

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ЛОМА ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

к.т.н. В.И. Лузгин, к.т.н. А.Ю. Петров
(Группа компаний «РЭЛТЕК», г. Екатеринбург, РОССИЯ)

Актуальность вопроса переработки металлического лома в условиях ограниченности сырьевых рынков для промышленно развитых стран в последние годы становится все острее.

Опережающие темпы роста машиностроительного комплекса России и привлекательность экспорта металлопроката на фоне ограниченной сырьевой базы рудного сырья, медленного освоения разведанных месторождений и практически остановленной геологоразведки новых месторождений создает все возрастающий дефицит металлического сырья для металлургических и литейных предприятий России.

С другой стороны, процесс массового выбытия основных фондов (устаревшие станки, металлоконструкции, устаревшие железнодорожные пути и пр.), ввиду их высокой изношенности, все набирает силу в России.

Поэтому сегодня очень высок интерес металлургических и литейных производств к поиску сырья на вторичных рынках, а все возрастающая стоимость энергоносителей заставляет их искать более эффективные способы их переработки в товарную продукцию.

Используемые сегодня плавильные агрегаты можно разделить на два больших класса:

- агрегаты пламенной обработки металлов,
- электрические плавильные агрегаты.

Первый класс агрегатов (газовые и коксовые вагранки, отражательные печи и пр.) повсеместно снимаются с производства, ввиду их низкой производительности, низкого качества получаемой продукции, высокого уровня загрязнения окружающей среды и высокого энергопотребления. Единственным преимуществом этого класса плавильных агрегатов являлась низкая стоимость углеводородных энергоносителей, но в последние годы быстро растущая цена на кокс и газ свела это преимущество к минимуму. Поэтому подавляющее большинство предприятий Европы, США и Японии уже отказались от этого класса оборудования. Этот процесс также идет и в России, заставляя российских производителей металлопродукции и литья переходить к использованию более современных плавильных агрегатов.

Класс электрических плавильных агрегатов можно разделить на следующие большие группы:

- печи сопротивления,
 - дуговые плавильные печи (постоянного и переменного тока),
 - индукционные плавильные печи (промышленной и средней частоты),
- канальные и тигельные.

Печи сопротивления не применяются для плавки черных металлов, ввиду низких рабочих температур. Для цветных металлов печи сопротивления используются только как теплосохраниющие и практически не применяются как плавильные агрегаты из-за низкой производительности.

Поэтому, рассматривая вопрос оптимального выбора плавильного агрегата, остановимся только на рассмотрении дуговых и индукционных плавильных агрегатов, что также подтверждается современной практикой переработки лома в России.

В настоящей статье не рассматриваются доменные и мартеновские печи, поскольку их использование связано только с крупными металлургическими производствами и использованием в основном железорудного сырья с дозагрузкой металлическим ломом.

Широкое распространение, начиная с 40-х годов прошлого века, получили дуговые плавильные агрегаты, сначала переменного, а затем постоянного тока. По сравнению с газопламенными печами они имели более высокую производительность, меньший расход энергоносителей, меньшие затраты на капитальное строительство и возможность получения более качественного металла.

Однако с середины 80-х годов прошлого века началось активное замещение дуговых печей переменного (ДСП) и постоянного тока (ДППТ) индукционными тигельными печами (ИТП).

Индукционные печи обладают несомненными техническими и экономическими преимуществами, обусловленными эффектом внутреннего нагрева шихты вихревыми токами (токами Фуко) в сильных электромагнитных полях. Индукционный метод обеспечивает выделение теплоты непосредственно в металле без теплопередачи излучением (дугой) или конвекцией, сопровождаемых значительными потерями, поэтому индукционные печи имеют значительно более высокий технологический КПД, чем дуговые агрегаты и (или) агрегаты, работающие на топливе.

Распространение индукционных печей сдерживалось их относительно невысокой производительностью, пока питание печей производилось от сети промышленной частоты. Однако с переходом от индукционных печей промышленной частоты (ИППЧ) к индукционным печам средней частоты (ИПСЧ) ситуация кардинально изменилась.

