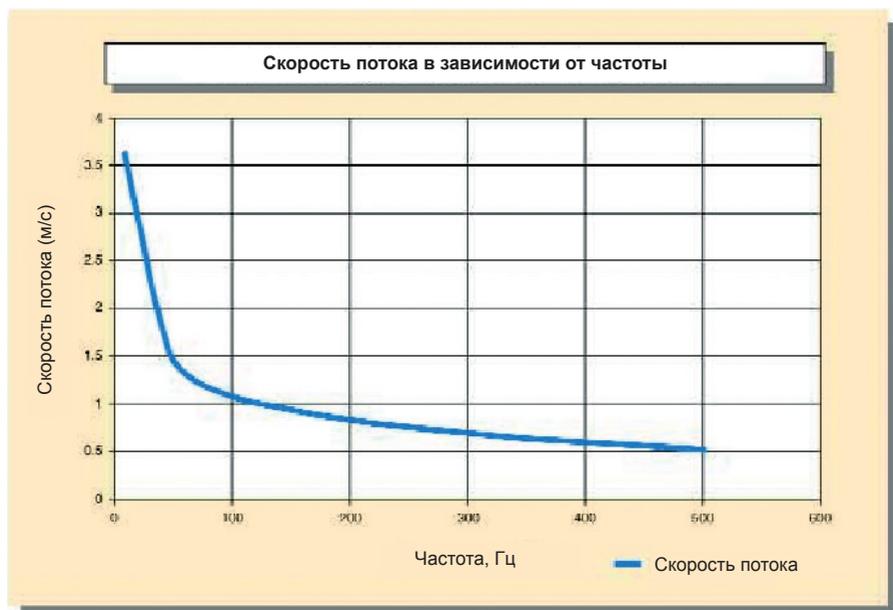


Рис. 4: Воздействие частоты на скорость потока

Также следует упомянуть ламповые генераторы, хотя их применение в основном ограничивается областями с высокой частотой, где необходима низкая выходная мощность, например, в лабораторной или исследовательской среде и для специальных металлов.

В современном преобразователе частоты сетевое электропитание, подаваемое через трансформатор с выпрямителем, изначально выпрямляется. После этого из полученного выходного постоянного тока при помощи преобразователя получается необходимое напряжение средней частоты. Полупроводниками, которые используются для этого, могут быть тиристоры или транзисторы, особенно типа БТИЗ (биполярный транзистор с изолированным затвором).

Блок конденсаторов, который расположен между индукционной печью и преобразователем частоты, формирует резонансный контур в печи. Данный резонансный контур колеблется на своей резонансной частоте (т.е., от 70% до 110% от номинальной частоты в зависимости от уровня ванны печи). На Рис. 5 показана базовая конструкция преобразователя с параллельным колебательным контуром.

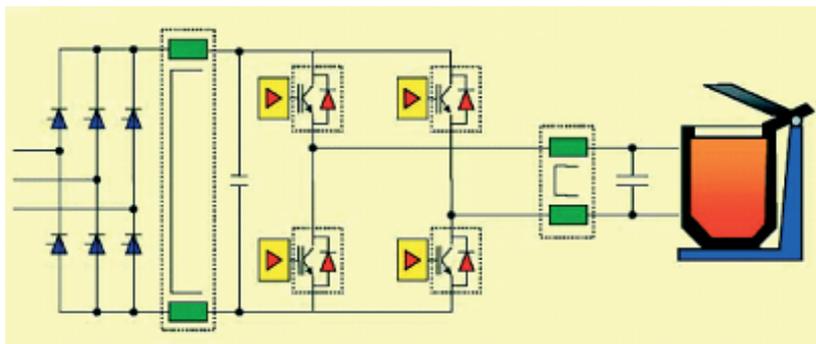


Рис. 5: Схема цепи преобразователя с параллельным колебательным контуром типа БТИЗ

Преобразователи частоты превратились в высокоэффективные и надежные системы, которые характеризуются низкими потерями мощности и минимальным обратным воздействием на сеть. Более того, их можно сконфигурировать для обеспечения различных металлургических требований. В Таблице 1 указаны значительные улучшения эффективности, которые были достигнуты за счет последовательного развития технологии преобразователей.

Инженеры уже давно стремятся получить преимущества за счет полной номинальной выходной мощности таких сложных установок и максимально повысить показатель выплавки конкретной системы. Такие усилия привели к разработке тандемных установок, что легло в основу нашей технологии DUOMELT. В конфигурации такого типа две печи без сердечника подключены к одному преобразователю частоты. При помощи специальной схемы цепи общий вывод преобразователя можно распределить между печами в любой необходимой пропорции (Рис. 6).

Эффективность различных систем преобразования частоты для индукционной плавки

Тип	Эффективность в %	Частота в кГц	Номинальная мощность в кВт
Вращающийся генератор тока	70 - 80	0,3 – 1	До 2000
Умножитель частоты	88 – 93	0,15 0,25 0,45	До 3000
Преобразователь с колебательным контуром (с тиристором)	95 – 97	0,05 – 3*	До 20000
Преобразователь с колебательным контуром (с транзистором / БТИЗ)	95 - 97	0,05 – 1*	До 6000
*возможны более высокие номинальные значения			

Таблица 1: Эффективность различных систем преобразования частоты

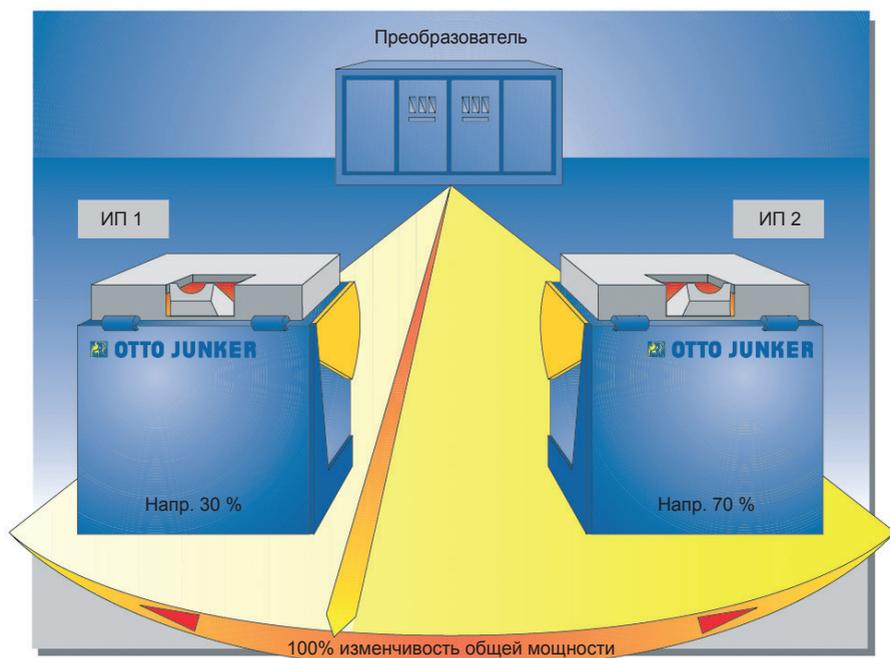


Рис. 6: Схема системы DUOMELT

1.4 Технология управления процессом / JOKS

Преимущества современных систем среднечастотных печей можно обеспечить в полной мере только в сочетании с автоматизацией и компьютерным управлением.

Ключевая технология процесса основывается на непрерывном мониторинге содержимого печи посредством взвешивающего оборудования. После этого вычисляется электрическая мощность, необходимая для достижения указанной температуры плавки, и подается только для этого веса шихты. Главным образом данный режим работы, связанный с процессом, обеспечивает на этапе перегрева важный фактор безопасности, если пользователь считает, что скорости перегрева до 45 К/мин уже недостаточно. Система предотвращает излишний перегрев, экономит электроэнергию и снижает потери металла на окисление. Если обработке подвергаются различные сплавы с разной энтальпией плавки, компьютер будет учитывать данный фактор, используя отдельные специфические энергетические значения.

Наш контроллер JOKS (система управления печи Junker) гарантирует надежное и понятное управление и мониторинг всех функций плавки и последовательностей процесса. Также он осуществляет обмен данными и информацией с системами управления более высокого уровня, а также обеспечивает ведение журнала данных по шихте и выполняет функции составления отчетов.

Во многих случаях система JOKS разработана для интеграции всех функций мониторинга, управления и визуального отображения для всей цепочки процесса: от составления шихты до загрузки, плавки и анализа с регулировкой посредством применения всего вспомогательного и дополнительного оборудования (Рис. 7).

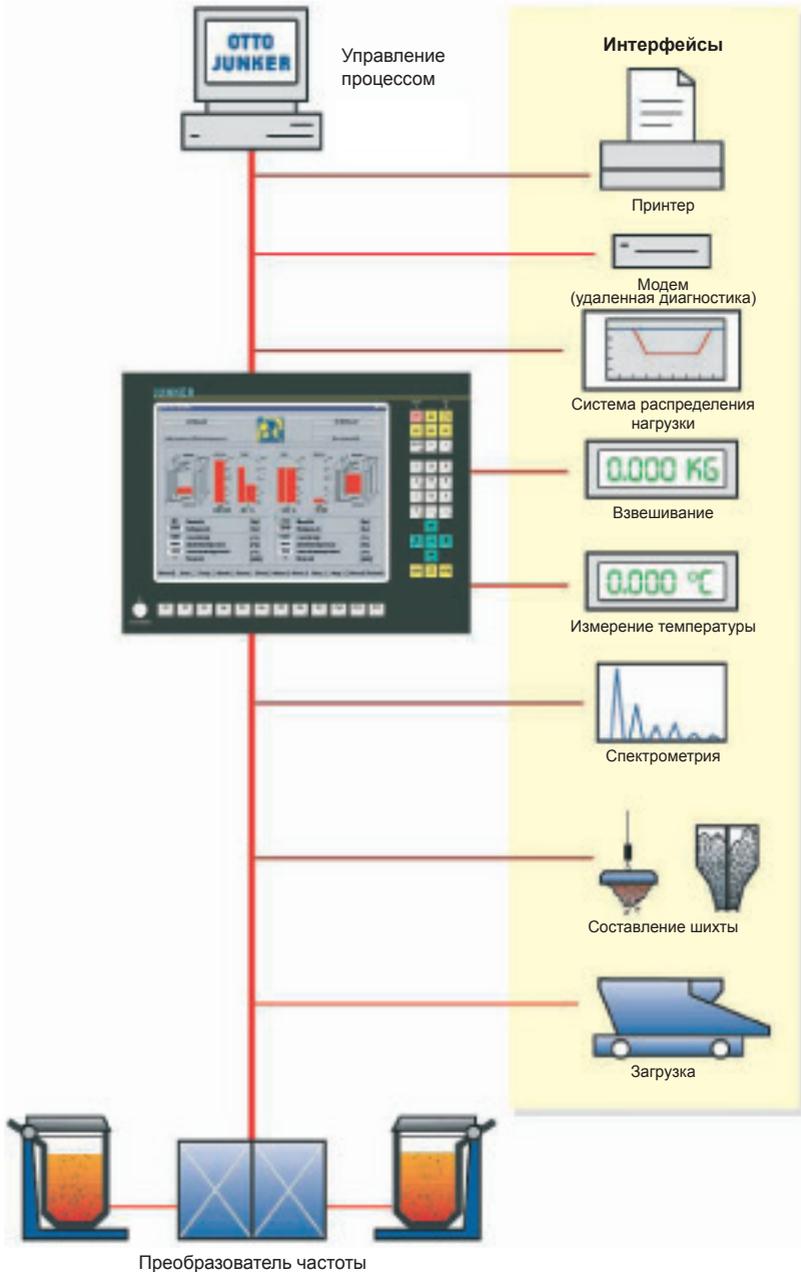


Рис. 7: Краткое описание системы управления процессом

2. Выбор подходящего оборудования

2.1 Размер печи и удельная мощность

Максимальная входная мощность индукционной печи без сердечника зависит от нескольких факторов. Самым важным из них является допустимая степень движения в ванне. Так как движение в ванне снижается с повышением частоты и становится более интенсивным при более высоких уровнях электрической мощности, удельная мощность в печи неизмененного размера может быть повышена простым повышением частоты без возникновения таких негативных факторов, как выплескивание металла или чрезмерная эрозия тигеля. Хотя в случае печей промышленной частоты без сердечника максимальная удельная мощность для литейного чугуна варьируется от 300 до 350 кВт на тонну содержимого печи, предел для печи 250 Гц равен около 1000 кВт/т (Рис. 8).

Действие указанного выше правила ограничивается печами вместимостью до 12 тон. Для плавления материалов литейного чугуна обычно применяется частоты 250 Гц. Более высокие частоты применяются, но очень редко и обычно в печах меньшего размера (менее 1000 кг). Для стимулирования движения в ванне, которое значительно ускоряет перемешивание науглероживающих и легирующих добавок, переход с 250 Гц на среднюю частоту (например, 125 Гц) продемонстрировал хорошие результаты.



Рис. 8: Мощная среднечастотная плавильная установка – 12-тонная система DUOMELT номинальной мощностью 9000 кВт

С другой стороны, рабочий предел печей высокой мощности и средней частоты определяется не только движением в ванне, но также и максимальными уровнями тока и напряжения, допустимой интенсивности индукции в пластинчатом ядре и охлаждающей способности змеевика.

