

## ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА И СТАЛИ

### **Мария Викторовна Доброхотова**

Федеральное государственное автономное учреждение  
«Научно-исследовательский институт  
«Центр экологической промышленной политики»

### **Илья Сергеевич Курошев**

Федеральное государственное автономное учреждение  
«Научно-исследовательский институт  
«Центр экологической промышленной политики»

### **Ольга Сергеевна Ежова**

Федеральное государственное автономное учреждение  
«Научно-исследовательский институт  
«Центр экологической промышленной политики»

---



## ВВЕДЕНИЕ<sup>1</sup>

Черная металлургия является базовой отраслью промышленности, которая определяет жизнеспособность экономики. Кроме того, это одно из ключевых направлений развития экономики страны. Практически нет такого предприятия, которое в той или иной мере не использовало бы продукцию черной металлургии, ведь черные металлы — это основной конструкционный материал для изготовления средств и инструментов производства, от количества и качества которого в значительной степени зависят уровень развития производительных сил страны, темпы и масштабы технического прогресса. Во многом черная металлургия является комплексной, поскольку включает в себя различные подотрасли, заключающиеся в осуществлении технологических процессов по добыче, обогащению исходного сырья, а также выплавке соответствующей продукции (металлов) и производству металлопроката. Основным сырьем выступает железная руда, из которой изготавливаются чугун и сталь.

### Металлургическое производство. Описание продукции

Классификация черных металлов построена на основании разделения элементов по их химическому составу и свойствам. Определенное процентное содержание углерода в сплаве указывает, чугун это или сталь. Так, чугуны содержат более 1,7 % углерода, а стали — от 0,2 до 1,7 % углерода. Классификация черных металлов:

- железные металлы;
- тугоплавкие;
- урановые;
- щелочноземельные;
- редкоземельные.

Также классификация черных металлов подразумевает отделение сталей легированных и нелегированных, которые еще называют углеродистыми. Легированные имеют в наличии один или несколько легирующих элементов, которые оказывают большое влияние на свойства стали. Легированные стали

---

<sup>1</sup> Раздел 4 «Производство чугуна и стали» написан на основе материалов из первого издания: Энциклопедия технологий. Эволюция и сравнительный анализ ресурсной эффективности промышленных технологий / гл. ред. Д.О. Скобелев ; ФГАУ «НИИ «ЦЭПП». — М. ; СПб., 2019.

очень широко применяются для изготовления ответственных деталей, несущих большую нагрузку, испытывающих разный температурный режим, сильное фрикционное воздействие. Применение такой стали распространено в машиностроении, тяжелой промышленности и в других областях.

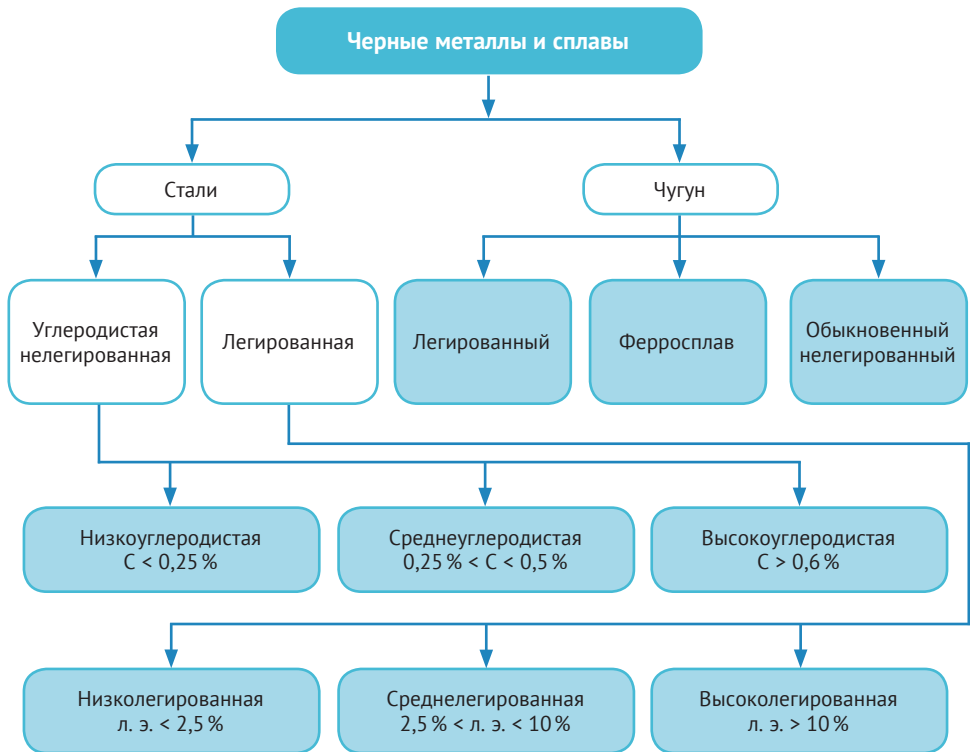


Рис. 1. Виды черных металлов

Виды черных металлов из стали приведены на рисунке 1. Однако все виды стали разные и имеют свое предназначение и область применения. Также различные виды черных металлов, в частности стали, пройдя термообработку, приобретают отличительные свойства. Многие сплавы хорошо поддаются прокатке, прессованию, успешно льются. Другие достаточно мягкие, и их можно обработать вручную. Такие виды черных металлов, как нержавеющая сталь, обладая нужными легирующими элементами, имеют очень высокую стойкость к коррозии, большую твердость и прочность. Данный вид стали успешно применяют в пищевой промышленности, медицине, для изготовления бытовых предметов, для производства турбин и др. Еще одним видом черного металла является чугун — сплав железа с углеродом. Так как чугун имеет хорошие литейные свойства, то его в основном используют для литых деталей.

Чугун подразделяется на следующие виды:

- литейный;
- передельный;
- антифрикционный;
- ковкий;
- низколегированный;
- высоколегированный;
- с шаровидным графитом;
- с вермикулярным графитом для отливок.

Литейный чугун используют для литья, этому хорошо способствует пластинчатый графит. Ковкий обладает замечательной пластичностью, хорошо поддается ковке, откуда и взято название. Чугун с шаровидным графитом благодаря своей структуре шаровидного состояния применяют в изготовлении деталей высокого качества.

### *Железорудное сырье*

Железная руда состоит из рудного вещества и пустой породы. Рудным веществом чаще всего являются оксиды, силикаты и карбонаты железа. Пустая порода обычно состоит из кварцита или песчаника с примесью глинистых веществ и реже из доломита или известняка. В зависимости от рудного вещества железные руды бывают богатыми и бедными, которые подвергают обогащению. В доменном производстве применяют разные железные руды. Красный железняк (гематит) содержит железо в виде его безводной окиси. Она имеет разную окраску (от темно-красной до темно-серой). Руда содержит много железа (45–65 %) и мало вредных примесей.

Бурый железняк содержит железо в виде водных оксидов. В нем содержится 25–50 % железа. Окраска меняется от желтой до буро-желтой. Пустая порода железняка глинистая, иногда кремнисто-глиноземистая.

Магнитный железняк содержит 40–70 % железа в виде закиси-окиси железа. Руда обладает хорошо выраженными магнитными свойствами, имеет темно-серый или черный с различными оттенками цвет. Пустая порода руды кремнеземистая с примесями других оксидов. Железо из магнитного железняка восстанавливается труднее, чем из других руд.

Шпатовый железняк (сидерит) содержит железо в виде углекислой соли. В этом железняке содержится 30–37 % железа. Сидерит имеет желтовато-белый и грязно-серый цвет. Он легко окисляется и переходит в бурый железняк. Из всех железных руд он обладает наиболее высокой восстановимостью.

### *Кокс*

Для выплавки стали главным топливом служит каменный уголь. Добытый уголь содержит много примесей, которые могут вредно повлиять на будущий металл, и поэтому их необходимо удалить.

Уголь, как и руду, сначала размалывают в тончайший порошок. Потом этот порошок в специальной камере нагревают без доступа воздуха. Из угля выделяются газ и смола. Вместе с ними уходят и другие ненужные примеси,

а сам угольный порошок спекается в плотную пористую массу, которую выталкивают из камеры на металлическую платформу и охлаждают водой. От резкого охлаждения масса разваливается на куски — кокс.

Далее руду, кокс и известь загружают в домну и выпускают готовый чугун.

### Состояние сырьевой базы

Россия располагает значительной сырьевой базой железных руд, уступая по масштабу только Бразилии и Китаю. По выпуску железорудной продукции (концентратов, окатышей, агломерата и продуктов прямого восстановления железа) страна входит в пятерку крупнейших мировых производителей. Она также стабильно входит в число главных продуцентов стали.

Мировые запасы железных руд оцениваются в 246,2 млрд т, ресурсы — в 670 млрд т. Производство товарных железных руд в мире в 2020 г. снизилось на 4,6% — до 2,4 млрд т (табл. 1), при этом производство стали увеличилось на 0,2% — 1,88 млрд т.

Таблица 1. Запасы железных руд и производство товарных железных руд в мире (2020 г.)

| Страна    | Запасы, категория  | Запасы, млрд т | Доля в мировых запасах, % | Производство, млн т | Доля в мировом производстве, % |
|-----------|--|----------------|---------------------------|---------------------|--------------------------------|
| Австралия | Proved + Probable Reserves   | 23,1           | 9,4                       | 917,2               | 38,4                           |
| Бразилия  | Reserves   | 34,0           | 13,8                      | 389,5               | 16,3                           |
| Китай     | Reserves   | 85,3           | 34,6                      | 340,0               | 14,2                           |
| Индия     | Proved + Probable Reserves   | 5,4            | 2,2                       | 203,1               | 8,5                            |
| Россия    | Запасы категорий A+B+C <sub>1</sub><br>A+B+C <sub>1</sub> Reserves | 29,4           | 12,0                      | 110,8               | 4,6                            |
| Прочие    | Reserves   | 69,0           | 28,0                      | 426,3               | 18,0                           |
| Мир       | Запасы   | 246,2          | 100,0                     | 2386,9              | 100,0                          |

Источник: Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2020 году» // Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации : [официальный сайт]. — URL: [https://www.mnr.gov.ru/docs/o\\_sostoyanii\\_i\\_ispolzovanii\\_mineralno\\_syrevykh\\_resursov\\_rossiyskoy\\_federatsii/gosudarstvennyy\\_doklad\\_o\\_sostyanii\\_i\\_ispolzovanii\\_mineralno\\_syrevykh\\_resursov\\_rossiyskoy\\_federatsii/](https://www.mnr.gov.ru/docs/o_sostoyanii_i_ispolzovanii_mineralno_syrevykh_resursov_rossiyskoy_federatsii/gosudarstvennyy_doklad_o_sostyanii_i_ispolzovanii_mineralno_syrevykh_resursov_rossiyskoy_federatsii/) (дата обращения: 13.01.2022).

В 2020 г. в России было добыто из недр 359,2 млн т железных руд и 16,9 тыс. т извлечено из техногенных образований. Выпуск железорудной продукции отечественными обогатительными фабриками составил 102,4 млн т. Основными продуктами обогатительных фабрик являются железорудные концентраты и окатыши; из последних получают продукты прямого восстановления железа — металлизированные окатыши и горячебрикетированное железо. Из рудной мелочи в небольших объемах производят окускованный рудный концентрат — агломерат. Из-за невысокого качества добываемого сырья выход продуктов обогащения составляет всего треть объема добытого сырья.

В 2020 г. добыча железных руд в России велась на 46 месторождениях (рис. 2).



Рис. 2. Основные месторождения железных руд

Источник: Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2020 году» // Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации.

Основной объем добычи железных руд России обеспечивают крупные вертикально-интегрированные холдинги: ПАО «Северсталь», «ЕвразГруп С. А.», АО «Холдинговая компания «Металлоинвест» («Металлоинвест»), ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат» (НЛМК). Добычу и переработку железных руд также осуществляют ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ММК), ПАО «Мечел», АО «МХК Еврохим», УК «Промышленно-металлургический холдинг» и ряд сравнительно мелких предприятий Урала, Сибири и Дальнего Востока (рис. 3).

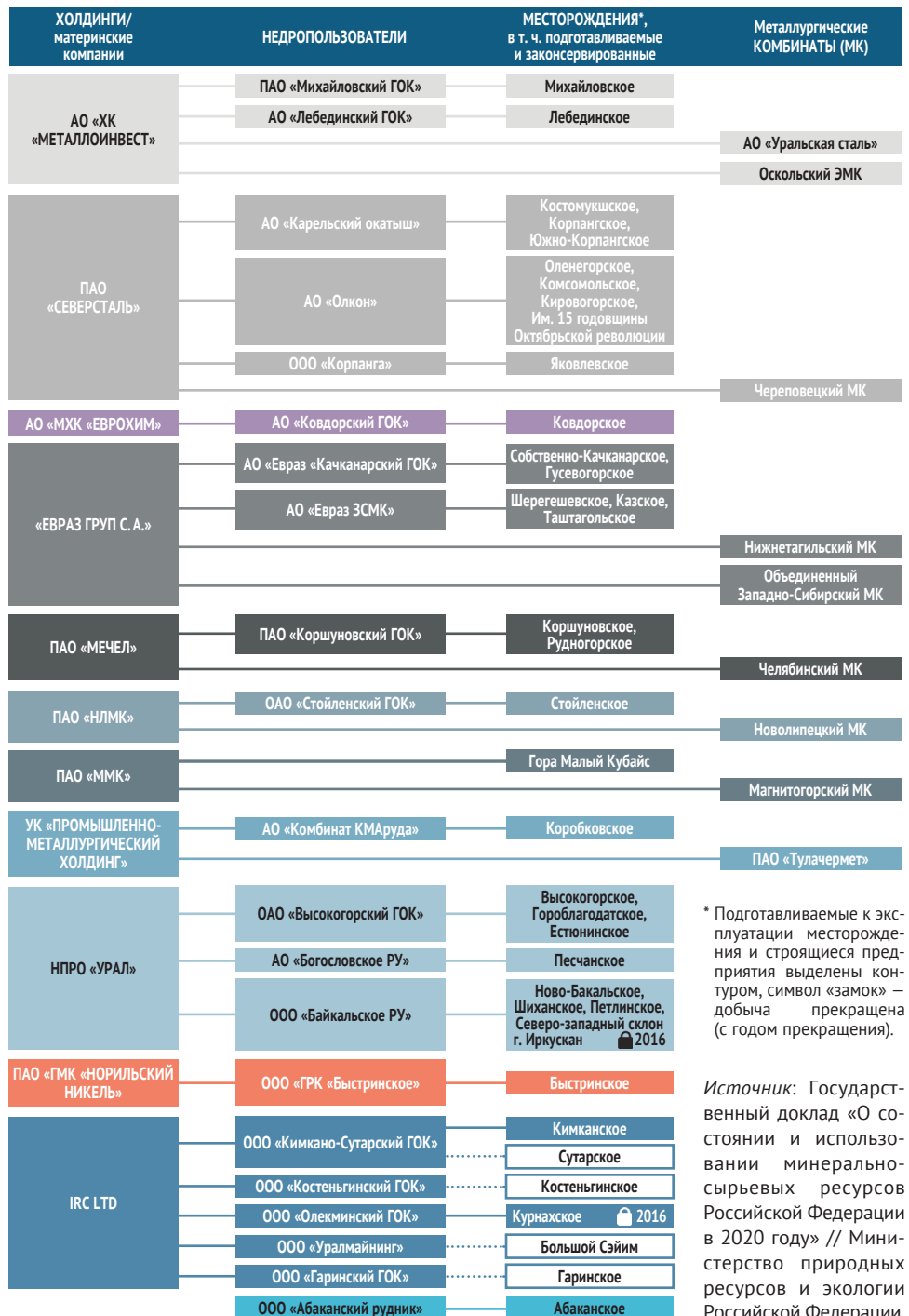


Рис. 3. Структура железорудной промышленности России



## Металлургическая промышленность

Российская черная металлургия развивается в общемировой системе хозяйственных связей, и ее состояние в значительной степени зависит от тенденций развития мировой металлургии в целом, что позволяет рассматривать Россию как одного из глобальных игроков на мировом рынке металлопродукции.

Отрасль «черная металлургия» состоит из комплекса предприятий по добыче и обогащению руд черных металлов, нерудных материалов, по производству чугуна, стали, проката, стальных труб, метизов, ферросплавов, огнеупоров, кокса, по заготовке и переработке лома и отходов, комплекса предприятий и производств вспомогательного назначения, а также научно-исследовательских и проектных организаций.

В структуру черной металлургии России входит свыше 1500 предприятий, из которых более 70 являются градообразующими. Предприятия металлургии располагаются практически во всех федеральных округах, в 25 краях и областях (табл. 2, рис. 4).

Таблица 2. Регионы и наименования предприятий черной металлургии

| Номер на карте                           | Регион                | Предприятие   |
|--|-----------------------|---|
| 1  | Краснодарский край    | ООО «Абинский ЭлектроМеталлургический завод» (ООО «АЭМЗ»)   |
|  |                       | ООО «Новоросметалл»   |
| 2  | Ставропольский край   | ООО «Ставсталь»   |
| 3  | Ростовская область    | ПАО «ТАГМЕТ»  |
|  |                       | ООО «Ростовский электрометаллургический завод» (ООО «РЭМЗ») |
| 4  | Белгородская область  | АО «ОЭМК»   |
| 5  | Брянская область      | ООО «ПК «Бежицкий сталелитейный завод»                      |
| 6  | Смоленская область    | ОАО «Ярцевский металлургический завод»                      |
|  |                       | ГУП «Литейно-прокатный завод» (ГУП «ЛПЗ»)                   |
| 7  | Калужская область     | ООО «НЛМК-Калуга»   |
| 8  | Волгоградская область | АО «Волга-ФЭСТ»   |
|  |                       | АО «ВМК «Красный Октябрь»                                   |
|  |                       | АО «Волжский трубный завод»                                 |
| 9  | Липецкая область      | ПАО «НЛМК»  |
| 10                                       | Тульская область      | ПАО «Тулачермет»  |
|  |                       | ПАО «Косогорский металлургический завод»                    |
|  |                       | ПАО «Череповецкий металлургический комбинат»                |
|  |                       | АО «Уральская сталь»  |
|  |                       | ПАО «Надеждинский металлургический завод»                   |
|  |                       | АО «ЕВРАЗ НТМК»   |
|  |                       | ПАО «Тулачермет»  |
| ОАО «Ревякинский металлургический завод» |                       |   |

Таблица 2 (окончание)

| Номер на карте | Регион                  | Предприятие  |
|----------------|-------------------------|--|
| 11             | Московская область      | АО «МЗ «Электросталь»                                      |
|                |                         | АО «Металлургический завод “Электросталь”»                 |
| 12             | Саратовская область     | АО «Северсталь – Сортовой завод Балаково»                  |
| 13             | Санкт-Петербург         | ООО «ОМЗ – Спецсталь»                                      |
|                | Ленинградская область   | ЗАО «Металлургический завод “Петросталь”»                  |
| 14             | Нижегородская область   | АО «Выксунский металлургический завод»                     |
|                |                         | АО «ОМК – Сталь»   |
|                |                         | ОАО «Кулебакский металлургический завод»                   |
|                |                         | АО «ОМКСталь»  |
| 15             | Республика Татарстан    | ЗАО «Камский металлургический комбинат “ТЭМПО”»            |
| 16             | Кировская область       | АО «Омутнинский металлургический завод»                    |
| 17             | Республика Башкортостан | АО «Белорецкий металлургический комбинат»                  |
| 18             | Челябинская область     | ПАО «Челябинский металлургический комбинат» (ПАО «ЧМК»)    |
|                |                         | ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ПАО «ММК») |
|                |                         | АО «Златоустовский электрометаллургический завод»          |
|                |                         | ПАО «Ашинский металлургический завод»                      |
|                |                         | ПАО «Челябинский металлургический комбинат»                |
|                |                         | ОАО «ММК-Метиз»  |
| 19             | Пермский край           | ОАО «Ижсталь»  |
|                |                         | ООО «МЗ “Камасталь”»                                       |
|                |                         | ОАО «Лысьвенский металлургический завод»                   |
|                |                         | ОАО «Нытвенский металлургический завод»                    |
| 20             | Свердловская область    | ОАО «Первоуральский новотрубный завод»                     |
|                |                         | ПАО «Синарский трубный завод»                              |
|                |                         | ЗАО «Нижнесергинский метизно-металлургический завод»       |
|                |                         | ООО «Верхнесалдинский металлургический завод»              |
|                |                         | ООО «Староуткинский металлургический завод»                |
|                |                         | ЗАО «Ревдинский метизно-металлургический союз»             |
| 21             | Тюменская область       | ООО «ВИЗ-Сталь»  |
|                |                         | ООО «Завод УГМК Электросталь Тюмени»                       |
| 22             | Новосибирская область   | ОАО «Новосибирский металлургический завод имени Кузьмина»  |
| 23             | Кемеровская область     | АО «ЕВРАЗ ЗСМК»  |
|                |                         | ОАО «Гурьевский металлургический завод»                    |
| 24             | Хабаровский край        | ОАО «Амурметалл»   |

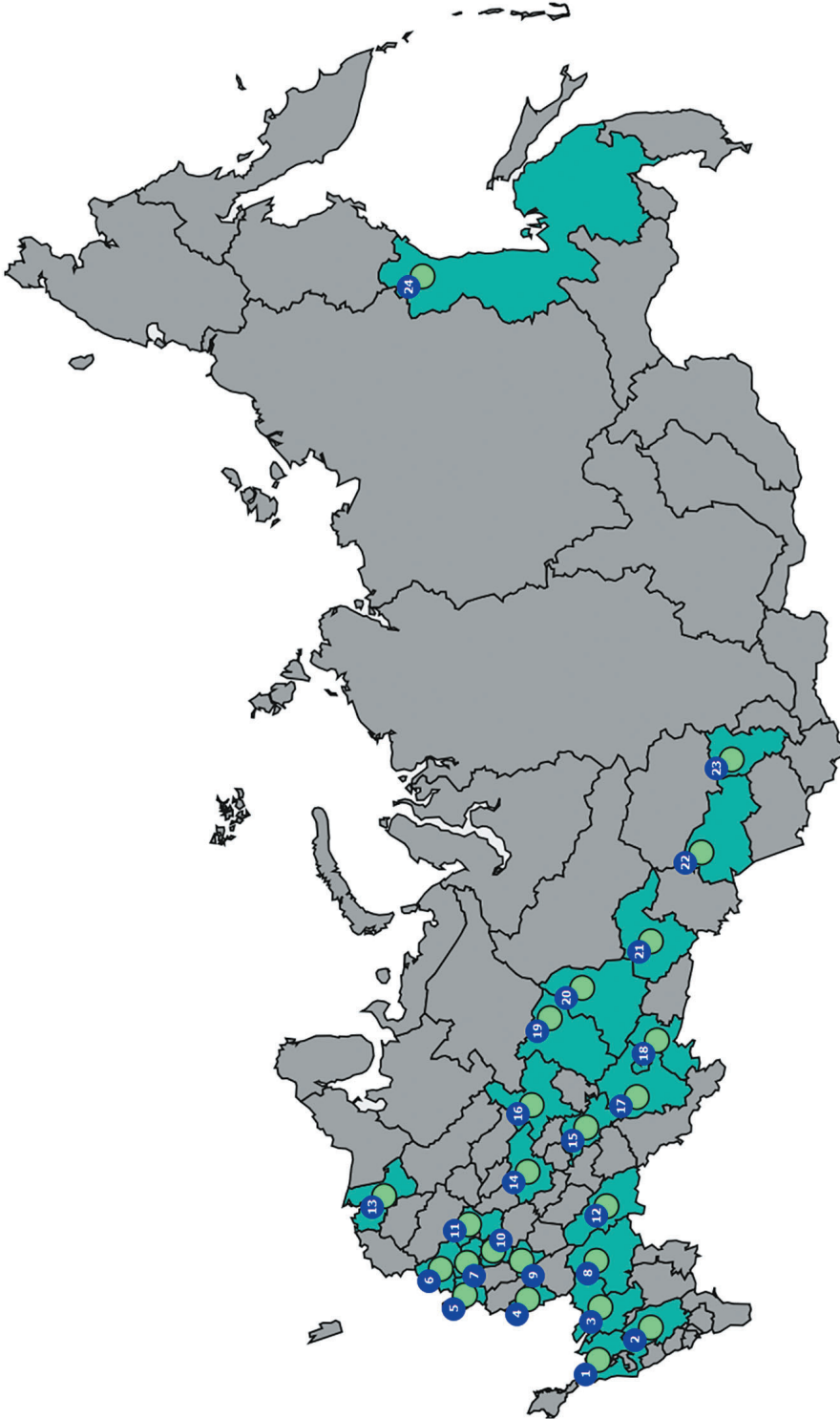


Рис. 4. Карта-схема расположения металлургических предприятий в Российской Федерации

В черной металлургии сформировалось десять крупных интегрированных холдингов вертикального и горизонтального типа, объединяющих предприятия по всей технологической цепочке производства от добычи угля и руды, их переработки до инфраструктурных подразделений, включая ломопереработку, энергетику, порты и железнодорожный транспорт. Крупные холдинги черной металлургии России приведены в таблице 3.

Таблица 3. Крупные холдинги черной металлургии России

| Вертикально-интегрированные холдинги (производят металлопродукцию, начиная с добычи железорудного сырья) | Горизонтально-интегрированные холдинги (производят металлопродукцию, в основном трубы стальные, начиная с производства стали) |
|--|---|
| ПАО «Евраз Холдинг»  | ПАО «Трубная металлургическая компания»   |
| ПАО «Северсталь»   | ПАО «Объединенная металлургическая компания»  |
| ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат»   | ПАО «ЧТПЗ»  |
| ПАО «Металлоинвест»  |   |
| ПАО «Мечел»  |   |
| ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат»   |   |
| ООО УК «Промышленно-металлургический холдинг» (ПМХ)*   |   |

\* Холдинг осуществляет добычу и переработку железной руды, добычу угля и производство кокса, производство чугуна и порошковых материалов; в настоящее время строится сталеплавильный цех.

Такая интеграция позволяет уменьшить риски как на внутреннем, так и на внешнем рынке, оптимизировать инвестиционную политику и обеспечить собственную сырьевую безопасность. Холдинги активно развивают собственные сервисные службы по металлообработке и торговле готовой металлопродукцией в различных регионах страны и мира. Предприятия холдингов производят 98 % чугуна, более 90 % стали и проката и 79 % труб<sup>2</sup>.

## ИСТОРИЯ ЗАРОЖДЕНИЯ ОТРАСЛИ

### Зарождение металлургической отрасли в мире

Наша цивилизация в том виде, в котором она сложилась, базируется на использовании железа как основного технического материала. Принято считать, что с железом человек впервые встретился, найдя метеорит. Косвенно об этом свидетельствуют названия железа, возникшие у древних народов: «небесное тело» (*др.-егип.*), «звезда, небесное тело» (*др.-греч.*), произошедшие от *sidus*,

<sup>2</sup> Производство чугуна, стали и ферросплавов : Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям 26-2021. — М., 2021.

*sideris* (лат.) — звезда, звездный; σίδηρος (греч.) — звезда; *сидеролит* — железный метеорит; *siderurgie* (фр.) — черная металлургия. Шумеры называли железо «небесной медью». У коренных жителей Гренландии находили ножи, сделанные из метеоритного железа.

Первые письменные упоминания о железе, относящиеся к весьма отдаленным временам, встречаются в Библии, в поэмах Гомера. В Ветхом Завете (Бытие) упоминается потомок Каина Тувалкаин, «который был ковачом всех орудий из меди и железа».

В Библии, во 2-й Книге Царств, при описании походов царя Давида упоминаются железные топоры, железные молотилки.

В поэме «Дела и дни» одного из великих поэтов Древней Греции Гесиода (VIII–VII вв. до н. э.) есть миф о пяти веках, следовавших один за другим, согласно которому после золотого, серебряного, медного и бронзового веков наступает железный век, и общую участь составляют печаль и забота, так как боги посылают людям вместе с металлами все новые бедствия.

По преданию, богатые рудами Алтайские горы были колыбелью многих местных алтайских народов, которые с глубокой древности почитали мастеров кузнечного ремесла, причисляя их к верховным божествам.

Воинственные кочевники из Средней Азии имели металлические доспехи и железное оружие. Своеобразная культура железа сложилась и в Китае, где, возможно, впервые научились получать жидкий чугун и делать из него отливки. До наших дней сохранились некоторые уникальные древние отливки из чугуна, например 60-тонный колокол высотой 4 м и диаметром 3 м.

Известны уникальные изделия металлургов Древней Индии. В Дели стоит знаменитая Кутубская колонна массой 6 т, высотой 7,5 м и диаметром 0,4 м. Надпись на колонне гласит, что она сделана примерно в 380–330 гг. до н. э. Она сооружена из отдельных криц, сваренных в кузнечном горне. Большое удивление, чем размеры колонны, вызывает тот факт, что на ней нет ржавчины. В захоронениях Древней Индии найдено оружие из железа, изготовленное в середине I в. до н. э.<sup>3</sup>

Греческие мастера уже в древние времена использовали железо. В построенном зодчим Гермогеном около 200 г. до н. э. храме Артемиды барабаны мраморных колонн храма скреплены мощными железными дюбелями длиной 130 мм, шириной 90 мм и толщиной 15 мм.

В исторической литературе эпоху железного века делят на два периода: ранний (X–V вв. до н. э.) железный век (так называемая гальштатская культура по названию города в Австрии, в окрестностях которого были найдены железные предметы того времени) и поздний, или второй, железный век (V–II вв. до н. э. — начало нашей эры), соответствующий периоду, от которого осталось много железных предметов (так называемая латенская культура — по месту в Швейцарии). Латенская культура связывается с кельтами, считавшимися мастерами изготовления различных орудий из железа. Большое переселение кельтов, начавшееся на рубеже V–IV вв. до н. э., способствовало распространению этого

<sup>3</sup> Теория и технология производства стали : учебник для вузов. — М., 2003.

опыта на территории Западной Европы. От кельтского названия железа «изарнон» произошли немецкое «айзен» (*Eisen*) и английское «айрон» (*iron*).