По сравнению с ИППЧ плавка металлов на средней частоте имеет следующие преимущества:

- расход электроэнергии вдвое меньше, чем в ИППЧ, работающих в непрерывном цикле с частичным сливом металла и периодической дозагрузкой шихты;

- садочный режим плавки, т.е. без использования переходящего от плавки к плавке остатка жидкого металла («болота»), позволяет исключить предварительную сушку шихты и связанные с ней затраты, а также снизить расходы на футеровку, долговечность которой при садочном режиме плавки возрастает, и, наконец, исключить непроизводительные затраты труда,

электроэнергии и материалов, связанные с возможностью отключения ИППЧ на время перерывов в работе литейного производства;

- допустимая удельная мощность, подводимая к металлу, в три раза выше, чем в ИППЧ (ИПСЧ – 1000 кВт.ч/т, ИППЧ – 300 кВт.ч/т), что обеспечивает короткие циклы плавки (40-45 минут), повышает теплотехнический КПД и позволяет оптимизировать процесс образования центров кристаллизации благодаря одноразовому нагреву металла и меньшей средней температуре в течение плавки, чем у ИППЧ, работающим с болотом;

- возможность работы в режиме стабилизации активной мощности на всем цикле плавки, начиная с «холодного» состояния шихты, при котором передача активной мощности на средних частотах происходит за счет ферромагнитных свойств шихты, и заканчивая расплавом металла, когда активная мощность подводится за счет протекания вихревых токов в узком слое расплава, что позволяет повысить эффективность использования установленной мощности электрооборудования при высоких показателях качества потребляемой электроэнергии.

По сравнению с дуговыми печами переменного тока (ДСП) и дуговыми печами постоянного тока (ДППТ), индукционная плавка на средней частоте также имеет более высокие показатели технико-экономической эффективности. Потребление электроэнергии в ДСП и ДППТ выше, чем в ИПСЧ, и составляет 600-800 кВт.ч/т.

К широко известным недостаткам электродуговой плавки следует также отнести:

- интенсивные пыле- и газовыбросы, требующие дополнительных затрат на устройства газоочистки, особенно в густонаселенных районах;

- высокий уровень шума и вибрации при работе печи, что накладывает ограничения на размещение печей в городской черте и окрестностях;

- значительный расход графитовых электродов, а также насыщение расплава графитом, что приводит к дополнительным технологическим операциям при выплавке стали и цветных металлов;

- низкий уровень перемешивания металла, и, как следствие, неоднородность расплава;

- значительный угар металла и легирующих элементов, особенно резко возрастающий при плавке мелкокусковой шихты и стружки, связанный с локальным перегревом металла;

- интенсивное воздействие на питающие энергосистемы, определяемое резкопеременным характером нагрузки в цикле плавки, возникновением эксплуатационных коротких замыканий, низким качеством потребления электроэнергии, что требует значительных затрат на фильтро-компенсирующие устройства и устройства быстродействующей динамической компенсации фликеров.

Однако, бесспорным преимуществом дуговых печей является возможность ведения плавки металла в объемах более 50 тонн и металлургических процессов (например, дефосфоризацию и десульфацию металла) одновременно в одном и том же печном агрегате, что достаточно

актуально при переплаве шихты, загрязненной органическими включениями, пластмассой, краской, ржавчиной и т.п.

Здесь ломопереработчик должен сделать выбор: вложиться в оборудование для подготовки шихты (измельчители, классификаторы, сепараторы, дожигатели и т.п.), которое сейчас в большом разнообразии предлагаются на рынке, либо бороться с различного рода включениями в расплаве.

В пользу шихтоподготовки говорит также и тот факт, что в последнее время большей частью ломозаготовителями собирается сложный бытовой лом. И попадание в расплав черных металлов цветных, и наоборот, резко снижает качество получаемой продукции и повышает потери металла из-за разности их температур плавления. При этом известно, что из низкокачественной шихты невозможно получить качественный металл.

