

№ 2025

Л.М. Симонян
А.Е. Сёмин

Технико-экологические аспекты плавки в ДСП

Курс лекций

№ 2025

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИСиС»

Кафедра металлургии стали и ферросплавов

Л.М. Симонян

А.Е. Сёмин

Технико-экологические аспекты плавки в ДСП

Курс лекций

Допущено учебно-методическим объединением по образованию в области металлургии в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению Металлургия



Москва 2011

УДК 669.181
С37

Рецензент
канд. техн. наук, доц. *Ю.М. Кочнов*

Симонян, Л.М.

С37 Техничко-экологические аспекты плавки в ДСП : курс лекций / Л.М. Симонян, А.Е. Сёмин. – М. : Изд. Дом МИСиС, 2011. – 155 с.

ISBN 978-5-87623-430-8

Содержит наиболее важные вопросы, связанные с экологическими проблемами электросталеплавильного производства и возможными направлениями их решения. Дана характеристика воздействия сталеплавильного производства на окружающую среду, рассмотрены способы экономии материалов и энергии, проведен сравнительный анализ существующих в мире малоотходных и экологически чистых технологий производства электростали.

Предназначен для бакалавров, обучающихся по направлению «Металлургия», профилю «Металлургия техногенных и вторичных ресурсов».

УДК 669.181

ISBN 978-5-87623-430-8

© Л.М. Симонян,
А.Е. Сёмин, 2011

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. СОСТОЯНИЕ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ В МИРЕ И РОССИИ	7
1.1. Общая экологическая характеристика отрасли	7
1.2. Сравнение схем производства стали.....	9
1.3. Общая характеристика и тенденции развития электросталеплавильного производства	13
1.3.1. Структура сталеплавильного производства.....	13
1.3.2. Современное оснащение и планы модернизации ЭСПЦ	17
1.3.3. Производство высоколегированной стали специального назначения	20
2. ТЕХНИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СПОСОБОВ ЭЛЕКТРОПЛАВКИ СТАЛИ.....	25
2.1. Методы электроплавки	25
2.2. Общая характеристика ДСП	27
2.2.1. Конструкция ДСП.....	27
2.2.2. Основные показатели работы ДСП	28
2.3. Этапы развития дуговых сталеплавильных печей	32
2.3.1. Классические ДСП	33
2.3.2. Новое поколение ДСП	39
2.4. Технологические и экологические особенности современных ДСП.....	43
2.4.1. Тенденции развития современных электродуговых печей	43
2.4.2. Шихтовые материалы и способы подачи в печь	49
2.4.3. Системы подогрева лома	57
2.4.4. Способы удаления шлака.....	61
2.4.5. Способы интенсификации плавки	62
2.4.6. Энергетический баланс плавки	63
2.4.7. Факторы, влияющие на угар металла	66
2.5. Пылегазовые выбросы, их улавливание и очистка	69
2.5.1. Источники пылегазовых выбросов ДСП.....	69
2.5.2. Системы отвода печных газов и неорганизованных выбросов ..	86
3. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СТРАТЕГИЯ СОВРЕМЕННЫХ МИНИ-ЗАВОДОВ	99
3.1. Инжекционные технологии BSW и охрана окружающей среды	100
3.1.1. Общая характеристика завода	100
3.1.2. Решение экологических проблем на BSW	101
3.2. Новые технологико-экологические решения предприятий VOEST-ALPINE (VAI).....	104
3.2.1. Совершенствование технологий и оборудования	104
3.2.2. Улучшение технологии защиты окружающей среды.....	105
3.2.3. Особенности дуговых печей фирмы VAI	106
3.2.4. Контроль за образованием вредных веществ	120

3.3. Технология Consteel – новый этап в создании экологически чистого производства.....	123
3.3.1. Общая характеристика производства.....	123
3.3.2. Процессы, протекающие в ДСП НЗШ	124
3.3.3. Техничко-экологические преимущества.....	126
3.3.4. Технологические показатели	132
3.3.5. Снижение негативного воздействия на окружающую среду	134
3.3.6. Перспективы развития	134
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	136
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	139