Общая эффективность плавильной установки, которую можно определить по формуле также определяется довольно точно соотношением между мощностью выдержки и номинальной мощностью. Таким образом, в случае печи одного размера удельная потребляемая мощность будет понижаться с повышением номинальной мощности.

$$\eta \text{ всего} = \eta \text{ электрическая} \left(\frac{1 - \text{мощность выдержки}}{\text{номинальная мощность}} \right)$$

С точки зрения экономичности и коэффициента использования энергии будет целесообразным выбор компактной печи, которая работает при высокой удельной мощности, так как она будет потреблять меньше электричества и будет дешевле в постройке и эксплуатации. Существуют различные ситуации (например, по техническим причинам), когда для изготовления очень крупных отливок необходимы большие объемы выдержки или когда чугун необходимо разливать с перерывами по причине требований к последующим технологическим процессам.

Однако практический предел можно определить для конструкции очень крупных, но маломощных печей. Для удержания потребления мощности в допустимых пределах с гарантией должных показателей плавки, номинальная мощность печи должна быть как минимум в четыре раза выше мощности выдержки. Следовательно, плавильная печь вместимостью 8 тонн должна иметь номинальную мощность не менее 800 – 1000 кВт (Рис. 9).

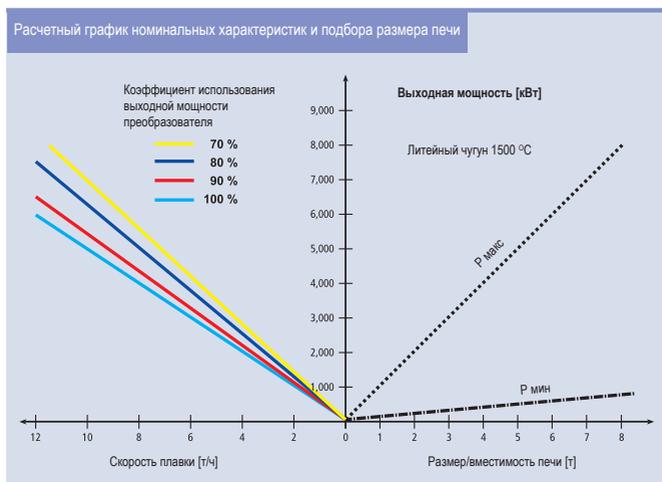


Рис. 9: Расчетный график номинальных характеристик и подбора размера плавильной печи

Удельная энтальпия для плавки и нагревания простых материалов литейного чугуна максимум до 1500°C находится в области 390 кВт.ч/тону. Если рассмотреть конкретную установку печи, можно получить следующие значения: суммарные электрические и тепловые потери современной десятитонной среднечастотной печи равны около 126 кВт.ч/т. Следовательно, для всех практических применений потребляемая мощность только на плавку будет суммарно равна приблизительно 516 кВт.ч/т (Таблица 2). Это означает, что при максимальной удельной мощности 1000 кВт/т все содержимое печи будет расплавлено за 31 минуту.

Время простоя, например, на удаление шлака, отбор проб, анализ, регулировку и разлив ориентировочно будет занимать от 15 до 20 минут, что можно увидеть в Таблице 3. Таким образом, весь цикл плавки будет равен 45 – 50 минутам. Поэтому применение «высокоскоростной» печи не будет иметь большого смысла, если время простоя не будет сокращено до минимума или если не будет введена установка тандемных печей. При планировании и разработке установки плавильной печи будет тщательно рассмотрена оптимизация такого времени простоя. Для этого необходимо учитывать своевременную подачу точно взвешенных шихтовых материалов, которые должны быстро и непрерывно подаваться в печь.

Основным преимуществом тандемной установки DUOMELT является то, что в то время, когда в одной печи выполняются не производственные операции, плавка может продолжаться в другой печи только с небольшим снижением подводимой мощности. В результате этого более 95% установленной мощности преобразователя будет использовано на плавку в течение всего периода, благодаря чему пропускная способность доводится до максимума.

На Рис. 9 показано соотношение между номинальной мощностью печи, скоростью плавки и размером печи, при этом учитывается время простоя. В системе с одной плавильной печью коэффициент использования выходной мощности преобразователя, а, следовательно, и скорость плавки будет всегда снижена из-за времени простоя. Однако в установке DUOMELT вся номинальная мощность остается постоянно доступной для плавки.

Оптимальный размер печи с точки зрения эффективности использования энергоносителей может быть определен по максимальной удельной мощности (верхняя линия). Нижняя линия обозначает минимальную мощность для указанного размера печи. Безусловно, когда выбор плавильной системы осуществляется с учетом размера печи и удельной мощности, в первую очередь, следует удовлетворить такие производственные требования, как вес выпуска плавки, размеры ковшей и требования к расплаву железа.

По этой причине не всегда можно разработать установку с оптимальной удельной мощностью только с точки зрения эффективности использования энергоносителей.

Требования к потребляемой энергии и потерям

Пример: среднечастотная печь на 8000 кг / 8000 кВт / 250 Гц
Литейный чугун: 1500°C

	кВт.ч/т
Требования к потребляемой энергии	390
Потери энергии	
Трансформатор	7
Преобразователь частоты	18
Питательные устройства (кабели, токопроводящие шины)	9
Катушка	77
Ярмо	4
Тепловые потери	11
Суммарные потери	126
Потребляемая энергия	516
Суммарная эффективность	75,5%

Таблица 2: Требования к потребляемой энергии и потерям

Стандартное время простоя при операциях по плавке литейного чугуна

Размер печи: 6 – 8 т, без функции обратного наклона и технологии нескольких частот

	Стандартное время простоя в минутах
Удаление шлака	4
Измерение температуры	2
Отбор проб	3
Науглероживание	5
Разливка	3
Всего	17

Таблица 3: Стандартные периоды простоя при плавке



Рис. 10: Усовершенствованная система преобразователя частоты

2.2 Технология преобразователя

Сегодня наиболее широко применяется два типа преобразователей частоты, т.е., с параллельной или последовательной компоновкой резонансного контура. Они отличаются по резонансному контуру, который сформирован из индукционной печи и блока конденсаторов.

Преобразователи с параллельным резонансным контуром от компании «ОТТО JUNKER» (Рис. 10) были специально разработаны для применения с индукционными плавильными печами и обеспечивают надежную работу даже при условиях предельных нагрузок. Цифровая система управления преобразователем гарантирует постоянную выходную мощность в течение всего цикла нагрева, при этом идеально адаптируется к перепадам сетевого напряжения и условиям изменения нагрузки.

Такие преобразователи с параллельным резонансным контуром обладают следующими характеристиками:

- высокая эксплуатационная надежность за счет надежного контура звена постоянного тока со сглаживающим реактором;
- сниженная нагрузка на силовой инвертер, так как он должен работать только с активным током (не током печи, который выше в 5 – 10 раз);
- высокий электрический КПД;
- низкое обратное воздействие на сеть;
- конструкция с 6, 12 или 24 импульсами; и
- удобство в обслуживании и доступность

Полностью управляемые мосты выпрямителя и силового инвертора, применяемые в настоящее время, в основном состоят из высокоомощных тиристорov, охлаждаемых водой.

Однако кроме одобренной технологии тиристорov, сегодня для инверторов все более широко применяются усовершенствованные транзисторы (БТИЗ).

Такие усовершенствованные преобразователи частоты на основе БТИЗ характеризуются следующим:

- предельно надежная собственная защита от пиковых нагрузок;
- постоянно высокий коэффициент мощности (косинус ϕ), равный почти 1,0, а также
- электрически изолированная система охлаждения, благодаря которой можно применять необработанную охлаждающую воду /3/

В настоящее время технология преобразователей БТИЗ наиболее широко применяется в областях со средней выходной мощностью (до нескольких МВт).

2.3 Конфигурации контура

Для обеспечения оптимальных условий для специальных металлургических задач можно управлять подводимой мощностью, частотой печи и концентрацией мощности вдоль катушки печи с максимальной избирательностью.

Для удовлетворения таких требований компания «ОТТО JUNKER» разработала две специальные конфигурации контура, которые называются технологией Концентрации мощности («Power-Focus») и многочастотной технологией («Multi-Frequency»). Обе системы доказали свои преимущества на практике в различных областях применения.

Технология концентрации мощности обеспечивает возможность автоматической или свободно выбираемой концентрации мощности в той секции катушки (верхней или нижней), где она необходима больше всего. Таким образом, если печь наполнена только наполовину, подводимую мощность можно сконцентрировать в области дна тигеля, после чего в данной зоне будет доступно больше энергии. С другой стороны, когда печь загружена до максимума, подводимую мощность можно сконцентрировать в верхней секции катушки, чтобы стимулировать движение в ванне для улучшения, например, перемешивания добавленной стружки (Рис. 11).

Многочастотная технология предоставляет возможность изменения автоматической частоты во время текущего процесса плавки. Например, необходимая частота 250 Гц будет применяться для плавки шихтового материала. А для добавки науглероживающих средств и легирующих добавок система автоматически переключится на более низкую частоту (например, 125 Гц). Испытания показали (Рис. 12), что процесс науглероживания можно значительно ускорить благодаря такому переключению на более низкую рабочую частоту.

Также следует упомянуть, что такие две конфигурации контура могут сочетаться для усиления их соответствующих преимуществ.

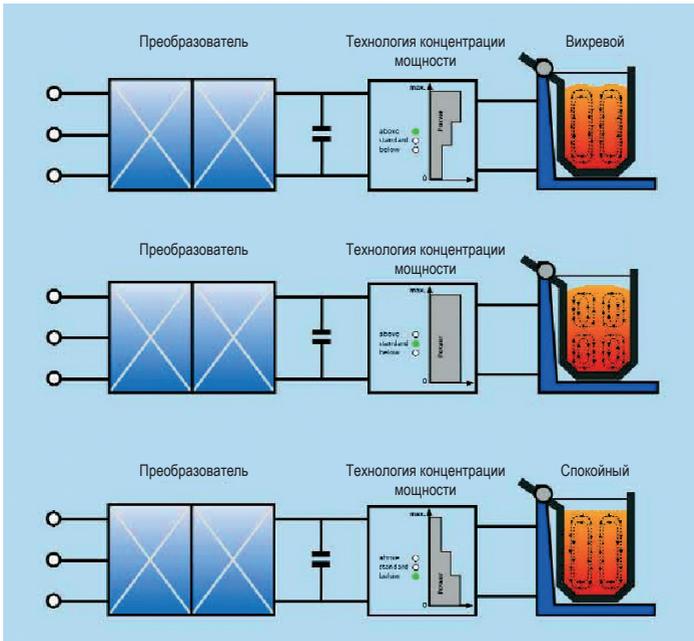


Рис. 11: Принципиальная схема системы «Power Focus»

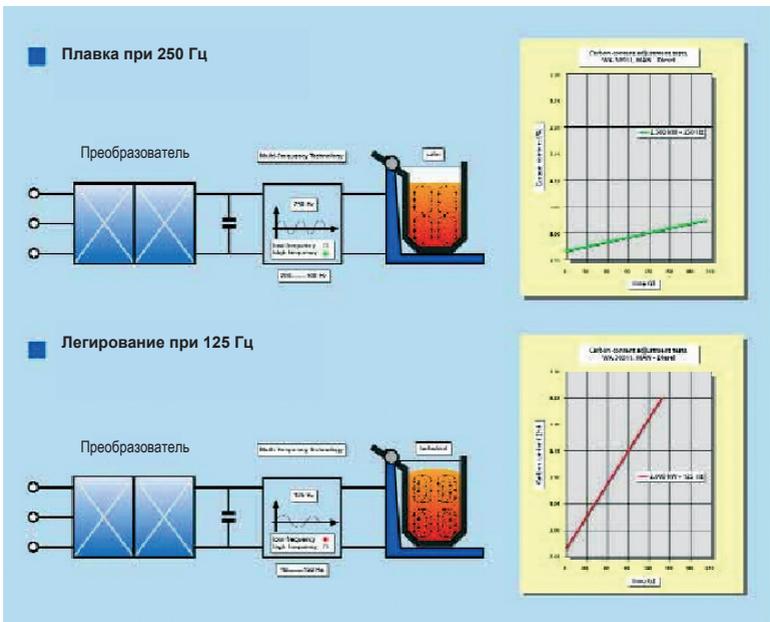


Рис. 12: Многочастотная система

3. Влияние режима работы и управления на потребление энергии

3.1 Плавка

Оптимизированная технология среднечастотного оборудования сводит тепловые и электрические потери к минимуму. Точное определение веса шихты, вычисление и подача процессором плавки должной подводимой энергии и точный режим работы печи, управляемой компьютером, способствуют обеспечению энергосберегающего процесса плавки.

Прежде чем мы подробно рассмотрим потребление энергии для плавки, необходимо упомянуть, что вспомогательное и дополнительное оборудование установки индукционной плавильной печи, например,

- сухая система улавливания пыли;
- система повторного охлаждения воды (на основе воздушного охладителя или градирни);
- гидравлический силовой блок и насосные установки;
- загрузочное оборудование;

также нуждаются в электрической мощности, хотя их потребление является незначительным по сравнению с требованиями к энергии основной печи. Следовательно, в случае высокомощной установки печи с пропускной способностью более 15 тонн/ч суммарное потребление указанного выше вспомогательного оборудования будет составлять менее 10 кВт·ч/т (Рис. 13), что эквивалентно примерно 2% подводимой энергии для плавки.



Рис. 13: Потребность в энергии вспомогательного оборудования

В то время, как теоретическая потребность в энергии для плавки литейного чугуна до температуры 1500°C в среднем равна 390 кВт.ч/т, потребность современных среднечастотных индукционных печей без сердечника не превышает 490–520 кВт.ч/т (Рис. 14), включая все электрические и тепловые потери. С другой стороны, при ежедневных технологических режимах по-прежнему регистрируются величины потребления до 700 кВт (и выше).