«Железная революция» началась в I в. до н. э. в Ассирии. Железные мечи научились изготавливать представители гальштатской культуры. С VIII в. до н. э. сварочное железо быстро стало распространяться в Европе, в III в. до н. э. оно вытеснило бронзу в Галлии, во II в. н. э. появилось в Германии, а в VI в. уже широко употреблялось в Скандинавии. В Японии железный век наступил только в VII в. н. э.

У алхимиков металлы носили названия планет: золото называлось Солнцем, серебро — Луной, медь — Венерой, олово — Юпитером, свинец — Сатурном, ртуть — Меркурием, а железо — Марсом.

В мировой практике исторически сложилось деление металлов на черные (железо и сплавы на его основе) и все остальные — цветные, или нечерные (англ. — *non-ferrous metals*, нем. — *Nichteisenmetalle*).

### Зарождение металлургической промышленности в России

Так же как и во всей Европе, на Руси металл получали в примитивных сыродутных горнах и домницах с искусственным дутьем. Сосредоточены эти производства были главным образом вблизи месторождений местных болотных железных руд, в частности, на севере — близ Финского залива, в Карелии — на р. Молога (Железный Устюг, Устюжна Железнопольская), а также около г. Тула.

Производство железа на территории России было известно с незапамятных времен. В результате археологических раскопок в районах, прилегающих к Новгороду, Владимиру, Ярославлю, Пскову, Смоленску, Рязани, Мурому, Туле, Киеву, Вышгороду, Переяславлю, а также в районе Ладожского озера и в других местах обнаружены остатки плавильных горшков, сыродутных горнов, так называемых волчьих ям и соответствующие орудия производства<sup>4</sup>.

Металлографические и рентгеноструктурные исследования многих древних образцов железных и стальных изделий свидетельствуют о высоком техническом уровне железоделательного производства того времени. Оказывается, древние русские металлурги применяли сложные технологические операции по многослойной сварке железа и стали и по термической обработке изделий. Так, сталь наваривали на рабочую часть железных топоров и секир; стальную полосу сваривали с двумя железными, в результате чего получали меч или нож, состоящий из трех слоев, из которых стальной слой в середине представлял режущее острие, а два железных слоя по бокам обеспечивали необходимые прочность и вес оружия; тонкие стальные прутки вваривали в железную основу при изготовлении наконечников боевых стрел, копий и т. п. Другими словами, используя современную техническую терминологию, изделия подвергались цементации, закалке и отпуску в разных средах. Результаты исследований

<sup>4</sup> Колчин Б. А. Черная металлургия и металлообработка в древней Руси (Домонгольский период). — М., 1953.

указывают на самобытность и самостоятельность развития металлургической техники в Древней Руси.

Создание Русского государства ознаменовалось бурным развитием производительных сил славянских племен. К этому времени относится переход от примитивных сыродутных горнов с естественной тягой к стационарной шахтной печи — домнице с искусственным дутьем, что резко повысило производительность установок.

Увеличение производства железа способствовало массовому распространению железных изделий. Наряду с действующими во многих местах государства крестьянскими домницами образовались своего рода центры кустарного производства железа — Устюжна Железнопольская в Новгородской губернии, Деделово в Тульской губернии и др.

Из писцовых книг Вотской пятины 1500–1505 гг. известно, что только в двух уездах близ Финского залива насчитывалось более 200 крестьянских домниц с одним-двумя горнами, в которых сыродутное железо выплавляли не только для местного употребления, но и на продажу<sup>5</sup>.

Кустарные крестьянские домницы существовали в России долгое время: еще в конце XVIII в. работало не менее 300 таких домниц. В то же время для производства ряда изделий (прежде всего оружия) металл импортировался из зарубежья, в основном из Англии и Швеции («свийское», или «свейское», оружие).

Сложная ситуация, в которой оказалась Московская Русь после поражения Ивана IV Грозного в Ливонской войне (потеря Смоленска и Прибалтийских земель), события Смутного времени конца XVI — начала XVII в. вынуждали срочно искать способы, обеспечивающие армию современным оружием вне зависимости от закупок за рубежом. Эти обстоятельства явились причиной, по которой царь Борис Годунов, а затем и первые цари из династии Романовых (Михаил и Алексей) приглашают специалистов из стран Западной Европы.

В XVI–XVII вв. технология производства черных металлов в Западной Европе находилась на более высоком уровне, чем на Руси (широкое применение водяных приводов, организация интенсивной подачи дутья и т. п.), а следовательно, эти страны имели достаточно специалистов, мастеров высокого уровня. По сложившейся традиции хороших мастеров приглашали на службу правители разных стран. Так, к концу XVII в. число приглашенных иностранных специалистов в России составляло несколько сотен человек. Они трудились в разных сферах. В металлургии, например, особо заметный след оставил А. Виниус — выходец из Голландии. Получив от царя Михаила Романова в 1632 г. грамоту («для обработки железной руды в печах на чугун и железо, лить пушки, ядра и прочее, делать из железа ружейные стволы, прутья и т. д.») и денежную сумму, он построил четыре железоделательных завода на р. Тулица, в 12 верстах от Тулы. Затем были построены Ведменский, Каширский, Угодский заводы в Тульском районе, а в 1670 г. — Истьянский завод в Рязанской губернии и несколько заводов в Олонецком крае. По описи 1690 г., в Тульско-Каширском районе было зарегистрировано семь заводов, из них два с доменными печами;

<sup>5</sup> Панченко Е. В. Железные и стальные изделия древней Руси // Сборники трудов Московского института стали имени И. В. Сталина. — 1951. — Вып. XXX.

производительность каждой из них была в два раза больше производительности лучших для того времени английских домен.

Общая производительность всех русских железоделательных заводов в 1674 г. достигала 2400 т.

У иностранных специалистов набирались опыта отечественные мастера. В грамоте, данной А. Виниусу, было, в частности, сказано: «Людей государевых всякому железному делу научать и никакого ремесла от них не скрывать». Работа Виниуса была высоко оценена, и впоследствии он получил русское дворянство. Чугун и железо заводов Виниуса были значительно дешевле шведских; главное — исчезла шведская монополия на такие изделия.

Особую роль в развитии отечественного железоделательного производства сыграл Петр I, который по праву считается одним из основоположников русской металлургии. По его указам были построены первые на Урале Невьянский и Каменский казенные заводы (1701) (если не считать Ницинского завода, построенного на р. Ница в 1631 г., судьба которого осталась неизвестной). В 1703 г. был пущен Алапаевский завод. Строительством этих заводов было положено начало освоению нового Уральского железорудного района.

Впоследствии усилиями Петра I железоделательное производство было организовано и развито на обширной территории всего Урала. Петр нашел талантливое предпринимателя и организатора производства Никиту Демидова, привлек его к проекту создания Уральского железорудного района.

Демидов при царской поддержке привел в образцовый порядок переданный ему в 1702 г. Невьянский завод и в сравнительно короткий срок построил Шуралинский (1716), Верхнетагильский, Быньговский (1718), Выйский (1721), Нижнетагильский (1725), Шайтанский (1732) заводы. В 1734 г. на Урале насчитывалось уже 30 действующих заводов.

В течение всего XVIII в. производство металла на Урале непрерывно росло. Богатые железные руды, обилие лесов, дешевый труд крепостных — все это позволило России именно благодаря металлургии Урала выйти на первое место в мире по производству черных металлов, заметная часть которых экспортировалась. Максимальный экспорт черных металлов из России относится к 1798 г. (47 тыс. т). В тот период Россия была крупнейшим экспортером черных металлов в мире.

С отменой крепостной зависимости в 1861 г. началось и техническое перевооружение металлургической промышленности. Водяные колеса стали заменяться паровыми машинами и электромоторами. В доменном производстве появились горячее дутье и минеральное горючее, в сталеплавильном производстве началось освоение новых высокопроизводительных способов получения литой стали — бессемеровского и мартеновского. Средний прирост выплавки стали за 30 лет, с 1870 по 1900 г., составлял 31 % в год.

Вторая половина XIX в. ознаменовалась бурным развитием южной металлургии. Попытки освоения южного железорудного района начались с постройки Луганского (1795), Керченского (1845, существовал всего 10 лет, разрушен в Крымскую войну), Бахмутского (1858) и Лисичанского казенных заводов, но действительными основателями южной металлургии являются русский капиталист Пастухов, построивший Сулинский завод (1870), и акционерная компания «Новороссийское общество», построившая Юзовский завод (1871).



После открытия Криворожского бассейна появились заводы: Александровский, ныне завод им. Петровского (1887), Днепровский (1889), Дружковский, Таганрогский, Донецко-Юрьевский, Петровский (1895), Никополь-Мариупольский (1896), Макеевский (1897), Керченский (1898) и др.

Несколько позже были пущены заводы в Центральном районе России.

В 1876 г. на Нижнесалдинском заводе на Урале была разработана технология, получившая название *русское бессемерование*.

В 1894 г. на Александровском заводе в Екатеринославе братьями Ю. М. и Л. М. Горяиновыми была разработана технология рационального использования жидкого передельного чугуна при производстве стали в основном мартеновском процессе путем заливки жидкого чугуна на предварительно нагретые руду и известняк. Процесс получил название *рудный процесс (или процесс братьев Горяиновых)*.

Южная металлургия с ее крупными металлургическими заводами обеспечивала развитие народного хозяйства России вплоть до начала Первой мировой войны, когда производство стали в России достигло 4,25 млн т (пятое место в мире после США, Германии, Англии и Франции).

Условно металлургические предприятия того времени можно разделить на три группы: а) сравнительно современные по технике и технологии заводы Юга; б) старые уральские заводы: Алапаевский, Нижнетагильский, Верх-Исетский, Златоустовский, Белорецкий, Лысьвенский, Выксунский, Чусовской, Надеждинский (ныне г. Серов) и др.; в) заводы в крупных промышленных центрах, использующие металлоотходы местных промышленных предприятий (в Петербурге, Москве, Н. Новгороде, Царицыне и др.)<sup>6</sup>.

После разрухи, вызванной Гражданской войной, на территории СССР выплавлялось в год менее 200 тыс. т стали. В период восстановления народного хозяйства и за годы первых пятилеток в результате героического труда советского народа производство стали увеличилось более чем в четыре раза по сравнению с дореволюционным. Такой значительный рост производства стал возможным в результате коренной реконструкции старых заводов, а также строительства новых.

Во время Великой Отечественной войны 1941–1945 гг. на востоке страны было построено 10 доменных, 29 мартеновских и 16 электродуговых печей. Сталеплавильщики Урала освоили выплавку высоколегированной, в том числе броневой, стали в 185-тонных мартеновских печах; мартеновцы Кузнецка и Магнитки впервые в мировой практике сумели удвоить мощность действующих мартеновских печей. Начиная с весны 1942 г. производство стали в стране неуклонно возрастало, и в 1945 г. было выплавлено уже более 12 млн т. По мере освобождения оккупированных территорий развернулись восстановительные работы. Только в 1943–1944 гг. было введено в строй 13 доменных и 70 сталеплавильных печей.

В годы войны на востоке страны ввели в строй новые заводы, в том числе Челябинский металлургический комбинат (первая плавка электростали — в апреле 1943 г.), Кузнецкий ферросплавный и другие заводы.

<sup>6</sup> Теория и технология производства стали : учебник для вузов.

В первые же послевоенные годы огромная работа была проведена по восстановлению разрушенных врагом металлургических заводов, расположенных в центральных районах РСФСР и на Украине. В результате уже в 1948 г. производство в стране превзошло довоенный уровень (выплавлено 18,6 млн т). В 1955 г. в СССР было выплавлено уже более 45 млн т стали. В 1966 г. черная металлургия СССР достигла знаменательного рубежа: выплавка стали превысила 100 млн т. Таким образом, за 10 лет, с 1957 по 1967 г., металлурги СССР сумели удвоить производство стали. В 1971 г. СССР по выплавке стали вышел на первое место в мире. В 1986 г. производство стали в СССР превысило 160 млн т. В 1990 г. производство стали в СССР составило 154,4 млн т, в том числе предприятиями, расположенными на территории РСФСР, было произведено 89,6 млн т стали.

До 1991 г. металлургическое производство Российской Федерации являлось составной частью единого производственного комплекса Союза ССР. После выделения из состава СССР отдельных союзных республик сырьевое обеспечение металлургического производства России нарушилось. Так, например, богатые марганцевые руды и заводы, производящие марганецсодержащие сплавы, остались на Украине и в Грузии. Производство титана осталось на Украине, месторождения хромистых руд — в Казахстане и т. д. За прошедшие годы многие связанные с этим проблемы решены.

## ЭВОЛЮЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ

Исторически развитие металлургии тесно связано с механическим прогрессом в целом. История массового производства стали начинается в XIX в. Именно во второй половине XIX в. были созданы процессы и агрегаты для производства стали, которые легли в основу сталеплавильного производства и используются по сей день.

Основные циклы развития отрасли представлены в таблице 4 и на рисунке 5.

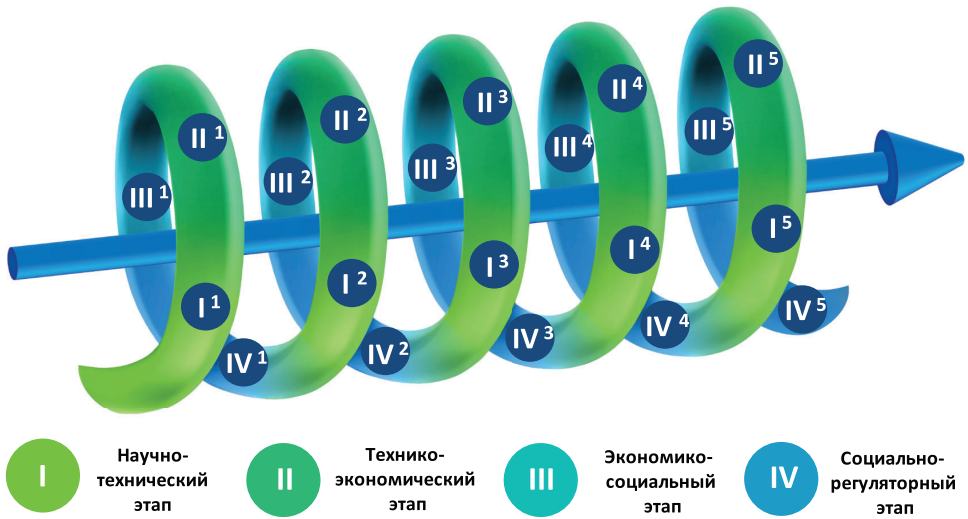
**Первый цикл** — прямое получение железа из руды. Получение железа непосредственно из руды — наиболее древний способ производства железа. В глубокой древности железо получали путем его восстановления из руды в примитивных горнах. Поскольку в этом процессе использовалось «сырое» дутье (неподогретый воздух), способ получил название «сыродутный».

Сущность сыродутного способа получения железа заключается в следующем: в горн загружают древесный уголь и железную руду, уголь разжигают и начинают подавать дутье; по мере сгорания и «оседания» угля руда опускается, подвергаясь непрерывному контакту с восстановительными газами и раскаленным углем и постепенно при этом восстанавливаясь.

Расчетная температура горения угля в холодном воздухе с нормальной влажностью — около 1400°С. С учетом неизбежных потерь тепла предположительно температура процесса составляет 1300–1350°С, а при таких температурах шлак образуется в жидком виде. Шлак в основном должен состоять из оксидов железа (значительная часть железа руды переходила в шлак и терялась с ним).

Таблица 4. Характеристика технологических этапов развития производства чугуна и стали

| Цикл   | Научно-технический этап                                   | Технико-экономический этап  | Экономико-социальный этап  | Социально-регуляторный этап  |
|--|---|---|--|--|
| <b>Первый цикл</b><br>(прямое получение железа из руды)      | Прямое получение железа — сыродутный процесс              | Развитие технологии сыродутного производства                                | Рост потребления железа в различных отраслях                                   | Высокая трудоемкость, малая производительность, большой расход топлива, значительные потери железа со шлаком |
| <b>Второй цикл</b><br>(получение кричного железа из чугуна)  | Вытеснение сыродутного процесса из производства           | Получение сначала чугуна, а потом из чугуна низкоуглеродистого металла      | Активное развитие промышленности   | Низкая производительность, дороговизна кричного передела, массовое уничтожение лесов                         |
| <b>Третий цикл</b><br>(получение стали в пудлинговой печи)   | Поиск более производительного способа получения железа    | Получение стали окислительным плавлением чугуна на подду отражательной печи | Усовершенствование пудлинговых печей   | Низкая производительность, невозможность получения литой стали   |
| <b>Четвертый цикл</b><br>(получение жидкой (литой) стали)    | Вытеснение технологии получения стали в пудлинговых печах | Получение литой стали конверторным, мартеновским способом                   | Получение стали кислородно-конверторным и электроплавильным способом           | Ужесточение природоохранного законодательства, отказ от неэкологических технологий                           |
| <b>Пятый цикл</b><br>(переход на непрерывную разливку стали) | Развитие внепечной, вторичной или ковшевой металлургии    | Повышение чистоты разливаемой стали с помощью внепечной обработки           | Повышению качества и однородности (стандартности) продукции, ресурсосбережение | Ужесточения природоохранного законодательства, отказ от неэкологических и ресурсо-неэффективных технологий   |



- I** Научно-технический этап      **II** Техничко-экономический этап      **III** Экономико-социальный этап      **IV** Социально-регуляторный этап
- I<sup>1</sup>** – прямое получение железа – сыродутный процесс
  - II<sup>1</sup>** – развитие технологии сыродутного производства
  - III<sup>1</sup>** – рост потребления железа в различных отраслях
  - IV<sup>1</sup>** – высокая трудоемкость, малая производительность, большой расход топлива, значительные потери железа со шлаком
  - I<sup>2</sup>** – вытеснение сыродутного процесса из производства
  - II<sup>2</sup>** – получение сначала чугуна, а потом из чугуна низкоуглеродистого металла
  - III<sup>2</sup>** – активное развитие промышленности
  - IV<sup>2</sup>** – низкая производительность, дороговизна кричного передела, массовое уничтожение лесов
  - I<sup>3</sup>** – поиск более производительного способа получения железа
  - II<sup>3</sup>** – получение стали окислительным плавлением чугуна на поду отражательной печи
  - III<sup>3</sup>** – усовершенствование пудлинговых печей
  - IV<sup>3</sup>** – низкая производительность, невозможность получения литой стали
  - I<sup>4</sup>** – вытеснение технологии получения стали в пудлинговых печах
  - II<sup>4</sup>** – получение литой стали конверторным, мартеновским способом
  - III<sup>4</sup>** – получение стали кислородно-конверторным и электроплавильным способом
  - IV<sup>4</sup>** – ужесточения природоохранного законодательства, отказ от неэкологических технологий
  - I<sup>5</sup>** – развитие внепечной, вторичной или ковшевой металлургии
  - II<sup>5</sup>** – повышение чистоты разливаемой стали с помощью внепечной обработки
  - III<sup>5</sup>** – повышению качества и однородности (стандартности) продукции, ресурсосбережение
  - IV<sup>5</sup>** – ужесточения природоохранного законодательства, отказ от неэкологических и ресурсоэффективных технологий

Рис. 5. Эволюция технологий производства чугуна и стали

В результате процесса получали раскисленный ком (крицу) восстановленного железа (с прожилками шлака), который вытаскивали из горна и обрабатывали под молотами, уплотняя крицу и выдавливая из нее шлак. Состав металла в этом процессе зависит от состава пустой породы руды, температуры процесса и продолжительности пребывания крицы в горне.

Существовало много разновидностей сыродутного процесса, причем в некоторых установках получали за одну операцию, длившуюся 6–7 ч, до 200 кг железа. Такие недостатки сыродутного производства, как малая производительность, большой расход топлива, значительные потери железа со шлаком, высокая трудоемкость процесса и низкое качество металла, определили повсеместное его вытеснение.

**Второй цикл** — получение кричного железа из чугуна. По мере усовершенствования сыродутного процесса горны строили все большей вместимости, более высокими, подачу дутья интенсифицировали; это привело к повышению температуры в горне и к более продолжительному пребыванию шихтовых материалов в зоне высоких температур. В результате в ряде случаев происходило заметное науглероживание железа, и продуктом процесса оказывалось не низкоуглеродистое железо, а высокоуглеродистое, то есть чугун. Чугун не обладает пластическими свойствами (не куется, не сгибается и т. п.); часто его считали нежелательным продуктом и выбрасывали. Однако было замечено, что при загрузке в горн чугуна вместо железной руды или при продолжении операции из оставленной в горне высокоуглеродистой крицы также получается низкоуглеродистая железная крица. Такой двухстадийный процесс (вначале выплавка чугуна, а потом получение из чугуна низкоуглеродистого металла) как более производительный привел к возникновению более совершенного способа производства железа, получившего название *кричный процесс*. Дата появления кричного процесса, так же как и сыродутного, не известна, но уже в XII–XIII вв. кричный способ был распространен.

Куски (болванки) чугуна называют чушками («чушка» по-русски — это молодая свинья); чушка чугуна по-английски *pig-iron* — свиное железо (*pig* — свинья).

Таким образом, сущность кричного способа переработки чугуна в железо и сталь заключается в расплавлении чугуна в горне на древесном угле и окислении углерода, кремния, марганца и других примесей чугуна кислородом дутья и действием шлаков, богатых оксидами железа.

Выложенный огнеупорными материалами или водоохлаждаемыми чугунными плитами горн наполняют древесным углем, разжигают его и подают дутье. После того как уголь хорошо разгорится, присаживают чугун и богатые оксидами железа шлаки, окалину, железную руду. Чугун помещают обычно на уровне фурмы или несколько выше ее, где он постепенно плавится и в виде капель стекает вниз. Одновременно под действием кислорода воздуха дутья и оксидов железа шлака происходит выгорание примесей чугуна.

По мере выгорания примесей чугуна (в частности, углерода) повышается температура его плавления. Напомним, что температура плавления чугуна 1150–1200°С, низкоуглеродистого железа несколько выше — 1500°С. Температура в горне достигает 1300–1400°С, то есть достаточна для расплавления чугуна, но недостаточна для поддержания в жидком виде образующегося низкоуглеродистого сплава. В результате по мере выгорания примесей металл становится все более тугоплавким и все более вязким. Наступает момент, когда

на дне горна образуется зернистая тестообразная железистая масса, которую собирают в один общий ком (крицу), достают из горна и обжимают под молотом, чтобы удалить из металла шлак и получить возможно более плотный и однородный кусок железа.

В связи с тем, что горючие материалы, применяющиеся в кричном производстве, находятся в непосредственном контакте с металлом, они должны быть чистыми от золы и вредных примесей (главным образом от серы). Таким требованиям лучше всего удовлетворяет древесный уголь.

Сера во время процесса выгорает в незначительной степени; фосфор удаётся удалить на 50–60 %, чему способствуют умеренная температура процесса и высокое (иногда > 90 %) содержание оксидов железа в шлаке. Готовая крица обычно содержит, %: 0,03–0,05 С, 0,01–0,02 Si, до 0,08 Mn, 0,01–0,04 P, 0,004–0,006 S.

Сравнительно высокопроизводительные (по тем временам) относительно высокие печи-горны, начиная с XIII в., были распространены по всей Европе. На территории России известна местность (в старину называвшаяся Железным полем), где расположен город Устюжна (Вологодская обл.). В XIII в. местность называлась Железный Устюг. К началу XVII в. там производили ежегодно около 1 тыс. т железных изделий.

Высокопроизводительные печи-горны в России назывались *домницами*, в Англии — *high blometry furnace* (большая кричная печь), в Германии — *Stuckofen* (от *Stuck* — кусок, крица, *Ofen* — печь), или *Wolfofen* (волчья печь), во Франции — *fourneau a loupe* (волчья печь).

Так же как и сыродутный, кричный способ производства имел ряд существенных недостатков: низкая производительность, высокий угар железа (до 20 %), значительный расход топлива (древесного угля), большая трудоемкость процесса и др. В результате в конце XIX — начале XX в. кричный процесс исчез.

**Третий цикл** — получение стали в пудлинговой печи. Низкая производительность и дороговизна кричного передела, а также массовое уничтожение лесов вокруг промышленных центров, вызванное необходимостью получения больших количеств древесного угля, — причины, способствующие поиску более производительного способа железа, причем такого, при котором можно было заменить чистый древесный уголь другим, более дешевым и менее дефицитным, топливом. В 1784 г. англичанин Г. Корт предложил получать сталь окислительным плавлением чугуна на поду отражательной печи — способ, позволяющий сжигать в топке печи любое горючее (топка была отделена от ванны металла). Печь получила название *пудлинговой* от англ. *to puddle* — месить, перемешивать. Чистота горючего уже не играет такой роли, как при кричном переделе, так как непосредственный контакт горючего с металлом отсутствует.

Садка типичной пудлинговой печи 250–500 кг (иногда выше — до 1 т). Слой расплавленного чугуна 25–35 мм. Длина рабочего пространства 1,5–1,8 м,

ширина — не более 1,5 м (при большей ширине трудно перемешивать металл в печи). Высота от чугунной доски, на которую набивался материал пода, до свода 0,6–0,8 м. Высота трубы 12–16 м. Иногда устанавливали трубы высотой до 50 м, которые обслуживали несколько печей.

С 1830 г. по предложению англичанина Галла подины пудлинговых печей стали делать из материалов, богатых оксидами железа: богатой железной руды, окалины (подины первых печей делали из песка). Операция пудлингования сводится к следующему: после необходимого по окончании предыдущей операции исправления пода на него загружают предварительно подогретый чугун. Расплавление чугуна сопровождается окислением его примесей. За периодом расплавления следует так называемое «вымешивание»: температуру на короткий промежуток времени несколько снижают (чтобы добиться более полного контакта металла со шлаком), и рабочие пудлингеры перемешивают металл и шлак клюкой (или ломami). Источниками образующегося шлака являются: подина, специально добавляемая окалина, железная руда, а также железо и примеси чугуна, окисляемые в атмосфере печи.

По мере выгорания примесей и снижения содержания углерода температура плавления  $t_{пл}$  сплава данного состава возрастает. Наступает момент, когда  $t_{пл}$  оказывается равной температуре в печи  $t_{п}$ . Дальнейшее возрастание  $t_{пл}$  приводит к тому, что из расплава начинают выпадать кристаллы наиболее чистого железа с высокой температурой плавления. Этот процесс называется избирательным вымораживанием.

Когда завершается обезуглероживание металла, приступают к «накатке» криц (комьями по 30–50 кг, чтобы их можно было перемещать вручную). Крицы вынимают из печи и отправляют под молот.

Так же как и в кричном переделе, в пудлинговом процессе из металла в шлак удаляются значительная часть фосфора (до 50–80 %) и некоторое количество серы. Для получения готового продукта однородного состава применяется многократная прокатка криц в пакетах. Например, на уральских заводах России состав низкоуглеродистого железа, получаемого в пудлинговых печах, был следующим, %: 0,1–0,2 C, 0,05–0,10 Si,  $\approx 0,1$  Mn,  $\approx 0,01$  P и 0,004 S, то есть получали очень чистый металл.

На долю шлаковых включений в зависимости от методов работы приходится от 0,2 до 1,0 %.

Усовершенствованные регенеративные пудлинговые печи со сдвоенным рабочим пространством позволяли получать в сутки около 15 т металла; при этом расходовалось около 9 т угля. В начале XX в. стоимость пудлингового железа ненамного превышала стоимость мартеновской стали. Так, в 1908 г. в России пуд кричного железа стоил 94 коп., пудлингового — 80 коп., мартеновского — 75 коп.

К недостаткам пудлингового процесса относятся: высокий расход топлива, низкая производительность, невозможность получения литой стали. Несмотря на большие инженерные усилия с целью повышения производительности и уменьшения трудоемкости пудлингового процесса (применение

регенеративных печей, печей с вращающимся вокруг вертикальной или горизонтальной оси рабочим пространством, работа на жидком чугуна и т. п.), этот процесс не выдержал конкуренции с появившимся конвертерным, а затем мартеновским производством.

Одним из существенных недостатков и кричного, и пудлингового процесса является невозможность получения плотной литой отливки из стали, так как и в кричных горнах, и в пудлинговых печах температура оказывалась недостаточной для расплавления металла. Получаемые крицы представляли собой комья сварившихся между собой зерен металла. Окончательная сварка зерен проходила при последующих нагревах и обработке металла давлением. Поэтому продукты кричного и пудлингового процессов в технической литературе часто объединяют одним термином — «сварочное железо».

В нашей стране пудлингование исчезло в 30-х гг. XX в. Но из-за особых качеств пудлингового металла этот процесс еще долго сохранялся в таких промышленно развитых странах, как Англия, Швеция, США.

Особые свойства сварочного железа обусловлены способом его получения. Этот продукт получается в процессе окисления примесей чугуна и выпадения образовавшихся частиц тугоплавкого чистого металла из раствора («вымораживания»). Растворимость газов в твердом металле значительно ниже, чем в жидком, поэтому выпадающие из раствора зерна металла практически не содержат газов. Кроме того, шлаковые включения, которые в значительном количестве остаются в кричном металле, представляют собой крупные включения, расположенные между кристаллами чистого металла, в отличие от микроскопических включений, встречающихся в больших количествах в литой стали, выплавляемой современными способами (такие включения часто имеют остроугольную форму и являются концентраторами напряжений). Коагулированные шлаковые включения, пронизывающие металл, несколько снижают его механические характеристики (например, сопротивление разрыву), но, препятствуя распространению процесса коррозии, развитию внутренних трещин в металле, способствуют повышению сопротивления металла ударной нагрузке и усталости и тем самым содействуют гашению вибраций, развивающихся в металле различных конструкций, подвергающихся ударным воздействиям, и т. п. Определенное значение имеет и многократная обработка давлением полученного из кричного металла продукта (обычно листового проката). Кричный металл хорошо сваривается; в нем мало и таких вредных примесей, как сера (благодаря чистоте шихтовых материалов) и фосфор (в результате энергичного окисления фосфора по ходу процесса). Благодаря этим особым свойствам сварочное железо продолжало пользоваться определенным спросом. Из него изготавливали полосы для сварных труб, листы для строительства подводных частей мостов и портовых сооружений, стальные болты, цилиндры паровых машин, изделия для свайных и кессонных работ, цепи ответственного назначения, цельнотянутые трубы и т. п. По некоторым данным, знаменитые дамасские стали производили из первородной шихты способами производства сварочного железа.