Поэтому, принимая решение о выборе агрегата плавления и способе заготовки шихты, необходимо четко формулировать себе поставленную задачу. Если речь идет о высококачественных сталях и сплавах – альтернативы индукционным печам нет. Если же речь идет об обычных сплавах и черновом переделе возможно использование дуговых печей.

Сегодня есть определенный компромисс, часто практикуемый предприятиями на Западе. Речь идет о так называемом «дуплекс-процессе», когда низкокачественная шихта переплавляется в дуговых печах, а затем уже доводится в индукционных печах.

Особенность дуплексной плавки в том, что ИПСЧ работает в качестве печи ожидания, в которой производится выдержка металла и доведение его до нужных параметров, а плавка металла осуществляется в дуговой печи, или индукционная печь работает в режиме плавильного агрегата, но с использованием так называемой «калиброванной шихты», т.е. шихты с определенными характеристиками, предварительно полученной в виде слитков из плавильного агрегата другого типа. В этом случае на первом этапе из шихты или расплава удаляются вредные включения, а на втором этапе (в индукционной печи) вводятся легирующие добавки, металл доводится до нужных характеристик по химическому составу и однородности (гомогенности).

На рис. 1 [1] показана теплоэнергетическая эффективность печей различного типа на стадиях плавки и выдержки чугуна в печах разного типа.

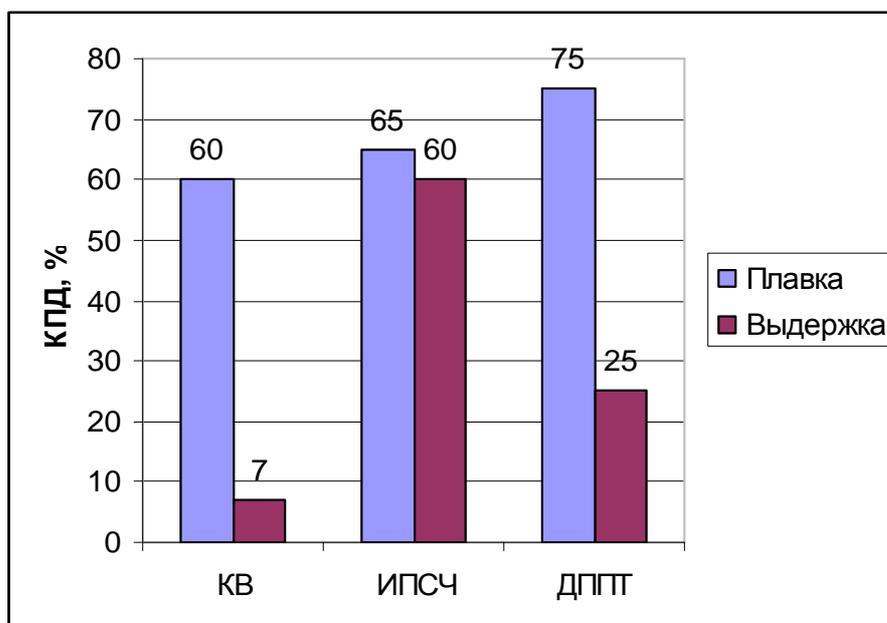


Рисунок 1. Теплоэнергетическая эффективность печей
 КВ – коксовая вагранка,
 ИПСЧ – индукционная печь средней частоты,
 ДППТ – дуговая печь постоянного тока.

Как видно из приведенной диаграммы, на этом этапе плавки эффективность индукционной печи несколько ниже, чем в электродуговой печи постоянного тока (ДППТ). Но на этапе выдержки эффективность ИПСЧ намного выше, чем в вагранках и дуговых печах, поэтому в дулексных процессах наиболее экономичным является использование в качестве второго плавильного агрегата индукционных печей. Технологические аспекты применения индукционных печей также говорят в их пользу.