Каковы причины такой значительной разницы и как можно свести их к минимуму?

Чтобы наглядно продемонстрировать такую проблему, давайте взглянем на режимы работы печи и их воздействие на потребляемую мощность.

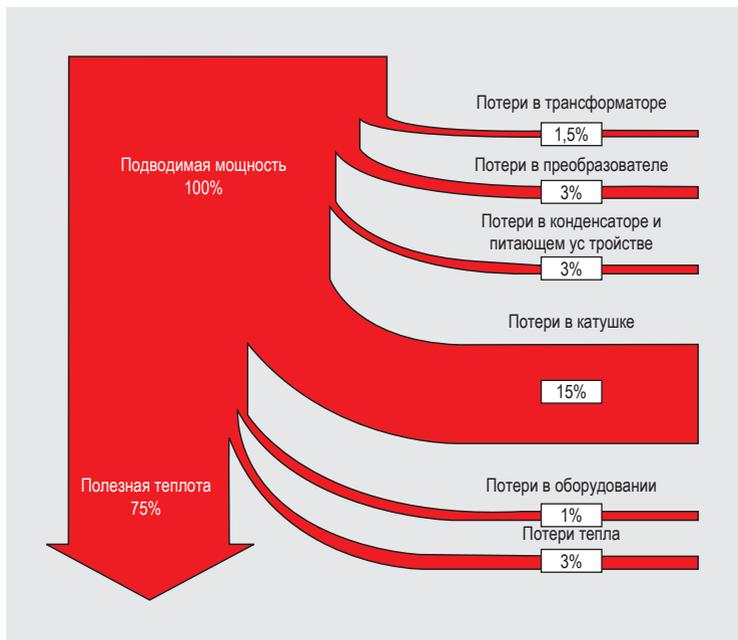


Рис. 14: Диаграмма стандартного потока энергии

Шихтовый материал и состав шихты

Основными предварительными условиями для сведения к минимуму времени плавки и необходимой мощности является точное вычисление необходимого состава шихты на основании анализов материала, а также точное определение веса и дозирование шихтовых материалов и легирующих добавок (включая коррекцию отклонений заданных / фактических значений).

Применение чистых и сухих шихтовых материалов определено оправдывает себя, учитывая, что формирование шлака по причине прилипания песка к неочищенной бракованной продукции будет потреблять практически столько же удельной энергии, сколько необходимо для плавки железа, а именно, примерно 500 кВт.ч/т. При фактическом количестве песка 25 кг на тонну железа такое значение повышается до 12,5 кВт.ч/т. Конечно, кроме этого также увеличивается количество шлака.

Еще более значительным фактором является ржавый шихтовой материал. Его плохие характеристики электромагнитного взаимодействия негативно повлияют на передачу энергии плавления и в результате значительно увеличат время плавки. Потребление энергии и циклы нагрева для чистого и сильно корродированного стального лома, соответственно, были определены в ходе сравнительных испытаний [1]. Было определено, что на плавление ржавого стального лома уходит в 2 – 3 раза больше времени, при этом требуется на 40 – 60% большая подводимая мощность, что указано в Таблице 4. Даже если считать, что эти значения приведены для самого неблагоприятного случая, негативное воздействие ржавого шихтового материала является довольно сильным. Также при этом имеются более высокие потери на плавку и формируются большие объемы шлака. Поэтому, по возможности, не следует использовать ржавый шихтовой материал.

Уровень достигаемого электромагнитного взаимодействия, а, следовательно, и мощности, потребляемой шихтой, в значительной степени зависит от плотности упаковки шихты.

Влияние качества лома на потребление энергии при 1500°C							
Шихтовой материал	Вес, кг	Время, мин	Мин/кг	Энергия, кВт.ч	Потребление, кВт.ч/т	Сравнение по времени в %	Сравнение по мощности в %
Чистый стальной лом	250	75	0,3	210	840	100	100
Ржавый стальной лом	200	185	0,93	270	1350	310	160
Ржавый стальной лом	275	192	0,7	335	1218	233	145
Источник (1)							

Таблица 4: Влияние качества лома на потребление мощности

Плотность упаковки, которая влияет на подводимую к шихте мощность, также повлияет на продолжительность цикла нагрева и энергопотребление печи.

Характер такой взаимосвязи был исследован с шихтами разной плотности упаковки в высокомогущной среднечастотной печи, которая работала в производственных условиях. Для таких испытаний применялась система вместимостью 10 тонн и номинальной мощностью 8000 кВт при 250 Гц. Пустая печь была наполнена один раз указанным количеством первичного чугуна, отходами отливки, отбракованными материалами и стальным ломом. В ходе нагревания материала до температуры 1380°C дополнительный шихтовый материал не добавлялся. В течение этого периода проводились замеры потребляемой мощности.

Разные размеры отбракованных материалов и кусков стального лома привели к плотности упаковки в диапазоне 2 – 2,7 тонны/м3. По результатам испытаний стало очевидно, что снижение плотности упаковки с 2,5 до 2,0 тонн/м3 привело к повышению потребляемой мощности на 25 кВт.ч (Рис. 15).

Несмотря на дополнительные затраты и усилия, рекомендуется дробить все слишком крупные отбракованные материалы, чтобы достичь более высокой плотности упаковки. Это также облегчит загрузку печи и снизит опасность возникновения замыкания по материалу в печи. Пример сталелитейного предприятия США демонстрирует, что такой метод может сэкономить средства, несмотря на затраты, понесенные на дополнительные работы по дроблению /4/.

В то же время быстрый и непрерывный ход работ по загрузке также важен для экономии рабочего времени и снижения затрат. Всегда нужно поддерживать высокую степень загрузки. Для удовлетворения данного требования предварительным условием является наличие подвижных вибрлотков и бункера, который содержит полный объем шихты для загрузки. Вытяжной колпак, который практически полностью охватывает лоток, сведет к минимуму потери тепла и одновременно обеспечит надежное улавливание отходящих из печи газов.

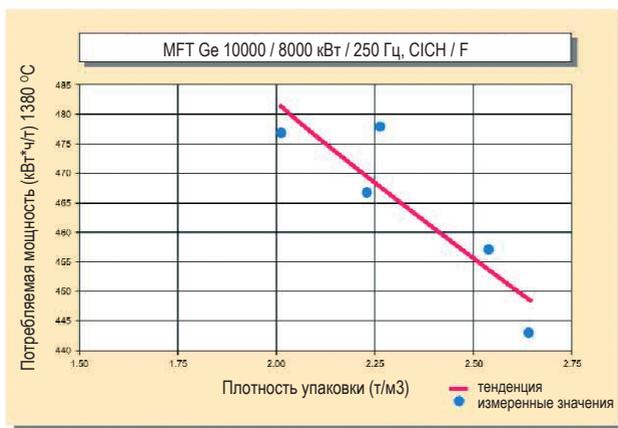


Рис. 15: Влияние плотности упаковки на потребляемую мощность

Плавка стружки

Так как сталелитейные предприятия повышают свою вертикальную интеграцию и начинают заниматься машинной обработкой своих собственных отливок, они все чаще накапливают большое количество стружки. Наиболее правильным решением в таком случае будет использование этой стружки в своих собственных плавильных работах.

Индукционные печи без сердечника, в отличие от других решений в области плавки, в высокой степени пригодны для плавления стружки, полученной в ходе машинной обработки. Так как серый литейный чугун обычно подвергается машинной обработке без применения смазочно-охлаждающей жидкости, такая стружка будет сухой и чистой, и, следовательно, ее можно переплавлять без какой-либо предварительной обработки.

С другой стороны электрический контакт между стружками слабый, несмотря на высокую плотность упаковки. Причиной этого является их относительно малая контактная поверхность и поверхностное окисление. Поэтому стружку следует всегда плавить в зеркале расплавленного металла (более 40%).

Если печь работает без зеркала, при плавлении стружки следует ожидать потребления мощности на 50 кВт.ч/т больше, чем в случае крупнокускового материала. Также следует ожидать увеличения времени плавки.

Стружку можно загружать в зеркало расплавленного металла непрерывно (метод «струйки»), либо одной партией вплоть до верха активной катушки. Полное заполнение печи без перегрузки сэкономит 2 – 3% энергии и одновременно снизит потери на плавку. С другой стороны будет существовать опасность замыкания по материалу в шихте.

Если шихта частично состоит из стружки, то сначала в печь необходимо загружать твердый материал и расплавлять его должным образом. Затем стружку следует загрузить в полученное зеркало расплавленного металла.

Науглероживание

Еще одним отмеченным фактором /5;6/, который влияет на потребление энергии, является метод добавления науглероживающих материалов. Печь будет однозначно потреблять больше энергии, если науглероживающие материалы будут добавлены в ванну расплавленного металла после расплавления, а не в начале вместе с твердым шихтовым материалом. На основании нашего опыта можно утверждать, что при таком методе будет расходоваться на 1 – 2 кВт.ч больше на кг науглероживающего материала. Это означает, что при фактической загрузке около 2% науглероживающих материалов можно ожидать дополнительного потребления до 40 кВт.ч на тонну железа. Средняя величина 70 кВт.ч на тонну железа при науглероживании, которая указана в литературе, является необоснованной /7/.

Если науглероживающий материал загружается в печь вместе с другим шихтовым материалом, такое действие следует осуществлять с применением контролируемых пропорций, чтобы содержание углерода в расплаве чрезмерно не повысилось. Чрезмерное повышение содержания углерода станет причиной слишком быстрого износа тигеля. Также рекомендуется избегать применения чрезмерно мелкозернистых, низкосортных науглероживающих материалов, которые прилипают к стенке тигеля. Неизбежным результатом этого станет локальное коррозийное воздействие.

Боле того, загрузку материалов, содержащих кремний (что практикуется при стандартных шихтах литейного чугуна), не следует выполнять до окончания науглероживания, так как повышенное содержание расплавленного Si негативно повлияет на растворимость углерода и одновременно будет способствовать потерям кремния.

Режим работы плавильной печи

Теоретически наиболее выгодным режимом работы с точки зрения эффективности использования энергии будет тот, при котором используется максимальное количество доступной мощности, а, следовательно, обеспечивается высокая удельная мощность. Данное правило было убедительно подтверждено проведением систематических испытаний.

При таком режиме работы обеспечиваются более короткие циклы нагрева и меньшие потери тепла, что снижает потребление электрической мощности. На энергетической диаграмме 12-тонной печи (см. Рис. 16) видно, что потребление электрической мощности повышается экспоненциально со снижением удельной мощности, так как процент энергии, необходимый для компенсации тепловых потерь в постоянном режиме, становится непропорционально высоким при слишком низкой удельной мощности. Как уже было указано в разделе 2.1, такое взаимодействие отображено в виде коэффициента мощности выдержки относительно номинальной мощности печи.

Сравнение между плавкой при 6000 кВт и плавкой, которая проведена при 3000 кВт, демонстрирует значительную разницу (20 кВт*ч/т) в потреблении энергии /Рис. 16/.



Рис. 16: Энергетическая диаграмма 12-тонной печи

Применение технологии средней частоты делает возможным эксплуатацию печи без зеркала, а также расплавление шихтового материала мелкой фракции. Благодаря исключительному электромагнитному взаимодействию твердого шихтового материала (хотя, это применимо только к плавке литейного чугуна) потребление энергии при серийной обработке будет на 8% ниже из-за намного большей эффективности катушки, вплоть до точки Кюри (Рис. 17). Такое преимущество можно обеспечить с помощью технологии средней частоты, так как система промышленной частоты должна всегда начинать работать с зеркалом расплавленного металла.



Рис. 17: Влияние режима работы на эффективность катушки

Количество тепла, накопленного в печи без сердечника (т.е., энергия, необходимая для нагрева холодной печи до состояния полного сохранения тепла) обычно выше в 3-5 раз по сравнению с энергией выдержки, которая необходима для аналогичного периода. Поэтому тепло, сохраненное в 8-тонной печи, равно 800 кВт.ч, т.е., для плавки шихты в холодной печи потребуется на 100 кВт.ч/т больше энергии по сравнению с тем, что необходимо для плавки такой же шихты в установке, которая уже накопила максимум тепла /Рис. 18/. Так как для поддержания расплава в течение часа при температуре выдержки необходима всего четверть от такой энергии (25 кВт.ч/т), целесообразным будет не давать установке остывать, а поддерживать ее при температуре с зеркалом расплавленного металла во время перерывов или задержек, длительность которых не превышает четырех часов.

Также следует учитывать, что срок службы огнеупорной футеровки печи можно максимально повысить путем поддержания печи на постоянной рабочей температуре, или как минимум не включать и выключать ее постоянно. Сегодня, как правило, повышенные периоды выдержки больше не влияют на качество металлургических изделий, так как теперь доступны усовершенствованные технологии обработки и ввода модифицирующих добавок.