**Четвертый цикл** — получение жидкой (литой) стали. Все перечисленные выше способы производства стали малопроизводительны. Бурное развитие промышленности и железнодорожного транспорта в середине XIX в. сдерживалось отсутствием высокопроизводительных и дешевых способов производства стали. Ответом на эти требования жизни явились разработка и широкое распространение двух новых способов производства: конвертерного и мартеновского.

Простой и дешевый способ получения литой стали в больших количествах путем продувки жидкого чугуна воздухом был предложен в 1855 г. английским механиком Генри Бессемером. Продувку чугуна вели в специальном агрегате — конвертере с кислой футеровкой. *Способ* получил название *конвертерного (бессемеровского)*.

Г. Бессемеру удалось предложить простую и удобную форму агрегата. За прошедшие полтора столетия сам процесс плавки существенно изменился, но конструкция агрегата осталась в принципе без изменения.

В 1878–1879 гг. англичанином Томасом был разработан вариант конвертерного процесса, при котором футеровку конвертера выполняли из доломита — материала, обладающего основными свойствами. Этот процесс получил название *томасовского* или «*основного конвертерного*», или «*основного бессемеровского*». В томасовском конвертере можно было наводить основной шлак.

В бессемеровском и томасовском процессах продувку жидкого чугуна в конвертере осуществляли воздухом. Выделяемого при этом тепла экзотермических реакций хватало только на нагрев залитого в конвертер металла (температура заливаемого в конвертер чугуна 1200–1300°С; температура получаемой стали должна быть около 1600°С). Возможностей переплава в конвертерах с воздушным дутьем шихты, в состав которой входил бы металлический лом, не было.

В 1865 г. во Франции Эмиль и Пьер Мартены успешно осуществили выплавку стали из чугуна и железного лома в *регенеративных пламенных печах*. Получение в пламенных печах высокой температуры, достаточной для расплавления твердой шихты и получения стали, стало возможным благодаря подаче в печь подогретых газа и воздуха. Принцип использования тепла отходящих газов для подогрева топлива и воздуха в регенераторах промышленных печей впервые был реализован в 1856 г. братьями Сименсами, инженерами немецкого происхождения. Поэтому в ряде стран (прежде всего в Германии, а до революции 1917 г. и в России) процесс называли «*сименс-мартеновским*». Во Франции и в СССР он получил распространение под названием *мартеновского*. В англоязычной специальной литературе процесс называют *open hearth process* (процесс на открытом поду), или сокращенно *ОН-process*.

Конвертерный и мартеновский способы явились базой, обеспечившей бурный рост индустриальной мощи промышленно развитых стран. Менее чем за 100 лет мировое производство стали выросло более чем в 1000 раз (с 330 тыс. т в 1868 г. до 346 млн т в 1960 г.).

Во второй половине XIX в. появились предложения по использованию для плавки стали электрической энергии. В конце XIX — начале XX в. были созданы и начали работать электропечи различных конструкций. Началом эпохи развития электрометаллургии принято считать разработку в 1899 г. французским

инженером П. Эру (Геру) проекта небольшой дуговой печи для плавки стали. Первые такие печи были маломощными и могли работать только на расплавленной шихте. Изобретение нашим соотечественником М. О. Доливо-Добровольским трехфазного переменного тока сделало возможным строительство трехфазных печей (вначале в США и России, затем в Германии, Франции и других странах).

Недостаток и дороговизна электроэнергии сдерживали развитие электрометаллургии. В течение длительного времени электропечи использовались главным образом для производства высококачественных высоколегированных марок стали. В настоящее время ситуация изменилась коренным образом: появилась возможность использовать печи большой емкости; мощность трансформаторов увеличилась до 800–1000 кВА/т стали; соответственно изменились конструкции печей и технологии выплавки стали.

В настоящее время около 1/3 мировой выплавки стали приходится на сталь из дуговых электропечей, около 2/3 мировой выплавки стали — это конвертерная сталь.

**Пятый цикл** — переход на непрерывную разливку стали. Переход на непрерывную разливку металлов начался примерно 50–60 лет назад с разработки технологий непрерывного литья сравнительно легкоплавких алюминиевых и магниевых сплавов. Достигнутые в этом деле успехи помогли отработать методы непрерывной разливки стали и конструировать соответствующее оборудование. В результате в конце XX в. основная масса выплавляемой в мире стали разливалась не в изложницы, а на установках непрерывной разливки.

Созданы установки, на которых получают стальные заготовки с профилем, близким к окончательному; установки, непосредственно сопряженные с прокатными станами.

Переход на непрерывную разливку не только позволил отказаться от строительства цехов блюминга, слябинга, дворов изложниц и т. д., но существенно изменил коэффициенты расхода металлошихты на 1 т годного: они стали ниже на 10–20%. Другими словами, при том же расходе материалов заметно увеличилась масса реально используемого металла. Переход на непрерывную разливку сделал также ненужным производство изложниц, прибыльных надставок, центровых, поддонов и прочего оборудования, необходимого ранее при разливке стали в изложницы.

В то же время при переходе на непрерывную разливку потребовалось существенно повысить чистоту разливаемой стали, и возникла проблема совершенствования контроля за ее качеством. В результате вся сталь, поступающая на установки непрерывной разливки, подвергается дополнительной внепечной обработке.

Опыт многих производств показал, что замена периодического процесса непрерывным способствует повышению производительности, снижению эксплуатационных затрат, повышению качества и однородности (стандартности) продукции, ресурсосбережению, более эффективному использованию шихтовых и добавочных материалов. Применительно к созданию сталеплавильных

агрегатов непрерывного действия оптимальных решений еще не найдено, однако проведены и проводятся эксперименты, успешно решаются многочисленные проблемы, связанные с повышением стойкости огнеупоров, многократным использованием шлака, организацией непрерывного контроля процесса плавки и методов непрерывной загрузки шихты и т. д.

В последние годы осуществляли на практике ряд разновидностей процесса получения железа непосредственно из руды, но более совершенного по сравнению с древним сыродутным способом.

Получаемый продукт называют по-разному: продуктом прямого восстановления, металлизированным продуктом, губчатым железом и др. Сам способ получения этого продукта – процессом прямого восстановления или процессом металлизации. При этом под степенью металлизации обычно понимают процент восстановления железа, содержащегося в сырье.

## ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ

### Жизненный цикл стали

В мире, который все больше склоняется к устойчивому развитию и экологически чистым производственным процессам, сталь имеет уникальное преимущество. Сталь не только является одним из важнейших факторов экономического и инфраструктурного роста, но также является одним из наиболее пригодных для вторичной переработки материалов в мире. Бесконечный жизненный цикл стали свидетельствует о полном объеме этого свойства (рис. 6).



Рис. 6. Жизненный цикл стали

Отметим, что процесс вторичной переработки никоим образом не влияет на качество стали. Фактически это означает, что переработка воспроизводит новую сталь из старой, но не снижает эффективность нового продукта. Это также означает, что старую сталь можно многократно использовать для производства новой стали без вредного воздействия на окружающую среду. Чтобы понять этот увлекательный процесс, подробнее рассмотрим жизненный цикл стали.

Сталь на 98–99% состоит из железа. Углерод добавляется в железо для увеличения прочности и долговечности металла. Это означает, что жизненный цикл стали начинается с получения сырья через добычу железной руды. Однако предприятия по производству стали получают свои ресурсы из множества различных источников. Помимо первичных ресурсов, полученных из железной руды, сталь, направляемая на переработку, также используется для производства новой стали.

Сталь, полученная на заводе, отправляется на производственные предприятия, которые превращают ее в готовую продукцию, такую как строительные материалы, автомобильные детали и др. Постпроизводственный лом возвращается на сталелитейные заводы для использования в качестве сырья. Помимо этого, сталь восстанавливается из старых и устаревших автомобилей, разрушенных строительных площадок и т. п. Стальной лом, собранный таким образом из всех этих источников, также отправляется обратно на сталелитейные заводы для вторичной переработки.

### Описание технологических процессов, применяемых для производства чугуна и стали

Металлургическая промышленность (производство чугуна, стали и ферросплавов) включает следующие мощности:

- агломерационные производства (для окускования мелкодисперсного железорудного сырья);
- производство металлургического кокса;
- цехи по выплавке чугуна;
- производства по выплавке стали (мартеновским, конвертерным или электросталеплавильным способом);
- вспомогательные цехи и производства (по производству ферросплавов, переработке шлаков, производству электрической энергии, обработке сточных вод и др.).

Основные металлургические процессы и их взаимосвязи показаны на рисунке 7 (слева — сырье, справа — продукты производства).

#### *Агломерация*

Агломерация — это один из методов окускования, то есть превращение мелких руд и концентратов в кусковый материал — агломерат, применение которого улучшает ход металлургических процессов при производстве различных металлов из руд. В шихте доменных печей доля агломерата составляет около 60%.

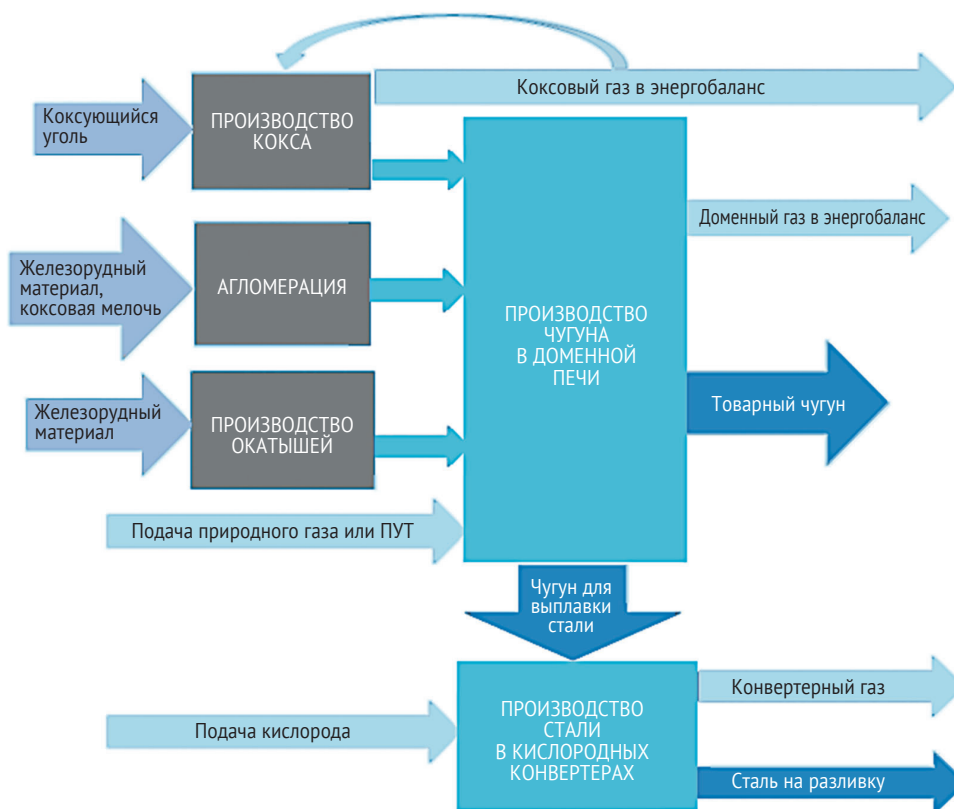


Рис. 7. Основные металлургические процессы и их взаимосвязи (ПУТ — пылеугольное топливо)

Агломерат производят методом спекания железорудной шихты на ленточных машинах непрерывного действия — агломашинах. На предприятиях черной металлургии России работает 45 агломерационных машин, которые производят около 40 млн т агломерата в год.

В зависимости от требований доменной плавки производят различные виды агломерата: нефлюсованный с естественной основностью, офлюсованный с основностью 1,0–1,2 по  $\text{CaO/SiO}_2$ , высокоофлюсованный с основностью 1,4–1,8, железофлюс с основностью 3,0–5,0, промывочный агломерат с основностью 0,4–0,7, марганцевый агломерат с основностью 1,2–1,8.

Основным сырьем для получения агломерата являются железные руды различных месторождений в виде агломерационной руды. Кроме рудного сырья в агломерационную шихту добавляют оборотный возврат агломерата, различные добавки — окалину прокатных цехов, колошниковую пыль доменных печей, уловленную в циклонах или электрофильтрах сухую пыль, обезвоженные и высушенные шламы мокрой газоочистки и пр. Приход вредных веществ в аглошихту, например  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{ZnO}$  и  $\text{R}_2\text{O}$ , контролируют (где  $\text{R}$  — щелочные металлы: Na, K).

При производстве офлюсованного агломерата необходимым компонентом являются флюсы — известняк и доломит — для обеспечения необходимого химического состава шлака в доменной печи. Основным видом твердого топлива при спекании агломерационной шихты служит коксовая мелочь. Возможно применение заменителей — антрацита и тощих углей с небольшим количеством летучих веществ.

Мелкие руды, тонкоизмельченные концентраты, железосодержащие отходы производства поступают на накопительный или усреднительный склад агломерационного производства. В зимнее время смерзшиеся материалы предварительно размораживают в специальном гараже размораживания. Кусковые флюсы, известняк и доломит, измельчают, как правило, в молотковых или роторных дробилках, иногда в стержневых мельницах до крупности 0–3 мм. Твердое топливо дробят в четырех валковых дробилках также до крупности 0–3 мм. Все шихтовые компоненты поступают в бункеры шихтового отделения, где их в нужном соотношении весодозаторами дозируют на сборный ленточный конвейер.

Далее шихта направляется в смеситель барабанного типа для первичного смешивания, куда также дозируют горячий возврат для подогрева шихты, если работают по схеме с его выделением. Для устранения зоны переувлажнения при спекании шихту в барабане-окомкователе нагревают острым паром или сжиганием газа до температуры 55–65°С. После окомкования (грануляции) шихты во вторичных смесительных барабанах-окомкователях ее укладывают на спекательные тележки-паллеты слоем высотой от 200 до 650 мм в зависимости от качества окомкования, конструкции машины и состояния оборудования — газоотводящего тракта и эксгаустера. Полученный пирог спеченного агломерата дробят, охлаждают, отсеивают от него фракцию менее 5 мм. Для постели выделяют фракцию 8–15 мм. При работе с горячим возвратом фракцию с частицами неспекшейся шихты и кусочками агломерата менее 5 мм выделяют на грохотах после валковой дробилки горячего агломерата перед охладителем. Годный агломерат размером более 5 мм отправляют в доменный цех.

Основные требования к качеству агломерата:

- прочность на удар и истирание;
- минимальное количество фракции менее 5 мм;
- стабильность гранулометрического состава;
- стабильность химического состава, в том числе по содержанию FeO.

Содержание железа и основность агломерата по  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$  или по  $(\text{CaO} + \text{MgO})/\text{SiO}_2$  на предприятиях регламентируют в зависимости от химического состава поступающего сырья на агломерационное производство, а также от состава всех компонентов доменной шихты. Основность агломерата устанавливают такой, чтобы основность конечного доменного шлака обеспечивала удовлетворительную его жидкотекучесть при выпуске продуктов плавки из печи, а также требуемое содержание серы в чугуне<sup>7</sup>.

<sup>7</sup> Производство чугуна, стали и ферросплавов...

### Производство кокса

Кокс представляет собой спекшуюся углеродную массу; содержание углерода 82–89%, зольность 10–12%. Кокс является основным восстановительным агентом, опорным материалом и фильтрующей матрицей в доменной печи, применяется в производстве ферросплавов, производстве электродов в цветной металлургии, в химической промышленности.

Кокс получают в процессе пиролиза угля, который заключается в нагреве угля без доступа воздуха. При нагреве угля образуются газы, жидкие вещества и твердый остаток, представляющий собой кокс. Пиролиз угля при высоких температурах называют коксованием (карбонизацией). В отопительных простенках коксовой батареи между печными камерами сгорает газовое топливо. Температура дымовых газов составляет 1150–1350°С, что обеспечивает не прямой нагрев угля до температуры 1000–1100°С. В течение 14–24 ч в результате нагрева получают кокс, используемый в доменном, литейном и других производствах.

Образующийся при работе печей коксовый газ подвергают охлаждению и очистке от смолистых веществ и бензольных углеводородов. Эти процессы сопровождаются улавливанием и получением ценных химических продуктов.

Традиционный способ производства кокса в камерных печах, объединенных в коксовые батареи, остается единственным. Изменяются лишь масштабы печей, и применяются некоторые усовершенствования оборудования, включая установки для защиты окружающей среды от загрязнения. Разрабатываются новые технологии, в первую очередь — непрерывного и непрерывно-периодического коксования в кольцевых, шахтных печах и печах с наклонным подом. Эти технологии прошли опытно-промышленную проверку, но до настоящего времени в промышленных масштабах не используются.

Принципиальная схема производства кокса приведена на рисунке 8.

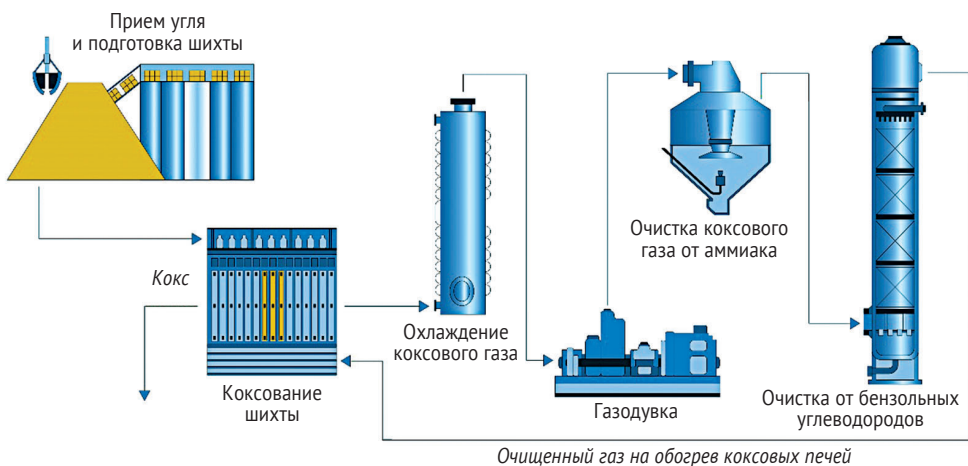


Рис. 8. Принципиальная схема производства кокса

Процесс производства кокса включает в себя следующие технологические операции:

- загрузка камер коксования угольной шихтой;
- нагрев угольной шихты без доступа воздуха до заданных температур за установленный период времени в коксовых печах;
- отвод и охлаждение прямого коксового газа из камер коксования;
- выдача готового кокса из печей;
- тушение кокса;
- сортировка кокса на фракции;
- транспортировка коксовой продукции в доменный цех или отгрузка кокса потребителям.

В процессе производства кокса в печах все технологические операции повторяются в течение всего времени работы цеха, причем выдача кокса и загрузка печей ведется по циклическому графику. Циклический график выдачи кокса из печей разделяет оборот печей в блоке из двух батарей на две части: рабочую и ремонтную. В течение рабочей части цикла производится выдача кокса из всех камер блока двух батарей. В ремонтной части цикла ведутся ремонты путей коксовых печей, троллей, тушильных башен и другого оборудования; проводится уборка путей тушильного вагона и коксовыталикателя.

Промежуток времени от загрузки печи до выдачи кокса называют периодом коксования. Период коксования с прибавкой времени на операции по загрузке шихты и выдаче кокса называют временем оборота печей или оборотом печей.

В состав коксовых цехов входят коксовые батареи со вспомогательными и обслуживающими устройствами и сооружениями, обычно объединенные в блоки из двух батарей; угольные башни; коксовые машины; тушильные башни для мокрого тушения кокса с насосами и отстойниками; коксовые рампы с транспортерами для подачи кокса на сортировку; коксортировка с устройствами для рассева кокса, подачи его в доменный цех или в железнодорожные вагоны с бункерами для промежуточного накопления. Назначение коксовых цехов — производство из угольной шихты кокса и коксового газа установленного качества.

### ***Производство чугуна***

Чугунами принято называть сплавы железа с углеродом ( $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ ) с содержанием углерода свыше 2,14%. Наименьшую температуру плавления (1148°С) имеет сплав без примесей с содержанием углерода 4,38% (эвтектический). В доменных печах в наибольшем количестве выплавляют чугун «передельный», предназначенный для передела в сталь или для переплавки в чугунолитейных цехах для производства различных отливок. Передельный чугун в зависимости от назначения выпускается трех видов:

- передельный коксовый для сталеплавильного производства марок П1 и П2 и для литейного производства марок ПЛ1 и ПЛ2;
- передельный коксовый фосфористый марок ПФ1, ПФ2 и ПФ3;
- передельный коксовый высококачественный марок ПВК1, ПВК2 и ПВК3.



Химические составы данных видов чугуна должны соответствовать техническим условиям ГОСТ 805-95 «Чугун переделный», который устанавливает марки, группы, классы и категории в зависимости от содержания кремния, марганца, фосфора и серы. По требованию потребителей к химическому составу переделного чугуна могут предъявляться дополнительные требования по содержанию углерода, меди, хрома и др., например, содержание кремния в чугуне марки П1 должно быть свыше 0,5% и до 0,9% включительно, в марке П2 — до 0,5%, в марке ПЛ1 — свыше 0,9% и до 1,2%, в марке ПЛ2 — свыше 0,5 и до 0,9% включительно.

Кроме переделного чугуна в доменных печах выплавляют различные виды и марки литейных чугунов:

- литейный коксовый марок ЛК1, ЛК2, ЛК3, ЛК4, ЛК5, ЛК6, ЛК7;
- литейные легированные чугуны с повышенным содержанием некоторых металлов — хромоникелевые, титанистые, титаномедистые, ванадиевые.

Примерный химический состав чугуна: Si — 0,80%; Mn — 0,40%; S — 0,60%; Ti — 0,10%; P — 0,08%; Cr — 0,05%; C — 4,64%.

Переделный чугун с содержанием кремния 0,4–1,2% используют для выплавки стали, а литейный с кремнием свыше 1,2% поставляют на машиностроительные предприятия. При выплавке ванадийсодержащего чугуна на титаномагнетитовой шихте содержание кремния стараются держать около 0,2–0,3% для ограничения восстановления титана в чугуне. При азотсодержащем воздушном дутье образуются очень мелкие карбиды и нитриды титана, называемые гренали, которые не растворяются в чугуне и скапливаются между чугуном и шлаком, затрудняя отработку шлака на выпуске чугуна.

Вредными примесями в чугуне считаются фосфор и сера, причем при доменной восстановительной плавке удалить фосфор из чугуна невозможно. Серу удаляют увеличением основности конечного шлака. Способствует удалению серы повышение содержания кремния в чугуне.

Шлак используют для производства строительных материалов и шлакопортландцемента. Побочной продукцией является колошниковый газ, который применяется для нагрева дутья в воздухонагревателях, основная часть которого подается в газовую сеть предприятия. Отходами производства являются скрап литейного двора, уловленная в сухом пылеуловителе колошниковая пыль, шламы системы мокрой очистки доменного газа. Пыль, уловленная в системе мокрой газоочистки, подается в виде шлама в специальные бассейны-отстойники, где шлам сгущается и откачивается со дна сгустителя, очищенная вода поступает в оборотный цикл водоснабжения.

Шламы системы мокрой газоочистки доменного процесса содержат повышенное количество цинка и щелочей, поэтому могут иметь ограниченное применение в рециклинге. Как правило, этот шлам выводится из оборота и размещается либо в прудах-отстойниках, либо в шламохранилищах.

Технологический процесс производства чугуна в доменной печи, схематично представленный на рисунке 9, осуществляется в сложном комплексе агрегатов и оборудования, который включает в себя:

- рудный двор с кранами-перегрузчиками для разгрузки и усреднения сырья;

- шихтовое отделение с бункерами для загружаемых в печь материалов;
- воздухонагреватели для нагрева дутья до 1000–1200°С (до 1400°С на воздухонагревателе конструкции Калугина);
- доменную печь с механизмами загрузки сырья и выдачи продуктов плавки;
- системы газоочистки;
- установки обработки шлака (придоменную грануляцию шлака или находящееся в отдалении от доменного цеха отделение по переработке шлака для получения щебня, граншлака или другой продукции);
- разливочные машины для разливки товарного чугуна.

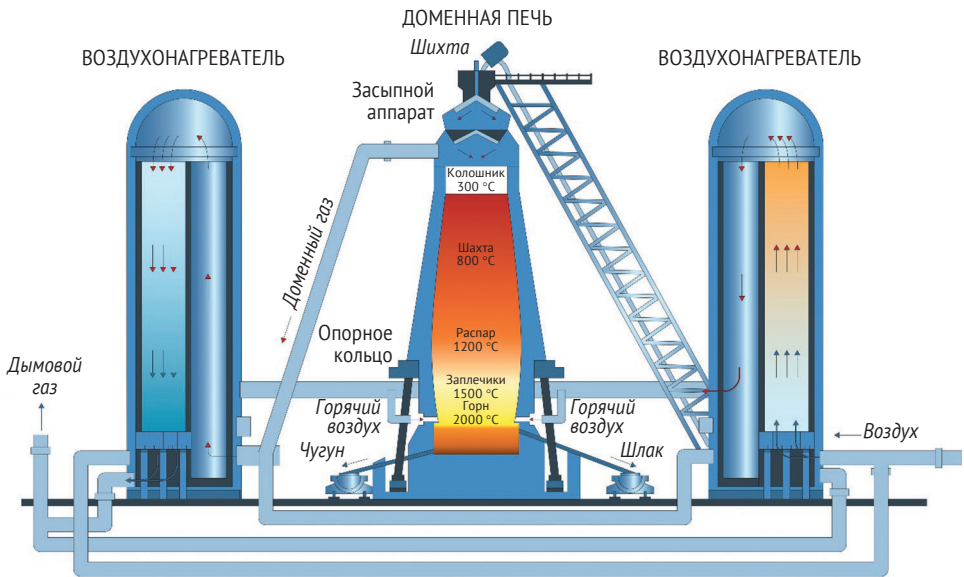
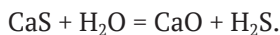


Рис. 9. Технологическая схема производства чугуна в доменной печи

Технологические операции процесса выплавки чугуна (рис. 8), сопряжены с эмиссиями загрязняющих веществ. Использование сухих материалов (кокса, агломерата, окатышей, железных руд, флюсов или их заменителей), обладающих к тому же абразивными свойствами, приводит к выделению пыли в местах перегрузок, при отсеве мелочи на грохотах, при наборе материалов в весовую воронку в шихтовом отделении. При выпуске чугуна происходит активное выделение графитовой спели из чугуна и окисление струи металла. При охлаждении шлака водой из него выделяется  $H_2S$ , образующийся при взаимодействии сульфида кальция шлака с водой или влагой воздуха:



При нагреве дутья в доменных воздухонагревателях образуются дымовые газы с характерным для них составом в виде оксидов азота, оксида углерода, оксида серы.

### **Выплавка стали**

*Подготовка шихтовых материалов.* В настоящее время перечень шихтовых и всевозможных материалов, используемых при выплавке стали в электропечах, весьма широк. Он включает в себя металлический лом, чугун, ферросплавы, шлакообразующие, огнеупоры и ряд других. Препятствием для выплавки отдельных марок стали может являться металлический лом, содержащий медь, олово и другие примеси, доля которого в металлошихте достигает 90–95%. В ряде случаев эта проблема решается разбавлением металлошихты металлизированным сырьем, чугуном, а также другими техническими приемами.

Металлолом в копровом цехе заранее сортируют по весу, по содержанию углерода, наличию легирующих элементов. Металлолом на плавку в дуговую электросталеплавильную печь (ДСП), как правило, подается на платформах в контейнерах или загрузочных корзинах. Немагнитный лом для выплавки легированных марок стали подается в мульдах.

Необходимые для плавки ферросплавы в большинстве случаев поступают в шихтовый пролет в контейнерах или навалом в железнодорожных вагонах. Сыпучие материалы из железнодорожных вагонов разгружают в шихтовом пролете электросталеплавильного цеха (ЭСЦ) в специальные бункеры.

Для выплавки стали требуется большое количество сыпучих, порошкообразных и шлакообразующих материалов: свежееобожженная кусковая известь, плакиковый шпат, шамотный бой, кварцевый песок, боксит, железная руда, кокс, молотый ферросилиций, алюминиевый порошок. Эти материалы перед использованием должны быть просушены и прокалены для удаления гигроскопической и гидратной влаги, влияющей на образование флокенов и волосовин из-за попадания в сталь водорода. Прокаливание ведут в специальных печах или мульдах рядом с дуговой печью. Дробление и подготовку сыпучих и порошкообразных материалов ведут в отдельных, рядом стоящих зданиях.

Шлакообразующие материалы и ферросплавы доставляются в печной пролет из шихтового отделения мостовым краном в мульдах или в саморазгружающихся бадьях, а на ряде заводов — через бункерную эстакаду по системе ленточных конвейеров.

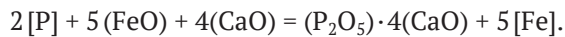
*Подготовка печи.* После каждой плавки подина и откосы печи осматриваются, очищаются перед очередной плавкой и заправляются порошкообразным обожженным магнезитом, а при работе с оставлением части металла от предыдущей плавки — заправляются только откосы. Осуществляется подача к печи электродов и их наращивание.

*Завалка шихты.* Завалка шихты осуществляется в печь при открытом своде бадьями с открывающимся днищем, завалка флюсов и добавок — через бункеры с дозирующими устройствами. Жидкий чугун в печь заливают при помощи специального желоба.

*Плавка.* Плавление шихты ведут на максимальной мощности печного трансформатора с использованием газокислородных горелок. Для ускорения плавления шихты поворачивают корпус печи вокруг оси в одну и другую сторону на 45°. На современных печах повороты не нужны, так как проплавляется один колодец. К окончанию расплавления ванна должна быть покрыта слоем шлака. Шлак периода расплавления имеет состав: 35–45% CaO; 15–25% SiO<sub>2</sub>;

5–10% MnO; 10–12% MgO; 4–7% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 10–15% FeO; до 0,5% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (основность 1,5–2,0). Скачивание и уборка шлака производятся через окно под печь само-теком или специальными скребками.