В индукционных печах возможно получение чугуна и стали разнообразного состава, при этом использование в качестве шихты отходов кузнечного, прокатного, листоштамповочного и токарно-фрезерного переделов существенно снижает производственные затраты при получении чугуна и стали требуемых марок, поскольку индукционная печь обеспечивает сохранение химического состава исходной шихты без угара легирующих материалов.

В индукционных печах можно выплавлять чугун и сталь с содержанием стального скрапа и стружки (самого дешевого шихтового материала) вплоть до 100%, благодаря минимальному угару и хорошей возможности легирования. В дуговых печах использование стружки строго лимитировано из-за большого угара.

Управление химическим составом в индукционных печах производится по ходу плавки с точным управлением температурой расплава. Сочетание этих возможностей позволяет реализовать технологию получения отливок, в которых значительно снижены внутренние напряжения и повышены прочностные характеристики.

Весьма существенным преимуществом плавки в ИПСЧ, по сравнению с дуговыми печами, является пониженное на 25–30 % содержание газа (азота,

водорода, кислорода) в расплаве металла, а также значительное уменьшение содержания неметаллических примесей [2]. Это повышает прочность отливок и уменьшает каверны на их поверхности, что позволяет снизить отходы металла при дальнейшей обработке на 20–25 % и уменьшить металлоемкость оборудования.

Прочность и другие свойства сплавов в конечном счете определяются их структурой, т.е. отсутствием примесей, формой, размером и распределением зерен. При этом в понятие структуры включается как микроструктура, так и макроструктура – наличие в металле газовых и усадочных раковин, пористости, трещин, неметаллических включений и т.д. Таким образом, задача повышения качества металла сводится к получению соответствующей структуры, свободной от каких-либо дефектов. Измельчение зерна кристаллической структуры достигается повышением скорости зарождения центров кристаллизации, которая регулируется вводом модификаторов. Эффективность действия модификаторов возрастает при максимально равномерном распределении в объеме металла, и чем больше энергии извне будет внесено в расплав для перемешивания, тем выше эффект модифицирования. В индукционных печах имеется возможность управления процессами электромагнитного перемешивания изменением частоты возбуждения тока в обмотках индуктора, организацией пульсирующего и бегущего магнитного поля в ванне расплава металла и управления удельным силовым давлением, а также перераспределением мощности по высоте индуктора [3].

Благодаря садочному режиму работы ИПСЧ, при котором металл не подвергается многократному перегреву, и щадящему температурному режиму в период разливки в расплаве сохраняются центры кристаллизации, что также способствует формированию мелкозернистой структуры в отливках.

В связи с быстрым развитием автомобилестроения, самолетостроения и других новейших направлений машиностроения в гражданских и оборонных отраслях значительно возросла выплавка сплавов цветных металлов.

Тигельные печи средней частоты повсеместно вытесняют индукционные печи промышленной частоты и дуговые печи и применяются для скоростных плавов малыми партиями.

Канальные индукционные печи промышленной частоты наиболее эффективны как теплосохраниющие и разливочные. Крупные канальные индукционные печи используются для выплавки и накопления отдельных марок цветного металла в ночное время, когда стоимость электроэнергии самая низкая, а в дневное время обеспечивается непрерывная разливка и литье в крупные формы.

При выплавке сплавов цветных металлов на заводах часто используются современные типы дулекс-процесса. В качестве первого плавильного агрегата, например, может быть индукционная тигельная печь средней частоты для проведения скоростной плавки, а в качестве второго агрегата используется канальная индукционная печь промышленной частоты или

тигельная с укороченным индуктором для накопления металла, регулирования его химического состава и теплосохранения.

В некоторых случаях применяется триплекс-процесс выплавки цветных металлов. Он объединяет три связанных процесса: выплавку, теплосохранение, разливку, что позволяет точно контролировать состав и температуру сплава и в какой мере использовать производительность литейного участка.