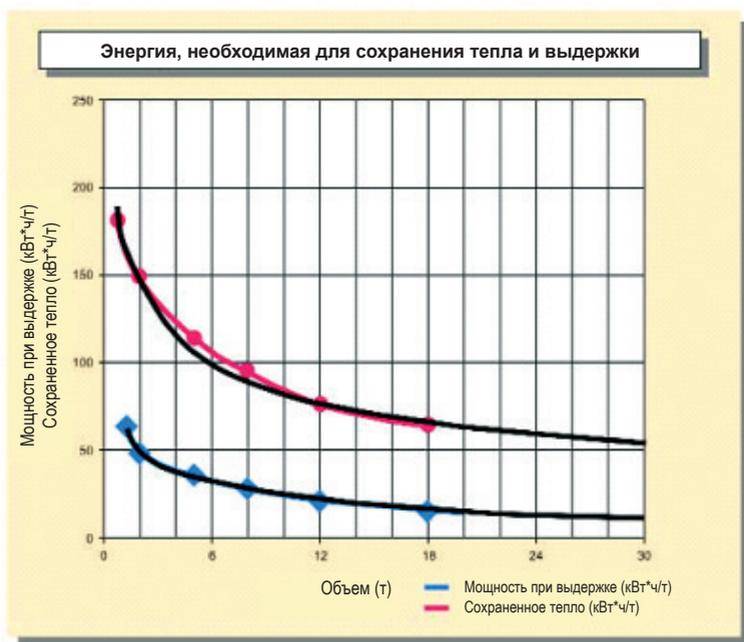


Рис. 18: Сохраненное тепло и мощность при выдержке в зависимости от размера печи

Также энергия теряется при работе печи с крышкой, которая открыта более длительное время, чем необходимо. Низкие потери тепла в усовершенствованных печах, которые, например, в случае 15-тонной установки, равны всего 275 кВт,

при открытой крышке увеличатся до 600 кВт. Это равно потреблению дополнительных 6 кВт за каждую минуту, когда крышка открыта.

Энергия также будет «вытягиваться», если вытяжная система работает на полной мощности даже тогда, когда вырабатывается незначительное количество отходящих газов или они не вырабатываются вовсе. При неблагоприятных условиях это может привести к увеличению потребления мощности вплоть до 3%. Это соответствует 15 кВт.ч на тонну железа.

Еще одной проблемой является перегрев, если пользователь считает, что повышение температуры на 50 К будет потреблять около 20 кВт.ч на тонну железа. Плавильный процессор JOKS позволяет поддерживать конечную температуру с точностью до 5 К. Таким образом, любой излишний перегрев будет устранен.

Потребляемая мощность в зависимости от износа огнеупорной футеровки			
Трехтонная индукционная печь без сердечника; 700 кВт; литейный чугун			
	Подводимая мощность, кВт	Потребление энергии мощность, кВт*ч/т	Сравнение энергии, %
Новая футеровка	615	656	100
После 1 недели работы	650	622	95
После 3 недель работы	750	598	91

Источник (1)

Таблица 5: Соотношение между износом футеровки и потреблением энергии / продолжительностью цикла нагрева



Рис. 19: Влияние толщины футеровки на эффективность катушки

Огнеупорная футеровка

Толщина стенки керамической огнеупорной футеровки, которая в системах плавки литейного чугуна практически всегда будет из кварцита, всегда является компромиссным решением между хорошей теплоизоляцией, хорошей механической защитой катушки и хорошим электромагнитным взаимодействием между катушкой и шихтой.

Снижение толщины данной футеровки повысит эффективность катушки и потребление мощности, при этом повысится потеря тепла через более тонкую стенку тигеля. Однако так как потери на катушке превышают потери тепла через стенку тигеля практически в 10 раз, в данном случае наиболее важным фактором являются потери в катушке.

Исследования [1] продемонстрировали заметное снижение потребления мощности при уменьшении толщины футеровки (Таблица 5). При увеличении времени работы печи, а, следовательно, прогрессирующей эрозии футеровки, потребление мощности в течение первых трех недель снизится почти на 10%. На Рис. 19 показано, как толщина футеровки влияет на эффективность катушки. Если будет учтено, что в течение первых трех недель толщина футеровки уменьшится на 30 мм относительно начальных 125 мм, вычисленный спад потребления энергии будет равен всего 3%. Значения такой величины не могут объяснить повышения потребления энергии, которые ясно видны в Таблице 5.

По всей вероятности, повышение подводимой мощности к шихте и произошедшее вследствие этого сокращение цикла плавки, также способствуют такому эффекту экономии энергии.

По этой причине может иметь смысл устранение слишком высоких «запасов безопасности» по толщине огнеупорной футеровки, что может быть выполнено с помощью такого оборудования мониторинга тигеля, как оптическая система защиты катушки OPC.

3.2 Выдержка и транспортировка расплавленного железа

Чтобы поддерживать расплав при постоянной температуре, необходимо подавать энергию для компенсации тепловых потерь в печи. Такие потери включают потери тепловым излучением с поверхности расплава и рассеивание тепла через стенки тигеля, последний из которых является наиболее важным фактором. Так как соотношение между площадью поверхности расплава и общим объемом шихты снижается при увеличении размера печи, подводимая удельная мощность для выдержки значительно уменьшится при повышении вместимости печи.

Таким образом, для 2-тонной печи необходима подводимая удельная мощность для выдержки, равная не менее 48 кВт/т, а для 20-тонной печи мощность, необходимая для выдержки, будет равна всего 15 кВт/т.

Указанные выше значения применимы к выдержке в печи с закрытой крышкой. Они быстро увеличатся в 2-3 раза, если крышка печи открыта. Более того, они будут значительно медленнее снижаться при увеличенном размере печи, когда крышка открыта во время цикла выдержки (Рис. 20).

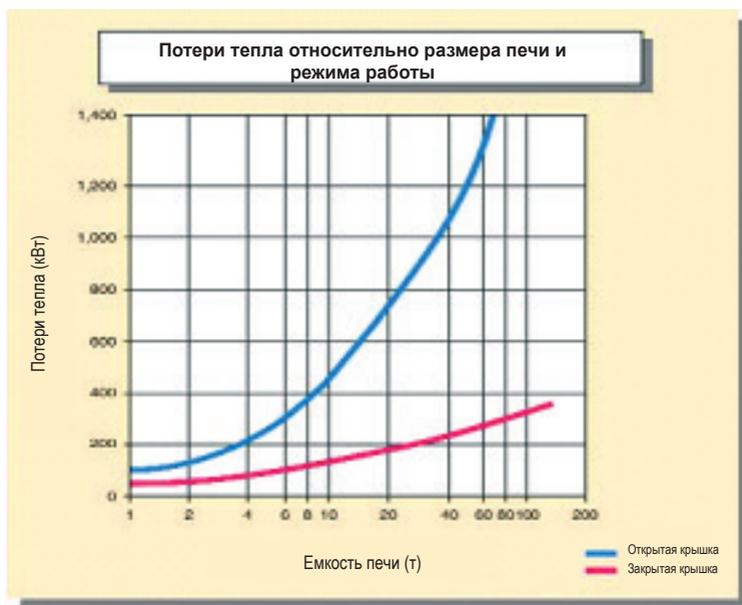


Рис. 20: Влияние размера печи и работы при открытой и закрытой крышке печи на потери тепла

Это увеличивает важность поддержания крышки в закрытом состоянии, особенно, в случае более крупных печей. Безусловно, работы по выдержке и хранению жидкого металла можно выполнять в печи канального типа, которой необходимо меньше мощности для выдержки, при этом она демонстрирует значительно превосходящую эффективность потребления электроэнергии. С другой стороны применение канальной печи в цеху индукционной плавки может быть экономичным только при наличии возможностей для промежуточного «буферного» хранения, либо там, где для получения очень крупных отливок необходимо собирать железо из нескольких плавок. Но даже в таких случаях применение более крупной печи без сердечника стремительно превращается в предпочтительное решение благодаря гибкости, которую обеспечивают такие установки.

Не следует сбрасывать со счетов потери температуры, которые происходят при распределении и транспортировке расплавленного металла на станцию разлива. К этому необходимо добавить влияния металлургических вмешательств вне печи, как в случае чугуна со сфероидальным графитом.

Опыт показывает, что каждая операция по транспортировке расплава связана с потерей температуры. Величина такой потери увеличивается с высотой выпуска и с понижением скоростей выпуска. Для этапа выпуска металла из индук-

ционной печи в транспортный ковш мы можем вывести следующее правило: ковш должен располагаться как можно ближе к желобу печи, а цикл выпуска должен быть как можно более коротким, чтобы предотвратить чрезмерные потери температуры (Рис. 21). На практике во время выпуска из индукционной печи среднего размера без сердечника можно ожидать потери температуры в диапазоне 20 – 40 К.

На собственном литейном предприятии компании «OTTO JUNKER» во время выпуска плавки из 2-тонной печи в предварительно разогретый ковш с разливкой через днище была зарегистрирована потеря температуры в диапазоне 20 – 25 К.

Если во время выпуска плавки из индукционной печи без сердечника в ковш выполняется обработка магнием, к потерям энергии следует добавить энергию, которая необходима на плавку магния и его реакцию с железом. Измерения, выполненные на сталелитейном предприятии в Вальтенхофене [9], показали потери температуры в диапазоне 60 – 70 К (двухтонный чайниковый ковш) для этой операции.

Дополнительная энергия теряется при хранении жидкого металла в ковше во время операций по транспортировке и разливу.

В разливочном ковше тигельного типа (т.е., не закрытом) вместимостью 1 тонна такое снижение температуры равно приблизительно 5 К/минута.



Рис. 21: Выпуск в ковш для транспортировки

Из этого следует, что за 10-минутный цикл выдержки происходит потеря тепла, равная 50 К. На соответствующую величину перегрева в печи потребуется дополнительно 20 кВт.ч/тонна.

Фактические измерения, полученные при таком типе ковша, демонстрируют разницу в 50 К между первым и последним циклом разливки при расстоянии транспортировки 10 метров и отливке восьми отдельных деталей весом по 125 кг каждая. Суммарная потеря температуры относительно температуры выпуска равна приблизительно 80 К.

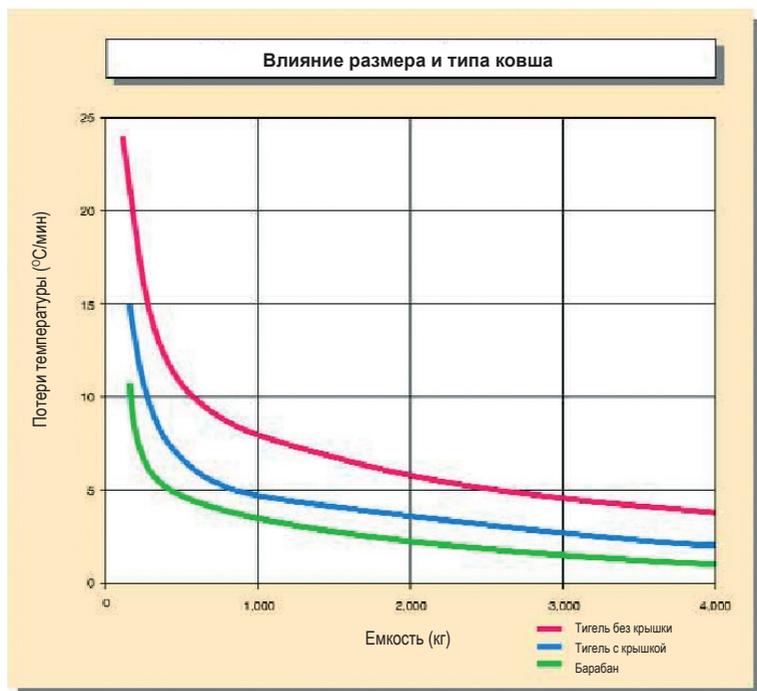


Рис. 22: Влияние размера и типа ковша на снижение температуры

Естественно, потери температуры в ковше можно также свести к минимуму путем совершенствования теплоизоляции посредством применения более толстой футеровки или использования огнеупорного материала с меньшей теплопроводностью.

С другой стороны следует учитывать дополнительные затраты, связанные с такими мерами. Также следует отметить, что предварительный подогрев ковша и должное высушивание футеровки определенно принесет положительный результат.

Для транспортировки на большие расстояния необходимо выбирать более крупные ковши, так как при этом будут понесены меньшие удельные потери. После этого содержимое можно перелить на участке заливки в меньшие ковши, чтобы свести к минимуму суммарные потери, при этом поддерживая температуру разливки в допустимых пределах.

Альтернативным методом сведения к минимуму температурных потерь является полный отказ от операций переливки и использование одного и того же ковша для транспортировки, обработки магнием и разливки. Результаты, полученные при работе с барабанным ковшом весом 40 кг и температурой выпуска 1530°C демонстрируют, что даже при использовании такого оптимального решения происходит спад температуры на 100 К в течение 9 минут, которые необходимы для транспортировки и обработки магнием /10/.

С повышенными уровнями автоматизации при изготовлении изложниц и все более узкими допусками к качеству потребность в разливочных печах и разливочном оборудовании значительно повышается. Разливочная печь под давлением позволяет оператору выполнять следующие действия:

- выдерживать и перегревать расплавленный металл непосредственно на участке заливки;
- поддерживать постоянные температуры разливки;
- корректировать состав расплава по необходимости;
- дольше хранить чугун со сфероидальным графитом после обработки;
- и автоматизировать процесс разливки.

Хотя разливочная печь должного размера способна компенсировать тепловые потери, связанные с операциями по транспортировке и распределению расплава, при монтаже разливочной печи не следует забывать об указанных выше тепловых потерях.

На основании вышесказанного очевидно, что необходимо уделять больше внимания операциям по распределению расплава, транспортировке и разливке в случае изготовления высококачественных отливок с низким расходом энергии. Приложение значительных усилий по оптимизации эффективности расхода энергии в процессе плавки не будет иметь смысла, если энергия будет теряться при последующих операциях по разливке.

Чтобы идентифицировать недоработки и незадействованный потенциал литейного цеха необходимо провести точный анализ времени основных операций и температурных потоков. На основании этих данных будет возможно оптимизировать как операции по плавке, так и разливке.