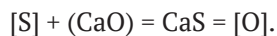
*Окислительный период.* В современных печах при активном использовании кислорода, которое начинается на стадии плавления металлошихты, период расплавления совмещен с окислительным периодом. Основная задача окислительного периода заключается в окончательном удалении фосфора. Начинается этот процесс при расплавлении порядка 70–80% металлошихты при активном сходе шлака. Для создания благоприятных условий дефосфорации необходимо обеспечить требуемую окисленность ванны, которая достигается за счет активной продувки расплава кислородом и снижением содержания углерода в металле до значений 0,10–0,05% и менее. При этом основность шлака должна быть на уровне 2–3. Окисление фосфора протекает по реакции:



Для протекания реакции окисления фосфора необходимы: высокое содержание кислорода в металле и шлаке, повышенное содержание CaO в шлаке и пониженная температура в реакционной зоне. Выполнение этих условий обеспечивают наводкой свежего шлака и постоянным обновлением шлака путем скачивания из печи насыщенного (CaO)<sub>4</sub>·P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> шлака. По ходу окислительного периода происходит дегазация стали — удаление из нее водорода и азота, которые выделяются в пузыри CO, проходящие через металл. Выделение пузырьков CO сопровождается удалением из металла неметаллических включений, которые выносятся на поверхность потоками металла или поднимаются вверх вместе с пузырьками газа. Хорошее кипение ванны обеспечивают перемешивание металла, выравнивание температуры и химического состава.

К концу окислительного периода шлак имеет примерный состав: 40–45% CaO; 10–20% SiO<sub>2</sub>; 10–20% FeO; 5–19% MgO; 2–4% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 0,5–2,0% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (основность 2,5–4,0). Общая продолжительность окислительного периода зависит от мощности трансформатора и продувочных устройств. На лучших печах время выплавки полупродукта составляет 35–50 мин.

*Восстановительный период.* После окислительного периода проводят полное скачивание шлака для удаления из печи фосфора. Далее плавку ведут под восстановительным белым шлаком, содержащим менее 0,5% FeO. В этот период происходит диффузионное раскисление металла, завершается десульфурация до требуемого содержания серы, легирование металла и регулирование его температуры перед выпуском. Десульфурация металла активно проходит в восстановительный период плавки, а также при выпуске стали под слоем шлака, когда происходит хорошее перемешивание металла со шлаком:



Десульфурации способствует хорошее раскисление стали и шлака, значительное содержание извести в шлаке и высокая температура.

В цехах, оборудованных агрегатами «ковш-печь», операции окислительного и восстановительного периодов, раскисления и легирования выполняются в одну стадию.

*Ковшечая металлургия.* Для увеличения производительности дуговых печей, уменьшения угара ферросплавов процессы раскисления, легирования, рафинирования и доводки металла до нужной температуры проводятся не в печи, а в сталеразливочном ковше и/или специальных агрегатах. Применение такой технологии также положительно сказалось на улучшении качества стали и свойствах металлопродукции — механических свойствах, коррозионной стойкости и др. Внепечная обработка стали («ковшечая металлургия») стала широко применяться для любых марок стали. Были разработаны простые (одним методом) и комбинированные способы внепечной обработки стали одновременно несколькими методами:

- в обычном сталеразливочном ковше;
- в сталеразливочном ковше, оборудованном для вдувания газа или газопорошковой струи снизу через смонтированные в днище устройства;
- в установке «ковш-печь» с крышкой (сводом), через которую опущены электроды, нагревающие металл в процессе его обработки (при этом установка оборудована системой подачи ферросплавов из бункеров или микродобавок порошковой проволокой);
- в агрегате типа конвертера с продувкой металла кислородом, аргоном (агрегат аргоно-кислородного рафинирования);
- в агрегате типа конвертера, снабженном оборудованием для вакуумирования;
- в вакууматорах различного типа.

При продувке инертным газом (аргоном или азотом) через отверстие в днище ковша происходит очищение металла от газовых и неметаллических включений, имеет место перемешивание металла и усреднение его состава. Если необходимо понизить содержание углерода в металле, то к инертному газу добавляют кислород. Продувкой жидкого металла инертным газом регулируют температуру металла.

Для интенсификации очистки металла от серы, фосфора и кислорода применяют перемешивание металла с жидким синтетическим шлаком, который наводится при использовании твердых шлаковых смесей. Для снижения содержания серы в металле и его раскисления используют известково-глиноземистый шлак, для дефосфорации — известково-железистый. Рафинирование проводят путем смешивания нагретого до 1600°С синтетического шлака со струей металла, сливаемого из печи в сталеразливочный ковш. Рафинирование металла синтетическим шлаком можно совмещать с одновременной продувкой инертным газом или вакуумированием.

В настоящее время установка для внепечной обработки жидкой стали превратилась в многофункциональный агрегат «ковш-печь», позволяющий производить нагрев металла с помощью трех вводимых электродов, дозировать кусковые ферросплавы, флюсы или различные добавки (углерод, раскислители, модификаторы), в том числе с применением порошковой проволоки.

## ХАРАКТЕРИСТИКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ЧУГУНА И СТАЛИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

В таблице 5 приведена физико-химическая характеристика негативного воздействия металлургического производства на окружающую среду.

Таблица 5. Физико-химическая характеристика негативного воздействия металлургического производства на окружающую среду

| № п/п | Наименование вещества/продукта | Основной/вспомогательный процесс образования | Процесс/Установка           | Назначение               | Сведения о веществе |                      |                      |
|-------|--------------------------------|--|-----------------------------|--------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
|       |                                |  |                             |                          | Номер CAS           | Агрегатное состояние | Молекулярная формула |
| 1     | Сталь, включая:                | Основной процесс                             | Производство чугуна и стали | Целевой продукт          | –                   | Твердое              | –                    |
|       | Углерод                        |  |                             | В составе стали и чугуна | 7440-44-0           | Твердое              | C                    |
|       | Кремний                        |  |                             | В составе стали и чугуна | 7440-21-3           | Твердое              | Si                   |

| Сведения о веществе                   |                 |  |                 |  |
|---------------------------------------|-----------------|--|-----------------|--|
| Гигиенические нормативы <sup>a)</sup> |                 |  |                 | Краткое описание опасности и основные характеристики <sup>b)</sup>   |
| В воздухе рабочей зоны                |                 | В атмосферном воздухе городских и сельских поселений |                 |  |
| ПДК, мг/м <sup>3</sup>                | Класс опасности | ПДК, мг/м <sup>3</sup>                               | Класс опасности |  |
| –                                     | –               | –  | –               | Не является химическим веществом. Свойства сталей зависят от компонентного состава и процентного содержания следующих химических веществ: углерода, кремния, марганца, серы, фосфора, железа, карбида железа, – а также лигирующих элементов: хрома, никеля, ванадия и др. Сведения по основным химическим веществам представлены ниже.  |
| –                                     | –               | 0,15/0,05/<br>0,025                                  | 3               | <p><i>Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами</i></p> <p>Горючее вещество, пыль может воспламеняться на воздухе:<br/> <math>T_{св.} = 760^{\circ}\text{C}</math> (аэрогель); <math>780^{\circ}\text{C}</math> (аэровзвесь).<br/>           Нижний концентрационный предел распространения пламени <math>100\text{ г/м}^3</math>.</p> <p><i>Воздействие на организм человека</i></p> <p>Предполагается, что данное вещество вызывает раковые заболевания при вдыхании в виде пыли (канцерогенное действие). Может вызывать раздражение верхних дыхательных путей при однократном воздействии, поражать органы дыхательной системы в результате продолжительного воздействия.</p> <p><i>Воздействие на окружающую среду</i></p> <p>Не оказывает негативного воздействия<sup>c)</sup>.</p> |
| –                                     | –               | –  | –               | <p><i>Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами</i></p> <p>Горючее вещество, пыль может воспламеняться на воздухе:<br/> <math>T_{св.} = 169\text{--}370^{\circ}\text{C}</math> (аэрогель); <math>790^{\circ}\text{C}</math> (аэровзвесь).<br/>           Температурные пределы распространения пламени от <math>422^{\circ}\text{C}</math> до <math>800^{\circ}\text{C}</math>.</p> <p><i>Воздействие на организм человека</i></p> <p>Может причинить вред при проглатывании:<br/> <math>LD_{50} = 3160\text{ мг/кг}</math> (в/ж, крысы).<br/>           Вызывает слабое раздражение глаз.</p> <p><i>Воздействие на окружающую среду</i></p> <p>Не оказывает негативного воздействия<sup>c)</sup>.</p>  |

| № п/п | Наименование вещества/продукта | Основной/вспомогательный процесс образования | Процесс/Установка           | Назначение                                 | Сведения о веществе |                      |                      |
|-------|--------------------------------|--|-----------------------------|--|---------------------|----------------------|----------------------|
|       |                                |  |                             |  | Номер CAS           | Агрегатное состояние | Молекулярная формула |
| 1     | Марганец                       | Основной процесс                             | Производство чугуна и стали | В составе стали и чугуна, эмиссия (сбросы) | 7439-96-5           | Твердое              | Mn                   |
|       | Сера                           |  |                             | В составе стали и чугуна                   | 7704-34-9           | Твердое              | S                    |
|       | Фосфор элементарный (красный)  |  |                             | В составе стали и чугуна                   | 7723-14-0           | Твердое              | P                    |



Таблица 5 (продолжение)

| Сведения о веществе  |                 |  |                 |   |
|--|-----------------|--|-----------------|---|
| Гигиенические нормативы <sup>а)</sup>  |                 |  |                 | Краткое описание опасности и основные характеристики <sup>б)</sup>  |
| В воздухе рабочей зоны   |                 | В атмосферном воздухе городских и сельских поселений |                 |   |
| ПДК, мг/м <sup>3</sup>   | Класс опасности | ПДК, мг/м <sup>3</sup>                               | Класс опасности |   |
| 0,6/ 0,2<br>(в сварочных аэрозолях при его содержании до 20 %)<br><br>0,3/ 0,1<br>(в сварочных аэрозолях при его содержании от 20 до 30 %) | 2               | 0,01/<br>0,001/<br>0,0005                            | 2               | <p><i>Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами</i><br/>Горючее вещество, пыль может воспламеняться на воздухе:<br/>T<sub>св.</sub> = 240°С (аэрогель); 450°С (аэровзвесь).<br/>Нижний концентрационный предел распространения пламени 125 г/м<sup>3</sup>.</p> <p><i>Воздействие на организм человека</i><br/>Вызывает слабое раздражение кожи и глаз, верхних дыхательных путей. При вдыхании и контакте с кожей может вызвать аллергическую реакцию. Может поражать органы (дыхательную систему, ЦНС и др.) в результате продолжительного воздействия.</p> <p><i>Воздействие на окружающую среду</i><br/>Может вызывать долгосрочные отрицательные последствия для водных организмов. Вызывает изменение органолептических свойств воды (растворимые в воде формы).</p> |
| -/6  | 4               | 0,07<br>(ОБУВ)                                       | -               | <p><i>Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами</i><br/>При нагревании возможно возгорание (саморазлагающееся вещество).</p> <p><i>Воздействие на организм человека</i><br/>Вызывает раздражение кожи и глаз. При вдыхании пыли вызывает раздражение верхних дыхательных путей, может поражать легкие в результате продолжительного воздействия (фиброгенное действие).</p> <p><i>Воздействие на окружающую среду</i><br/>Не оказывает негативного воздействия<sup>с)</sup>.</p>   |
| -  | -               | 0,0005<br>(ОБУВ)                                     | -               | <p><i>Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами</i><br/>Воспламеняющееся твердое вещество:<br/>T<sub>в.</sub> = 210–240°С;<br/>T<sub>св.</sub> = 305°С.<br/>Нижний концентрационный предел распространения пламени 14 г/м<sup>3</sup>.</p> <p><i>Воздействие на организм человека</i><br/>Может причинить вред при проглатывании:<br/>LD<sub>50</sub> = 3160 мг/кг (в/ж, крысы).<br/>Вызывает слабое раздражение кожи и глаз.</p> <p><i>Воздействие на окружающую среду</i><br/>Не оказывает негативного воздействия<sup>с)</sup>.</p>   |

| № п/п | Наименование вещества/продукта | Основной/вспомогательный процесс образования | Процесс/Установка           | Назначение                                 | Сведения о веществе |                      |                      |
|-------|--------------------------------|--|-----------------------------|--|---------------------|----------------------|----------------------|
|       |                                |  |                             |  | Номер CAS           | Агрегатное состояние | Молекулярная формула |
| 1     | Фосфор молекулярный (белый)    | Основной процесс                             | Производство чугуна и стали | В составе стали и чугуна                   | 12185-10-3          | Твердое              | P                    |
|       | Железо                         |  |                             | В составе стали и чугуна, эмиссия (сбросы) | 7439-89-6           | Твердое              | Fe                   |
|       | Карбид железа                  |  |                             | В составе стали                            | 12011-67-5          | Твердое              | Fe <sub>3</sub> C    |
|       | Хром                           |  |                             | В составе стали и чугуна, эмиссия (сбросы) | 7440-47-3           | Твердое              | Cr                   |

Таблица 5 (продолжение)

| Сведения о веществе                   |                 |  |                 |   |
|---------------------------------------|-----------------|--|-----------------|---|
| Гигиенические нормативы <sup>а)</sup> |                 |  |                 | Краткое описание опасности и основные характеристики <sup>б)</sup>  |
| В воздухе рабочей зоны                |                 | В атмосферном воздухе городских и сельских поселений |                 |   |
| ПДК, мг/м <sup>3</sup>                | Класс опасности | ПДК, мг/м <sup>3</sup>                               | Класс опасности |   |
| 0,1/ 0,03                             | 1               | 0,0005 (ОБУВ)  | –               | <p><i>Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами</i></p> <p>Горючее вещество. В форме порошка склонен к спонтанному воспламенению на воздухе (пиррофорное вещество):<br/> <math>T_{в.} = 34^{\circ}\text{C}</math>;<br/> <math>T_{св.} = 44^{\circ}\text{C}</math>.</p> <p><i>Воздействие на организм человека</i></p> <p>Смертельно при вдыхании и проглатывании:<br/> <math>LC_{50} = 150\text{--}160\text{ мг/м}^3</math> (инг., крысы, 4 ч);<br/> <math>LD_{50} = 3,03\text{--}11,5\text{ мг/кг}</math> (в/ж, крысы)</p> <p>Вызывает химические ожоги кожи и глаз.</p> <p><i>Воздействие на окружающую среду</i></p> <p>Чрезвычайно токсично для водных организмов:<br/> <math>LC(E)C_{50} &lt; 0,1\text{ мг/л}</math> (рыбы, ракообразные, водоросли).</p> |
| –/10                                  | 4               | –  | –               | <p><i>Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами</i></p> <p>В форме мелкодисперсной пыли может воспламеняться на воздухе.</p> <p><i>Воздействие на организм человека</i></p> <p>При вдыхании пыли вызывает раздражение верхних дыхательных путей, может поражать легкие в результате продолжительного воздействия (фиброгенное действие).</p> <p><i>Воздействие на окружающую среду</i></p> <p>Вызывает изменение органолептических свойств воды (растворимые в воде формы).</p>  |
| –                                     | –               | –  | –               | Сведения об опасных свойствах отсутствуют.  |
| –                                     | –               | –  | –               | <p><i>Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами</i></p> <p>Горючее вещество, пыль может воспламеняться на воздухе:<br/> <math>T_{св.} = 400^{\circ}\text{C}</math>.</p> <p>Нижний концентрационный предел распространения пламени <math>230\text{ г/м}^3</math>.</p> <p><i>Воздействие на организм человека</i></p> <p>Может причинить вред при проглатывании:<br/> <math>LD_{50} = 3400\text{ мг/кг}</math> (в/ж, крысы).</p> <p><i>Воздействие на окружающую среду</i></p> <p>Не оказывает негативного воздействия<sup>с)</sup>.</p>   |

| № п/п | Наименование вещества/продукта | Основной/вспомогательный процесс образования | Процесс/Установка           | Назначение                       | Сведения о веществе |                      |                      |
|-------|--------------------------------|--|-----------------------------|----------------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
|       |                                |  |                             |                                  | Номер CAS           | Агрегатное состояние | Молекулярная формула |
| 1     | Никель                         | Основной процесс                             | Производство чугуна и стали | В составе стали и чугуна, сбросы | 7440-02-0           | Твердое              | Ni                   |
|       | Ванадий                        |  |                             | В составе стали и чугуна, сбросы | 7440-62-2           | Твердое              | Vn                   |
|       | Алюминий                       |  |                             | В составе стали и чугуна, сбросы | 7429-90-5           | Твердое              | Al                   |

Таблица 5 (продолжение)

| Сведения о веществе                      |                 |  |                 |  |
|--|-----------------|--|-----------------|--|
| Гигиенические нормативы <sup>а)</sup>    |                 |  |                 | Краткое описание опасности и основные характеристики <sup>б)</sup>   |
| В воздухе рабочей зоны                   |                 | В атмосферном воздухе городских и сельских поселений |                 |  |
| ПДК, мг/м <sup>3</sup>                   | Класс опасности | ПДК, мг/м <sup>3</sup>                               | Класс опасности |  |
| 0,05                                     | 1               | -/0,001/<br>0,00005                                  | 2               | <p><i>Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами</i></p> <p>Горючее вещество, пыль может воспламеняться на воздухе:<br/>T<sub>св.</sub> = 470°С.</p> <p>Нижний концентрационный предел распространения пламени 220 г/м<sup>3</sup>.</p> <p><i>Воздействие на организм человека</i></p> <p>При контакте с кожей может вызывать аллергическую реакцию. Поражает органы дыхательной системы в результате продолжительного воздействия. Предполагается, что данное вещество вызывает раковые заболевания (канцерогенное действие).</p> <p><i>Воздействие на окружающую среду</i></p> <p>Чрезвычайно токсично для водных организмов, в т. ч. с долгосрочными последствиями:<br/>ЕС<sub>50</sub> = 0,174–0,311 мг/л (водоросли, 72 ч);<br/>НОЕС = 0,057 мг/л (рыбы, 32 дня).</p> |
| 4<br>(по пыли ванадий содержащих шлаков) | 3               | –  | –               | <p><i>Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами</i></p> <p>Горючее вещество, пыль может воспламеняться на воздухе:<br/>T<sub>св.</sub> = 490°С (аэрогель); 500°С (аэрозвесь).</p> <p><i>Воздействие на организм человека</i></p> <p>Вызывает слабое раздражение глаз.</p> <p><i>Воздействие на окружающую среду</i></p> <p>Может вызывать долгосрочные отрицательные последствия для водных организмов.</p>   |
| 6/2<br>(по алюминию и его сплавам)       | 3               | –  | –               | <p><i>Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами</i></p> <p>Воспламеняющееся твердое вещество. При контакте с водой выделяет воспламеняющиеся газы. В форме порошка склонен к спонтанному воспламенению на воздухе (пирофорное вещество):<br/>T<sub>св.</sub> = 320–520°С.</p> <p>Нижний концентрационный предел распространения пламени 40 г/м<sup>3</sup>.</p> <p><i>Воздействие на организм человека</i></p> <p>При вдыхании пыли вызывает раздражение верхних дыхательных путей, может поражать легкие в результате продолжительного воздействия (фиброгенное действие).</p> <p><i>Воздействие на окружающую среду</i></p> <p>Вызывает изменение органолептических свойств воды (растворимые в воде формы).</p>  |

| № п/п   | Наименование вещества/продукта                       | Основной/вспомогательный процесс образования | Процесс/Установка           | Назначение        | Сведения о веществе |                      |                      |
|---|--|--|-----------------------------|-------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
|   |  |  |                             |                   | Номер CAS           | Агрегатное состояние | Молекулярная формула |
| 2   | Чугун  | Основной процесс                             | Производство чугуна и стали | Целевой продукт   | –                   | Твердое              | –                    |
| 3   | Пыль неорганическая, содержащая двуокись кремния, %: | Основной процесс                             | Производство чугуна и стали | Эмиссия (выбросы) | –                   | Твердое              | –                    |
|   | а) более 70  |  |                             |                   |                     |                      |                      |
|   | б) 20–70   |  |                             |                   |                     |                      |                      |
|   | в) менее 20, включая:                                |  |                             |                   |                     |                      |                      |
| Кремний диоксид   | Основной процесс                                     | Производство чугуна и стали                  | Эмиссия (выбросы)           | –                 | Твердое             | SiO <sub>2</sub>     |                      |
| а) аморфный в виде аэрозоля конденсации при содержании более 60%;   |  |  |                             |                   |                     |                      |                      |
| кремний диоксид аморфный и стеклообразный в виде аэрозоля дезинтеграции; кристаллический при содержании в пыли более 70 % |  |  |                             |                   |                     |                      |                      |
| б) кремний диоксид аморфный в виде аэрозоля конденсации при содержании от 10 до 60%;                                      | Основной процесс                                     | Производство чугуна и стали                  | Эмиссия (выбросы)           | –                 | Твердое             | SiO <sub>2</sub>     |                      |
| кремний диоксид кристаллический при содержании в пыли от 10 до 70 %   |  |  |                             |                   |                     |                      |                      |
| в) кремний диоксид кристаллический при содержании в пыли от 2 до 10 %   | Основной процесс                                     | Производство чугуна и стали                  | Эмиссия (выбросы)           | –                 | Твердое             | SiO <sub>2</sub>     |                      |

Таблица 5 (продолжение)

| Сведения о веществе                       |                 |  |                 |   |
|---|-----------------|--|-----------------|---|
| Гигиенические нормативы <sup>а)</sup>     |                 |  |                 | Краткое описание опасности и основные характеристики <sup>б)</sup>  |
| В воздухе рабочей зоны                    |                 | В атмосферном воздухе городских и сельских поселений |                 |   |
| ПДК, мг/м <sup>3</sup>                    | Класс опасности | ПДК, мг/м <sup>3</sup>                               | Класс опасности |   |
| –   | –               | –  | –               | Не является химическим веществом: сплав железа с углеродом. Свойства чугуна зависят от компонентного состава и процентного содержания основных химических веществ: железа, углерода, – примесей: кремния, марганца, серы, фосфора, а также наличия и содержания лигирующих элементов: хрома, никеля, ванадия, алюминия. Сведения по основным химическим веществам представлены выше.  |
| 0,02 (ОБУВ по кремнию диоксиду аморфному) | –               | 0,15/0,05/–  | 3               | Сведения об опасных свойствах и идентификационные данные зависят от конкретного состава пыли. Данные по диоксиду кремния приведены ниже.  |
|   |                 | 0,3/0,1/–  |                 |   |
|   |                 | 0,5/0,15/–   |                 |   |
| 3/1                                       | 3               | 0,15/0,05/–  | 3               | <p><i>Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами</i></p> <p>Не опасен.</p> <p><i>Воздействие на организм человека</i></p> <p>Вызывает раздражение кожи, глаз и верхних дыхательных путей. Пыль кристаллического кремния (кварца, кристобалита) может поражать легкие в результате продолжительного воздействия при вдыхании (фиброгенное действие).</p> <p><i>Воздействие на окружающую среду</i></p> <p>Не оказывает негативного воздействия<sup>с)</sup>.</p> |
| 6/2                                       |                 | 0,3/0,1/–  |                 |   |
| –/4                                       |                 | 0,5/0,15/–   |                 |   |

| № п/п | Наименование вещества/продукта | Основной/вспомогательный процесс образования | Процесс/Установка           | Назначение        | Сведения о веществе |                      |                      |
|-------|--------------------------------|--|-----------------------------|-------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
|       |                                |  |                             |                   | Номер CAS           | Агрегатное состояние | Молекулярная формула |
| 4     | Серы диоксид                   | Основной процесс                             | Производство чугуна и стали | Эмиссия (выбросы) | 7446-09-5           | Газ                  | SO <sub>2</sub>      |
| 5     | Оксид азота                    | Основной процесс                             | Производство чугуна и стали | Эмиссия (выбросы) | 10102-43-9          | Газ                  | NO                   |
| 6     | Диоксид азота                  | Основной процесс                             | Производство чугуна и стали | Эмиссия (выбросы) | 10102-44-0          | Газ                  | NO <sub>2</sub>      |



Таблица 5 (продолжение)

| Сведения о веществе                                     |                 |  |                 |  |
|---|-----------------|--|-----------------|--|
| Гигиенические нормативы <sup>а)</sup>                   |                 |  |                 | Краткое описание опасности и основные характеристики <sup>б)</sup>   |
| В воздухе рабочей зоны                                  |                 | В атмосферном воздухе городских и сельских поселений |                 |  |
| ПДК, мг/м <sup>3</sup>                                  | Класс опасности | ПДК, мг/м <sup>3</sup>                               | Класс опасности |  |
| 10  | 3               | 0,5/<br>0,05/-                                       | 3               | <p><i>Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами</i><br/>Не опасен.</p> <p><i>Воздействие на организм человека</i><br/>Токсично при вдыхании:<br/>LC<sub>50</sub> = 884,14 ррт (инг., крысы, 4 ч).<br/>Смертельная концентрация для человека 2660 мг/м<sup>3</sup> (при вдыхании в течение 10 мин).<br/>Вызывает химические ожоги кожи и глаз.</p> <p><i>Воздействие на окружающую среду</i><br/>Не оказывает негативного воздействия<sup>с)</sup>.</p>  |
| 5<br>(по оксидам азота в пересчете на NO <sub>2</sub> ) | 3               | 0,4/-/0,06   | 3               | <p><i>Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами</i><br/>Окисляющий газ: может вызвать или усилить возгорание.</p> <p><i>Воздействие на организм человека</i><br/>Смертельно при вдыхании:<br/>LC<sub>50</sub> = 57,5 ррт (инг., крысы, 4 ч).<br/>Вызывает химические ожоги кожи и глаз. Может поражать органы (дыхательную систему, ЦНС, систему крови) в результате продолжительного воздействия.</p> <p><i>Воздействие на окружающую среду</i><br/>Не оказывает негативного воздействия<sup>с)</sup>.</p> |
| 2   | 3               | 0,2/0,1/<br>0,04                                     | 3               | <p><i>Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами</i><br/>Окисляющий газ: может вызвать или усилить возгорание.</p> <p><i>Воздействие на организм человека</i><br/>Смертельно при вдыхании:<br/>LC<sub>50</sub> = 88 ррт (инг., крысы, 4 ч).<br/>Вызывает химические ожоги кожи и глаз.</p> <p><i>Воздействие на окружающую среду</i><br/>Не оказывает негативного воздействия<sup>с)</sup>.</p>  |

| № п/п | Наименование вещества/продукта | Основной/вспомогательный процесс образования | Процесс/Установка           | Назначение        | Сведения о веществе |                      |                      |
|-------|--------------------------------|--|-----------------------------|-------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
|       |                                |  |                             |                   | Номер CAS           | Агрегатное состояние | Молекулярная формула |
| 7     | Углерода оксид                 | Основной процесс                             | Производство чугуна и стали | Эмиссия (выбросы) | 630-08-0            | Газ                  | CO                   |
| 8     | Цинк                           | Основной процесс                             | Производство чугуна и стали | Эмиссия (сбросы)  | 7440-66-6           | Твердое              | Zn                   |
| 9     | Хром (III), включая:           | Основной процесс                             | Производство чугуна и стали | Эмиссия (сбросы)  | -                   | -                    | -                    |

Таблица 5 (продолжение)

| Сведения о веществе                   |                 |  |                 |   |
|---------------------------------------|-----------------|--|-----------------|---|
| Гигиенические нормативы <sup>а)</sup> |                 |  |                 | Краткое описание опасности и основные характеристики <sup>б)</sup>  |
| В воздухе рабочей зоны                |                 | В атмосферном воздухе городских и сельских поселений |                 |   |
| ПДК, мг/м <sup>3</sup>                | Класс опасности | ПДК, мг/м <sup>3</sup>                               | Класс опасности |   |
| 20                                    | 4               | 5,0/3,0/<br>3,0                                      | 4               | <p><i>Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами</i></p> <p>Чрезвычайно легковоспламеняющийся газ: образует взрывоопасные смеси с воздухом в концентрации 10,9 об. % и более.</p> <p><i>Воздействие на организм человека</i></p> <p>Токсично при вдыхании:<br/>LC<sub>50</sub> = 1300 ppm (инг., крысы, 4 ч).<br/>Поражает органы (ЦНС, систему крови, иммунную систему и др.) в результате продолжительного воздействия. Предполагается, что данное вещество может отрицательно повлиять на способность к деторождению (репродуктивная токсичность).</p> <p><i>Воздействие на окружающую среду</i></p> <p>Не оказывает негативного воздействия<sup>с)</sup>.</p>   |
| –                                     | –               | –  | –               | <p><i>Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами</i></p> <p>Горючее вещество. При контакте с водой выделяет воспламеняющиеся газы. В форме порошка спонтанно воспламеняется на воздухе (пирофорное вещество).<br/>T<sub>св.</sub> = 310°С (аэрогель); 600°С (аэровзвесь).<br/>Концентрационный предел распространения пламени 480 мг/м<sup>3</sup>.</p> <p><i>Воздействие на организм человека</i></p> <p>Вызывает слабое раздражение кожи и слизистых оболочек глаз.</p> <p><i>Воздействие на окружающую среду</i></p> <p>Чрезвычайно токсично для водных организмов, в т. ч. с долгосрочными последствиями:<br/>LC<sub>50</sub> = 0,11–0,271 мг/л (рыбы, 96 ч);<br/>NOEC = 0,06 мг/л (водоросли, 72 ч).</p> |
| –                                     | –               | 0,01<br>(ОБУВ)                                       | –               | Сведения об опасных свойствах и идентификационные данные зависят от конкретного вещества данной группы. Сведения по оксиду хрома (III) приведены ниже.  |

| № п/п | Наименование вещества/продукта  | Основной/вспомогательный процесс образования | Процесс/Установка           | Назначение       | Сведения о веществе |                      |                                |
|-------|---------------------------------|--|-----------------------------|------------------|---------------------|----------------------|--------------------------------|
|       |                                 |  |                             |                  | Номер CAS           | Агрегатное состояние | Молекулярная формула           |
| 9     | Хрома (III) оксид               | Основной процесс                             | Производство чугуна и стали | Эмиссия (сбросы) | 1308-38-9           | Твердое              | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| 10    | Хром (VI), включая:             | Основной процесс                             | Производство чугуна и стали | Эмиссия (сбросы) | -                   | -                    | -                              |
|       | Хрома (VI) оксид                |  |                             |                  | 1333-82-0           | Твердое              | CrO <sub>3</sub>               |
| 11    | Нефтепродукты (нефть), включая: | Основной процесс                             | Производство чугуна и стали | Эмиссия (сбросы) | -                   | -                    | -                              |