ВВЕДЕНИЕ

Хозяйственная деятельность человека всегда была сопряжена с воздействием на окружающую среду. Все ускоряющееся развитие промышленности, широкое применение ископаемого сырья сопровождаются поступлением в окружающую среду больших количеств различных химических соединений, негативно влияющих на биосферу. Многие из токсичных веществ, поступающих в окружающую среду, обладают канцерогенным свойством, вызывающим изменения генетического кода, что приводит к повышению заболеваемости населения. Глобальное загрязнение окружающей среды (воды, воздуха, почвы) привело к исчезновению многих видов животных и растений; кислотные дожди вызвали изменение баланса питательных веществ в почве лесов и их гибель, сокращение рыбных запасов.

Концепция устойчивого развития применительно к промышленности – *Ecologically Sustainable Industrial Development (ESID)*, или модель устойчивого экологически безопасного промышленного развития, разработанная ЮНИДО и утвержденная резолюцией Генеральной Ассамблеи ООН в 1992 г., провозглашает целью развития удовлетворение роста потребностей человека и будущих поколений без нарушения основных природных процессов (устойчивости биосферы). Одним из основных принципов ESID является *Life Cycle Analysis* – анализ жизненного цикла изделия. В любом ресурсоемком производстве, в том числе в металлургии, необходим учет суммарного расхода потребляемых ресурсов и выбросов в окружающую среду: от добычи сырья и источников энергии до переработки изделия, вышедшего из потребления. Если раньше в мировой экономике преобладала парадигма *less cost* (минимизация издержек), то сейчас ей на смену пришла другая – *no waste* (никаких отходов, или «идеология нулевых отходов»).

Металлургические технологии также должны быть ориентированы на производство «социальных товаров», т.е. лучшего качества, с более продолжительным сроком службы, способствовать сохранению и укреплению ресурсной базы, исключению из технологической цепочки опасных веществ, сокращению всех видов отходов. Поэтому при выборе технологий и сталеплавильных агрегатов наряду с экономическими и технологическими требованиями необходимо проанализировать, насколько они отвечают современным экологическим требованиям. Это должно осуществляться на основе подробного анализа эффективности работы печей, качества получаемой продукции,

удельного потребления всех видов ресурсов, образования твердых отходов и пылегазовых выбросов и влияния на них технологических факторов с целью снижения общей нагрузки на окружающую среду.

Электросталеплавильное производство имеет ряд технологических и экологических преимуществ по сравнению с другими способами производства стали. Но реализация этих преимуществ возможна на основе анализа и учета всех аспектов и тенденций развития дуговых сталеплавильных печей.

1. СОСТОЯНИЕ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ В МИРЕ И РОССИИ

1.1. Общая экологическая характеристика отрасли

Экологические проблемы электросталеплавильного производства связаны с общей экологической ситуацией во всей отрасли.

Как сообщает World Steel Association¹, мировое производство стали в 2008 г. составило 1,33 млрд т, что на 1,2 % ниже уровня 2007 г. Самая большая доля была у Китая (37,8 %), доля стран БРИК составила 48,2 %, США – 7,2 %, страны ЕС – 14,9 %. Мировые производители – 10 стран-лидеров произвели стали, млн т: Китай – 502; Япония – 118,7; США – 91,5; Российская Федерация – 68,5; Индия – 55,1; Республика Корея – 53,5; Германия – 45,8; Украина – 37,1; Бразилия – 33,7; Италия – 30,5.

Доля электростали в мире составляет около 40 %, в некоторых странах она достигла 70 %.

В 2008 г. Россия произвела 68,5 млн т стали, сохранив свои позиции в десятке стран-лидеров. Темпы роста металлургического производства РФ в 2005–2008 гг., в % к предыдущему периоду²:

2005	2006	2007	2008
102,2	107,5	101,8	94,8

Темпы роста отрасли последние два года снизились, причины замедления роста, как считают аналитики, в меньшей степени связаны со сложившимся кризисом в мировой экономике, так как снижение темпов отмечается уже по результатам 2007 г.