4. Безопасность эксплуатации печи

Далее вкратце описаны некоторые необходимые меры безопасности любой индукционной печи и перечислены дополнительные способы улучшения защиты оборудования и операторов.

Аварийное опрокидывание

В случае серьезной неполадки должна существовать возможность быстрого опустошения печи. Это же применимо к случаям продолжительных сбоев электропитания, когда расплав необходимо извлечь до того, как он отвердеет в печи.

Для обеспечения такой возможности аварийного опрокидывания насосы в гидравлическом блоке должны быть оборудованы двигателем, который может работать независимо от сетевого электропитания. Он может быть реализован в виде насосов, работающих на сжатом газе, либо аварийного генератора, который смонтирован для питания двигателей насоса.

Аварийный приемок

Под каждой печью должен быть смонтирован накопительный приемок для аварийных ситуаций. Его размер должен быть достаточным для вмещения всего содержимого печи. Крайне важно предотвращать накопление воды в приемке, чтобы не произошел взрыв при поступлении жидкого металла в приемок. Соответствующие правила разработки опубликованы Ассоциацией литейщиков Германии («Verein Deutscher Gießereifachleute»), Дюссельдорф.

Аварийное водоснабжение

После сбоя электропитания или аварийного опустошения печи водяное охлаждение катушки должно продолжаться в течение нескольких часов, чтобы предотвратить повреждение катушки или изоляции. Это требование обеспечивается при помощи электромагнитного клапана, который открывается при отключении подачи электропитания, чтобы впускать воду из городского водопровода в контур охлаждения катушки. Как вариант двигателя и исполнительные механизмы в системе повторного охлаждения воды могут быть запитаны от аварийного генератора. Еще одной опцией является поддержание нормальной работоспособности охлаждающего контура при помощи турбины, которая приводится в движение водой из городского водопровода.

Естественно, систему также можно охлаждать водой из крупного установленного на возвышенности резервуара, если с его помощью можно обеспечить необходимое давление (не менее 2 бар) и скорость потока.

Ограждения приямка печи

Проем в направлении приямка печи, который формируется при наклонении печи, необходимо перекрыть для предотвращения падения в него оператора, сдавливания или защемления в данном пространстве. Поэтому каждая печь оборудована системой ограждения приямка, которая автоматически выдвигается для перекрытия приямка при наклоне печи.

Защита от электромагнитного поля

Магнитное поле печи направляется короткозамкнутым кольцом, которое установлено над активной катушкой, и ярмом, которые радиально выступают по периметру катушки. В результате этого поблизости от печи может сформироваться только слабое магнитное поле рассеяния. Измерения, выполненные на нескольких установках печи компании «OTTO JUNKER» для определения силы электромагнитного поля в зоне оператора, показали, что такие поля действительно слабые и остаются значительно ниже допустимых пределов /11/. Это стало возможным в результате оптимальной разработки и подбора размера оборудования, особенно ярма, с учетом удельной номинальной мощности и рабочей частоты каждой печи. Эксплуатация индукционных печей без сердечника недопустима без использования короткозамкнутого кольца и ярма, так как при этом будут образовываться мощные электромагнитные поля, оказывающие негативное воздействие на здоровье.

Электрические защитные устройства

В аварийной ситуации или если проводятся техническое обслуживание или ремонт печи или силового блока, установка должна быть отключена от источника питания и защищена от случайной активации. На разных участках предприятия будет установлено несколько четко обозначенных кнопок аварийной остановки. Нажатие любой из этих кнопок активирует основной размыкатель силового контура. Прерыватель цепи также будет разомкнут, если открыта дверь любого из следующих электрических шкафов:

- силовая секция шкафа преобразователя частоты
- шкаф фильтрующего контура
- шкаф конденсатора

Система слежения за утечкой на землю / прорывом из тигля

Данная система предназначена для оповещения об угрозе прорыва из тигля, а также о замыкании на землю в электрической системе (катушка печи, системы шин, конденсаторы, контакторы). Для этого на дне печи установлена заземляющая крестовина (Рис. 23). Катушка печи несет электрический потенциал соответствующего измерительного напряжения.

В случае прорыва из тигля ток будет течь между катушкой печи и землей, что будет указано на омметре. Такая функция заземления ванны также защищает операторов, например, при выполнении измерений температуры.

Система мониторинга катушки ОСР

Надежная защита индукционной катушки от перегрева, а, в частности, от контакта с расплавленным металлом, крайне важна для обеспечения безопасной и надежной эксплуатации печи.

Ранее данное требование уже было удовлетворено, а также было предложено несколько технических решений по мониторингу тигля.

Среди недостатков предыдущих систем было отсутствие достоверного «раннего предупреждения» и отсутствие возможности локализации отказа, помехи из-за магнитного поля печи, а также подверженность таким влияниям, как состав и содержание воды в огнеупорной футеровке. Новая разработанная оптическая система защиты катушки (ОСР) задает новый стандарт в области мониторинга тигля [12]. ОСР представляет собой последнее поколение решения по измерению и мониторингу температуры с применением оптоволоконных датчиков, которые особенно удобны для мониторинга тигля без помех в областях применения индукционных плавильных печей. Такие датчики обеспечивают непосредственными и независимыми полевыми данными о температуре. Система измеряет общую температуру в поле, которое окружает непосредственно катушку (Рис. 23).

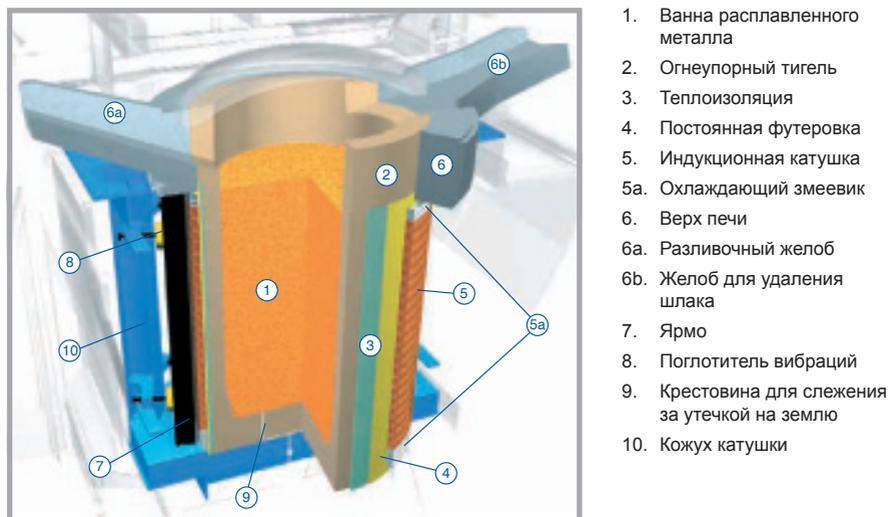


Рис. 23: Конструкция катушки с системой ОСР

Ниже приведены преимущества данной системы:

- очень высокое пространственное и температурное разрешение до менее 1 К;
- регистрация и визуализация температурного профиля для всего хода слежения за тиглем;
- непосредственное оптическое измерение температуры, не основанное на электрическом контуре;
- ранее предупреждение об угрожающих критических температурных условиях.

Данный метод распределенного оптоволоконного отслеживания температуры является зрелой технологией, которая уже много лет доказывает свою надежность в качестве центральной системы безопасности на более 300 установках по всему миру, например, при слежении за пожарной опасностью в современных дорожных тоннелях.

Долговременные испытания системы были начаты в мае 2004 г. в Тинене/Бельгия на предприятии широко известной компании «Affilips Co». В систему входит кабель датчика, а также анализатор и дисплей для визуализации измеренных температурных полей.

Система ОСП была установлена в вакуумной индукционной плавильной печи емкостью 2,5 тонны, которая работает в течение трех смен в день для изготовления лигатуры с составом, который критически важен для материала тигля. Печь эксплуатируется с готовыми тиглями, которые засыпаны сухой огнеупорной смесью. Степень спекания данного засыпного материала является критически важным параметром, который указывает на необходимость в повторной футеровке, а, следовательно, и замене тигля в данной печи. Если спекание зашло далеко, опасность формирования языка металла станет неизбежной и тигель будет сложно извлечь из печи.

Для установки системы мониторинга тигля не требуется модернизировать печь. Кабель датчика ОСП размещается непосредственно на катушке печи (Рис. 24) и встраивается в постоянную литую футеровку. Для вывода кабеля и его подключения к анализатору наличие отверстия размером около 15 мм.

Кроме демонстрации надежности системы и бесперебойной эксплуатации, испытание было разработано для подтверждения точности локального отображения температуры, а, следовательно, и способности системы обнаруживать трещины в тигле и последующее проникновение металла в насыпной материал, локальную эрозию и штатный износ огнеупора.

Так как степень спекания насыпной смеси выражается в виде повышения степени его теплопроводности, температура на месте установки кабеля датчика ОСП (т.е., непосредственно перед катушкой) будет постоянно повышаться в ходе периода эксплуатации тигля. Результаты эксплуатации показали, что после безотказного периода эксплуатации тигля замена тигля требуется, когда средняя

температура, отображаемая датчиком ОСР, достигает значения, приблизительно равного 260°C. При этой температуре спекание засыпного материала достигло такой степени, когда тигель еще можно извлечь без особых сложностей. Другими словами, система ОСР в таком случае действует в качестве средства планировки замены футеровки в дополнение к своей функции мониторинга. На Рис. 25 и 26 показан температурный профиль температуры выпуска около 1500°C вблизи начала (Рис. 25) и конца (Рис. 26) безотказного периода эксплуатации тигля.

Система ОСР прошла испытание на «кислую реакцию», когда сообщила о локальном критическом повышении температуры спустя всего лишь половины стандартного срока службы печи. На Рис. 27 показан сопутствующий температурный профиль, а на Рис. 28 показан такой же результат в специальном режиме нанесения на график дифференциальной температуры. На основании данного сигнала печь была опустошена и ее футеровка была утилизирована. Было обнаружено, что тигель треснул и металл проникал в засыпной материал в той точке, где было обнаружено аномальное повышение температуры.



Рис. 24: Установка кабеля датчика ОСР

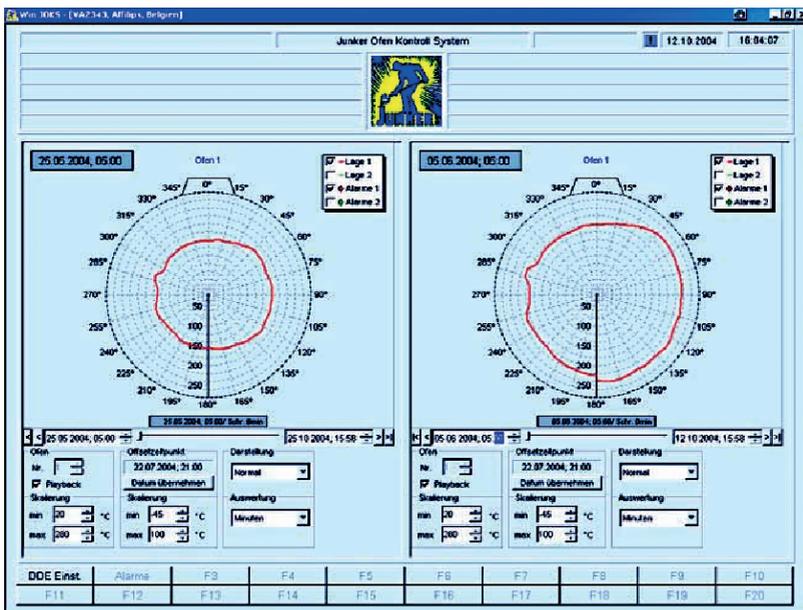


Рис. 25

Рис. 26

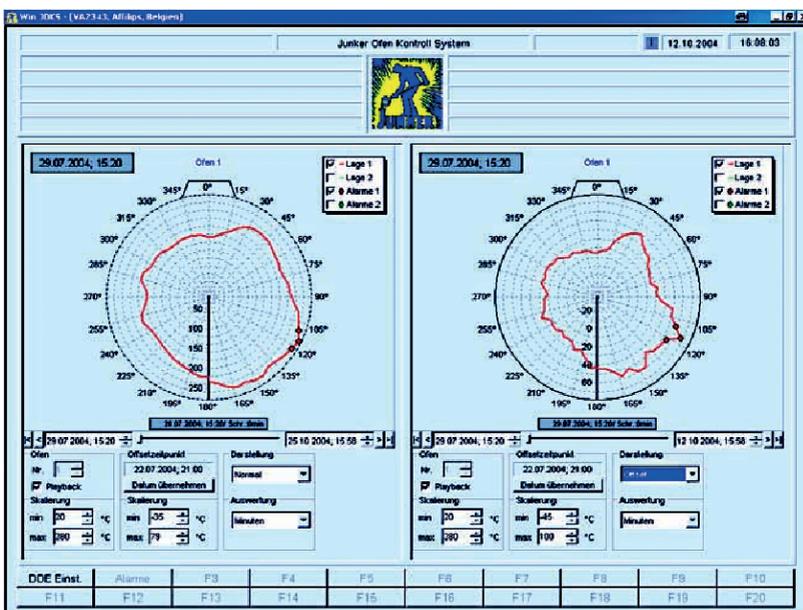


Рис. 27

Рис. 28

Рисунки. 25 - 28: Отображение температуры в системе ОСР

Защита от замерзания воздушных охладителей

Бесперебойная работа систем повторного охлаждения, которые работают с неизбежным рассеиваемым теплом, является предварительным условием для надежных работ по плавке.