Таблица 5 (продолжение)

| Сведения о веществе                   |                 |  |                 |   |
|---------------------------------------|-----------------|--|-----------------|---|
| Гигиенические нормативы <sup>а)</sup> |                 |  |                 | Краткое описание опасности и основные характеристики <sup>б)</sup>  |
| В воздухе рабочей зоны                |                 | В атмосферном воздухе городских и сельских поселений |                 |   |
| ПДК, мг/м <sup>3</sup>                | Класс опасности | ПДК, мг/м <sup>3</sup>                               | Класс опасности |   |
| 3/1                                   | 3               | 0,01 (ОБУВ)  | –               | <p><i>Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами</i><br/>Не опасен.</p> <p><i>Воздействие на организм человека</i><br/>Вызывает слабое раздражение кожи и глаз. При вдыхании и контакте с кожей может вызвать аллергическую реакцию. Может поражать органы дыхательной системы в результате продолжительного воздействия.</p> <p><i>Воздействие на окружающую среду</i><br/>Не оказывает негативного воздействия<sup>с)</sup>.</p>  |
| –                                     | –               | –  | –               | <p>Сведения об опасных свойствах и идентификационные данные зависят от конкретного вещества данной группы. Сведения по оксиду и гидроксиду хрома (VI) приведены ниже.</p>   |
| 0,03/ 0,01                            | 1               |  |                 | <p><i>Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами</i><br/>Сильный окислитель, может вызвать возгорание или взрыв.</p> <p><i>Воздействие на организм человека</i><br/>Смертельно при вдыхании и попадании на кожу, токсично при проглатывании:<br/>LC<sub>50</sub> = 217 мг/м<sup>3</sup> (инг., крысы, 4 ч);<br/>LD<sub>50</sub> = 57 мг/кг (н/к, кролики);<br/>LD<sub>50</sub> = 80 мг/кг (в/ж, крысы).<br/>Вызывает химические ожоги кожи и глаз. При вдыхании и контакте с кожей может вызвать аллергическую реакцию. Может вызывать генетические дефекты и раковые заболевания (мутагенное и канцерогенное действие), отрицательно повлиять на способность к деторождению или на неродившегося ребенка (репродуктивная токсичность). Поражает органы дыхательной системы в результате многократного воздействия.</p> <p><i>Воздействие на окружающую среду</i><br/>Чрезвычайно токсично для водных организмов, в т. ч. с долгосрочными последствиями:<br/>EC<sub>50</sub> = 0,13 мг/л (водоросли, 72 ч);<br/>NOEC = 0,01 мг/л (водоросли, 72 ч).<br/>Нарушает общесанитарный режим водоемов.</p> |
| –                                     | –               | –  | –               | <p>Вещества сложного и переменного состава (UVCB): опасность и свойства могут отличаться в зависимости от состава вещества UVCB.</p>  |

| № п/п | Наименование вещества/продукта | Основной/вспомогательный процесс образования | Процесс/Установка           | Назначение       | Сведения о веществе |                      |                               |
|-------|--------------------------------|--|-----------------------------|------------------|---------------------|----------------------|-------------------------------|
|       |                                |  |                             |                  | Номер CAS           | Агрегатное состояние | Молекулярная формула          |
| 11    | Нефть сырая                    | Основной процесс                             | Производство чугуна и стали | Эмиссия (сбросы) | 8002-05-9           | Жидкое               | –                             |
| 12    | Сульфат–анион                  | Основной процесс                             | Производство чугуна и стали | Эмиссия (сбросы) | –                   | –                    | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> |
| 13    | Хлорид–анион                   | Основной процесс                             | Производство чугуна и стали | Эмиссия (сбросы) | –                   | –                    | Cl <sup>-</sup>               |

Таблица 5 (продолжение)

| Сведения о веществе                   |                 |  |                 |   |
|---------------------------------------|-----------------|--|-----------------|---|
| Гигиенические нормативы <sup>а)</sup> |                 |  |                 | Краткое описание опасности и основные характеристики <sup>б)</sup>  |
| В воздухе рабочей зоны                |                 | В атмосферном воздухе городских и сельских поселений |                 |   |
| ПДК, мг/м <sup>3</sup>                | Класс опасности | ПДК, мг/м <sup>3</sup>                               | Класс опасности |   |
| -/10                                  | 3               | -  | -               | <p>Представляет собой вещество сложного и переменного состава (UVCB) – сложная комбинация алифатических, нафтеновых и ароматических углеводородов.</p> <p><i>Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами</i><br/>Пожароопасное (горючее) вещество.</p> <p><i>Воздействие на организм человека</i><br/>Входящие в состав нефти низкомолекулярные алифатические, нафтеновые и ароматические углеводороды оказывают на организм человека токсическое действие: поражают ЦНС при однократном воздействии (наркотический эффект), поражают органы (систему крови, печень, почки, ЦНС, сердечно-сосудистую систему) при продолжительном воздействии. Входящие в состав полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) вызывают раковые заболевания (канцерогенное действие).</p> <p><i>Воздействие на окружающую среду</i><br/>Вызывает изменение органолептических свойств воды. Вредное воздействие на гидробионтов связано с образованием пленки на поверхности воды, препятствующей нормальному газообмену, в ряде случаев, а также с острым и хроническим токсическим воздействием на гидробионтов.</p> |
| -                                     | -               | -  | -               | <p>Не является химическим веществом.</p> <p><i>Воздействие на организм человека</i><br/>Оказывает физиологическое воздействие на организм (слабительный эффект).</p> <p><i>Воздействие на окружающую среду</i><br/>Вызывает изменение органолептических свойств воды.</p>   |
| -                                     | -               | -  | -               | <p>Не является химическим веществом.</p> <p><i>Воздействие на окружающую среду</i><br/>Вызывает изменение органолептических свойств воды.</p>   |

| № п/п | Наименование вещества/продукта | Основной/вспомогательный процесс образования | Процесс/Установка           | Назначение       | Сведения о веществе |                      |                              |
|-------|--------------------------------|--|-----------------------------|------------------|---------------------|----------------------|------------------------------|
|       |                                |  |                             |                  | Номер CAS           | Агрегатное состояние | Молекулярная формула         |
| 14    | Нитрат–анион                   | Основной процесс                             | Производство чугуна и стали | Эмиссия (сбросы) | –                   | –                    | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> |
| 15    | Взвешенные вещества            | Основной процесс                             | Производство чугуна и стали | Эмиссия (сбросы) | –                   | –                    | –                            |

*Примечания*

- <sup>a)</sup> Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28 января 2021 года № 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 “Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания”».
- <sup>b)</sup> Основные характеристики согласно справочным материалам и сведениям, представленным в базах данных по химическим веществам:
- База данных ChemADVISOR. – URL: <https://www.chemadvisor.com/Online> (дата обращения: 20.12.2021);
  - База данных Европейского Химического Агентства (ECHA). – URL: <https://echa.europa.eu/> (дата обращения: 20.12.2021);
  - База данных АРИПС «Опасные вещества». – URL: <http://www.rpohv.ru/online/> (дата обращения: 20.12.2021);
  - Гусева Т. В. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды: справочные материалы. – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2005.
- <sup>c)</sup> Согласно принятым на международном уровне подходам к классификации опасности химических веществ – Рекомендациям ООН «Согласованная на глобальном уровне система классификации опасности и маркировки химической продукции» (GHS). – URL: <https://unece.org/ru/ghs-rev7-2017> (дата обращения: 20.12.2021).

*Идентификационные данные вещества:*

Номер CAS (Chemical Abstracts Service), или CAS Number – уникальный численный идентификатор химического вещества, внесенного в Реестр Химической Реферативной службы (подразделение Американского химического общества).

UVCB (Unknown, of Variable Composition, or of Biological origin) – вещество сложного и переменного состава.

*Показатели опасности, обусловленной физико-химическими свойствами вещества:*

T<sub>св.</sub> – температура самовоспламенения – наименьшая температура окружающей среды, при которой в условиях специальных испытаний наблюдается самовоспламенение вещества.



Таблица 5 (окончание)

| Сведения о веществе                   |                 |  |                 |  |
|---------------------------------------|-----------------|--|-----------------|--|
| Гигиенические нормативы <sup>а)</sup> |                 |  |                 | Краткое описание опасности и основные характеристики <sup>б)</sup>   |
| В воздухе рабочей зоны                |                 | В атмосферном воздухе городских и сельских поселений |                 |  |
| ПДК, мг/м <sup>3</sup>                | Класс опасности | ПДК, мг/м <sup>3</sup>                               | Класс опасности |  |
| –                                     | –               | –  | –               | <p>Не является химическим веществом.</p> <p><i>Воздействие на организм человека</i><br/>Обладает токсическим эффектом.<br/>Смертельная доза для человека 8–15 г;<br/>Допустимое суточное потребление 5 мг/кг (по данным Всемирной организации здравоохранения).</p> <p><i>Воздействие на окружающую среду</i><br/>Азот и его соединения в больших концентрациях вызывают неконтролируемый рост биомассы (инициируют процессы эвтрофикации водоемов).</p> |
| –                                     | –               | 0,5/0,15/<br>0,075                                   | 3               | <p>Сведения об опасных свойствах и идентификационные данные зависят от конкретного состава взвешенных веществ.</p> <p><i>Воздействие на окружающую среду</i><br/>Нарушают общесанитарный режим водоемов.</p>   |

$T_v$  – температура воспламенения – наименьшая температура вещества, при которой в условиях специальных испытаний вещество выделяет горючие пары и газы с такой скоростью, что при воздействии на них источника зажигания наблюдается воспламенение.

*Показатели опасности, обусловленной токсикологическими свойствами вещества:*

$LC_{50}$  (Letal Concentration) – средняя смертельная концентрация в воздухе – концентрация вещества, вызывающая гибель 50% животных при 1- или 4-часовом ингаляционном (инг.) воздействии.

$LD_{50}$  (Letal Dose) – средняя смертельная доза – доза вещества, вызывающая гибель 50% животных при однократном введении в желудок (в/ж) или нанесении на кожу (н/к).

*Показатели опасности, обусловленной экотоксикологическими свойствами вещества:*

$LC_{50}$  (Letal Concentration) – средняя смертельная концентрация – концентрация вещества в воде, вызывающая гибель 50% водных организмов (гидробионтов) при установленном времени воздействия (96-часовом для рыб, 48-часовом для ракообразных, 72- или 96-часовом для водорослей) в течение заданного периода наблюдения.

$EC_{50}$  (Effective Concentration) – средняя эффективная концентрация – концентрация вещества в воде, вызывающая негативный эффект (изменение тест-реакции, выраженной в гибели гидробионтов, снижении интенсивности размножения, снижении подвижности или других типичных поведенческих характеристик, а также в подавлении некоторых биохимических процессов, протекающих в клетках и ферментных системах) у водных организмов на 50% при установленном времени воздействия в течение заданного срока наблюдений.

NOEC (No Observed Effect Concentration), NOEL (No Observed Effect Limit), NOAEL (No Observed Adverse Effect Level), NOELR (No Observed Effect Loading Rate) – максимально недействующая доза – максимальная концентрация вещества в воде, при которой не происходит гибели водных организмов и/или не наблюдается иного видимого токсического эффекта на гидробионтов в пределах установленного времени воздействия в течение заданного периода наблюдения.

Для повышения чистоты металла по неметаллическим включениям и содержанию газов проводят вакуумирование стали в вакууматоре.

С разделением операций получения жидкой стали и ее внепечной обработки общая продолжительность плавки составляет 1,5–2,0 ч, обработка на каждом агрегате не превышает 40–50 мин, что позволяет организовать разливку стали на машине непрерывной разливки стали по схеме «плавка на плавку». Удельный расход электроэнергии на установке «ковш-печь» — 30–40 кВт·ч/т, расход электродов 0,2–0,3 кг/т стали.

Технологическая схема производства стали показана на рисунке 10.

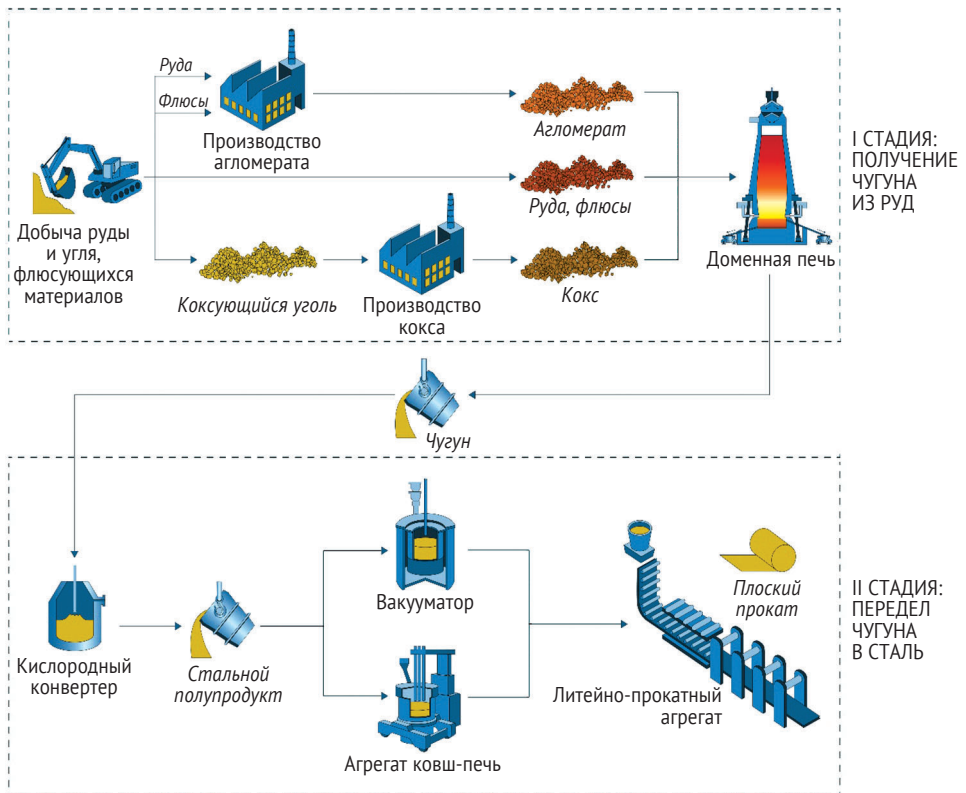


Рис. 10. Технологическая схема производства стали

Главная цель металлургического предприятия — это выпуск металлопродукции, удовлетворяющей своими физическими, химическими, механическими и иными свойствами требованиям, которые установлены действующими нормативными документами.

Производство стали сопровождается выбросами и сбросами загрязняющих веществ в результате реализации основных стадий технологического процесса.

## СРАВНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ

## Производство стали в кислородных конвертерах

Процесс производства стали в кислородном конвертере является источником выбросов пыли при первичном и вторичном обеспылировании, предварительной обработке жидкого металла и внепечной обработке стали, а также источником образования твердых отходов (побочных продуктов) и сточных вод от мокрого обеспыливания и от непрерывной разливки.

Удельное потребление ресурсов представлено в таблице 6.

Таблица 6. Удельное потребление ресурсов в конвертерном производстве отрасли

| Потребление электроэнергии, кВт·ч/т | Топливо – природный газ, м <sup>3</sup> /т | Технологические газы (кислород), м <sup>3</sup> /т |
|-------------------------------------|--|--|
| 58,1–75,9                           | 3,7–6,0                                    | 47,4–66,2  |

Удельное потребление технической воды на процесс (в том числе оборотных циклов) определяется потребностями процесса, при этом водооборот организован либо на основе локальных оборотных циклов, либо в замкнутой системе водооборота предприятия.

Удельный расход сырья представлен в таблице 7.

Таблица 7. Удельный расход сырья в конвертерном производстве, кг/т

| Сырьевые материалы | Расход      |
|--------------------|-------------|
| Чугун              | 834,8–940,0 |
| Лом                | 160,0–265,5 |
| Известь            | 45–63,3     |
| Известняк          | 0–15        |
| Доломит            | 1,4–14,5    |
| Окатыши            | 1,9         |
| Ферросплавы        | 9–12,9      |
| Скрапы             | –50,0       |
| Стружка            | 17,0        |
| Окалина            | 0,1–5       |
| Кокс               | 0,08–2,00   |
| Коксовая мелочь    | 1,6–3       |
| Угли               | 5,1–89,0    |
| Агломерат          | 0,8–2,0     |
| ВСЕГО              | 1058–1382   |

*Выбросы в атмосферу*

Конвертерное производство стали является источником выбросов пыли, газовых компонентов, образования твердых отходов/побочных продуктов и сточных вод (табл. 8).

Выбросы при работе кислородных конвертеров образуются в ходе:

- загрузки конвертеров шихтовыми материалами;
- продувки шихты кислородом;
- выпуска жидкой стали и шлака из конвертера.

Неорганизованные (рассеянные) выбросы происходят в течение всех перечисленных процессов, когда отходящие газы не полностью улавливаются.

Таблица 8. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу в конвертерном производстве отрасли, г/т продукции

| Наименование загрязняющего вещества | Удельное значение выбросов |
|-------------------------------------|----------------------------|
| CO                                  | 140–4820                   |
| NO <sub>2</sub>                     | 40–350                     |
| NO                                  | 6–72                       |
| SO <sub>2</sub>                     | 7–92                       |
| Взвешенные вещества                 | 100–340                    |

Основным отходящим газом является конвертерный газ, последующее его удаление и обеспыливание рассматриваются как приоритетные мероприятия.

Концентрации загрязняющих веществ в выбросах после мокрой очистки составляют, мг/м<sup>3</sup>: NO<sub>2</sub> — 94–100; NO — 44–47; CO — 5700–6090; SO<sub>2</sub> — 8,3–8,8.

Выбросы от всех других источников, связанные с процессами выплавки стали в кислородном конвертере, рассматриваются как вторичные отходящие газы и выбросы системы вторичного обеспыливания. Выбросы от предварительной обработки расплава металла удаляются и очищаются отдельно.

Приоритетными веществами в выбросах конвертерного производства являются оксид углерода и пыль неорганическая (взвешенные вещества), меры по снижению выбросов в первую очередь направлены на выбросы пыли.

*Отходы и побочные продукты*

Основной перечень отходов производства (табл. 9), образующихся при выплавке, обработке и разливке стали, кг/т жидкой стали:

- конвертерный шлак — 85–165;
- шлак от десульфурации — 3–21 (данный шлак частично используется при строительстве полигонов или просто размещается на полигонах промышленных отходов);
- мелкая и грубая пыль — 0,75–24,00;
- шлак от внепечной обработки — 9–15 (возможно применение в производственном рециклинге);
- брызги металла — 2,8–15,0;

- шлак при непрерывной разливке — 4–5;
- окалина при непрерывной разливке на машине непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) или в изложницы — 2,3–6,4.

Таблица 9. Характеристика отходов производства

| Наименование отхода   | Объем образования, кг/т продукции | Обращение с отходами   |
|---|-----------------------------------|--|
| Шлак конвертерного производства   | 123,9–223,1                       | Рециклинг в сталеплавильном производстве; использование при ликвидации горных выработок; применение в дорожном строительстве |
| Скрап стальной незагрязненный   | 5,1–31,4                          |  |
| Лом и отходы, содержащие незагрязненные черные металлы в виде изделий, кусков, несортированные  | 12,9–18,2                         | Рециклинг — вторичное использование в качестве металлошхты   |
| Отходы (осадки) механической очистки (осветления) воды систем мокрой газоочистки производства стали с преимущественным содержанием оксидов железа | 7,3–17,3                          | Реализация в качестве побочной продукции   |
| Лом футеровок печей и печного оборудования производства черных металлов   | 0,05–6,7                          | Рециклинг — утилизация в огнеупорном производстве; использование при ликвидации горных выработок                             |
| Пыль газоочистки неорганизованных выбросов конвертерного производства   | 0,8–5,6                           | Рециклинг — утилизация в процессе агломерации; переработка для собственных нужд; реализация сторонним организациям           |
| Отходы известняка, доломита и мела в кусковой форме практически неопасные   | 5,9–6,6                           | Утилизация в процессе агломерации  |

Переработка конвертерных шлаков является обязательным элементом безотходной технологии, так как позволяет исключить образование отвалов и связанное с этим отчуждение сельскохозяйственных угодий, устранить неизбежное в условиях шлаковых отвалов образование пыли, загрязнение водного и воздушного бассейнов.

Основные пути утилизации конвертерных шлаков: извлечение из них металла, фракционирование, использование в производственном рециклинге (для интегрированных предприятий — в агломерационном и доменном производствах), в глобальном рециклинге (для дорожного строительства, промышленного и гражданского строительства, для производства цемента), в качестве материалов для рекультивации.

Ввиду востребованности шлаковой продукции конвертерные шлаки имеют статус побочной продукции, а не отхода.

## Производство стали в электродуговых печах

### Потребление ресурсов

При производстве стали в электродуговых печах основными источниками энергии являются электроэнергия и природный газ. Общее потребление энергии на входе для данного технологического процесса составляет 2300–2700 МДж/т произведенной стали, из которых 1250–1800 МДж/т приходится на электроэнергию. Затраты кислорода — 24–56 м<sup>3</sup>/т стали.

За последние 40 лет использование физического тепла отходящих газов электродуговой печи достигло 140 кВт·ч/т жидкой стали, которое в основном расходуется на нагрев лома (приблизительно до 800° С), что снижает потребление энергии на 100 кВт·ч/т жидкой стали. Таблица 10 иллюстрирует потребление ресурсов в отрасли при производстве стали в электродуговых печах.

Таблица 10. Удельное потребление ресурсов в отрасли при производстве стали в электродуговых печах

| Потребление электроэнергии, кВт·ч/т | Топливо-природный газ, м <sup>3</sup> /т | Технологические газы (кислород), м <sup>3</sup> /т |
|-------------------------------------|--|--|
| 378–1102                            | 5,2–32,6                                 | 8,5–76,1   |

Расход технической воды на процесс (в том числе оборотных циклов) находится в диапазоне от 61 до 210 м<sup>3</sup>/т продукции, однако основная часть этой воды почти полностью находится в замкнутом водооборотном цикле, который составляет 98,8–100%. Расход сырья представлен в таблице 11.

Таблица 11. Удельный расход сырья при производстве стали в электродуговых печах в отрасли (по данным анкетирования), кг/т

| Сырьевые материалы                | Расход     |
|-----------------------------------|------------|
| Лом                               | 102–1086   |
| Чугун                             | 13,2–836,7 |
| Скрап                             | 2,0–279,1  |
| Ферросплавы                       | 9,5–69,3   |
| Горячбрикетированное железо (ГБЖ) | 0,01–114,7 |
| Окатыши                           | 0,5–858    |
| Коксовая мелочь                   | 1,8–15,7   |
| Кокс                              | 0,1–11,5   |
| Известь                           | 25–71,2    |
| Известняк / доломит               | 0,6–11,8   |
| Стружка                           | 1,0–75,5   |
| Легирующие                        | 0,8–1,2    |
| Окалина                           | 0,1–12     |
| ВСЕГО                             | 1186–1369  |

### Выбросы в воздух

Источники выбросов в электросталеплавильном производстве (табл. 12): собственно электродуговая печь, машины непрерывного литья заготовок, а также дополнительные агрегаты, предназначенные для обеспечения процесса плавки (стенды сушки и разогрева стальной ковшеи и промежуточных ковшеи, печи-ковши, установки вакуумирования стали).

Отходящие газы электродуговой печи квалифицируются как первичные выбросы и составляют ~95% общих выбросов процесса. Первичные выбросы отбираются из четвертого отверстия с патрубком для газоотсоса (при трех электродах — печи на переменном токе) или из второго отверстия с патрубком для газоотсоса (при одном электроде — печи на постоянном токе). Существуют также электродуговые печи без четвертого отверстия, которые снабжены шумопылезащитным кожухом с полным закрытием печи и с отводом газа из-под кожуха.

Отходящие газы, которые образуются при разделке лома, загрузке шихты и выпуске плавки, а также при выбросах из печных отверстий, улавливаются с помощью вытяжного зонта, обычно размещаемого выше печи (или в районе крыши), и идентифицируются как вторичные выбросы. В зависимости от размеров здания и мощности печи расход газов в системе аспирации может превышать 1 млн м<sup>3</sup>/ч.

В электросталеплавильном производстве из-за периодического режима плавки имеют место так называемые технологические выбросы, достаточно сложно эвакуируемые.

Таблица 12. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу при производстве стали в электродуговых печах в отрасли, г/т

| Наименование ЗВ     | Удельное значение выбросов |
|---------------------|----------------------------|
| CO                  | 200–6500                   |
| NO <sub>2</sub>     | 30–770                     |
| NO                  | 4–350                      |
| SO <sub>2</sub>     | 10–980                     |
| Взвешенные вещества | 140–2000                   |

### Отходы и побочные продукты

Производственные остатки (отходы и побочные продукты, табл. 13) включают в себя электросталеплавильный шлак, шлак внепечной обработки, пыль систем газоочисток, отходы огнеупорных материалов от ремонта печей и печного оборудования и являются в основном малоопасными и практически неопасными отходами (IV и V классов опасности).

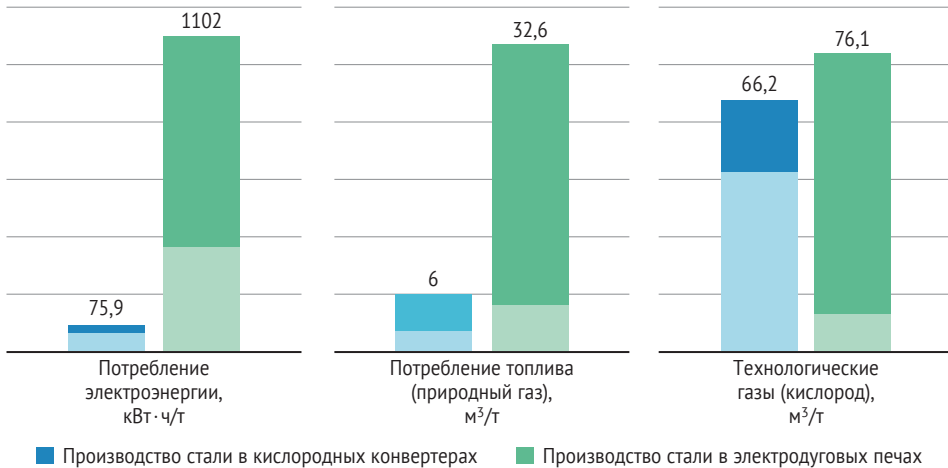
Таблица 13. Обращение с отходами электросталеплавильного производства в отрасли (по данным анкетирования)

| Наименование отхода  | Объем образования, кг/т продукции | Обращение с отходами  |
|--|-----------------------------------|---|
| Шлак электросталеплавильный  | 79–201                            | Рециклинг – в сталеплавильном производстве; переработка в шлаковый щебень; использование для ликвидации горных выработок; применение в производстве цемента; использование в качестве инертного материала на полигоне   |
| Скрап стальной, незагрязненный   | 34                                | Рециклинг – в сталеплавильном производстве  |
| Лом и отходы, содержащие незагрязненные черные металлы в виде изделий, кусков, несортированные | 0,6–183,0                         | Рециклинг – в сталеплавильном производстве  |
| Пыль газоочистки черных металлов, незагрязненная   | 0,3–18,2                          | Размещение на полигоне (90%); использование при создании инертного слоя при рекультивации полигонов   |
| Пыль аспирации электросталеплавильного производства  | 0,025–55                          | Рециклинг – переработка в окатыши железосодержащие; рециклинг – в качестве железосодержащей добавки при производстве агломерата; использование для ликвидации горных выработок; размещение на объекте размещения отходов (ОРО); передача сторонним организациям |
| Окалина при непрерывном литье заготовок  | 3–3,6                             | Рециклинг – в агломерационном и/или сталеплавильном производстве; передача сторонним организациям   |
| Электроды графитовые отработанные, не загрязненные опасными веществами                         | 0,004–0,8                         | Рециклинг – в качестве добавочного материала; повторное использование после восстановления резьбы; передача сторонним организациям  |



Сравнение технологий производства стали представлено на рисунке 11.

| а | Производство стали        | Потребление электро-<br>энергии, кВт·ч/т | Потребление<br>топлива, м <sup>3</sup> /т | Технологические<br>газы (кислород), м <sup>3</sup> /т |
|---|---------------------------|--|---|---|
|   | В кислородных конвертерах | 58,1–75,9                                | 3,7–6                                     | 47,4–66,2   |
|   | В электродуговых печах    | 378–1102                                 | 5,2–32,6                                  | 8,5–76,1  |



| б | Производство стали        | Потребление сырья,<br>кг/т | Выбросы взвешен-<br>ных веществ, г/т | Образование<br>отходов, кг/т |
|---|---------------------------|----------------------------|--------------------------------------|------------------------------|
|   | В кислородных конвертерах | 1058–1382                  | 100–340                              | 123,9–223,1                  |
|   | В электродуговых печах    | 186–1369                   | 140–2000                             | 79–201                       |

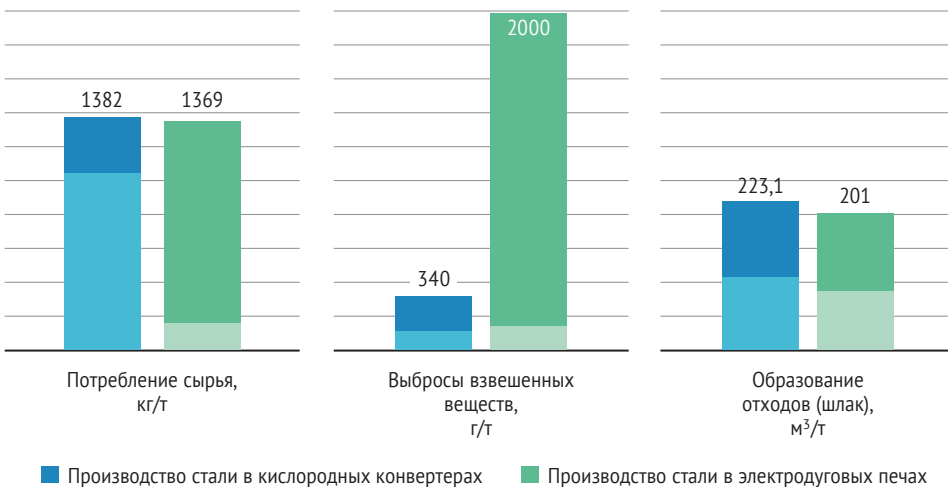


Рис. 11. Сравнение технологий производства стали:  
а – по потреблению ресурсов; б – по потреблению сырья и образованию отходов

### Сравнение технологий с применением эксергетического анализа

Расход железа и его сплавов в настоящее время по массе составляет свыше 90% от общего расхода всех используемых металлов. Это определяет большую актуальность мероприятий по повышению ресурсной и энергетической эффективности процессов черной металлургии, поскольку даже незначительное повышение КПД при таких больших объемах производства может дать значительный эффект в целом по отрасли.