По официальным данным количество вредных выбросов в черной металлургии в 2004 г. составило 11 333 тыс.т (в том числе: твердые – 2369, сернистый ангидрид SO₂ – 1209, оксид азота NO_x – 459 (700 в пересчете на NO₂), оксид углерода CO – 7166, углеводороды 47). К 2005 г. количество выбросов уменьшилось в целом на 40 % (в том

¹ World Steel Association. Источник: MetalTorg.Ru, 23 янв. 2009.

² <http://www.id-marketing.ru/> Обзор металлургического производства 2008–2009 гг.: Черная металлургия России.

числе, %: твердые – 60, SO₂ – 40, NO_x – 30, CO – 35), доля газообразных выбросов – на уровне 87 %.

Начиная с 2005 г. в государственных докладах вместо отраслей промышленности введены виды экономической деятельности. Из металлургической отрасли исключены коксохимический и агломерационный переделы (осталось только производство металла в разных трактовках), что затрудняет сравнение показателей по охране окружающей среды до и после 2005 г. Поэтому данные за последние годы требуют дополнительного осмысления и привязки к объему производимой продукции.

В 2008 г. объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух металлургическими предприятиями составил¹ 4469,1 тыс. т, в том числе твердые вещества – 306,0, жидкие и газообразные – 4163,1 (из них SO₂ – 2487,5, CO – 1501,3, NO_x – 122,8 тыс. т. На производство ферросплавов, стали, проката приходится 1555,2 тыс. т выбросов в атмосферу, из них ОАО «Северсталь» (г. Череповец) – 315,3, ОАО «НЛМК» (г. Липецк) – 280,5.

Объемы сброса загрязняющих сточных вод в поверхностные водоемы в металлургическом производстве составили 706,64 млн м³, из них 298,9 были сброшены без очистки. Следует отметить, что для производства металла было необходимо 18 499,6 млн м³ воды, благодаря оборотной и повторно-последовательной системе водоснабжения экономия воды составила 96 %, что свидетельствует о позитивном сдвиге в области охраны водных ресурсов.

Объем отходов в металлургическом производстве и производстве готовых металлических изделий² в 2008 г. составлял 175,25 млн т.

В России ущерб, причиняемый вредными антропогенными выбросами здоровью людей, сельскому и лесному хозяйству, а также промышленным и коммунальным объектам составляет 10...20 % ВВП. Эта цифра была бы ниже, если бы вкладывались средства на устранение причин, а не последствий от ущерба.

По мнению специалистов 35 % мощностей на российских металлургических предприятиях устарели, подлежат ликвидации, 55 % – реконструкции. По этой причине потребление сырья в черной металлургии России выше, чем в странах запада на 10 %, энергоемкость – в 1,2–1,5 раза.

¹ Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды в Российской Федерации в 2008 году».

² Терминология из Государственного доклада.

На передовых зарубежных заводах с полным металлургическим циклом удельные выбросы пыли не превышают 1 кг/т стали, тогда как на металлургических комбинатах России они колеблются от 4,5 до 11 кг, т.е. в 4–10 раз больше. Удельное энергопотребление на отечественных предприятиях также выше (в среднем в 1,5 раза). Соответственно и возрастают выбросы вредных веществ, образующихся при сжигании лишнего топлива.

Использование на предприятиях новейших маловодных технологий производства металла, очистка отработанной воды, внедрение системы оборотного водоснабжения, охлаждение воды до требуемых нормативов, переход на сухие способы очистки газов и др. позволили существенно снизить потребление свежей воды (процент оборотного водоснабжения – 96 %), и свести к минимуму загрязнение водоемов. На российских металлургических предприятиях в настоящее время этот показатель находится на уровне зарубежных стандартов.

Российские предприятия переоснащают оборудование, постепенно переходят на новые технологические процессы: одновременно осуществляется техническое перевооружение на базе современной экологической стратегии.

1.2. Сравнение схем производства стали

Современное сталеплавильное производство можно разделить на предприятия полного цикла, компактные заводы и мини-заводы. В последнее время стали появляться также микрозаводы. Обзор современных технологических схем производства стали приведен на рис. 1.1¹.