До сегодняшнего дня вода остается наиболее пригодным хладагентом. Единственным недостатком применения воды является то, что она замерзает при температурах ниже нуля, что может стать причиной повреждения трубной обвязки и охладителей, если не используются подходящие системы подогрева или в контур не добавлен гликоль. Для надежной защиты при температурах до -20°C к воде необходимо добавить 35% гликоля и регулярно проверять его содержание. Довольно много систем воздушного охлаждения повредились из-за замерзания по причине отсутствия или недостатка гликоля в воде и не проведения требуемых проверок.

Эти проблемы были решены с помощью новой системы, которая успешно применялась на нескольких установках печей, а также надежно работает без гликоля или дополнительного обогревательного оборудования даже зимой. Новая система (заявка на патент подана) может работать в двух режимах: стандартный режим и специальный низкотемпературный режим (см. Рис. 29). В стандартном режиме воздушный охладитель присоединен к охлаждающему контуру обычным способом. При низких температурах (которые определяются по измерению температуры вне помещения и температур воды) система автоматически переключится на специальный низкотемпературный режим.

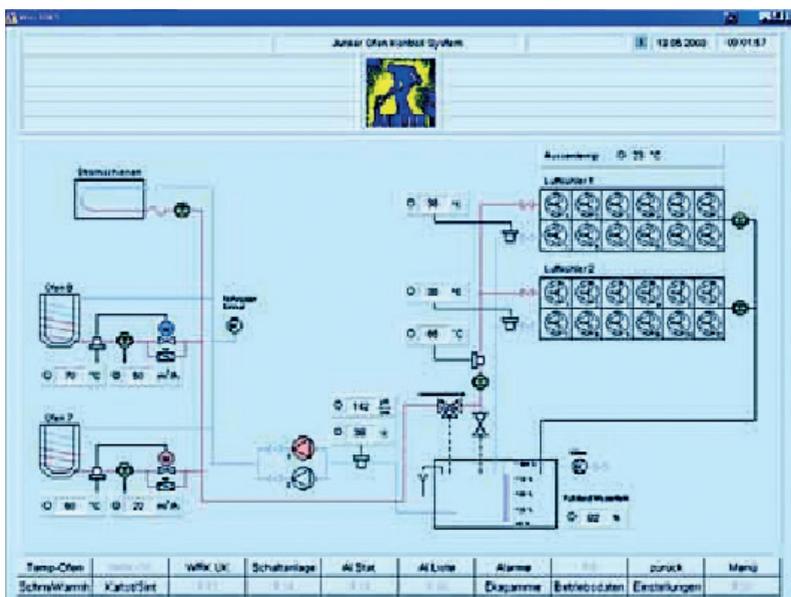


Рис. 29: Принципиальная схема новой конструкции воздушно-водяного охладителя

Это означает, что воздушный охладитель выводится из водяного контура. Его содержимое полностью сливается в промежуточный резервуар и охлаждение поддерживается только через этот «короткий» контур. Когда температура воды повысится выше заданного порогового значения, воздушный охладитель будет снова добавлен в контур.

Основные преимущества заключаются в следующем:

- отсутствие опасности замерзания оборудования;
- отсутствие необходимости проверки концентрации гликоля и дополнительного подогрева;
- отсутствие затрат на гликоль или энергию для подогрева;
- гликоль не будет попадать и загрязнять отработавшую воду, если будет использоваться функция аварийного водоснабжения.

Обратный наклон

Техническая функция, которая обеспечивает выполнение работ с печью, а также повышает эксплуатационную безопасность благодаря функции бесступенчатого обратного наклона. В случае крупных печей скачивание шлака является сложной задачей, с которой связаны некоторые опасности. Это особенно верно, если индукционная печь без сердечника не заполнена полностью. Наклон печи в удобную обратную позицию под углом до 30 градусов может устранить такую проблему (Рис. 30).

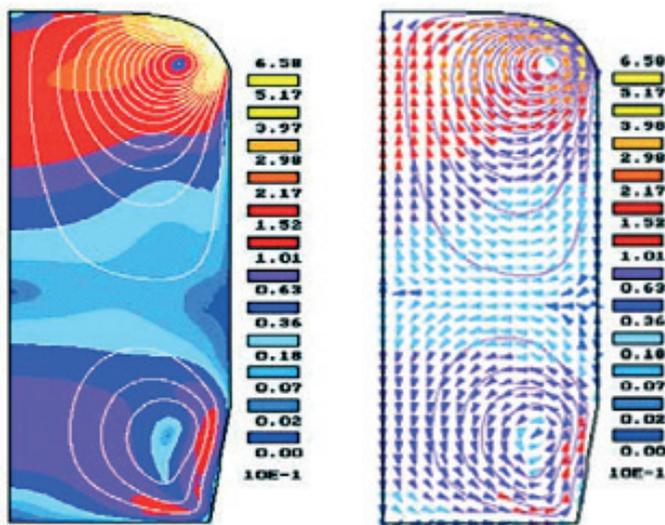


Рис. 30: Обратный наклон печи без сердечника

Брызги/пролив металла

Среднечастотные печи высокой мощности на этапе перегрева иногда подвержены проливам и брызгам металла, особенно если используется очень ржавый и тонкостенный шихтовой материал и печь заполнена. Причиной этого является формирование оксида углерода при подаче кислорода и реакции окисленного лома с углеродом, который растворен в расплаве /13/.

Для обеспечения должного отвода формирующихся газов печь следует эксплуатировать таким образом, чтобы в ванне постоянно присутствовали ярко выраженный мениск и интенсивное движение (31). Ключевым критерием для должного отвода газа является уровень ванны печи, или если быть более точным, расстояние между верхней кромкой текущей активной катушки и поверхностью расплавленного металла. Если данное расстояние выходит за определенные пределы, давление в столбе металла, который расположен выше уровня катушки, станет сильнее, чем электромагнитные силы, после чего невозможно обеспечить выраженный мениск и интенсивное движение в ванне.



Скорость потока в м/сек

Рис. 31: Интенсивное движение в ванне и ярко выраженный мениск (пример вычисления)

В результате этого отвод газов снижается и газы будут захвачены в расплаве, откуда они будут подниматься на поверхность в виде взрывных выбросов газа, когда давление газа станет достаточно высоким. В существующих установках печей данный эффект можно устранить, снизив подводимую мощность или уровень ванны.

Для устранения такой опасности были разработаны новые печи с оптимизированными настройками мощности и частоты, а также соответствующими кон-

фигурациями катушки. Специальные конструкции катушки, например, с переключением частот (технология нескольких частот) и концентрация мощности на отдельных участках катушки (технология концентрации мощности), стали дополнительными техническими мерами для сведения к минимуму или предотвращения пролива расплавленного металла.

Благодаря цифровому моделированию потока такой эффект можно вычислить предварительно и противодействовать ему при помощи разработки должной конструкции печи.

Отвод газов печи

Пыль и газы, которые высвобождаются во время цикла плавки, следует улавливать максимально эффективным способом и отделять соответствующим фильтровальным оборудованием. Цель заключается в удовлетворении применимых ограничений, установленных законом, по концентрации в рабочей зоне взвешенных в воздухе частиц и вредных выбросов. Установка должна обеспечивать уровни, меньшие тех, которые могут быть разумно достигнуты.

Несомненно, наилучшим решением является улавливание пыли вытяжными колпаками, встроенными в крышку печи (Рис. 32). В печах меньшего размера емкостью до 2 тонн (но только в них!) применение кольцевой системой вытяжки пыли было выгодным.



Рис. 32: Вытяжной колпак, встроенный в крышку печи

Чтобы максимально эффективно улавливать пыль, крайне важно обеспечить достаточный объем вытяжки и уровень пониженного давления. Также вытяжной колпак должен быть расположен как можно ближе к верхней части печи и загрузочного лотка. Скорость вытяжки должна быть переменной, чтобы высокие скорости потока можно было применять только в случае необходимости (например, во время загрузки шихты), а пониженную скорость можно применять, когда печь работает в режиме выдержки.

Как правило, конструкция колпака должна гарантировать достаточное отведение газов печи во всех положениях печи и режимах работы.

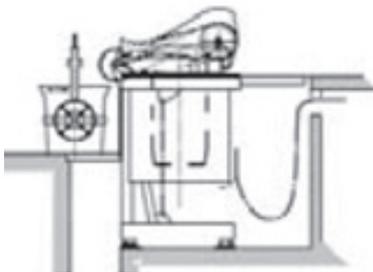
Поворачивающийся в двух направлениях вытяжной колпак, разработанный компанией «Otto Junker» (Рис. 33), особенно эффективно удовлетворяет данным требованиям и обладает следующими преимуществами:

- высокие показатели вытяжки благодаря низкому сопротивлению потока и выгодным условиям вытяжки;
- плоская конструкция и компактные габариты не препятствуют работе крана во время разливки;
- сниженное воздействие излучаемого тепла в рабочей зоне, когда крышка печи отводится;
- «плавающая» конструкция для предотвращения повреждений колпака (посторонние материалы не застревают);
- колпак открывается полностью для обеспечения очистки и повышения безопасности оператора (опорная рама или промежуточная рама отсутствуют на платформе печи при открытии колпака в переднем положении);
- двойные несущие конструкции для наклона в переднем или заднем направлении предотвращают искажения;
- высокие показатели по вытяжке и удобное обращение с ковшом во время разливки;
- колпак открывается в двух направлениях без столкновений в любом положении печи.

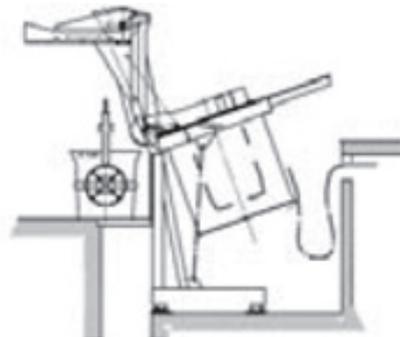
При специальных применениях, например, для плавки стружки, загрязненной маслом, конструкцию колпака следует подобрать соответствующим образом.



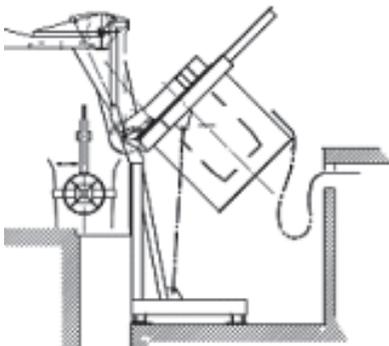
Наклон печи 0°
Колпак закрыт



Наклон печи 20°
Колпак открыт на 70° вперед
Колпак открыт на 90° назад



Наклон печи 45°
Колпак открыт на 45° вперед
Колпак открыт на 90° назад



Наклон печи 90°
Колпак открыт на 0° вперед
Колпак открыт на 90° назад

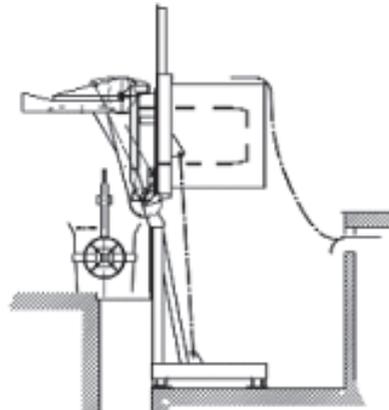


Рис. 33: Новый вытяжной колпак

5. Обновления и расширение существующих установок

Проекты по обновлению и расширению существующего оборудования обладают значительным потенциалом по экономии энергии, повышению производительности и сокращению времени простоя. Так как затраты значительно меньше инвестиций в новое оборудование и меньше времени уходит на сборку, необходимо более детально рассмотреть такую возможность.

Усовершенствованная технология среднечастотного преобразователя в сочетании с современными высокотехнологичными системами управления технологическим процессом обеспечивают следующие значительные преимущества в области снижения затрат на энергию, а также повышают производительность старого оборудования:

1. Современные преобразователи достигают эффективности в диапазоне от 96 до 97,5%, а эффективность более старых систем преобразователей (например, умножителей на четыре) обычно остается ниже 88%.
2. Преобразование печи промышленной частоты в среднечастотную печь позволяет оператору проводить плавку без необходимости зеркала, т.е., печь можно запускать в серийном режиме с твердыми шихтовыми материалами. Это обеспечит повышенное электромагнитное взаимодействие при плавке содержащих железо материалов, благодаря чему можно сэкономить около 8% энергии.
3. Преобразование печи промышленной частоты на среднюю частоту позволит обеспечить более высокую удельную мощность. Повышенная удельная мощность сократит цикл плавки и снизит тепловые потери, что также будет способствовать экономии энергии.
4. Усовершенствованные преобразователи частоты с цифровыми системами управления характеризуются высокой степенью автоматизации и улучшенным управлением и контролем всех рабочих последовательностей при помощи плавильного процессора JOKS.
5. Устранение всех механических переключателей обеспечивает значительное снижение потребности в техническом обслуживании и позволяет бесступенчато управлять мощностью.

Каждый анализ следует начинать с существующего оборудования в текущем состоянии и его недостатков. Также следует четко определить цели обновления. Не имеет смысла устанавливать новый преобразователь на устаревшую печь, что можно оправдать только тем, что новая печь будет установлена спустя пару лет.

С другой стороны модернизация старых компонентов оборудования зачастую может обеспечить значительное продление срока службы, а также сократить время простоя. Также следует учитывать затраты на техническое обслуживание и ремонт существующего оборудования и доступность запасных деталей.