Обобщая результаты сравнения различных плавильных агрегатов для плавки цветных металлов с точки зрения технико-экономической эффективности, экологической бережности и технологическим возможностям, можно сделать вывод, что индукционный метод плавки наиболее полно отвечает требованиям современного производства. А методы пламенного и электродугового нагрева по многим критериям уступают индукционной плавке.

По существу, только возможность использования в качестве загрузки шихты с высоким содержанием примесей является технологическим преимуществом дуговых и плавильных агрегатов. Обычно, еще в качестве главного аргумента в пользу электродуговых установок приводят возможность загрузки крупно-кускового лома и большие объемы плавки, но если принять во внимание не только прямые расходы, но и расходы на обслуживающий персонал, угар металла, накладные расходы и затраты на достижение высокого качества продукции, затраты на утилизацию и обогащение ядовитых в известной степени солевых шлаков и дымных газов, образующихся при использовании флюсов во время плавки цветных металлов, то во многих случаях практически исчезает и это преимущество дугового переплава.

Российский электротехнологический комбинат «РЭЛТЕК» сегодня серийно выпускает целый модельный ряд современных индукционных среднечастотных печей с компьютерным управлением, как для плавки черных, так и для плавки цветных металлов.

Таблица 1

Таблица параметров модельного ряда двухпостовых
тандемных плавильных установок (УИП)

| ПАРАМЕТРЫ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ УСТАНОВКИ ПРИ ОДНОПОСТОВОЙ ПЛАВКЕ ЧУГУНА | ВМЕСТИТЕЛЬНОСТЬ ПЕЧИ, т | | | | | | | |
|---|-------------------------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 | 8 | 10 | 16 |
| Почасовой темп плавки чугуна при технологически перерывах 20%, т/час | 1,15 | 1,72 | 2,62 | 3,80 | 5,33 | 8,15 | 8,31 | 16 |
| Суточная производительность печи при 8-ми часовой работе, т/сутки | 9,2 | 13,8 | 21 | 30 | 42,6 | 65,2 | 66,5 | 128 |
| Мощность источника питания, кВт | 800 | 1200 | 1800 | 2600 | 3600 | 5400 | 5400 | 10000 |
| Расход электроэнергии на плавку 1 тонны чугуна, кВт ч/т | 560 | 560 | 550 | 550 | 540 | 530 | 520 | 500 |
| Напряжение и частота на индукторе печи, кВ/кГц | 1,0/1,0 | 1,5/0,5 | 1,8/0,25 | 1,8/0,25 | 1,8/0,25 | 3,0/0,25 | 3,0/0,25 | 3,0/0,15 |

Таблица 2

Параметры модельного ряда двухпостовых плавильных установок (УИПД) с распределительной СЭП

| ПАРАМЕТРЫ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ УИПД ПРИ ДВУХПОСТОВОЙ ПЛАВКЕ ЧУГУНА | ВМЕСТИТЕЛЬНОСТЬ ПЕЧИ, т | | | | | | | |
|---|-------------------------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 | 8 | 10 | 16 |
| Почасовой темп плавки чугуна при технологически перерывах, т/час | 1,4 | 2,5 | 3,0 | 4,3 | 6,2 | 9,6 | 13,1 | 18,8 |
| Суточная производительность печи при 8-ми часовой работе, т/сутки | 11,2 | 19,7 | 24 | 34,2 | 49,3 | 76,8 | 104,7 | 150 |
| Суммарная мощность источника питания, кВт | 800 | 1200 | 1800 | 2600 | 3600 | 5400 | 7200 | 10000 |
| Расход электроэнергии на плавку 1 тонны чугуна, кВт ч/т | 560 | 560 | 550 | 550 | 540 | 530 | 520 | 500 |
| Напряжение и частота на индукторе печи, кВ/кГц | 1,0/1,0 | 1,5/0,5 | 1,8/0,25 | 1,8/0,25 | 1,8/0,25 | 3,0/0,25 | 3,0/0,25 | 3,0/0,15 |

Печи обеспечивают высокую эффективность работы, малый расход электроэнергии, высокий уровень экономичности производства, высокий уровень культуры производства за счет малого уровня выбросов из печи, низкого уровня шума высокой степени автоматизации.