На предприятиях полного цикла для получения стали используются первородная руда, кокс, топливо, окатыши и др. Процесс идет через получение промежуточного продукта – чугуна, для производства которого требуются агломерационное и коксохимическое производства. Чугун далее обрабатывается в конвертере (классическая схема) или дуговой сталеплавильной печи (ДСП), затем следуют внепечная обработка, разливка на машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), получение слябов, блюмов, проката.

На компактных заводах также, как и на предприятиях полного цикла используется первородное сырье. Однако для получения промежуточного продукта – чугуна, используются внедоменные процес-

¹ Из материалов VOEST-ALPINE Industrieanlagenbau GmbH.

сы восстановления железа, поэтому отпадает необходимость в агломерационном и коксохимическом производствах.

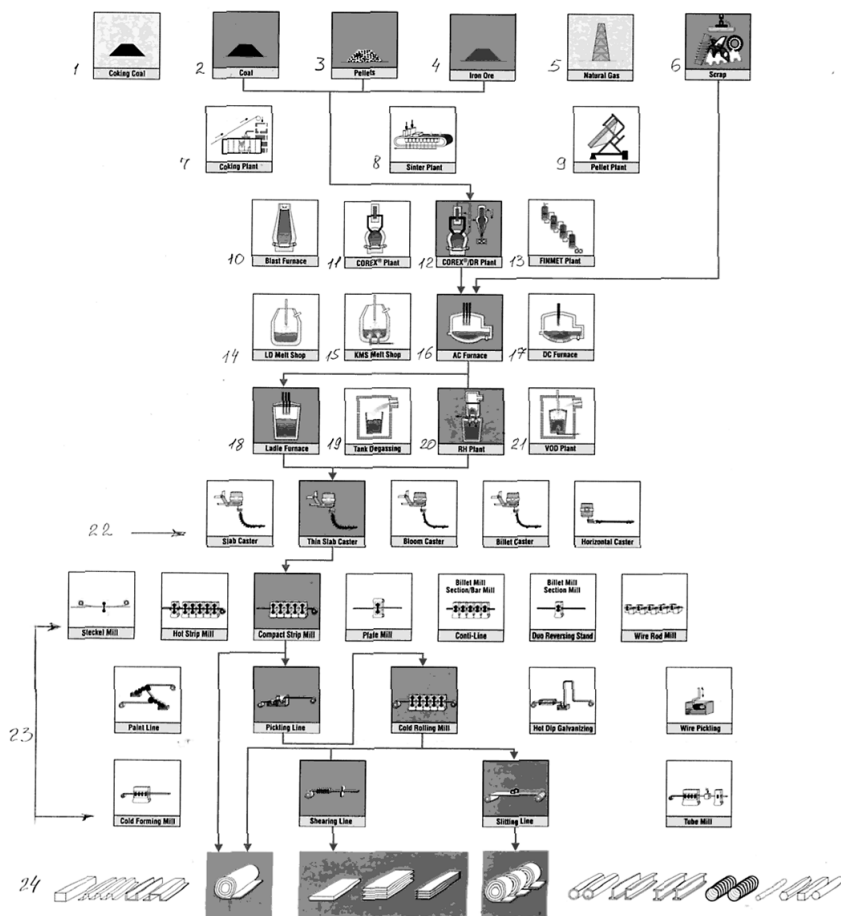


Рис. 1.1. Основные схемы производства стали:

- 1 – коксующий уголь; 2 – уголь; 3 – окатыши; 4 – железная руда;
- 5 – природный газ; 6 – скрап (лом); 7 – производство кокса;
- 8 – производство агломерата; 9 – производство окатышей;
- 10 – доменная печь; 11–12 – установки COREX; 13 – установка FINMET;
- 14 – LD-конвертер; 15 – KMS-конвертер; 16 – дуговая сталеплавильная печь;
- 17 – дуговая печь постоянного тока; 18 – печь – ковш; 19 – установка дегазации; 20 – установка порционного рафинирования (RH); 21 – установка VOD; 22 – машины для разлива стали; 23 – прокатные станы; 24 – выпускаемая продукция

Мини-заводы и микроразводы специализируются в основном на переплаве скрапа в ДСП, работающих в единой технологической линии с установками внепечного рафинирования, например ковш-печь, и МНЛЗ. Добавки губчатого железа в шихту позволяют получить металл высочайшего качества в связи с существенным уменьшением доли цветных примесей в конечном продукте.

