

**Ушаков В. И.**  
к.т.н.,  
**Саратовский Р. Н.**  
к.т.н., с.н.с.

*НИПКИ «Параметр», Донбасский государственный технический институт,  
г. Алчевск, ЛНР*

## **АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНДУКЦИОННЫХ ТИГЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ СРЕДНЕЙ ЧАСТОТЫ**

Сегодня для конкретных металлургических задач можно разработать специализированные системы, благодаря чему индукционные тигельные печи средней частоты (ИТПСЧ) можно быстро преобразовать в универсальную плавильную установку.

Несмотря на то, что теоретически для плавления литейного чугуна при температурах до 1500 °С необходимо затрачивать 490–520 кВтч/т, средние величины потребления, которые были достигнуты на сталелитейных предприятиях, были значительно выше. В Англии для плавления литейного чугуна указана средняя потребляемая мощность в 718 кВтч/т [1], а в статистическом обзоре французских предприятий литейного чугуна [2] указано значение 855 кВтч/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 состоит в предоставлении применимых предложений и рекомендаций, что способствует все более эффективному и надежному применению ИТПСЧ.

Плавка черных и цветных металлов в ИТПСЧ получили широкое распространение особенно в литейных производствах машиностроительных и металлургических предприятиях. По технологической эффективности установки индукционной среднечастотной плавки успешно конкурируют с традиционными плавильными агрегатами, использующими огневые методы плавки — коксовые (КВ) и газовые (ГВ) вагранки, а также с электродуговыми печами переменного (ДСП) и постоянного тока (ДППТ). Сравнение применяемых в литейном производстве плавильных агрегатов для плавки чугуна приведено в таблице 1 по удельному расходу электроэнергии ( $P_{\Sigma}$ , кВтч/т) и по относительной себестоимости ( $O_c$ ), где за единицу принята себестоимость одной тонны расплава чугуна, полученной в ГВ.

ИТПСЧ по себестоимости одной тонны расплава чугуна уступают только газовым вагранкам и значительно превосходят остальные типы плавильных агрегатов, а также имеют наименьший удельный расход электроэнергии среди электропечей. При этом по экологической безопасности ИТПСЧ остаются вне конкуренции и производят значительно меньше шума, выбросов пыли, угарного и сернистого газа.

Удельная энтальпия для плавки литейного чугуна максимум до 1500 °С находится в области 390 кВтч/т. Если рассматривать конкретную установку печи, можно получить следующие значения: суммарные электрические и тепловые потери (рис. 1) современной десятитонной среднечастотной печи равны около 126 кВтч/т.

Следовательно, для всех практических применений потребляемая мощность только на плавку будет суммарно равна приблизительно 516 кВтч/т (табл. 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 мин. Поэтому применение «высокоскоростной» печи не будет иметь большого смысла, если время простоя не будет сокращено до минимума или если не будет введена установка tandemных печей. При планировании и разработке

установки плавильной печи должна быть тщательно рассмотрена оптимизация такого времени простоя. При эксплуатации уже установленной печи необходимо тщательно планировать и оптимизировать время простоя. Для этого необходимо учитывать своевременную подачу точно взвешенных шихтовых материалов, которые должны быстро и непрерывно подаваться в печь.

Таблица 1 — Сравнение плавильных агрегатов по удельному расходу электроэнергии и по относительной себестоимости

| Тип плавильного агрегата | $P_{э}$ , кВтч/т | $O_c$ , о. е. |
|--------------------------|------------------|---------------|
| ГВ                       | 50–70            | 1             |
| КВ                       | 50–70            | 1,5–2         |
| ДСП                      | 500–800          | 2,0           |
| ДПТ                      | 480–650          | 1,8           |
| ИТППЧ                    | 1200–1300        | 2,0           |
| ИТПСЧ                    | 500–600          | 1,4           |