Индукционные плавильные комплексы «РЭЛТЕК» могут быть оснащены автоматическими загрузочными и взвешивающими устройствами, с одной стороны обеспечивающими минимизацию штата обслуживающего персонала на участке, с другой стороны - точный учет переплавляемого металла.

Автоматизация загрузки печей обеспечивает также повышение производительности печных агрегатов за счет сохранения времени дополнительных операций.

Современные технологии построения систем энергопитания среднечастотных индукционных печей позволяет преодолеть главный недостаток индукционных среднечастотных печей – холодный шлак. Известные сегодня технологии двухчастотной плавки, когда плавление шихты начинается на одной частоте, а затем в процессе плавления металла переходят на другую частоту [3], а также технологии фокусирования и создания бегущего или пульсирующего электромагнитного поля в печи, позволяют преодолеть этот недостаток [4].

Однако для плавления черных и цветных ломов с высокой степенью загрязнения наибольший интерес представляют турбоиндукционные среднечастотные печи [5]. На рис.2 представлена схема турбоиндукционной печи. В печах этого типа сочетаются преимущества индукционной плавки металла с возможностью активного вовлечения шлака в расплав за счет создания турбулентного движения расплава с обратным мениском [5].

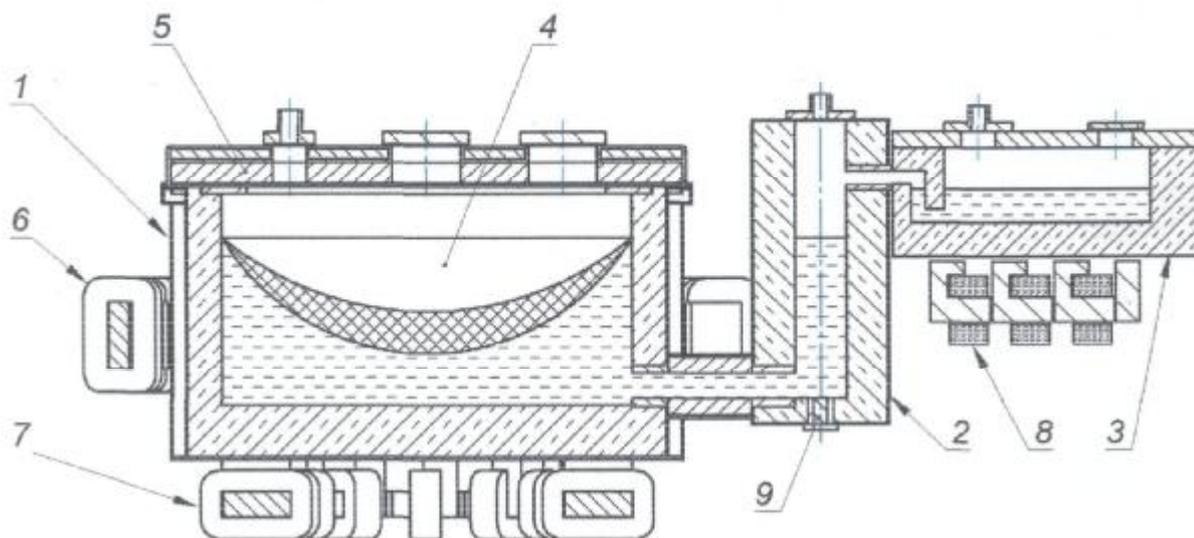


Рисунок 2. Схема турбоиндукционной печи

1 - плавильный агрегат; 2 – дополнительная емкость; 3 – накопитель жидкой металлической фазы; 4 – плавильная камера; 5 – крышка плавильной камеры; 6,7,8 – индукционные модули; 9 – летка слива жидкой металлической фазы.