Различные схемы производства металла дополняют друг друга. В ряде случаев, при массовом объеме производства эффективнее заводы полного цикла, а для производства уникальных, специальных, качественных сталей – мини-заводы. Стрелками (см. рис. 1.1) показана одна из возможных схем производства электростали, начиная с потребления сырья (в данном случае скрап и внедоменный чугуны), кончая конечной продукцией. Выбор оптимальной схемы процесса производства стали зависит от сортамента продукции и её рынка, производительности предприятия и других факторов – экономических, экологических и социальных.

В мировой и отечественной черной металлургии происходят изменения в направлении роста доли электростали и увеличении числа мини-заводов и комплексов с дуговыми сталеплавильными агрегатами различных типов. Это связано с тем, что технология выплавки стали в ДСП отличается энергосбережением, снижением воздействия на окружающую среду, экономической эффективностью. Дополнительным стимулом для увеличения доли электросталеплавильного производства является необходимость выполнения требований Киотского протокола, так как технология плавки в электропечах позволяет существенно снизить эмиссию парниковых газов в черной металлургии.

Мини-заводы более перспективны с точки зрения охраны окружающей среды, их легко настроить на производство разных марок стали, они более экономичны, выше производительность, легко внедрить новейшие технологии. На предприятиях с полным циклом выполнение требований по защите окружающей среды требует значительных капитальных затрат, тогда как при производстве стали в электропечи затрат гораздо меньше.

Немаловажно, что суммарные энергозатраты при выплавке стали в ДСП, работающей с использованием 100 % лома, в 2 раза ниже, чем при использовании первородного сырья по схеме чугуны–сталь.

Основные достоинства мини-заводов по сравнению с предприятиями полного цикла:

- гибкость производства;
- себестоимость продукции ниже (так как вторичное сырье дешевле первородного сырья);

- возможность производить более широкий ассортимент стали в требуемых размерах;
- энергозатраты значительно меньше;
- количество образующихся отходов меньше (на 50 %);
- проще и с меньшими затратами решаются вопросы модернизации производства;
- затраты на природоохранные мероприятия существенно меньше;
- производительность труда (норма выработки на одного рабочего) существенно выше – до 1000 т/чел. на передовых металлургических предприятиях (300...500 т/чел. по России).

Из-за роста потребительского спроса на вторичное сырье, наблюдается увеличение цены на лом, что может ограничивать дальнейшее развитие мини-заводов. С другой стороны, наблюдается тенденция ухудшения качества выплавляемой стали при использовании в шихте преимущественно металлического лома (содержание примесей цветных металлов в стали непрерывно возрастает). Решить и первую и вторую проблему можно, используя вместо лома другие шихтовые материалы. Основными заменителями лома в ДСП являются:

- металлизированные окатыши;
- горячепрессованные железорудные брикеты;
- синтиком;
- карбид железа;
- чугун на основе бескоксового производства и др.

Многие новые материалы получают на основе внедоменных процессов («Мидрекс», «Корекс», «Карбид железа», «Ромелт» и др), в которых может быть использовано любое железорудное сырье (железная руда, агломерат, окисленные окатыши) и природный газ или энергетические угли. Использование новых материалов в ДСП позволяет существенно снизить концентрацию вредных, сложно удаляемых примесей в стали (суммарное содержание цветных металлов – менее 0,01 %).

1.3. Общая характеристика и тенденции развития электросталеплавильного производства¹

1.3.1. Структура сталеплавильного производства.

В 1990 г. объем стали, произведенной в России, составлял около 90 млн т, в 1995 г. производство стали сократилось почти до 50 млн т. При этом около 30...35 % стали выплавляли в конвертере, примерно 12...15 % – в дуговых сталеплавильных печах и остальное – в мартеновских печах.

Динамика выплавки стали в последующие годы представлена на рис. 1.2 (источник: Росстат). При этом структура производства стали в мире по основным агрегатам (технологическим схемам) заметно отличалась в пользу электрометаллургии (рис. 1.3).