Все это указывает на то, что решение, которое обеспечит максимальное преимущество, следует принимать только на основании фактических условий для каждой отдельной печи.

В целом, если рассматривать обновление или расширение существующей индукционной печи без сердечника, существуют следующие опции для компонентов, которые критически важны для ее эксплуатационных характеристик:

- переход с технологии промышленной частоты на среднюю частоту;
- замена старых систем преобразователей (умножителей на четыре и т.д.) усовершенствованными среднечастотными системами;
- переход с плавки в одной печи на тандемную систему (установка второй печи);
- применение более мощной системы преобразователя;
- переход на усовершенствованное оборудование управления технологическим процессом на основе ПЛК с применением плавильного процессора JOKS;
- применение усовершенствованных систем мониторинга и управления (например, мониторинг тигля при помощи ОСП).

5.1 Примеры успешно реализованных проектов

В следующих разделах приводятся результаты на примере некоторых фактически реализованных проектов по обновлению и расширению.

Переход плавильных печей промышленной частоты на усовершенствованную технологию преобразователя БТИЗ

Рассмотрим сначала успешную модернизацию двух печей промышленной частоты без сердечника в анодно-монтажном цеху компании «Soer-Norge Aluminium AS», которая расположена в Хуснесе, Норвегия.

Цель данного обновления существующих систем печей, которые эксплуатировались более 20 лет (Рис. 34) и имели мощность 2 тонны литейного чугуна, заключалась в повышении их коэффициента готовности и одновременно в повышении общей пропускной способности оборудования. Если учитывать ограничения по бюджету и времени на монтаж, обновление должно было концентрироваться на абсолютно необходимых деталях оборудования. Поэтому на монтажные работы для каждой печи было выделено только пять дней, а шестой день был выделен на ввод в эксплуатацию и эксплуатационные испытания.

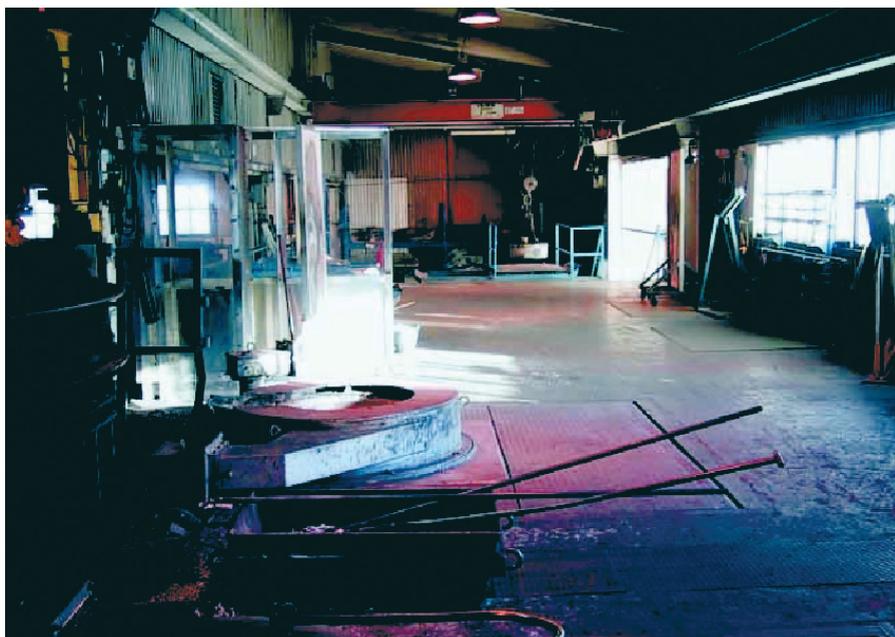


Рис. 34: Существующие печи в «Soer-Norge»

Обновление в основном состояло из установки новых трансформаторов с выпрямителем, двух усовершенствованных установок преобразователя БТИЗ с модулем конденсатора, дополнительного повторного охладителя воды для двух преобразователей, монтажа взвешивающих систем и плавильного процессора JOKS, а также комплекта новых катушек. Комплект оборудования дополнен современным типом системы управления S7-300 Siemens и визуальным представлением всех функций и рабочих последовательностей на ПК типа 670 Siemens. На Рис. 35 показан один из новых силовых блоков БТИЗ с номинальной мощностью 750 кВт и частотой 100 Гц. Данная частота была выбрана с учетом того, что она обеспечит выполнение плавки без тигля, что обеспечит значительное преимущество по сравнению со старыми системами промышленной частоты. Переход на серийную эксплуатацию в сочетании с новой технологией преобразователя обеспечил экономию около 10% потребления энергии на плавку.

Замена умножителей на четыре новой технологией преобразователей

Широко известный чугунолитейный завод «Nippes & Schmidt», расположенный в Золингене / Германия, был одним из первых заводов, который начал использовать среднечастотные печи без стержня от компании «OTTO JUNKER» с технологией умножителей на четыре в 1965 г. В 1970 г. компания заказала еще одну печь производства компании «OTTO JUNKER» такой конструкции.



Рис. 35: Новая система преобразователя частоты БТИЗ в «Soer-Norge»

Спустя 30 лет надежной эксплуатации в 2001 г. эти печи были обновлены до новой технологии преобразователей. В ходе данного проекта стало возможным свести работы по модернизации до минимума: были вновь установлены только сами преобразователи (на 600 и 500 кВт) и сопутствующие трансформаторы и шкафы управления. Все прочие узлы, например, установки печи (мощностью 500 и 100 кг), стойки конденсаторов и система повторного охлаждения воды, остались без изменений. После короткого периода монтажа оборудование было успешно введено в эксплуатацию и запущено. На Рис. 36 показана платформа печи с новой системой преобразователя.

Экономия энергии и повышение скорости плавки приблизительно на 12% были обеспечены исключительно за счет снижения потерь новыми системами преобразователей, так как подведенная нагрузка не повысилась.

Еще один успешный переход старой плавильной установки с умножителем на четыре на усовершенствованную технологию преобразователя частоты на основе тиристора был проведен на чугунолитейном заводе «Bruzaholms Bruk» в Швеции. Данная установка состояла из двух 1,5-тонных печей номинальной мощностью 1200 кВт.



Рис. 36: Установка печи в «Nippes & Schmidt» после обновления

В данном случае было возможно сохранить всю установку печи, включая ядро, гидравлику и повторный охладитель воды для контура охлаждения печи. Был обновлен только электрический силовой блок: умножитель на четыре был заменен преобразователем частоты с тиристорами, а также был поставлен новый трансформатор с выпрямителем.

Новая система преобразователя (на Рис. 37 показана секция управления) была основана на концепции DUOMELT с бесступенчато регулируемым распределением мощности между обеими печами. Объем поставки был ограничен только новым повторным охладителем воды для контура охлаждения печи. Затраты на инвестиции составили всего примерно четверть затрат, которые необходимы на полностью новое оборудование. Простои производства во время работ по переоборудованию были сокращены до минимума.

В результате потребление энергии было снижено с 630 до 535 кВт.ч/т, что соответствует экономии в 15% при неизменной номинальной мощности 1200 кВт.

Для годового объема плавки стали в 4000 тонн экономия энергии равна 380000 кВт.ч.

Повышение скорости плавки с 1,3 до 1,85 тонн/ч обеспечено за счет снижения потребления энергии и улучшенного использования подведенной нагрузки благодаря применению системы DUOMELT.

Номинальные характеристики и размер системы преобразователя был подобран с резервной мощностью 300 кВт, чтобы обеспечить дальнейшие повышения скорости плавки при монтаже новых и более крупных печей.



Рис. 37: Система управления преобразователем в «Bruzaholms»

Замена старой системы преобразователя Siemens

Система преобразователя Siemens на 10-тонной печи выдержки, которая применялась на сталелитейном предприятии компании «SCHMOLZ+BICKENBACH GUSS GmbH & Co. KG» в Крефельде, давно устарела. Повышение количества механических поломок, высокие затраты на ремонт и нехватка запасных частей заставила операторов искать новый усовершенствованный силовой блок.

Особой сложностью данного проекта было то, что силовой блок необходимо было соединить с печью другого производителя, а также со множеством ранее модернизированного контролирующего и управляющего оборудования, при этом необходимо было повторно использовать существующий трансформатор с выпрямителем.

Выбор был сделан в пользу преобразователя частоты на тиристорах с номинальной выходной мощностью 1200 кВт, цифровой системы управления и конденсаторного модуля с соответствующими номинальными характеристиками. Для установления соединения с существующим, обновленным уровнем управления и контроля параметры аналогового преобразователя использовались в качестве сигнала. Сигналы о неполадках отображаются на отдельной панели в помещении преобразователя и дополнительно передаются на уровень системы управления и контроля.

Определенно, это было типичное обновление, но встраивание новой системы преобразователя с существующим оборудованием указывает на тот факт, что решения, специфические для оборудования, можно успешно реализовать.

Применение усовершенствованной системы управления

На турецком дочернем предприятии компании «E.G.O. Elektro-Gerätebau» задача заключалась в том, чтобы сделать их существующие плавильные технологические операции более надежными, а также снизить потребление энергии с учетом ограниченного бюджета.

Плавильные операции на данном предприятии, которое расположено вблизи Стамбула, включали 6 печей промышленной частоты без сердечника, каждая мощностью 3 тонны, запитанные попеременно от 5 силовых блоков номинальной мощностью 800 кВт каждый.

Обновленная установка состояла из современной системы управления и контроля на основе ПЛК S7-300 Siemens и новой панели оператора с текстовым дисплеем. Благодаря данной новой архитектуре системы управления операции печи теперь, по большей части, являются автоматическими. В дополнение к функции автоматической коррекции коэффициента мощности, операции по плавке и выдержке контролируются в зависимости от заданной величины потребления энергии.

В результате этого была продемонстрирована экономия энергии и повышение скорости плавки в сочетании со значительным повышением надежности.

На Рис. 38 и 39 показана система управления оборудованием до и после успешного обновления.



Рис. 38: До – Существующая система управления в компании «E.G.O.»



Рис. 39: После – Новая система управления в компании «E.G.O.»

Переход с плавки в одной печи на тандемную систему

На первом этапе проекта финский сталелитейный завод эксплуатировал единичную систему плавки, которая состояла из одной 8-тонной печи и преобразователя номинальной мощностью 3800 кВт для плавки литейного чугуна. В ходе увеличения мощности была установлена вторая печь и встроены выключатель питания, управляемый компьютером, между обоими печами.

Расширение потребовалось после анализа времени простоя системы с одной печью, которое было равным не менее 10 минут на каждую плавку. В течение всего этого времени доступную мощность преобразователя было невозможно использовать для плавки.

В ходе анализа целесообразности капиталовложений было определено, что в течение этих 10 минут более 95% доступной выходной мощности преобразователя могут быть доступны для плавки во второй печи. Более того, вторая печь может работать при своей полной номинальной мощности во время работ по замене футеровки, которые выполняются каждые три недели.

В целом проект обеспечил повышение скорости плавки на 30%, при этом выработка плавки повысилась с 4,7 до 6,1 т/ч.

Вычисленное повышение скорости плавки, достигнутое за счет монтажа второй печи и сопутствующей опции перехода на автоматическую тандемную работу, было успешно продемонстрировано после ввода системы в эксплуатацию.

6. Заключение

Выбор оборудования

- Рекомендуется всегда использовать систему, которая обеспечит наибольшую удельную мощность (до 100 кВт на тонну емкости печи), учитывая требования к весу выпуска, потребности в расплавленном металле и размер ковша.
- Следует в максимальной степени использовать доступную номинальную выходную мощность посредством:
 - ▶ снижения времени простоя (в установках с одной печью);
 - ▶ применения технологии DUOMELT (в тандемных установках).
- Системы преобразователей БТИЗ являются предпочтительным решением в диапазоне мощности вплоть до нескольких МВт;
- Применение плавильного процессора JOKS в сочетании с системой взвешивания является обязательным условием;
- Такая усовершенствованная технология контуров, как
 - ▶ Технология концентрации мощности
 - ▶ Технология нескольких частот должна применяться, если определенные металлургические требования необходимо выполнять с точностью.

Экономия энергии

Плавка

- Фактическое среднее потребление энергии при операциях плавки литейного чугуна на уровне более 700 кВт.ч/т обладает значительным потенциалом по экономии, если будет учтен тот факт, что в настоящее время возможно достижение величин в диапазоне 490 - 520 кВт.ч/т;
- Потребление энергии вспомогательным и периферийным оборудованием (что равно 2% от подводимой для плавки мощности) не оставляет достаточно пространства для экономии энергии;
- Точное управление температурой печи на основании применения плавильного процессора JOKS;
- Устранение ржавого лома и не очищенных отбракованных изделий из шихты, если это возможно;
- Повышение плотности упаковки шихтового материала путем дробления крупных кусков отбракованных изделий;

- Быстрая и непрерывная загрузка через вибрлоток с целью обеспечения высокого уровня заполнения печи;
- Ввод науглероживающих средств вместе с шихтовым материалом, учитывая последовательность загрузки с учетом металлургических требований; добавление науглероживающих средств в жидкую ванну потребует больше энергии;
- При плавке стружки необходимо поддерживать жидкое болото, которое занимает более 40% от емкости печи;
- В случае крупнокускового шихтового материала с точки зрения эффективного потребления энергии печь следует запускать без зеркала (т.е., серийное производство);
- Эксплуатация печи на максимальной доступной мощности фактически будет экономить энергию;
- Крышку печи по возможности следует держать закрытой, а системы вытяжки газов должна контролироваться в соответствии с фактическими скоростями выброса отходов;
- Печь должна поддерживаться на рабочей температуре во время перерывов или остановок работы продолжительностью менее 4 часов, так как запуск из холодного состояния потребует в 3-4 раза больше энергии, чем при выдержке на рабочей температуре;
- Толщина огнеупорной футеровки должна быть оптимизирована при помощи усовершенствованной технологии мониторинга тигля (например, OCP), а также следует устранить излишние предохранительные запасы по толщине.