В этом случае находящийся на поверхности расплава шлак активно вовлекается в расплав с точно регулируемой интенсивностью взаимодействия.

Внедрение подобных печей создает возможность использования турбоиндукционной печи в триплекс-процессе: плавлении, выдержке и разливка металла. При этом сохраняются все известные преимущества индукционного способа плавления металла с возможностью ведения металлургических процессов в расплаве. Индукционные плавильные установки могут стать основной составляющей частью в структуре литейно-прокатного комплекса (ЛПК), оборудования минизаводов по

производству мелкосортного проката с производительностью до 100 тыс. тонн в год.

Главной особенностью комплекса является его компактность, что позволяет значительно сократить капитальные затраты при строительстве нового завода, размещать оборудование в существующих цехах, в том числе при реконструкции металлургических и машиностроительных заводов.

Компактность оборудования может быть достигнута:

- использованием для разливки жидкого металла установки непрерывного литья стали горизонтального типа (УНРС ГТ), отличающейся малой габаритной высотой;
- применением в качестве обжимной клетки стана поперечно-винтовой прокатки, которая занимает, по сравнению с продольным станом, значительно меньшую площадь;
- снижением сечения отливаемых заготовок, что значительно сокращает как габариты прокатного стана, так и энергетические затраты на прокатку;
- применением технологии «горячего посада», что позволяет максимально использовать тепло литой заготовки.

С индукционными печами вместимостью 10 и 16 тонн легко получить производительность до 100 тыс. тонн проката в год и более.

При выборе оборудования литейно-прокатного комплекса необходимо согласовать производительность печей (УИПД), установки непрерывной разливки стали (УНРС), клетей винтовой прокатки (КВП). КВП120 и УНРС ГТ хорошо согласуются по часовой производительности (20т/ч) с индукционными печами вместимостью 10 тонн, обеспечивающими подачу жидкого металла с часовой производительностью 20 т/ч (см. табл. 2).

Отличие разливки стали в УНРС ГТ состоит в том, что требуется малая строительная высота помещений по сравнению с другими типами УНРС. Кроме того, отсутствует вторичное окисление жидкой стали за счет герметичного соединения металлоприемника с кристаллизатором, что дает возможность разливать с высоким качеством стали нержавеющей класса; отсутствует деформация слитка при литье, что обуславливает возможность разливки высокоуглеродистых сталей; существует возможность разливки заготовок малых сечений; возможно расположение основного оборудования на высоте 1,0-1,5 м, что облегчает его обслуживание; обеспечивается быстрый переход на другие отливаемые сечения, что позволяет при необходимости оперативно перейти на разливку, например, непрерывнолитых заготовок.

Строительство минизаводов по переработке ломов черных и цветных металлов с небольшой производительностью и использованием индукционных плавильных печей, УНРС ГТ и КВП позволяет сделать это производство максимально компактным и приблизить производителя ЛПК к потребителю в густонаселенных районах, что повышает их рентабельность и обеспечивает экологичность.

Список литературы

1. Бобряков Г.И. Развитие чугунолитейного производства в автомобилестроении России // Литейное производство, 1999, №8.
2. Викар Х. Автоматизация плавки в литейном производстве. ISS N0024. Литейное производство, №6, 1994.
3. Лузгин В.И., Петров А.Ю., Фаерман Л.И. Индукционные печи средней частоты нового поколения. Metallurgia Машиностроения. № 1 (9), 2002.
4. Лузгин В.И., Петров А.Ю., Шипицын В.В. Многоинверторные среднечастотные преобразователи в системах электропитания индукционных установок. Электротехника, № 9, 2002 г.
5. Сарапулов Ф.Н., Лузгин В.И., Петров А.Ю. и др. Многофункциональный плавильный агрегат для реализации новых технологий в условиях мини металлургическим предприятий и литейных цехов крупных машиностроительных заводов. Литейщик России, № 10, 2004.