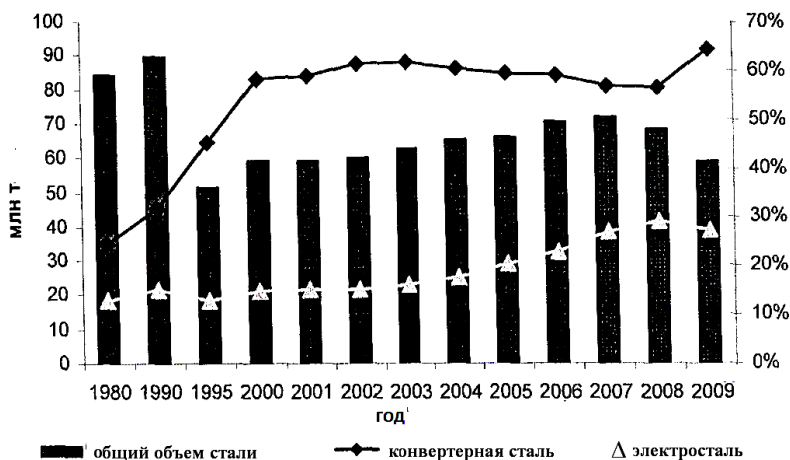


Рис. 1.2. Динамика выплавки стали в России и доли конвертерной и электростали

Доля конвертерного способа производства стали в России резко возросла в результате первой волны перевооружения в 1990-х годах (в основном это было связано с вводом в эксплуатацию конвертеров на ММК) и остается относительно стабильной на протяжении по-

¹ Семин А.Е., Уточкин Ю.И. // Электрометаллургия. 2010. № 12. С. 2–11.

следних десяти лет. В ходе второй, более масштабной волны перевооружения и ввода новых мощностей в 2000-х годах, акцент был сделан на развитие электропечей. Именно электропечи начинают усиленно вытеснять мартеновские. Мартеновский процесс по сравнению с конвертерным допускает существенно большее содержание лома и соответственно меньшее содержание чугуна в металлошихте. Поэтому при замене мартеновских печей электропечами задача сырьевого обеспечения последних оказывается частично решенной.

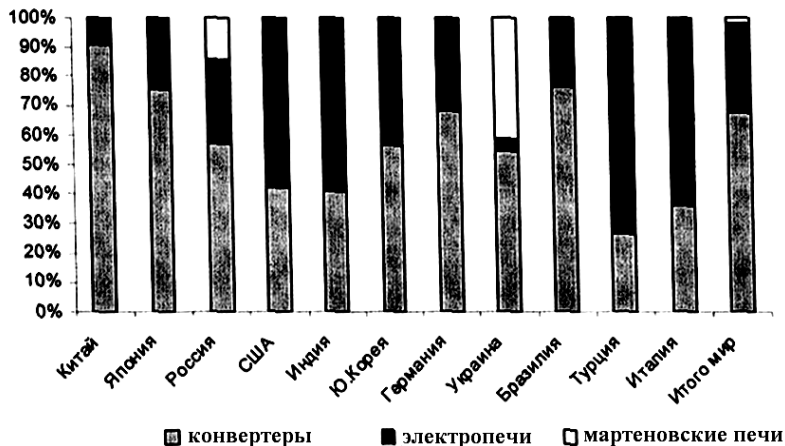


Рис. 1.3. Структура производства стали по технологиям в мире

Новые компактные металлургические комплексы, построенные в позднюю советскую эпоху и после 1990-х годов, были изначально ориентированы на местный спрос (в основном на производство стали строительного сортамента) и оборудованы только электропечами.

Дальнейшее развитие металлургии как за рубежом, так и в России связано, прежде всего, с мини-заводами, хотя и не исключает строительство электроцехов в составе интегрированных заводов полного цикла. Название «мини-заводы», кроме всего прочего, предполагает производство металлургической продукции с минимальными затратами. Если рассмотреть две основные технологические схемы производства стали – конвертерную и электросталеплавильную, то однозначно капитальные затраты на первую существенно выше (в 2–2,5 раза), что обусловлено ее сложностью и, соответственно, капиталоемкостью. При конвертерном производстве требуется жидкий чугун и, соответственно, кокс и агломерат, тогда как при электростале-