Наиболее распространенным процессом получения чугуна в настоящее время и на ближайшую перспективу остается доменный процесс, а выплавку стали осуществляют в электрических печах и кислородных конвертерах. Рассмотрим полные энергетические балансы доменной печи и производства стали кислородно-конвертерным способом.

Для примера взят эксергетический анализ системы доменной печи. Основой для составления эксергетического баланса служат материальный и энергетический балансы. Элементы энергетического и эксергетического балансов системы доменной печи приведены в таблице 14.

Таблица 14. Материально-энергетический баланс

| Статья баланса                        | Энергия,<br>ГДж/т доменного чугуна | Эксергия,<br>ГДж/т доменного чугуна |
|---------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| <i>Приход</i>                         |                                    |                                     |
| Кокс                                  | 25 205                             | 26 415                              |
| Уголь:                                |                                    |                                     |
| – для принудительного дутья;          | 2633                               | 2814                                |
| – для выработки увлажненного пара;    | 29                                 | 29                                  |
| – для выработки энергии               | 172                                | 201                                 |
| Руда и флюсы                          | 1403                               | 1055                                |
| Газ для подогревателей дутья          | 3366                               | 3295                                |
| Итого                                 | 32 808                             | 33 809                              |
| <i>Расход</i>                         |                                    |                                     |
| Доменный чугун:                       |                                    |                                     |
| – физическая часть;                   | 1231                               | 754                                 |
| – химическая часть                    | 8780                               | 8206                                |
| Полезный газ                          | 19,178                             | 19,477                              |
| Потери – шлак:                        |                                    |                                     |
| – физическая часть;                   | 1709                               | 1135                                |
| – химическая часть                    | 1373                               | 1214                                |
| Пыль                                  | 226                                | 189                                 |
| Теряемый газ                          | 1432                               | 1080                                |
| Потери в доменной печи                | 1875                               | 5003                                |
| Охлаждение газа                       | 1432                               | 515                                 |
| Потери в подогревателях               | 645                                | 1838                                |
| Потери в каналах дутья                | 364                                | 134                                 |
| Потери при выработке электроэнергии   | 142                                | 146                                 |
| Потери при сжати и увлажнении воздуха | 2215                               | 2387                                |
| Газ для подогревателей дутья          | 3366                               | 3295                                |
| Итого                                 | 32 808                             | 33 809                              |

Эксергетический баланс системы можно рассмотреть на графиках Грассмана и Санки (рис. 12 и 13).

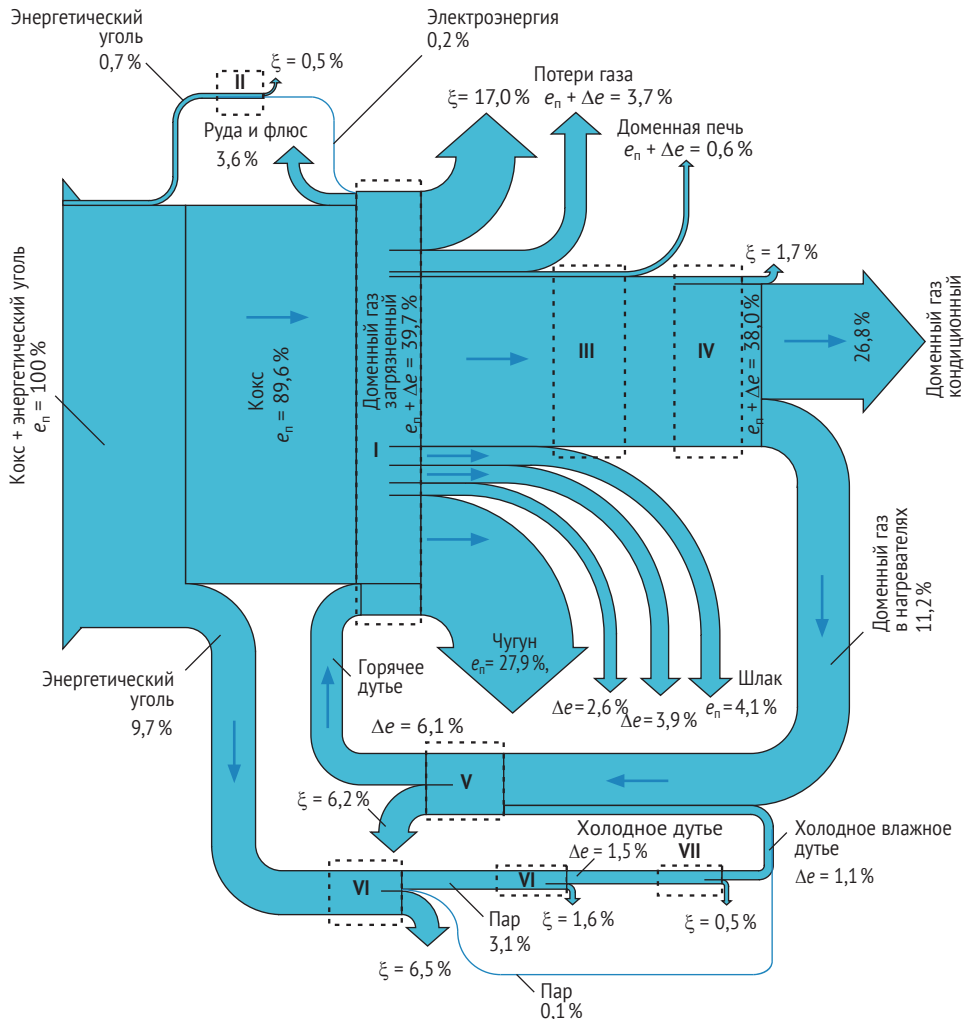


Рис. 12. График Грассмана для эксергетического баланса системы доменной печи

Источник: Шаргут Я. Эксергия. — М., 1968.

К полезным продуктам процесса относятся доменный чугун и доменный газ, поставляемый внешним потребителям. Вычтя из эксергии этих продуктов эксергию руды и флюсов и отнеся эту разность к приводной эксергии, получают значение эксергетического КПД = 53,7.

Эксергетический КПД доменной печи обусловлен относительно небольшими потерями эксергии доменной печи. Внутренние потери эксергии в пределах доменной печи и эксергия доменного газа вместе составляют только 2,7% эксергии кокса, загружаемого в дому.

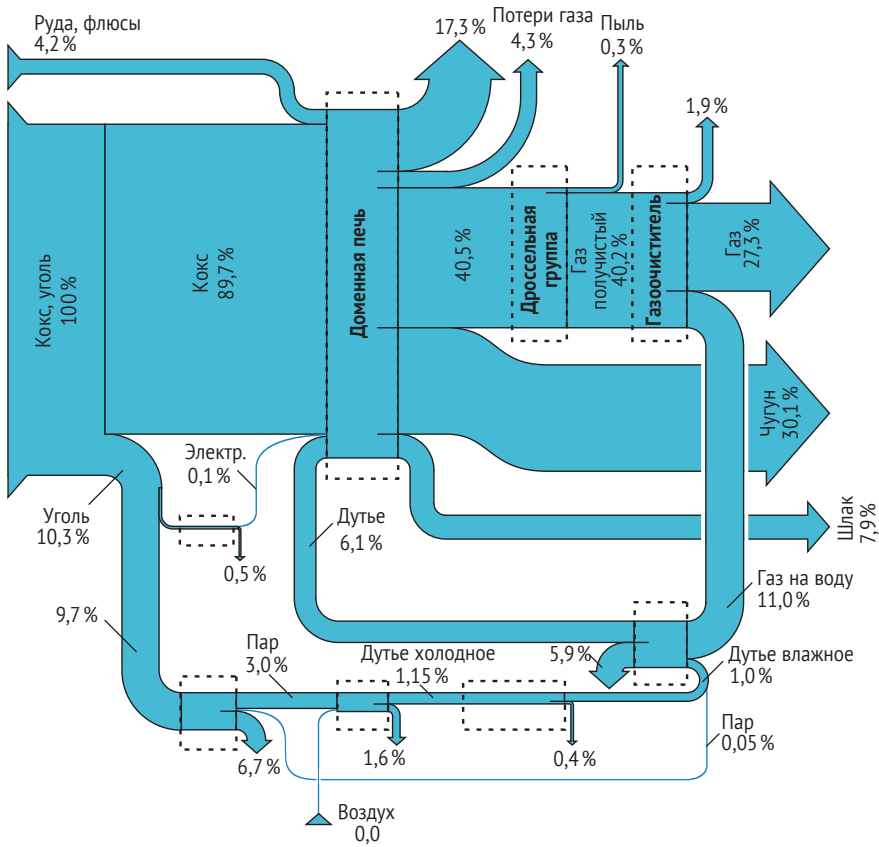


Рис. 13. График Санки для баланса эксергии доменной печи

Источник: Шаргут Я. Эксергия.

Большое значение эксергетического КПД доменной печи получено вследствие того, что весь доменный газ признан полезным продуктом процесса. Относительно большие потери эксергии имеют место при сжатии и нагревании воздуха для дутья — это указывает на широкие возможности улучшения этих процессов.

Полный энергетический баланс технологических процессов цехов, составленный с указанием значения эксергии во всех статьях как приходной, так и расходной его части, позволяет производить качественную оценку всех видов потерь. Значение эксергии характеризует ту долю потерь энергии, которая теоретически может быть использована. Оставшаяся часть потерь представляет безвозвратные потери энергии.

В реальных технических устройствах, также обладающих определенной степенью эффективности, невозможно полностью использовать весь потенциал вторичных энергетических ресурсов. Поэтому, анализируя возможности практического применения отдельных видов потерь, целесообразно учитывать технические решения, которые могут быть применены в каждом конкретном случае.

Для оценки предельных возможностей энергетического совершенствования производства стали предлагается производить сопоставление показателей реального процесса с показателями его идеализированного аналога. Технологическая схема производства стали на основе кислородно-конвертерного способа описывается идеализированным аналогом, включающим производство чугуна и выплавку стали из чугуна, как и в реальном производстве: производство чугуна описывается реакцией восстановления чистого магнетита углеродом с подведением тепловой энергии (эксергии), выплавка стали из произведенного чугуна<sup>8</sup>.

На рисунке 14 приведена диаграмма полного энергетического баланса идеализированного аналога, которая позволяет определить идеальный КПД отдельных процессов и технологической схемы в целом.

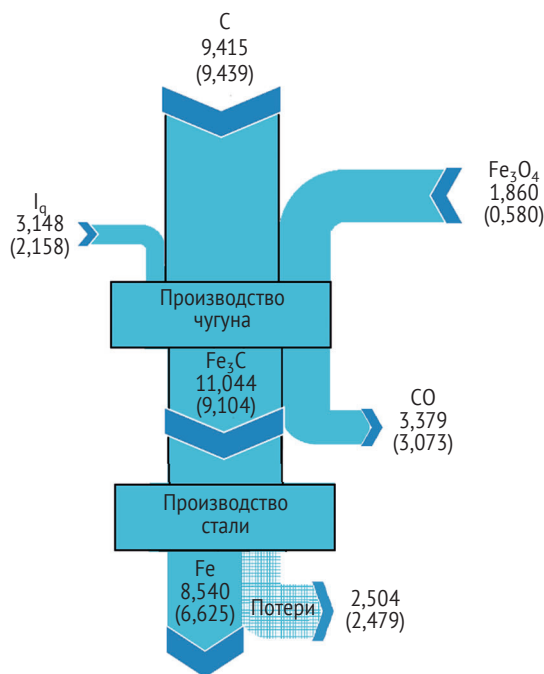


Рис. 14. Диаграмма полного энергетического баланса и идеализированного аналога (в скобках)

Уровень энергоиспользования на рассматриваемом производстве, характеризующийся энергетическим и эксергетическим КПД, равными 82,6% и 79,6%, соответственно. Значения энергетического и эксергетического КПД реального процесса 41,7% и 38,4%.<sup>9</sup>

<sup>8</sup> Степанов В. С. Термодинамические исследования металлургических процессов: энергетические балансы, эксергетический анализ. — Иркутск, 2013.

<sup>9</sup> Степанов В. С. Эффективность использования энергии. — Новосибирск, 1994.

Относительные КПД рассматриваемого технологического процесса производства стали тогда составят  $\eta_{\text{ЭН}}^{\text{ОТН}} = 50,5\%$  и  $\eta_{\text{ЭК}}^{\text{ОТН}} = 48,2\%$ .

Рассчитанные КПД показывают эффективность всех видов энергии, включая химическую энергию сырья и материалов.

## ОТХОДЫ И ВТОРИЧНЫЕ РЕСУРСЫ

Одним из путей снижения материалоемкости продукции и экономии сырьевых ресурсов является вовлечение в производство вторичных материальных ресурсов (ВМР) — отходов, которые образуются как в сфере материального производства, так и в сфере потребления.

Принцип переработки вторичных ресурсов сформулировал академик И. П. Бардин: «Отходы одних технологических переделов или производств должны служить сырьем для других». Решение этой задачи является актуальным не только для России, но и для всего мирового сообщества.

Мировой и отечественный опыт показывает, что использование многих видов ВМР технически осуществимо и экономически выгодно. Восстановление сырьевых ресурсов из отходов в индустриально развитых странах мира является вопросом государственной важности, что позволило решить экономические и технологические проблемы, связанные с переработкой отходов. Повышенное внимание к использованию ВМР объясняется, с одной стороны, истощением запасов полезных ископаемых, а с другой — прямой экономической выгодой от использования дополнительных сырьевых источников.

Для российской металлургии проблема отходов имеет особую актуальность вследствие высокого уровня их удельного образования на единицу металлопродукции — в 1,5–3,0 раза выше, чем в развитых странах. Это обуславливает высокую ресурсо- и энергоемкость отечественных металлургических предприятий и загрязнение окружающей среды в регионах их размещения. Развитие черной металлургии во второй половине XX в. показало, что металлургические предприятия обладают широкими возможностями по переработке различных видов производимых человечеством отходов: от автомобильного металлолома до бытовых отходов.

Общепризнанно, что техногенное минеральное сырье — это конкурентоспособный, перспективный, постоянно пополняемый минеральный ресурс. Вовлечение в переработку вторичных ресурсов металлургической промышленности обеспечит экономию материально-технических ресурсов, развитие отходоперерабатывающей отрасли и снижение загрязнения окружающей среды.

## Образование отходов в металлургии

Металлургия — одна из наиболее материалоемких и энергоемких отраслей промышленности. Высокий расход материальных и энергетических ресурсов обуславливает высокий уровень образования отходов в металлургической отрасли. Это, в первую очередь, отходы обогащения рудного сырья, углей

и флюсовых материалов. Другим источником образования отходов являются непосредственно технологические процессы производства кокса и агломерата, выплавки чугуна и стали, производства проката.

Известно, что на отечественных металлургических предприятиях для производства 1 т стали в технологический процесс вовлекается примерно 10 т природных ресурсов, включая воду и воздух. Оставшиеся 9 т превращаются в загрязнения в виде газов, загрязненных сточных вод и твердых отходов. По экспертным оценкам, удельный выход отходов на 1 т проката в целом по черной металлургии России составляет: породы от добычи и обогащения полезных ископаемых — 1500–2500 кг, шлаки — 500–1000 кг, шламы — 80–120 кг, сухая пыль — 80–120 кг, окалина — 30–40 кг, сточные воды — 250–300 м<sup>3</sup>, технологические газы — 8000–10 000 м<sup>3</sup>, аспирационный воздух — 30 000–50 000 м<sup>3</sup>, горючие газы — 2000–2500 м<sup>3</sup>.

При обогащении железорудного сырья образуются такие отходы, как порода, шламы, хвосты сухой магнитной сепарации (5–12 % от переработанной руды), хвосты мокрой магнитной сепарации (35–80 % от переработанной руды). Их ежегодное образование на горно-обогатительных комбинатах России превышает 100 млн т.

При последующей переработке железорудного сырья образуется большое количество железосодержащих отходов в виде пылей и шламов газоочистных сооружений агломерационных фабрик, доменных и сталеплавильных производств, выход которых составляет около 1 % от массы сырья или 7–8 % конечного объема производства металлургических заводов. Содержание железа в твердых отходах агломерационного, доменного и сталеплавильного производства составляет 33–70 % в пересчете на приведенное, а из 1 млн т вторичных железосодержащих отходов может быть получено 450 тыс. т металла. Кроме того, в них отмечается большое содержание оксидов цинка (до 20 %), свинца и щелочных металлов.

В таблице 15 приведена классификация твердых отходов по производственным циклам металлургического производства.

При самых совершенных технологиях предотвратить возникновение отходов невозможно. Однако высокий уровень их образования является следствием неэффективного использования в производственной деятельности природных ресурсов. Образование отходов приводит к потере материалов и энергии, а также к дополнительным экономическим издержкам в связи со сбором, транспортированием, переработкой и захоронением.

Опыт развитых государств показал, что человечество может успешно развиваться, значительно сократив потребление природных ресурсов на единицу продукции. Известно, что ресурсоемкость единицы ВВП в России в 2–3 раза выше, чем в развитых странах. Это означает, что для производства 1 т продукции в России вовлекается в 2–3 раза больше природных ресурсов при соответствующем увеличении образования отходов. В 2015 г. черная металлургия в России образовала в целом 535 млн т твердых отходов, включая добычу, обогащение и переработку железных руд, что при производстве стали в России 70,7 млн т в год составило около 8 т/т стали, то есть в восемь раз превысило выпуск основной продукции.

Выход доменного шлака на большинстве российских металлургических предприятий превышает 300 кг/т чугуна и колеблется от 368 до 472,6 кг/т чугуна, выход колошниковой пыли достигает 39–49 кг/т чугуна, доменного шлама — 30–39 кг/т чугуна, вынос пыли из конвертеров — 25–28 кг/т стали, выход конвертерного шлака — 180–190 кг/т стали, количество прокатной окалины — 50–70 кг/т металлопроката.

Таблица 15. Классификация отходов черной металлургии по производственным циклам

| Производственный цикл   | Основные технологические операции  | Тип отходов   |
|-------------------------|--|---|
| Обогащение железных руд | Сухое обогащение, дробление, сортировка, гравитационная и магнитная сепарация                                  | Порода обогащения, пыли и шламы дробильно-сортировочных и обогатительных фабрик   |
|                         | Мокрое обогащение, измельчение, гравитационная и магнитная сепарация, флотация                                 | Хвосты обогатительных фабрик, пыли и шламы дробильных фабрик  |
| Производство агломерата | Дробление, сортировка, спекание шихты  | Пыли и шламы дробильно-сортировочных фабрик, пыли и шламы очистки отходящих газов от агломашин  |
| Выплавка чугуна         | Отсев мелочи из агломерата и кокса, подача шихты в доменную печь, выплавка чугуна, слив шлака, разливка чугуна | Отсев кокса и агломерата, пыли и шламы подбункерных помещений (шихтоподачи), пыли и шламы от очистки технологического газа, шлак, пыль литейного двора, отходы огнеупоров |
| Выплавка стали          | Заливка чугуна, подготовка металлолома, выплавка стали, выпуск шлака и стали                                   | Пыль отделения перелива чугуна и подготовительных отделений, шлак, пыли и шламы от очистки технологических газов, отходы огнеупоров                                       |
| Производство проката    | Очистка сточных вод производства проката, зачистка изделий с использованием огневых и механических методов     | Прокатная окалина (первичная и вторичная — замасленная), пыли и шламы от зачистки изделий   |

Зарубежный опыт показывает, что в металлургии имеются значительные резервы снижения образования отходов. В результате реализации программ, направленных на снижение материальных и энергетических потерь, за последние 20 лет практически на всех заводах черной металлургии ЕС и Северной Америки объем твердых отходов уменьшился на 80%.

Вследствие неэффективного использования материально-сырьевых и топливно-энергетических ресурсов их доля в себестоимости продукции металлургических предприятий существенно превышает.



## Основные направления использования

### Металлургические шлаки

Шлак сопутствует всем современным технологическим процессам производства черных металлов. Шлаки доменного производства содержат невосстановленные соединения, а в состав сталеплавильных шлаков входят вновь образовавшиеся продукты окисления и соединения, поступающие при плавлении.

Металлургические шлаки представляют собой многокомпонентные системы, в которых оксидами, определяющими их состав, являются CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO и FeO. Кроме этого, они содержат оксиды Mn, P, Cr, V, Ti и др. Высоким содержанием остаточного железа характеризуются только конвертерные шлаки, в то время как доменные и электросталеплавильные шлаки имеют преимущественно алюмосиликатный состав.

В таблице 16 представлены данные о химическом составе шлаков доменного и сталеплавильных (конвертерный, электросталеплавильный) процессов и видах традиционно производимой в мире шлаковой продукции.

Таблица 16. Химический состав металлургических шлаков и виды шлаковой продукции

| Вид шлака              | Содержание компонентов, % |                  |                                |       |         |                  |         |                               | Направления применения   |
|------------------------|---------------------------|------------------|--------------------------------|-------|---------|------------------|---------|-------------------------------|--|
|                        | CaO                       | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO   | MnO     | TiO <sub>2</sub> | FeO     | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> |  |
| Доменный               | 43–50                     | 32–40            | 6–9                            | 4–8   | 0,1–1,0 | 0,2–1,4          | 0,2–0,9 | –                             | Гранулированный шлак – производство цемента. Шлаковая пемза – заполнитель легких бетонов. Известковое удобрение. Щебень, песок – дорожное строительство, бетоны, шлакоминеральные активные смеси, обратные засыпки в строительстве |
| Конвертерный           | 41–56                     | 11–22            | 1–3                            | 2–5   | 3–6     | –                | 8–20    | 0,1–10,0                      | Дробленый шлак – для выплавки чугуна. Щебень и песок – дорожное строительство. Известковые и фосфорные удобрения   |
| Электросталеплавильный | 3–45                      | 15–26            | 3–11                           | 10–20 | 1–8     | –                | 1,3–1,8 | –                             | Щебень и песок – дорожное строительство. Известковое удобрение   |

Основные виды продукции из шлаков как в России, так и за рубежом — гранулированный шлак, щебень и песок, оборотный продукт для металлургии, пемза, известковые и фосфорные удобрения. Менее массовым является производство шлаковой ваты, литых изделий, высокоглиноземистого клинкера. Вторичный продукт, производимый из гранулированных шлаков, — шлакоситаллы.

*Мелкодисперсные отходы*

Мелкодисперсными отходами в черной металлургии являются пыли и шламы газоочистных сооружений и аспирационных устройств. Шламы и пыли в металлургии представляют собой остатки сырья и продуктов его переработки, возникающие в процессах металлургического производства.

Металлургические пыли и шламы относятся к группе железосодержащих отходов, которые классифицируются по массовой доле железа:

- а) богатые — массовая доля железа 55–67 % (шлам и пыль газоочисток конвертерных цехов);
- б) относительно богатые — массовая доля железа 40–55 % (шламы и пыли аглофабрик, газоочисток и подбункерных помещений доменных печей);
- в) бедные — массовая доля железа менее 40 % (шлам и пыль газоочисток электросталеплавильных печей).

Химический состав пылей и шламов зависит от состава сырья и технологического процесса и может меняться в существенных пределах на различных заводах и в разные периоды времени. В таблице 17 приведены усредненные данные о химическом составе пылей и шламов черной металлургии.

Известно, что шламы, содержащие от 37 до 52 % Fe<sub>общ</sub>, от 4 до 15 % С, оксиды кальция, магния, марганца, алюминия, кремния, относятся к ценному техногенному сырью. Согласно техническим требованиям к качеству железосодержащих пылей и шламов, при их утилизации в металлургии суммарное содержание в них железа, углерода, а также оксидов Са и Mg должно быть не ниже 45 %. Наибольшую ценность для черной металлургии имеет железо, содержание которого в мелкодисперсных отходах достигает 55–67 %. Пыль электропечей, основная составляющая шихты которых — металлолом, содержит значительные количества цветных металлов: Zn (до 30 %), Pb (до 8 %) и др.

Ускоренное развитие прокатного производства привело к значительному увеличению расхода воды на охлаждение оборудования и образованию прокатной окалина. По химическому составу окалина близка к чистому магнетиту (65–72 % Fe), а по гранулометрическому составу представлена в основном фракцией менее 0,2 мм. Прокатная окалина из отстойников прокатных станков (вторичная, или замасленная) имеет влажность 20–30 %, содержание в ней смазок — 2–3 %, содержание железа — 60–70 %.

Таблица 17. Химический состав пылей и шламов черной металлургии, %

| Элементы и соединения          | Агломерационные | Доменные    | Конвертерные | Электростале-плавильные |
|--------------------------------|-----------------|-------------|--------------|-------------------------|
| Fe <sub>общ</sub>              | 22–58           | 40–55       | 41–67        | 30–55                   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 27–70           | 20–60       | 39–78        | –                       |
| FeO                            | 3–22            | 5–9         | 5–67         | –                       |
| CaO                            | 2–21            | 4–10        | 3–20         | 1,5–17,0                |
| SiO <sub>2</sub>               | 4–10            | 6–11        | 1,4–2,9      | 2–12                    |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1,5–3,0         | 2–4         | 0,11–0,36    | 0,3–10,0                |
| MgO                            | 1–6             | 1–3         | 0,15–1,48    | 5–27                    |
| K <sub>2</sub> O               | 0,09–0,22       | 0,12–0,53   | 0,10–0,26    | 0,3–1,0                 |
| Na <sub>2</sub> O              | 0,05–0,16       | 0,1–0,3     | 0,10–0,61    | 1,0–2,0                 |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,10–0,37       | 0,1–0,4     | 0,03–0,05    | 0,2–0,6                 |
| Mn                             | 0,08–0,41       | 0,1–0,5     | 0,74–1,68    | 1,5–5,5                 |
| P                              | 0,02–0,27       | 0,03–0,23   | 0,04–0,18    | 0,02–0,25               |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,01–0,04       | 0,01–0,14   | 0,01–0,06    | До 0,36                 |
| V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,01–0,08       | 0,01–0,10   | 0,01–0,23    | 0,01–0,10               |
| S                              | 0,14–0,78       | 0,2–0,9     | 0,04–0,32    | 0,02–0,50               |
| BaO                            | 0,01–3,49       | 0,03–0,86   | 0,01–0,03    | –                       |
| Ni                             | 0,004–0,079     | 0,01–0,03   | 0,01–0,04    | 0,02–8,00               |
| Cu                             | 0,01–0,04       | 0,01–0,02   | 0,01–0,07    | 0,1–0,5                 |
| Zn                             | 0,01–0,09       | 0,5–15,4    | 0,18–4,16    | До 30,0                 |
| Pb                             | 0,01–0,10       | 0,1–0,6     | 0,01–0,61    | До 5,0                  |
| Mo                             | 0,002–0,004     | 0,002–0,020 | Менее 0,002  | 0,01–0,09               |
| Sr                             | 0,004–0,100     | 0,001–0,010 | 0,004–0,020  | –                       |
| As                             | 0,002–0,030     | 0,002–0,005 | 0,002–0,020  | –                       |
| C                              | 1,78–12,06      | 6–26        | 0,70–4,32    | 0,5–3,0                 |

## Технологии переработки

### Доменные шлаки

Исторически сложилось так, что доменные гранулированные шлаки в России и некоторых европейских странах используются преимущественно для производства вяжущих материалов, особенно для производства шлакопортландцемента. Шлакопортландцемент — это гидравлическое вяжущее вещество, твердеющее в воде и на воздухе, получаемое совместным тонким измельчением портландцементного клинкера и гранулированного шлака. Содержание шлака в шлакопортландцементе по ГОСТ 10178-85 должно составлять 21–60% массы цемента.

Шлакопортландцементы широко применяются в настоящее время во многих странах для общих строительных работ, для гидротехнических сооружений и для сборных железобетонных изделий (например, бетонные трубы). По прочности они не уступают портландцементу, но нуждаются в более тщательном уходе при повышенных и пониженных температурах.

В Российский справочник наилучших доступных технологий (НДТ) ИТС 6-2015 «Производство цемента» включена замена природных сырьевых компонентов отходами производства, прежде всего металлургическими шлаками (до 80 % карбонатного или алюмосиликатного компонента), а также железосодержащими хвостами, шламами и пылями черной металлургии (до 100 % железосодержащего компонента). В то же время в России в последние годы наблюдается снижение использования доменных гранулированных шлаков цементной промышленностью в связи с падением спроса на шлакопортландцемент. В связи с этим приобретает большое значение расширение масштабов производства шлакового заполнителя, в том числе шлаковой пемзы, которая является заменителем керамзита, а также литого шлакового щебня для тяжелых бетонов.

В СССР длительное время изучением, использованием и даже переработкой металлургических шлаков занимались организации строительной отрасли. В 1966 г. при УралНИИЧМ был создан научно-исследовательский отдел — головной по шлакам в СССР. Отдел шлакопереработки был создан также в Гиромезе. В результате внедрения отечественных разработок в 70-х гг. XX в. уровень использования доменных шлаков резко возрос и составил в 1977 г. 80,1 %. Была поставлена задача к 1980 г. перевести все металлургические предприятия на работу без шлаковых отвалов и к 1990 г. ликвидировать существующие отвалы.

На металлургических заводах СССР к началу 90-х гг. XX в. из доменных шлаков производили следующие виды продукции:

- гранулированный шлак (72 %);
- щебень (23 %);
- пемза (4 %);
- шлаковата (0,3 %);
- высокоглиноземистый клинкер (0,2 %);
- литые изделия (0,1 %).

В 1990-х гг. эксплуатировалось 40 установок по производству гранулированного шлака, в том числе 25 установок использовали полусухой способ грануляции (17 — гидрожелобной, 8 — барабанный), 11 установок применяли мокрый способ (1 — желобной, 10 — бассейновый) и 4 — припечные установки.