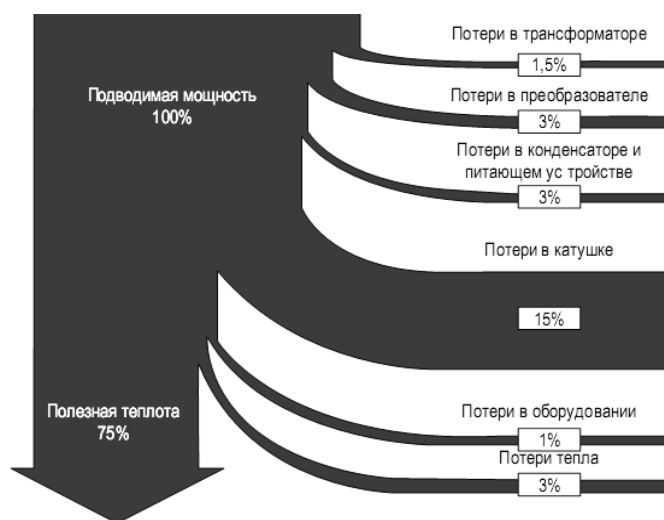


Рисунок 1 — Диаграмма стандартного потока энергии при плавке литейного чугуна

Таблица 2 — Потребляемая энергия и потери энергии при плавке

| № п/п | Потребляемая энергия и потери энергии          | кВт ч/т |
|-------|--|---------|
| 1     | Удельная энтальпия для плавки литейного чугуна | 390     |
| 2     | Потери энергии в трансформаторе                | 7       |
| 3     | Потери энергии в преобразователе частоты       | 18      |
| 4     | Потери энергии в кабелях, токопроводящих шинах | 9       |
| 5     | Потери энергии в индукторе                     | 77      |
| 6     | Потери энергии в магнитопроводе                | 4       |
| 7     | Тепловые потери                                | 11      |
| 8     | Итого потери п. 2–8                            | 126     |
| 9     | Суммарная потребляемая энергия                 | 516     |

Таблица 3 — Стандартное время простоя при операциях по плавке литейного чугуна

| № п/п | Время простоя         | мин |
|-------|-----------------------|-----|
| 1     | Удаление шлака        | 4   |
| 2     | Измерение температуры | 2   |
| 3     | Отбор проб            | 3   |
| 4     | Науглероживание       | 5   |
| 5     | Разливка              | 3   |
| 6     | Всего                 | 17  |

Инженеры уже давно стремятся получить преимущества за счет полного использования номинальной выходной мощности таких сложных установок и максимально повысить показатель выплавки конкретной системы. Такие усилия привели к разработке тандемных установок, что легло в основу технологии Twin-Power фирмы ABB [3], DUAL-TRAK фирмы Inductotherm, DUOMELT фирмы OTTO JUNKER, аналогичные фирмы РЭЛТЕК. 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. Создание таких систем позволило повысить эффективность использования установленной мощности оборудования системы электропитания печей, снизить ее стоимость на 30–40 % и повысить производительность плавильных установок [4].

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.

Для обеспечения оптимальных условий для специальных металлургических задач можно управлять подводимой мощностью, частотой печи и концентрацией мощности вдоль индуктора печи. Для удовлетворения таких требований компания OTTO 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 индуктора (верхней или нижней), где она необходима больше всего. Таким образом, если печь наполнена только наполовину, подводимую мощность можно сконцентрировать в области дна тигля, после чего в данной зоне будет доступно больше энергии. 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 125 Гц.

**Выводы.** Для повышения эффективности ИТПСЧ необходимо:

1. Плавку производить при максимальной удельной мощности 700–1000 кВт/т.
2. Минимизировать потери энергии при плавке за счет сокращения времени простоя при сопутствующих технологических операциях при плавке чугуна.
3. Применять современные системы индукционной плавки типа DUOMELT с автоматическим контролем и управлением всеми процессами от приготовления и подачи шихты до разлива и выдержки металла.
4. Для получения оптимальных условий для специальных металлургических задач нужно управлять подводимой мощностью, частотой печи и концентрацией мощности вдоль индуктора печи.

#### Список литературы

1. Эффективная плавка в индукционных печах без сердечника: руководство по надлежащей практике № 50. — ETSU, Харвелл, Дидкот, Оксфордшир, 2000.
2. Джоливет, Р. // Литейное производство сегодня. — 2003. — № 229. — С. 36–39.
3. Викар, Х. Автоматизация плавки в литейном производстве ISSN0024 / Х. Викар // Литейное производство. — 1994. — № 6. — С. 26–32.
4. Мортимер, Дж. Х. Завтрашние технологии индукционной плавки существуют уже сегодня / Дж. Х. Мортимер // Литейщик России. — 2002. — № 1. — С. 32–37.