Выдержка и транспортировка расплавленного металла

- Посредством сведения к минимуму потери температуры во время транспортировки и распределения можно сэкономить до 10% энергии и избежать излишнего перегрева расплавленного железа;
- Следует сократить количество операций по транспортировке расплавленного железа и замене ковша;
- Маршруты транспортировки расплава и время ожидания следует максимально сократить;
- Желательно использовать подходящую форму и размер. Предпочтительно использование тонкого (по форме тигля) барабанного ковша или чана;
- По возможности ковши типа тигля следует оборудовать крышкой;
- Следует использовать только должным образом изолированные, сухие и предварительно подогретые ковши;
- Разливочные печи могут служить в качестве дополнительного буфера; также они повышают равномерность параметров и температур разливки, одновременно способствуют автоматизации процесса разливки.

Безопасность плавильных работ

- Система мониторинга тигля ОСР устраняет опасность прорыва тигля и позволяет оператору оптимизировать график замены футеровки;
- Новый разработанный водо-воздушный охладитель обеспечивает надежную работу системы повторного охлаждения воды в зимний период без применения гликоля или дополнительного подогревающего оборудования;
- Интенсивное разбрызгивание металла можно предотвратить, если подобрать должный размер печи. Эффективным способом устранения такой проблемы на существующем оборудовании является снижение подводимой мощности и уровня загрузки;
- Должная конструкция колпака является крайне важной для эффективного отвода газов печи во всех положениях печи, а также для повышения удобства обращения.

Обновления

- Обновление старых систем экономит энергию и повышает производительность, при этом снижает время простоя, а также затраты на техническое обслуживание и ремонт. Дополнительные преимущества обеспечиваются на уровне затрат на инвестиции (которые равны всего от четверти до трети затрат на новое оборудование), а также времени на реализацию (что зачастую занимает более недели). В Таблицах 6 и 7 показаны экономические и технические эффекты для двух примеров;
- На основании выполненных проектов по обновлению можно сделать следующие выводы:
- Переход системы промышленной частоты на работу со средней частотой обеспечит экономию энергии на 8%. Дополнительно можно сэкономить 10%, если система оборудована для обеспечения более высокой удельной мощности;
- Замена старых преобразователей (умножителей на четыре и т.д.) современными среднечастотными силовыми блоками снизит потребление мощности на 12 - 20 %;
- Преобразование системы с одной печью в тандемную систему (посредством монтажа второй печи) обеспечит повышение пропускной способности приблизительно на 30%;
- Переход на современную систему управления с ПЛК на основе правильно го процессора JOKS снизит время простоя и потребление энергии.

Результаты обновления

Замена умножителя на четыре на преобразователь БТИЗ

Результат	До Коммутаторное оборудование умножителя на четыре (QFTGe 1500)	После Преобразователь БТИЗ
(MFTGe 1500)		
Частота	250 Гц	250 Гц
Мощность печи	1000 кВт	1000 кВт
Скорость плавки*	1,3 т/ч	1,85 т/ч
Скорость плавки*	69 мин	49 мин
Потребляемая мощность*	630 кВт.ч/т	535 кВт.ч/т
*относительно максимальной мощности печи и при 1500°C		
Экономия		
Затраты на энергию (4000 т/год)	380000 кВт.ч (8 центов)	30000 евро
Персонал (более короткое время на плавку)	4 часа/день – 1000 часов (250 дней – 30 евро/ч)	30000 евро
Техническое обслуживание	Меньшее кол-во запасных частей	Примерно 10000 евро

Таблица 6: Результат обновления/замены умножителя на четыре на преобразователь БТИЗ

Результаты обновления

Замена силового блока промышленной частоты на преобразователь (120 Гц)

Результат	До Коммутаторное оборудование промышленной частоты (NFTGe 8 т)	После Коммутаторное оборудование преобразователя (MFTGe 8 т)
Частота	50 Гц	120 Гц
Мощность печи	2500 кВт	2500 кВт
Скорость плавки*	3,6 т/ч (50% болота)	4,7 т/ч (без болота)
Скорость плавки*	134 мин	102 мин
Потребляемая мощность*	580 кВт.ч/т	535 кВт.ч/т
*относительно максимальной мощности печи и при 1500°C		
Экономия		
Затраты на энергию (12000 т/год)	540000 кВт.ч (8 центов/кВт.ч)	43000 евро
Персонал (более короткое время на плавку)	2,5 часа/день – 875 часов (250 дней – 30 евро/ч)	26250 евро
Техническое обслуживание	Меньшее кол-во запасных частей	Около 10000 евро

Таблица 7: Результат обновления/замены силового блока промышленной частоты на преобразователь

Литература

- /1/ «Эффективная плавка в индукционных печах без сердечника», Руководство по надлежащей практике 50: ETSU, Харвелл, Дидкот, Оксфордшир, 2000 г.
- /2/ Джоливет, Р.: «Литейное производство сегодня», № 229, ноябрь 2003 г., стр. 36-39
- /3/ Питерс, С.; Фрей, Т.; Трауцеддель, Д.: «Международная электротермия», (2005 г.), № 2, стр. 69-73
- /4/ «Управление и технологии сталелитейного предприятия» 131 (2003 г.) № 11, стр. 14-16
- /5/ Смит, Л.; Баллард, Х.В.: «Литейщик 88» (1995 г.) № 7, стр. 246-253
- /6/ Брукмайер, К. Х.: «Индукционная плавка» Браун, Бовери и другие. Акционерное общество Мангейма; Эссен: журнал «Giradetverlag», 1966
- /7/ Ассоциация литейщиков Германии, Специальный отчет: Плавка, выдержка и разливка литейного чугуна на оборудовании с индукционным нагреванием, Часть 1: Индукционные печи без сердечника, Дюссельдорф, 2000 г.
- /8/ Мур, Б.: компания «OTTO JUNKER GmbH», Информация для внутреннего пользования, Ламмерсдорф, 2005 г.
- /9/ Ханеке, Т.: компания «Gusswerk Waltenhofen», Персональное сообщение, 2005 г.
- /10/ Ньюман, Ф.: «Литейный чугун,» Ренниген: Экспертный издательский дом, 1999 г.
- /11/ Шуринг, К.: Электромагнитные поля в рабочей зоне современных индукционных печей – измерение на промышленных площадках – Международный конгресс ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ CFF, Париж, 26 – 29 мая 1997 г.
- /12/ Донсбах, Ф.; Шмитц, В.; Хофф, Х.: Литейная 90 (2003 г.) № 8, стр. 52 - 54
- /13/ Дубовски, Г.; Никлаус, С.; Шмитц, В.: Литейная 91 (2004 г.) №. 9, стр. 30-41



Алфавитный указатель

А

Аварийное водоснабжение 36 и далее

Аварийное опрокидывание 36

Аварийный приямок 36

В

Воздушный охладитель 42

Время простоя 16 и далее, 59 и далее

Вытяжка, вытяжные колпаки 31, 47 и далее

Д

Движение в ванне 6, 14, 19, 44 и далее

З

Загрузка 57 и далее

К

Конструкция оборудования 9 и далее

Контроллер JOKS 12 и далее

Корпус печи 8

Крышка печи 32

М

Марка стального лома 25 и далее

Мениск 6, 44

Мощность для плавки 15 и далее

Мощность при выдержке 15, 28

Н

Науглероживание 26 и далее, 27

О

Обновления 48

- ▶ Результаты 61 и далее
- ▶ Система управления печью 56
- ▶ Система плавки в одной печи 57
- ▶ Система преобразователя Siemens 53

Обратный наклон 43

Ограждения прямка 36

Отбракованные изделия 25

П

Периодический режим 28 и далее, 52

Печи промышленной частоты без сердечника 9, 14, 27, 47 и далее, 51 и далее

Плавка стружки 27 и далее

Потери в печи, тепловые и электрические 18, 24

Потери температуры 34 и далее

Потери энергии 17

Потребление энергии 7, 23 и далее

Потребляемая мощность 18, 24 и далее

Преобразователь БТИЗ 12, 20, 52

Преобразователь с параллельным резонансным контуром 20 и далее

Принцип действия 8 и далее

Проливы / брызги металла 46 и далее

Р

Работа с болотом 27, 29, 50

Разливочная печь 37

Размер печи 16 и далее, 33 и далее

С

Система ОСП 33, 40 f

Система мониторинга катушки 29 и далее, 33 и далее

Системы преобразователя 11 и далее, 20 и далее

Скорость потока 11, 46

Содержащий кремний материал

Сохраненное тепло 30

Схема потока энергии 24

Т

Технология DUOMELT 12 и далее, 18, 54 и далее
Технология концентрации мощности 21 и далее
Технология нескольких частот 21 и далее
Типы / размеры ковша 36 и далее
Транспортировка расплавленного железа 34 и далее

У

Удельная мощность 16 и далее
Умножители на четыре 11 и далее, 53 и далее
Установление соединения 24 и далее, 25

Ф

Футеровка 33 и далее

Ч

Частота 11 и далее, 16

Ш

Шихтовые материалы 25 и далее

Э

Электромагнитное поле 8, 39
Энтальпия 18
Эффективность

- ▶ Системы преобразования частоты 12 и далее
- ▶ Общая 17, 19, 24

Эффективность катушки 31 и далее

ТРАДИЦИИ И ЭКСПЕРТНЫЕ ЗНАНИЯ

Краткая информация о компании



«Беспристрастно определи все проблемы, найди решение посредством сотрудничества научного и практического персонала, а затем обеспечь решение для заказчика в виде качественной продукции».

(Почетный доктор инженерных наук Отто Юнкер).

Компания «OTTO JUNKER Group», основанная в 1924 г. в качестве ремесленного предприятия, переросла в признанного по всему миру поставщика систем оборудования для плавки, разливки и термической обработки различных металлов и продукции для широкого круга отраслей промышленности.

Ее сталелитейный завод, расположенный в головном офисе компании в Ламмерсдорфе, является комплексным поставщиком компонентов, готовых к монтажу. Будучи научно-инновационным центром, компания может проводить в нем широкомасштабные испытания новых технологических процессов и технологий.

Начиная с 1982 г. компанией «OTTO JUNKER GmbH» полностью владеет фонд, основанный первым собственником компании – г-ном Отто Юнкером. В соответствии со своим уставом, фонд содействует обучению молодых инженеров и спонсирует исследования и разработки в электротехнической и металлургической областях.

Тесное сотрудничество с Техническим университетом Ахена (RWTH) и широкий опыт, накопленный в ходе бесчисленных проектов по монтажу (который в первую очередь сформирован на основании информации от заказчиков), являются основой постоянных инноваций продукции компании «OTTO JUNKER».

Сегодня компания «OTTO JUNKER Group», численность персонала которой превышает 800 работников, владеет дочерними компаниями в Германии, Англии, Нидерландах, Испании, Чешской Республике, США и Канаде, и обслуживает их рынки, поставляя широкий спектр высокотехнологичного промышленного печного оборудования.

Компания «OTTO JUNKER Group» является лидирующим поставщиком современного промышленного печного оборудования, которое используется на металлургических и сталелитейных предприятиях.

Компания «OTTO JUNKER GmbH» – Основные этапы развития компании

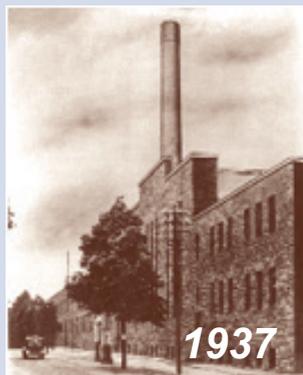


Почетный доктор
технических наук
Отто Юнкер (1900–1982)

Завод

За десятилетия небольшое ремесленное предприятие стало мощной промышленной компанией, которая полагается на передовые производственные технологии.

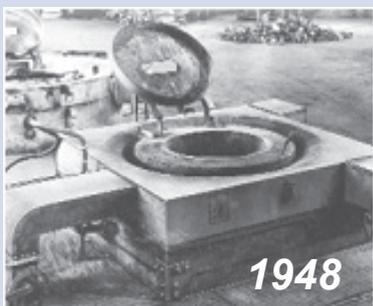
В головном офисе компании «OTTO JUNKER Group» применяются последние технологические процессы и методы для разработки оборудования.





Продукция

В течение более 80 лет наша неизменная традиция успешной инновационной продукции простирается от охлаждаемой водой изложницы для передельных заготовок, которая легла в основу успеха компании, до современных высокомоощных среднечастотных индукционных печей без стержня.



OTTO JUNKER Group

Global and Close to the Customer



Компания «OTTO JUNKER GmbH»

А/я 11 80 • D-52147 Зиммерат

Тел.: +49 2473 601-0

Факс: +49 2473 601-600

Эл. почта: info@otto-junker.de

www.otto-junker.de

GUSS-EX

www.guss-ex.ru

Официальный представитель
в России и СНГ



622034, г. Нижний Тагил,

ул. Ленина, 67

Тел.: +7 (3435) 499-338

Факс: +7 (3435) 499-414

E-Mail: office@ruslitmash.com

www.ruslitmash.com

Посетите наш сайт: www.otto-junker.de