Гранулированный шлак начали получать еще в XIX в., охлаждая расплавленный доменный шлак водой. В дальнейшем технологии грануляции шлака развивались и совершенствовались.

Из всех существующих способов грануляции доменных шлаков используют в основном три.

1. Мокрое гранулирование — на текущую струю расплавленного шлака подают струю воды, и обе струи падают в бассейн с водой. В результате

расплавленный шлак разбрызгивается, и эти брызги затвердевают в воде в виде мелких зерен, или гранул.

2. Полусухое гранулирование — расплавленное вещество, смешанное со струей воды, подают на вращающийся барабан с лопастями, с которых оно отбрасывается в виде капель. При падении в воздухе эти капли затвердевают.
3. Сухое гранулирование — расплавленное вещество гранулируют под воздействием сжатого воздуха, азота или водяного пара.

По размещению грануляционных установок способы грануляции подразделяются на центральные (внепечные) и припечные.

Грануляция в бассейнах — самый старый способ, еще встречающийся на практике и заключающийся в том, что шлаковый расплав из ковшей сливают в бассейн с водой, в некоторых случаях — в промежуточный наклонный желоб.

В России основная масса гранулированного шлака (88,3 %) производится на центральных установках преимущественно полусухим гидрожелобным способом.

Недостаток центральных грануляционных установок, расположенных за пределами доменного цеха, состоит в том, что для них требуется значительная протяженность железнодорожных путей, большой парк шлаковозных ковшей и локомотивов. За время транспортировки температура огненно-жидкого шлака снижается на 100–150°С, что ухудшает качество гранулята как материала для производства вяжущих веществ. Кроме того, 30–35 % шлака уходит на образование корок, коржей и настелей в ковшах. Это определяет относительно низкий выход гранулированного шлака (не более 75 %) из исходного огненно-жидкого шлака.

Наиболее рациональным методом переработки шлака является грануляция шлака на припечных установках, исключая из эксплуатации парк шлаковозных ковшей, что значительно упрощает организацию и удешевляет производство. Эксплуатационные затраты при припечной грануляции шлака на 44 % ниже, чем при центральной грануляции; капитальные затраты ниже на 55 %.

В России различные варианты технологии воздушной грануляции шлаковых расплавов разработаны ОАО «Уральский институт металлов». Сравнение эксплуатационных затрат показывает, что воздушная грануляция шлаковых расплавов в 1,5–2,0 раза экономичнее водных способов грануляции. Получаемый граншлак имеет низкие значения влажности и пористости и может быть использован в производстве строительных материалов.

Наиболее распространенным в мире способом переработки доменного шлака является производство шлакового щебня, который используется в качестве заполнителя в строительной отрасли. Это направление позволяет вовлечь в строительный комплекс значительно большее количество шлака, чем в производство из него вяжущих веществ. Особенно эффективно производство шлакового щебня при применении технологии придоменной переработки шлака. При этом используется та тепловая энергия, которая была аккумулирована шлаковым расплавом в процессе производства чугуна. Такая

технология позволяет достичь значительной экономии топливно-энергетических ресурсов.

Производство литого щебня — прочного и тяжелого заполнителя для конструктивных бетонов и элементов дорожного строительства — реальный путь в короткие сроки и с большим экономическим эффектом возместить недостаток в нерудных строительных материалах. Для получения литого щебня изготавливают длинные желоба, ведущие в траншеи, которые поочередно заполняются расплавом. После затвердевания шлак убирают с помощью экскаватора и направляют на дальнейшую переработку. Это самый дешевый и наиболее производительный способ получения литого щебня.

В России шлаковый заполнитель используется сравнительно редко, поэтому имеются огромные резервы расширения производства бетонов на шлаковом заполнителе, что позволит ускорить переработку шлаковых отвалов в районах расположения металлургических заводов России.

#### *Сталеплавильные шлаки*

Сталеплавильные шлаки включают в себя шлаки конвертерного производства стали — около 60 % всего объема, электросталеплавильного — около 30 %, шлаки вторичных металлургических процессов — около 10 %. В отличие от массово перерабатываемых доменных шлаков, сталеплавильные шлаки в массовом масштабе начали использовать в мире с 1967 г.

Существуют возможности повторного использования сталеплавильного шлака и в самом сталеплавильном производстве:

- в шихте для ускорения шлакообразования;
- оставление части шлака предыдущей плавки в конвертерах и электропечах;
- для внедоменной обработки чугуна.

В среднем в сталеплавильных шлаках содержится 20–25 % железа, в том числе 10–15 % металлического железа. Значительная доля железа содержится в виде оксидов  $\text{FeO}$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и запутавшихся корольков железа. Поэтому проблема обеспечения металлургических предприятий железосодержащим сырьем в определенной степени решается путем переработки шлаков. Для эффективного использования сталеплавильных шлаков необходимо подвергать их комплексной переработке с максимальным извлечением металла, получением щебня, отсевом мелких фракций и их доизмельчением при производстве шлаковой муки.

Важным этапом технологии переработки сталеплавильных шлаков является извлечение из них металла. Основным продуктом шлакопереработки является металлопродукт различных классов по крупности и содержанию железа, который, как правило, возвращается в металлургический передел, заменяя часть первичного сырья.

Использованию сталеплавильных шлаков в дорожном и гражданском строительстве препятствует наличие свободной извести. Шлаки, содержащие избыток основных оксидов над кислотными, склонны к самопроизвольному распаду под воздействием влажного воздуха. Такие шлаки непригодны для получения

бетона. Шлак расширяется в объеме до 10% вследствие гидратации извести и окиси магния. Необходимо по крайней мере 6 месяцев для старения шлака по CaO и несколько лет для завершения гидратации окиси магния. Ранее шлак длительное время хранили в отвалах и стабилизировали известь путем естественного старения. В настоящее время разработаны новые технологии, например, шлак сразу после выпуска из конвертера подвергают обработке водяным паром, достигая эффекта старения, и это позволяет его использовать сразу, без длительной выдержки. Обработанный таким образом шлак дробят, путем магнитной сепарации удаляют металл, который затем возвращают в шихту конвертеров и дуговых печей, а шлак подвергают грохочению и после сортировки отгружают потребителям.

Как правило, для переработки сталеплавильных шлаков используют стандартное оборудование, предназначенное для горнорудной промышленности или производства строительных материалов.

Щебень из сталеплавильных шлаков является полноценным заменителем гранитного щебня, и стоимость его в 2–3 раза ниже стоимости щебня из горных пород. Используется шлаковый щебень в строительстве железных и автомобильных дорог, в общестроительных работах и в качестве сырья для производства цемента.

Наиболее широко применяется шлаковый щебень в строительстве автомобильных дорог для устройства оснований дорожных одежд. Особой популярностью у дорожников пользуется крупный щебень 40–70 мм. Установлено, что при строительстве 1 км дороги шириной 7 м необходимо использовать 5000–6000 т щебня и песка. Под строительство такого же участка дороги расход шлака составляет 700–800 т.

Конвертерный шлаковый щебень характеризуется способностью схватываться без доступа воздуха, зерна связываются друг с другом путем формирования гидратов, и при этом постепенно повышается предел прочности при сжатии. Предел прочности на сжатие у конвертерного шлака незначительно ниже по сравнению с данной характеристикой природного материала. Увеличивает предел прочности на сжатие добавка доменного шлака в количестве до 25%.

Кроме дорожных одежд щебень можно успешно применять в составе асфальтобетонного покрытия. Шлаковые асфальтобетонные покрытия отличаются высокой сдвигоустойчивостью, водо- и морозостойкостью, долговечностью и стабильными фрикционными свойствами в процессе эксплуатации. С введением в асфальтобетон шлаковых материалов коэффициент сцепления колеса с покрытием значительно увеличивается.

Конвертерный шлаковый щебень является отличным путевым балластом на железных дорогах. Этому способствует его высокая износостойкость и сопротивление истиранию, высокое электрическое сопротивление, что обеспечивает отсутствие помех для проводимости рельсов. Большая удельная масса и угловатая форма кусков конвертерного щебня обеспечивает высокое сопротивление боковому смещению на кривом пути. Значительная пористость обеспечивает хороший дренаж ливневых вод.

В общестроительных работах шлаковый щебень используется при изготовлении бетонных изделий. При изготовлении бетона конвертерные шлаки могут применяться как в качестве одного из компонентов вяжущего, так и в качестве крупного или мелкого заполнителя. Щебень из конвертерных шлаков — эффективный крупный заполнитель для бетонов вместо дорогостоящих природных материалов: андезита, базальта, диабазы. Механическая прочность шлакового щебня на 70–80 % выше, чем прочность природных материалов. Кроме того, более интенсивное взаимодействие на границе шлакового щебня с цементными фазами снижает расход вяжущего примерно на 10 % по сравнению с использованием природного, например гранитного щебня. Многочисленными исследованиями доказано, что цемент, полученный с добавкой конвертерного шлака в сырьевую смесь, имеет более высокую начальную прочность.

Из сталеплавильных шлаков производят шлакофосфорные и шлакоизвестковые удобрения для сельского хозяйства. Пригодность шлака к применению в качестве удобрения объясняется тем фактором, что он содержит значительное количество оксида кальция при относительно меньшей доле оксида кремния. Это делает возможным использовать его для известкования кислых почв вместо извести. Наличие в нем марганца, железа, кремния, алюминия и других элементов повышает его ценность в сравнении с известью, т. к. эти соединения в качестве микроэлементов необходимы для развития растений. Шлаки, содержащие оксид кальция до 52 % и оксид магния до 10–12 %, в результате силикатного распада на воздухе превращаются в тонкий порошок и вносятся в почву без помола.

Фосфатные шлаки, полученные при переделе фосфористых чугунов на сталь, являются фосфорным удобрением типа суперфосфата. Впервые в этом качестве стали использовать мартеновские шлаки, содержащие 10–12 %  $P_2O_5$ . Шлакопомольное отделение работает с 1955 г. на немецком оборудовании. На конвертерных фосфатшлаках Карагандинского меткомбината отработана технология получения гранул фосфатшлаковых удобрений на водной основе с необходимыми для растений солевыми добавками. Технология выгодно отличается от известных зарубежных аналогов и позволяет получать гранулы, близкие по форме к сферическим с минимальным разбегом по крупности. Гранулированные металлургические удобрения не пылят при перевозках, пересыпках и внесении в почву.

При переработке сталеплавильных шлаков особенно большое значение придается повышению эффективности извлечения из шлаков железа. Для извлечения железа из металлургических шлаков традиционно используют магнитную и электромагнитную сепарацию. Если при переработке доменных шлаков в извлечении железа нет необходимости ввиду его низкого содержания (менее 1 %), то при переработке сталеплавильных шлаков эта технологическая операция является обязательной, так как содержание железа в них значительное (более 10 %). В настоящее время наиболее перспективными для извлечения металла из шлаков являются магнитные сепараторы (железоотделители) с электромагнитами, что обусловлено их способностью создавать магнитные поля высокой напряженности в больших рабочих объемах.



Одним из первых заводов, перешедшим на полную переработку шлаков сталеплавильного производства, в СССР был Днепропетровский завод им. Петровского. На заводе были введены в эксплуатацию две установки для магнитной сепарации металла и получения щебня: одна — для переработки мартеновского шлака, другая — конвертерного, общей мощностью 250 тыс. т в год.

В настоящее время в России сталеплавильные шлаки перерабатываются на ряде металлургических предприятий.

Стационарная установка включает в себя пять стадий грохочения, три стадии сухой магнитной сепарации и одну стадию самоизмельчения. Передвижные установки состоят из двух агрегатов: один предназначен для классификации шлака по фракциям и выделения из него магнитного продукта, второй — только для отделения магнитного продукта.

Получаемый магнитный продукт фракций 0–10 мм ( $Fe = 36–40\%$ ), 0–15 мм, 10–50 мм ( $Fe = 66–75\%$ ) используется в агломерационном и доменном производствах в качестве металлосодержащего компонента в количестве 35,6 кг/т агломерата и 2–12 кг/т чугуна. Скрап фракции 50–350 мм применяют в металлостихте конвертерной плавки (10–15% от массы металлолома). Фракционированный щебень отгружается потребителям.

Технологическая схема переработки техногенных образований включает в себя участок буровых работ, два участка экскаваторного извлечения крупного металла, дробильно-сортировочную установку и установку по обогащению и сортировке железосодержащего материала. Переработка отвального шлака производится по следующей схеме. На участке экскаваторной разработки отвалов извлекается крупный металл, который по мере накопления отправляется в копровый цех. Извлечение крупного металла производится также и при загрузке шлака в бункер дробильно-сортировочной установки на колосниковой решетке с размером ячейки 300 мм. Прошедший через решетку материал питателем равномерно подается в галтовочный барабан с продольными полками, где куски шлака частично разрушаются с выделением металлических включений. Затем вся масса материала пропускается через магнитный барабан. После барабана немагнитная часть отправляется на дробильно-сортировочную установку для переработки в щебень и песок, а магнитная — на двух последовательно расположенных грохотах разделяется на фракции. Продукция цеха: щебень фракций 0–10, 10–20, 20–40, 40–70 мм; металлопродукт фракций 0–10, 10–40, 40–70, 70–120, более 120 мм; шлакометаллическая смесь (ШМС) фракции 0–10 мм, огнеупорный лом (шамотный и магнезиальный). Годовое производство металлопродукции составляет 425 тыс. т, в том числе:

- 35 тыс. т металлопродукта 0–10 мм,  $Fe = 35–70\%$ , реализуется аглофабрикам;
- 40 тыс. т металлопродукта 10–120 мм,  $Fe = 59–87\%$ , используется в шихте доменных печей (18 кг/т чугуна);
- 120 тыс. т металлопродукта более 120 мм,  $Fe = 75–95\%$ , используется в шихте мартеновских печей;
- 230 тыс. т ШМС 0–10 мм,  $Fe = 22–35\%$ , реализуется аглофабрикам (100 кг/т стали).

В предлагаемой технологии переработки сталеплавильных шлаков используется метод магнитной сепарации с применением принудительной очистки лома в дробильных устройствах. Налажено производство мобильных и стационарных установок по переработке шлака с производительностью до 375 т/ч, позволяющих получать фракционированный щебень, огнеупоры, лом черных и цветных металлов.

Комплексы по переработке сталеплавильных шлаков включают в себя магнитные сепараторы, галтовочные барабаны, барабанные и двухъярусные грохоты, вибрационные питатели, систему конвейеров.

За период с 2000 по 2018 г. было спроектировано и внедрено в эксплуатацию 18 комплексов по переработке отходов металлургического производства производительностью от 150 до 375 т/ч и ассортиментом конечного продукта.

### Технологии переработки металлургических пылей и шламов

В отличие от металлургических шлаков, переработка которых организована на большинстве металлургических заводов, промышленная переработка мелкодисперсных металлургических отходов в России не имеет широкого распространения. На большинстве металлургических заводов традиционно утилизируют агломерационные шламы, для обезвоживания которых построены комплексы обезвоживания, а также перерабатывают на аглофабриках пыль газоочисток доменных печей (колошниковая пыль). Сталеплавильные шламы утилизируют на Новолипецком и Челябинском заводах, доменные шламы в промышленном масштабе не перерабатываются.

Основным методом использования железосодержащих металлургических пылей и шламов (агломерационные, доменные, конвертерные и др.) в мире является их добавка к агломерационной шихте в количестве до 10–15 % (по массе) шихты при сохранении прочности агломерата и производительности агломашин.

Основные требования к металлургическим пылям для их утилизации в агломерации:

- суммарное содержание полезных компонентов — железа, углерода и оксидов кальция (при утилизации в аглошихте) — не менее 45 %;
- концентрация цинка при применении на аглофабриках — не более 1 %;
- влажность при использовании в аглошихте — не выше 8–9 %, в отдельных случаях — не более 12 %;
- максимальный размер комков при использовании в аглошихте — 6 мм;
- при использовании в аглошихте — хорошая слипаемость.

Критериями пригодности железосодержащих отходов к применению в аглопроизводстве являются также их сыпучесть, транспортабельность, возможность дозирования и перегрузок в технологическом цикле аглофабрики, способность равномерно распределяться в массе аглошихты.

Пыли металлургического производства обычно не требуют какой-либо предварительной подготовки перед утилизацией. Шламы, прежде чем их

использовать (например, в качестве компонента шихты), необходимо подвергнуть обезвоживанию (сгущению, фильтрованию, сушке).

Металлургические пыли и шламы содержат железо главным образом в оксидной форме ( $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Восстановление железа из оксидов может происходить в доменной печи, где перерабатывается агломерат или окатыши либо в отдельных восстановительных агрегатах, куда пылевидные отходы загружаются в окускованном виде в форме окатышей или брикетов. При восстановлении железа происходит одновременное восстановление содержащихся в отходах цветных металлов, в частности цинка и свинца.

Цинксодержащие пыли не могут быть направлены в агломерационное производство, так как при попадании агломерата в доменную печь возгонка цинка приводит к образованию настывлей при его конденсации как в верхних горизонтах доменной печи, так и в системе отвода и очистки технологического газа. Содержание цинка в доменных шламах обусловлено его концентрацией в агломерате, в конвертерной и электросталеплавильной пыли — переработкой лома оцинкованных изделий (кузова автомобилей, строительные конструкции). В высокотемпературных металлургических агрегатах цинк возгоняется и затем конденсируется в системе газоочистки, концентрируясь в уловленной пыли; концентрация цинка в электросталеплавильной пыли может достигать 40 %.

Широкое распространение получило производство металлизированных окатышей для использования в качестве восстановителя угля во вращающихся (трубчатых) печах. Отличаются они в основном технологией подготовки исходных материалов. В последние годы на таких установках вместе с вращающейся печью работает устройство типа аглоленты, на которой осуществляются сушка и предварительный нагрев окатышей теплом газов, отходящих из трубчатой печи: решетка — трубчатая печь. Готовые окатыши применяют в качестве вторичного сырья при выплавке стали в конвертерах.

Распространенным способом окускования мелкодисперсных материалов является брикетирование, позволяющее путем прессования получать прочные куски одинакового размера, формы и массы. Кроме того, процесс брикетирования позволяет вводить в состав брикетов полезные добавки, улучшающие показатели технологических процессов. Влажность брикетируемой шихты может достигать более высокого уровня, что особенно актуально для переработки шламов.

Впервые в РФ проведена промышленная переработка пыли электродуговых печей ПАО «Северсталь» с использованием вельц-печи большой мощности (более 350 т/сут). Испытания подтвердили эффективность использования для этой цели вельц-процесса как экологичной и надежной технологии переработки различных видов отходов и промпродуктов черной и цветной металлургии.

В основе процесса лежит восстановление цинка, кадмия и свинца из предварительно окомкованной шихты (60 %), а также коксовой мелочи (25 %) и флюса  $\text{SiO}_2$  (15 %). Шихта загружается во вращающуюся трубчатую печь, где выдерживается 4 ч при температуре  $1200^\circ\text{C}$ . Возгоняясь, пары цинка и других ценных компонентов удаляются из печи вместе с отходящими газами. При охлаждении отходящих газов происходит конденсация паров металлов

в виде мелкодисперсной пыли. Попадая в систему газоочистки, пыль улавливается в фильтрах и представляет собой сырой оксид цинка (50–60% Zn), или «вельц-оксид».

Полученный продукт направляется в цинковое производство, а шлак используется в качестве строительного материала или при строительстве дорог.

Преимущества вельц-процесса:

- низкое энергопотребление;
- хорошо отработанная и оптимизированная технология;
- простота технологического процесса, в одну ступень.

Недостатки:

- низкое качество продукта («грязный» оксид цинка), который может быть использован только как заменитель руды в первичной металлургии цинка;
- большое количество вновь образующихся отходов (около 700–800 кг/т загруженной пыли);
- извлечение только одного ценного металла.

При высоком содержании в отходах свинца Pb (до 1–2%) и цинка Zn (4–7%) на целом ряде предприятий за рубежом проблему их утилизации решили путем получения металлизированных окатышей. Технологический процесс их получения включает в себя окомкование отходов в чашевых окомкователях, сушку и подогрев отходящими газами, последующую металлизацию во вращающихся печах при температуре 1100°С. При этом свинец и цинк улетучиваются на 99%, а щелочные металлы — на 85%. Далее их оксиды конденсируются в холодных частях газоотводящего тракта, а пыль осаждается в газоочистке. Получаемый металлизированный продукт используют в доменной плавке, а мелочь, образующуюся в процессе восстановления, добавляют к агломерационной шихте. При содержании цинка в пыли вращающихся печей 10–30% (по массе) ее применяют в качестве сырья для цветной металлургии, металлизированные окатыши используют в доменном процессе.

## МЕСТО ОТРАСЛИ В ГЛОБАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКЕ

### Место в экономике РФ

В металлургический комплекс входят черная и цветная металлургия. Металл, несмотря на снижение металлоемкости продукции во всем развитом мире, остается основным конструкционным материалом. Металлургия России, обеспечивая производство и научно-техническое развитие практически всех отраслей промышленности, базируется на отечественных сырьевых ресурсах и ориентируется как на зарубежного, так и на российского потребителя. Из недр России извлекается 10% каменного угля, 14% товарной железной руды, 10–15% цветных и редких металлов от всего объема этих полезных ископаемых, добываемых мировым сообществом.

Черная металлургия в первую очередь служит базой для развития машиностроения и металлообработки в России. Продукция черной металлургии находит

применение практически во всех сферах современной экономики. Эта отрасль тяжелой промышленности охватывает такие стадии технологического процесса, как добыча, обогащение и агломерация руд черных металлов, производство огнеупоров, добыча нерудного сырья для черной металлургии, коксование угля, производство чугуна, стали, проката, ферросплавов, вторичный передел черных металлов, добыча вспомогательных материалов, изготовление металлических изделий производственного назначения и др. Но основу черной металлургии составляет производство чугуна, стали и проката. По добыче железной руды, выплавке чугуна, производству кокса Российская Федерация занимает одно из ведущих мест в мире. Крупнейшие потребители продукции черной металлургии — машиностроение и металлообработка, строительная индустрия, железнодорожный транспорт. Самым тесным образом черная металлургия связана с химической и легкой промышленностью.

По материалам Росстата в 2020 г. доля черной металлургии составляла: в промышленном производстве — 5,7%, в валютных поступлениях в экономику России — 5,7%. Как потребитель продукции и услуг субъектов естественных монополий черная металлургия использует 11,5% электроэнергии, более 17,3% природного газа в промышленном производстве России, ее доля в грузовых железнодорожных перевозках составляет 16,7%.

Вклад черной металлургии в экономику России в 2020 г. показан на рисунке 15.

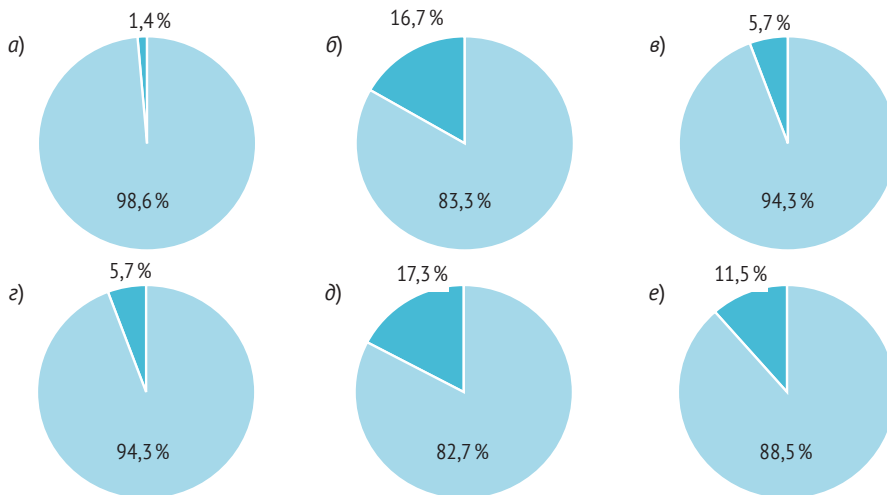


Рис. 15. Вклад черной металлургии в экономику России в 2020 г., %:

а — в ВВП; б — в грузовые железнодорожные перевозки; в — в промышленное производство; г — в валютные поступления в экономику России; д — в потребление природного газа в промышленном производстве России; е — в потребление электроэнергии в промышленном производстве России

Источник: Производство чугуна, стали и ферросплавов...

Начиная с 2000 г. тенденции развития отечественной черной металлургии кардинально изменились: объем инвестиций в 2020 г. вырос почти в 13 раз по сравнению с 2000 г., общий объем инвестиций в отрасль за период 2000–2020 гг. составил около 2,96 трлн руб. Динамика инвестиций в черную металлургию России представлена на рисунке 16.

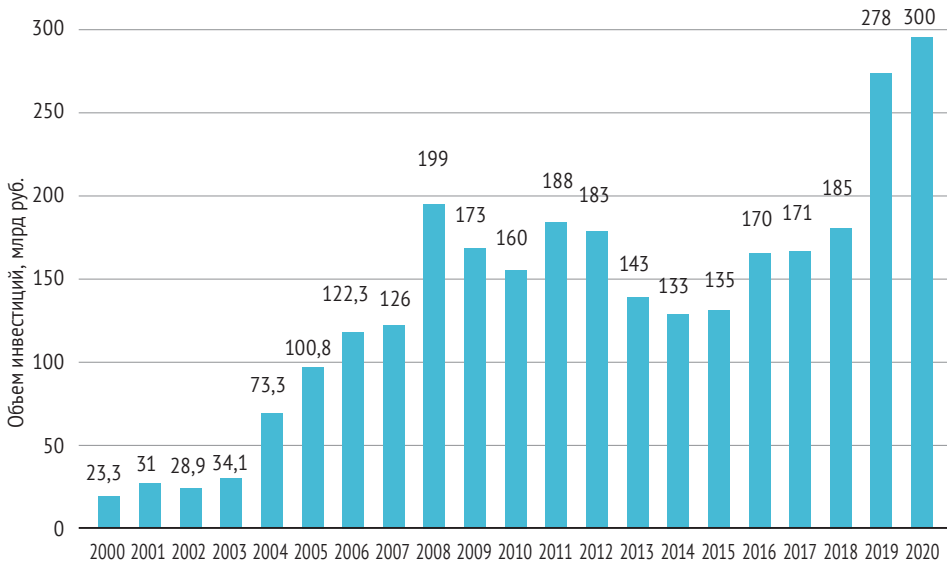


Рис. 16. Динамика инвестиций в черную металлургию России

Источники: Доклад А. В. Сентюрин (Ассоциация «Русская сталь») на 15-м Международном стальном саммите, г. Москва, 06.06.2017 г.; Юзов О. В. Тенденции изменения производственных и экономических показателей металлургических и трубных производств // Сталь. — 2020. — № 9. — С. 58–65.

Благодаря инвестициям, износ основных средств снизился с 53,5% — в 2000 г. и до 42%<sup>10</sup> — в настоящее время.

Россия занимает 4 е место в мире по производству стали (уступая Китаю, Японии, Индии), 2 е место — по производству стальных труб (уступая Китаю), 3 е место — по экспорту металлопродукции (уступая Китаю и Японии), 5 е место — по производству товарной железной руды (после Китая, Австралии, Бразилии и Индии)

Номенклатура продукции черной металлургии России включает около 4 тыс. горячекатаных сортовых профилей, 20 тыс. типоразмеров листа, 2 тыс. гнутых и фасонных профилей, 30 тыс. профилеразмеров труб и 50 тыс. типоразмеров метизов. Вся эта продукция состоит более чем из 2500 марок стали и сплавов; производится около 14 млн маркопрофилеразмеров.

<sup>10</sup> Доменное производство — XXI : Труды международного конгресса доменщиков. Москва, 12–16 апреля 2010 г. — М., 2010.

Динамика производства основных видов продукции черной металлургии в России представлена на рисунке 17.

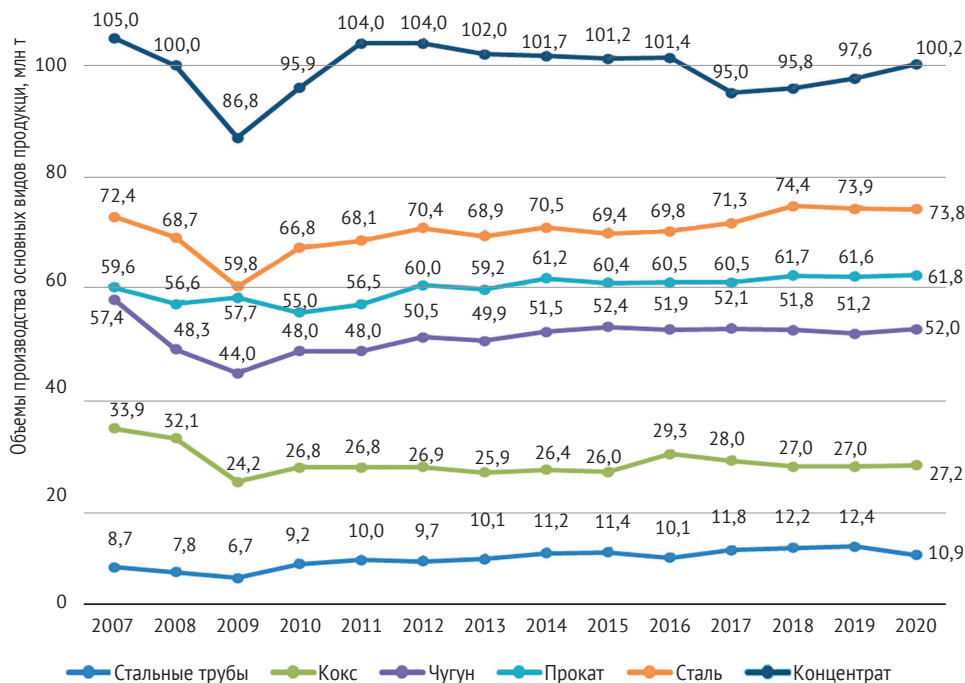


Рис. 17. Динамика производства основных видов продукции черной металлургии в России  
Источники: Доклад А. В. Сентюрин (Ассоциация «Русская сталь») на 15-м Международном стальном саммите, г. Москва, 06.06.2017 г.; Юзов О. В. Тенденции изменения производственных и экономических показателей...

Чугун выплавляется в доменных печах. Средняя удельная производительность доменных печей за период 2000–2016 гг. увеличилась на 19% и сохранилась на этом уровне до 2020 г.

Сталь производится в конвертерах — 64,4%; в электропечах — 33,7%; в мартеновских печах — 1,9%. Динамика выплавки стали по видам производства в России представлена на рисунке 18.

Изменения за период 2000–2020 гг. в сортаменте производимого готового проката в целом по отрасли характеризуются следующими данными, представленными в таблице 18.

Увеличились объемы производства листового проката и холоднокатаного листа, в 4 раза выросла доля листового проката с покрытиями. Это явилось следствием реализации инвестиционных проектов на ПАО «ММК», ПАО «Северсталь» и ПАО «НЛМК».

Динамика укрупненной структуры производства готового проката за период 2007–2020 гг. показана на рисунке 19.

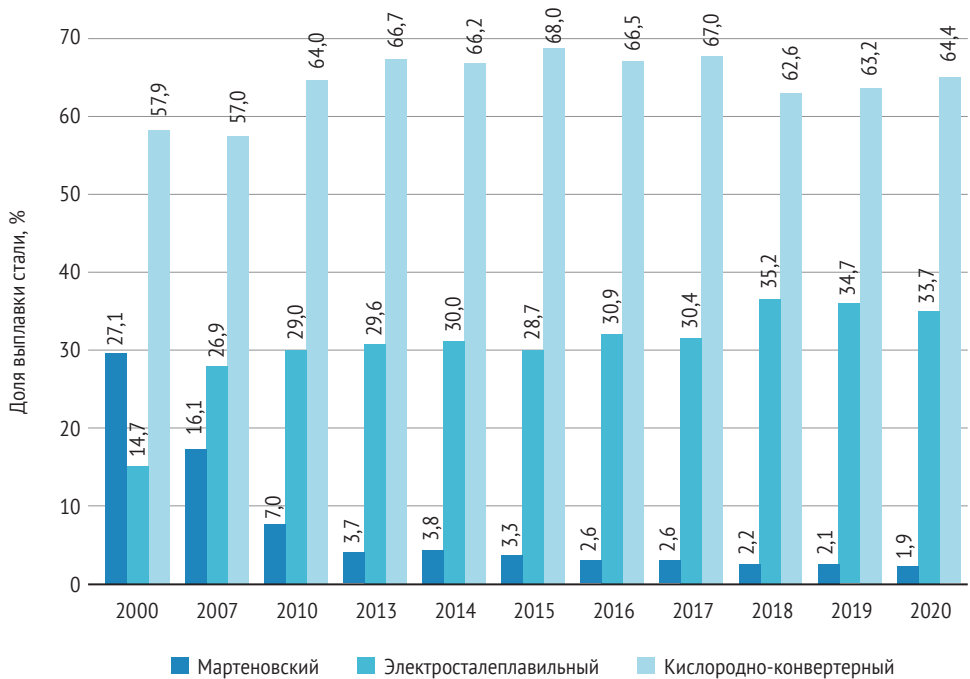


Рис. 18. Динамика структуры выплавки стали по видам производства в России  
 Источники: Доклад А. В. Сентюрина (Ассоциация «Русская сталь») на 15-м Международном стальном саммите, г. Москва, 06.06.2017 г.; Юзов О. В. Тенденции изменения производственных и экономических показателей...

Таблица 18. Сортамент производимого готового проката

| Вид продукции                                 | 2000                      |                               | 2016                      |                               | 2020                      |                               |
|---|---------------------------|-------------------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
|   | Объем производства, млн т | Доля в объеме производства, % | Объем производства, млн т | Доля в объеме производства, % | Объем производства, млн т | Доля в объеме производства, % |
| Готовый прокат:                               | 46,7                      | 100                           | 60,3                      | 100                           | 61,8                      | 100                           |
| – заготовки для переката на экспорт           | 11,8                      | 25,3                          | 14,1                      | 24,0                          | 13,0                      | 21,0                          |
| – сортовой прокат                             | 14,6                      | 31,2                          | 18,5                      | 31                            | 21,2                      | 34,3                          |
| – листовой прокат, в том числе:               | 20,3                      | 43,5                          | 27,5                      | 45                            | 27,6                      | 44,7                          |
| – холоднокатаный листовой прокат              | 6,4                       | 31,6                          | 8,1                       | 29,1                          | 7,9                       | 28,6                          |
| – холоднокатаный листовой прокат с покрытиями | 1,4                       | 21,9                          | 5,5                       | 67,5                          | 5,7                       | 72,2                          |



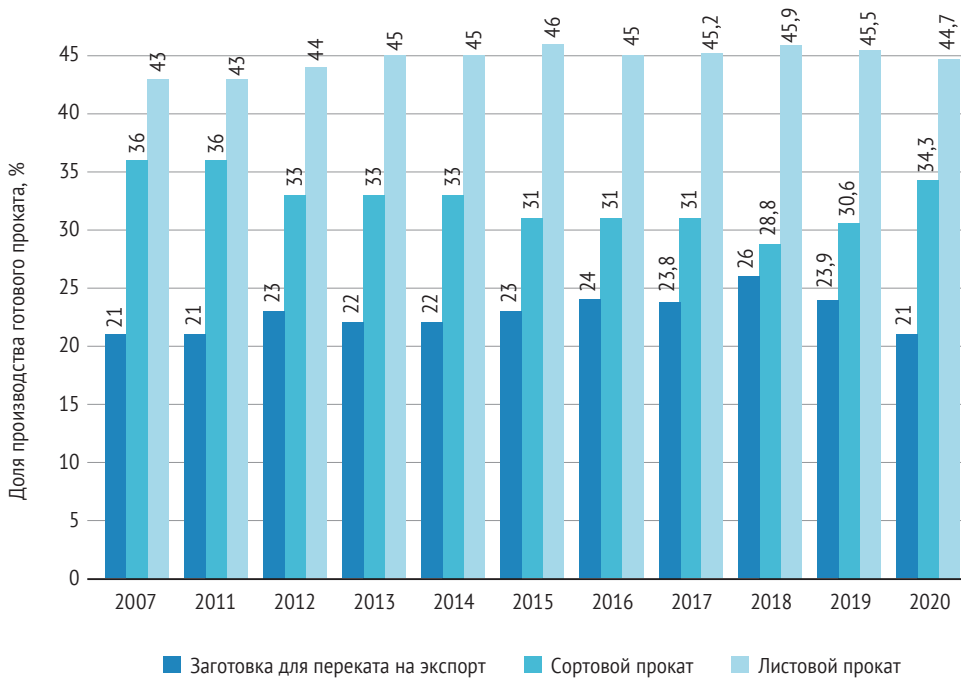


Рис. 19. Динамика укрупненной структуры производства готового проката

Источники: Доклад А. В. Сентюрин (Ассоциация «Русская сталь») на 15-м Международном стальном саммите, г. Москва, 06.06.2017 г.; Юзов О. В. Тенденции изменения производственных и экономических показателей...

Производство, экспорт, импорт и потребление готового проката в РФ иллюстрируется динамикой производства проката и объемами его потребления, представленной в таблице 19.

Таблица 19. Производство, внешняя торговля и потребление готового проката в РФ

| Показатели                      | 2000 | 2007 | 2010 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Производство, млн т             | 46,7 | 59,6 | 55,0 | 61,2 | 60,4 | 60,5 | 60,5 | 61,6 | 61,5 | 61,8 |
| Экспорт*, млн т                 | 27,0 | 28,0 | 29,3 | 25,4 | 27,5 | 28,9 | 27,9 | 29,7 | 26,4 | 26,7 |
| Импорт*, млн т                  | 1,8  | 6,4  | 5,2  | 5,3  | 3,9  | 3,8  | 5,4  | 5,5  | 5,5  | 5,3  |
| Видимое потребление, млн т      | 21,5 | 38,0 | 30,9 | 41,1 | 36,8 | 35,4 | 38,0 | 37,3 | 40,6 | 40,4 |
| Доля экспорта в производстве, % | 57,8 | 47,0 | 53,3 | 41,5 | 45,5 | 47,8 | 46,1 | 48,3 | 42,9 | 43,2 |
| Доля импорта в потреблении, %   | 8,4  | 16,7 | 16,8 | 12,9 | 10,6 | 10,7 | 14,2 | 14,6 | 13,6 | 13,1 |

\* Показатели экспорта и импорта приведены с учетом листа и жести с покрытием.

### Модернизация основных переделов

В период после 2000 г. в отрасли активно производились работы по строительству новых и модернизации существующих объектов черной металлургии, в том числе:

- четырех 160 тонных конвертеров на АО «ЕВРАЗ НТМК»;
- толстолистовых станов 5000 в ПАО «ММК» и в АО «ОМК» (АО «ВМЗ»);
- пятиклетьевого стана 2000 холодной прокатки в ПАО «ММК»;
- рельсобалочного стана в АО «ЕВРАЗ ЗСМК»;
- агрегатов по производству оцинкованного листа с полимерными покрытиями на ПАО «ММК», ПАО «НЛМК»;
- четырех- и пятиручьевых машин непрерывной разливки стали на ПАО «ММК», АО «Уральская сталь», АО «Первоуральский новотрубный завод», АО «Северский трубный завод», АО «Волжский трубный завод», АО «ТАГМЕТ»;
- двухручьевых слябовых МНЛЗ ПАО «НЛМК»;
- агрегатов «ковш-печь» в ПАО «НЛМК»;
- однопозиционных вакууматоров для АО «ОЭМК»;
- двухпозиционного агрегата «ковш-печь» в АО «ОЭМК»;
- двухпозиционных вакууматоров для АО «ЕВРАЗ НТМК», ПАО «ММК», ПАО «Северсталь», ПАО «НЛМК»;
- рельсобалочного стана в ПАО «Мечел» (ПАО «ЧМК»);
- мелкосортно-проволочного стана «170», мелкосортно-среднесортного стана «370» и среднесортного стана «450» для ПАО «ММК»;
- агрегатов для производства оцинкованного листа в ПАО «НЛМК» и в ПАО «ММК»;
- литейно-прокатного комплекса для АО «ОМК» (АО «ВМЗ»);
- доменной печи «Россиянка» в ПАО «НЛМК» объемом 4300 м<sup>3</sup>;
- нового конвертера № 1 в ПАО «НЛМК» садкой 320 т;
- вращающейся печи № 11 для производства извести в ПАО «НЛМК»;
- двух 180 тонных дуговых сталеплавильных печей в ПАО «ММК»;
- 120 тонной электродуговой печи для мини-завода ООО «НЛМК-Калуга»;
- четырех 100 тонных электродуговых печей на мини-заводе АО «НЛМК-Урал» на металлургическом заводе АО «Сортовой завод Балаково», на ОАО «Амурметалл»;
- строительство двух агрегатов «ковш-печь», двух пятиручьевых МНЛЗ и полный переход на непрерывную разливку стали, строительство двух ДСП135 с выводом из работы двух мартеновских цехов, строительство двух двухпозиционных вакууматоров на АО «СТЗ» и АО «ТАГМЕТ», входящих в ПАО «ТМК»;
- реконструкция ДСП150 и двух УНРС на АО «ВТЗ», входящем в ПАО «ТМК»;
- двухванных стационарных конвертеров на ПАО «ММК» (ПАО «ММК» реконструировал бывшие мартеновские цеха — из прежнего оборудования в цехе остался двухванный сталеплавильный агрегат (ДСА) — и ввел в строй электросталеплавильные мощности по производству стали);

первый этап реконструкции начался в 2003 г. — в мартеновском цехе были установлены агрегат «печь-ковш», агрегат доводки стали и две сортовые машины непрерывной разливки стали (МНЛЗ)).

В связи с объявлением 2017 г. годом экологии<sup>11</sup> предприятия металлургической отрасли (члены ассоциации «Русская сталь») предложили и к настоящему моменту реализовали ряд проектов, направленных на сокращение воздействия на компоненты окружающей среды, в том числе:

- техническое перевооружение установки сухого тушения кокса (УСТК) коксохимического производства — передача сбросных газов с холодных свечей УСТК в газопровод доменного газа АО «ЕВРАЗ НТМК»;
- реконструкция сероулавливающих установок в аглоцехе ПАО «ММК»;
- строительство системы аспирации литейного двора ДП № 10 в доменном цехе ПАО «ММК»;
- реконструкция и техническое перевооружение основного технологического оборудования (цех улавливания коксохимических продуктов и реконструкция доменных печей) ПАО «НЛМК»;
- ввод в эксплуатацию третьей очереди завода горячебрикетированного железа АО «Лебединский ГОК», ООО УК «МЕТАЛЛОИНВЕСТ»;
- строительство третьей очереди полигона захоронения отходов производства и потребления АО «ОЭМК»;
- строительство объединенной газоочистки для агрегатов «ковш-печь» № 2 и установки доводки металла ПАО «Северсталь».

Суммарный объем инвестиций в мероприятия «Года экологии» определен в размере более 52,3 млрд руб.<sup>12</sup>

В целом металлургическими компаниями России с 2001 г. импортировано металлургического оборудования более чем на 6 млрд дол. При абсолютном преобладании импортного оборудования для отдельных нужд российских металлургических предприятий, особенно для модернизации и реконструкции ранее построенных агрегатов, используется оборудование российских машиностроительных предприятий, а также предприятий машиностроения Украины.

В последние годы российские машиностроительные фирмы стали наращивать выпуск металлургического оборудования. Так, ОАО «Сибэлектротерм» поставило оборудование для ряда электросталеплавильных цехов: агрегаты «ковш-печь» и установки для вакуумирования стали.

ПАО «Уралмаш» были изготовлены и поставлены для ПАО «ММК» и других предприятий отрасли агрегаты продольной резки, оборудование для замены агломашин и т. д. ПАО «Уралмаш» является основным поставщиком оборудования для обжиговых машин по производству металлизированных окатышей для ООО УК «Металлоинвест».

<sup>11</sup> Гасик М. И. Марганец. — М., 1992.

<sup>12</sup> Доклад А. В. Сентюрина (Ассоциация «Русская сталь») на 15-м Международном стальном саммите, г. Москва, 06.06.2017 г.

## ПРОГНОЗЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ

Основными стратегическими целями развития черной металлургии на перспективу до 2030 г., обусловленными как внутренними, так и внешними вызовами, являются:

- рост доли продукции, поставляемой на внутренний рынок;
- увеличение поставок на экспорт продукции с высокой добавленной стоимостью;
- рост импортозамещения;
- повышение требований к служебным характеристикам продукции, совершенствование ее сортамента и конкурентоспособности;
- ресурсо- и энергосбережение, снижение негативного воздействия на окружающую среду;
- оптимизация избыточных производственных мощностей;
- строительство мини-заводов, передельных и сервисных центров;
- внедрение новой техники и передовых технологий.

Развитие черной металлургии в перспективе будет определяться ростом экономики страны и соответствующим ростом внутреннего потребления черных металлов.

Главной целью развития черной металлургии России на период до 2030 г. является удовлетворение спроса внутреннего и мирового рынков на металлопродукцию в необходимой номенклатуре, качестве и объемах с использованием наилучших доступных технологий при условии стабильного сырьевого обеспечения и эффективной реализации мер государственной промышленной политики в сфере черной металлургии.

В основу Стратегии развития черной металлургии на период до 2030 г.<sup>13</sup> положен долгосрочный прогноз социально-экономического развития Российской Федерации до 2030 г.<sup>14</sup> (опубликован в марте 2013 г., в настоящий момент актуализируется), а также нормативно-правовые акты, касающиеся прогнозов развития других отраслей: оборонно-промышленного комплекса, тяжелого и атомного машиностроения, транспортной отрасли, энергетики, авиационной промышленности, судостроения, химического и нефтехимического комплекса, гражданского строительства.

Достаточно мощный инновационный потенциал, созданный в металлургическом комплексе, особенно благодаря высокому объему вложенных после

<sup>13</sup> Приказ Минпромторга России от 05.05.2014 № 839 «Об утверждении Стратегии развития черной металлургии России на 2014–2020 годы и на перспективу до 2030 года и Стратегии развития цветной металлургии России на 2014–2020 годы и на перспективу до 2030 года» // Законы, кодексы и нормативно-правовые акты Российской Федерации : [сайт]. — URL: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-minpromtorga-rossii-ot-05052014-n-839/> (дата обращения: 10.12.2021).

<sup>14</sup> Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года // Минэкономразвития России. — URL: <http://static.government.ru/media/files/41d457592e04b76338b7.pdf> (дата обращения: 17.01.2022).

2003 г. инвестиций, является надежной базой для значительного наращивания производства.

В перспективе душевое потребление металлопродукции из черных металлов составит 403 кг/чел. в 2030 г. (256 кг/чел. — в 2020 г.) по сравнению с 249 кг/чел. — в 2015 г. По данным WSA, душевое потребление металлопродукции составляло, кг/чел.: 411,0 — в Японии, 364,2 — в Германии, 387,3 — в США, 271,0 — в Европейском Союзе (27 стран), 478,8 — в Китае.

В результате повышения спроса на металлопродукцию со стороны практически всех отраслей-потребителей прогнозируется прогрессивный сдвиг в направлении увеличения доли поставок продукции на внутренний рынок.

Основным результатом реализации стратегических планов должен стать рост конкурентоспособности продукции в требуемых экономике России номенклатуре, качестве и объемах ее поставок на внутренний рынок (с учетом развития металлопотребляющих отраслей), а также на внешний рынок на базе инновационного обновления отрасли.

Основные факторы, определяющие рост спроса внутреннего рынка в период 2018–2030 гг.:

- реализация проектов утвержденных отраслевых стратегий развития промышленности;
- строительство новых предприятий и развитие инфраструктуры регионов Дальневосточного и Сибирского федеральных округов и Арктической зоны;
- развитие инфраструктурных проектов, связанных с развитием оборонно-промышленного комплекса (строительство аэродромов и космодромов, морских баз и т. д.);
- строительство новых объектов топливно-энергетического комплекса;
- техническое обновление отраслей машиностроительного комплекса;
- реконструкция жилищного фонда и развитие жилищного строительства;
- реализация региональных проектов по развитию промышленности, транспорта и строительства.

Исходя из этих предпосылок производство стали и проката в 2030 г. по умеренно-оптимистичному сценарию составит соответственно 71,5 млн т и 62,4 млн т.

Импортные поставки металлопродукции будут обусловлены в основном экономической целесообразностью обеспечения готовым прокатом районов, географически удаленных от российских предприятий-производителей, и развитием взаимной торговли со странами Таможенного союза и могут составить к 2030 г. около 4,5 млн т, а доля импортных поставок в видимом потреблении готового проката будет сокращаться и составит в 2030 г. 4,5 %.

В структуре производства готового проката будет расти доля листового и сортового проката и сокращаться доля заготовки для переката на экспорт.

Вероятность снижения потребления металлопродукции из черных металлов в перспективе в связи с расширением применения заменителей (полимеры, алюминий и его сплавы, композиты и т. п.) невелика. Масштабы применения композиционных и других альтернативных материалов

в прогнозируемом периоде не смогут существенно повлиять на потребление металлопродукции.

В настоящее время в России сегменты рынка конструкционных композиционных материалов и изделий из них, за исключением авиации, космонавтики и атомной промышленности (применение композитов в которых на сегодняшний день существенно ограничено), практически не освоены<sup>15</sup>.

Основным ожидаемым результатом реализации мероприятий по развитию производства композиционных материалов и указанной подпрограммы является рост объема их производства. Суммарный объем потребления прогнозируется на уровне 220 тыс. т.

В перспективе основным потребителем готового проката остается производство листового проката с защитными покрытиями, гнутых профилей, труб стальных и других видов продукции дальнейших металлургических переделов. К 2030 г. объем потребления готового проката, идущего на дальнейший передел, может увеличиться в 1,4 раза (по сравнению с 2015 г.), прежде всего — за счет опережающего роста потребности в листовом прокате с защитными покрытиями и, следовательно, холоднокатаного листового проката и листового проката в целом.

В результате ускорения темпов внедрения инноваций прогнозируется улучшение производственной структуры черной металлургии, в первую очередь — за счет повышения доли конкурентоспособных мощностей (на всех переделах), а также за счет увеличения доли мощностей для выпуска продукции более глубокой степени переработки, доли импортозамещающих и новых производств. Все это позволит улучшить структуру товарной продукции металлургии и повысить ее конкурентоспособность.

В сталеплавильном производстве предусматривается опережающее развитие производства стали в электропечах, доля ее составит в 2030 г. — 40,1 %, в конвертерах в 2030 г. — 59,9 %, доля разлитой стали на МНЛЗ достигнет в 2030 г. 98 %.

Мартеновское производство на предприятиях черной металлургии практически ликвидируется. Ожидаемое изменение структуры производства стали соответствует мировым тенденциям.

Доля листового металла в общем производстве листового и сортового проката (без учета заготовки для переката на экспорт) составит 54,6 %.

В прогнозируемый период будет освоено производство высококачественного проката для оборонно-промышленного комплекса, судостроения, атомного машиностроения; ожидается расширение производства высококачественного автомобильного листа.

Главным объектом в инвестиционной программе отрасли в период 2021–2030 гг. будет создание нового металлургического комплекса на Дальнем Востоке мощностью 2,5 млн т стали в год.

<sup>15</sup> Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года // Минэкономразвития России.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Баптизманский В. И.* Конвертерные процессы производства стали / В. И. Баптизманский, М. Я. Меджибожский, В. Б. Охотский. — Киев : Техника, 1984.
2. *Борнацкий И. И.* Производство стали / И. И. Борнацкий, В. Ф. Михневич, С. А. Яргин. — Москва : Металлургия, 1991.
3. *Вегман Е. Ф.* Окискование руд и концентратов / Е. Ф. Вегман. — Москва : Металлургия, 1984.
4. *Воскобойников В. Г.* Общая металлургия / В. Г. Воскобойников, В. А. Кудрин, А. М. Якушев. — Москва : Металлургия, 1979.
5. *Воскобойников В. Г.* Общая металлургия / В. Г. Воскобойников, В. А. Кудрин, А. М. Якушев. — 6-е изд., перераб. и доп. — Москва : Академкнига, 2005.
6. *Галкин Ю. А.* Инновационные технологии очистки оборотной воды технологических агрегатов заводов черной металлургии / Ю. А. Галкин // Новые проекты и технологии в металлургии : сб. науч. тр. — Екатеринбург, 2010.
7. *Гасик М. И.* Марганец / М. И. Гасик. — Москва : Металлургия, 1992.
8. *Геердес М.* Современный доменный процесс: введение / М. Геердес, Р. Ченьо, И. Ф. Курунов, О. Лингарди, Д. Риккетс ; пер. с англ. и ред. И. Ф. Курунова. — 3-е изд. — Москва : Металлургиздат, 2016. — 280 с.
9. Государственный доклад о состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации в 2014 году // Минэнерго России. — Москва, 2015. — URL: <http://minenergo.gov.ru/system/download-pdf/5197/69065> (дата обращения: 23.10.2019).
10. Государственный доклад о состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации в 2015 году // Минэнерго России. — Москва, 2016. — URL: <http://minenergo.gov.ru/system/download-pdf/5197/66062> (дата обращения: 23.10.2019).
11. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2020 году» // Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации : [официальный сайт]. — URL: [https://www.mnr.gov.ru/docs/o\\_sostoyanii\\_i\\_ispolzovanii\\_mineralno\\_syrevykh\\_resursov\\_rossiyskoy\\_federatsii/gosudarstvennyy\\_doklad\\_o\\_sostyanii\\_i\\_ispolzovanii\\_mineralno\\_syrevykh\\_resursov\\_rossiyskoy\\_federatsii/](https://www.mnr.gov.ru/docs/o_sostoyanii_i_ispolzovanii_mineralno_syrevykh_resursov_rossiyskoy_federatsii/gosudarstvennyy_doklad_o_sostyanii_i_ispolzovanii_mineralno_syrevykh_resursov_rossiyskoy_federatsii/) (дата обращения: 13.01.2022).
12. Доменное производство : справочник : в 2 т. / под ред. И. П. Бардина. — Т. 1. — Москва : Металлургиздат, 1963.
13. Доклад А. В. Сентюрина (Ассоциация «Русская сталь») на 15-м Международном стальном саммите, г. Москва, 06.06.2017 г.
14. Доменное производство — XXI : Труды международного конгресса доменщиков. Москва, 12–16 апреля 2010 г. / редкол. : Л. И. Леонтьев и др. — Москва : Кодекс, 2010.
15. *Дюдкин Д. А.* Производство стали : в 3 т. — Т. 1 : Процессы выплавки, внепечной обработки и непрерывной разливки / Д. А. Дюдкин, В. В. Кисиленко. — Москва : Теплотехник, 2008.
16. *Ефименко Г. Г.* Металлургия чугуна / Г. Г. Ефименко, А. А. Гиммельфарб, В. Е. Левченко. — Киев : Вища школа, 1988.
17. *Колпаков С. В.* Технология производства стали в современных конверторных цехах / С. В. Колпаков, Р. В. Старов, В. В. Смоктий ; под ред. С. В. Колпакова. — Москва : Машиностроение, 1991.
18. *Колчин Б. А.* Черная металлургия и металлообработка в древней Руси (Домонгольский период). — Москва : Изд-во АН СССР, 1953.

19. Кондаков В. В. Доменная плавка на обогащенном дутье кислородом / В. В. Кондаков. — Свердловск ; Москва : ОНТИ НКПТ СССР, 1935.
20. Коппенберг Г. Кислородное дутье в шахтной печи / Г. Коппенберг, В. Венцель. — Москва : Metallurgizdat, 1959.
21. Кудрин В. А. Внепечная обработка чугуна и стали / В. А. Кудрин. — Москва : Металлургия, 1992.
22. Линчевский Б. В. Металлургия черных металлов / Б. В. Линчевский, А. Л. Соболевский, А. А. Кальменев. — Москва : Металлургия, 1986.
23. Лисин В. С. Ресурсо-экологические проблемы XXI века и металлургия / В. С. Лисин, Ю. С. Юсфин. — Москва : Высшая школа, 1998.
24. Металлургия чугуна / под ред. Ю. С. Юсфина. — Москва : Академкнига, 2004.
25. Металлургия чугуна — вызовы XXI века : VIII Международный конгресс доменщиков / [редкол.: А. И. Гоммельфарб и др.]. — Москва : Кодекс, 2017.
26. Панченко Е. В. Железные и стальные изделия древней Руси / Е. В. Панченко, Б. А. Колчин // Сборники трудов Московского института стали имени И. В. Сталина. — 1951. — Вып. XXX.
27. Приказ Минпромторга России от 05.05.2014 № 839 «Об утверждении Стратегии развития черной металлургии России на 2014–2020 годы и на перспективу до 2030 года и Стратегии развития цветной металлургии России на 2014–2020 годы и на перспективу до 2030 года» // Законы, кодексы и нормативно-правовые акты Российской Федерации : [сайт]. — URL: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-minpromtorga-rossii-ot-05052014-n-839/> (дата обращения: 10.12.2021).
28. Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года // Минэкономразвития России. — URL: <http://static.government.ru/media/files/41d457592e04b76338b7.pdf> (дата обращения: 17.01.2022).
29. Производство чугуна, стали и ферросплавов : Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям 26-2021. — Москва : Бюро НДТ, 2021.
30. Российский статистический ежегодник // Росстат. — Москва, 2007–2016. — URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/12994> (дата обращения: 10.12.2021).
31. Скляр В. О. Инновационные и ресурсосберегающие технологии в металлургии : учеб. пособие / В. О. Скляр. — Донецк : ДонНТУ, 2014.
32. Смирнов А. Н. Развитие конвертерного производства стали в мире / А. Н. Смирнов // Прогрессивные технологии в металлургии стали: XXI век : труды международной научно-технической конференции. — Донецк : ДонНТУ, 2007.
33. Степанов В. С. Термодинамические исследования металлургических процессов: энергетические балансы, эксергетический анализ : монография / В. С. Степанов, С. В. Степанов. — 2-е изд., доп. — Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2013.
34. Степанов В. С. Эффективность использования энергии / В. С. Степанов, Т. Б. Степанова; Рос. АН, Сиб. отд-ние, Сиб. энерг. ин-т. — Новосибирск : Наука, 1994.
35. Стефаненко В. Т. Источники загрязнения атмосферы на коксохимических предприятиях / В. Т. Стефаненко. — Саарбрюккен : LAP, Lambert Academic Publishing, 2016.
36. Стратегия социально-экономического развития России на период до 2030 г. (в стадии разработки).
37. Теория и технология производства стали : учебник для вузов. — Москва : Мир; АСТ, 2003.
38. Тулуевский Ю. Н. Инновации для дуговых сталеплавильных печей. Научные основы выбора / Ю. Н. Тулуевский, И. Ю. Зинуров. — Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2010.
39. Чугун : справочное издание / под ред. А. Д. Шермана, А. А. Жукова. — Москва : Металлургия, 1991.



40. *Шалимов А. Г.* Инновационное развитие электросталеплавильного производства / А. Г. Шалимов, А. Е. Семин, М. П. Галкин, К. Л. Косырев. — Москва : Metallurg-издат, 2014.
41. *Шаргут Я.* Эксергия / Я. Шаргут, Р. Петела ; пер. с пол. Ю. И. Батурина и Д. Ф. Стрижовского под ред. В. М. Бродянского. — Перераб. и доп. изд. — Москва : Энергия, 1968.
42. *Шевченко А. Ф.* Сопоставление эффективности способов десульфурации чугуна / А. Ф. Шевченко, Б. В. Двоскин, А. С. Вергун [и др.] // *Сталь*. — 2000. — № 8. — С. 14–17.
43. *Щербаков В. П.* Основы доменного производства / В. П. Щербаков. — Москва : Metallurgiya, 1969.
44. *Юзов О. В.* Тенденции изменения производственных и экономических показателей металлургических и трубных производств / О. В. Юзов, А. М. Седых, Т. Н. Петрова // *Сталь*. — 2020. — № 9. — С. 58–65.
45. *Юшина Т. И.* Перспективы использования природного и техногенного железорудного сырья в Российской Федерации / Т. И. Юшина, И. М. Петров, Г. И. Авдеев [и др.]. — Москва : Горная книга, 2014. — (Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Отдельная статья (специальный выпуск). — 2014. — № 12).
46. *Yi S.-H.* Ironmaking in South Korea / S.-H. Yi, H.-G. Lee // *Beyond the Blast Furnace*. — 2015. — Vol. 1. — P. 1491–1498.