

ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА И СТАЛИ

Анатолий Владимирович Федаш

Московский государственный горный университет, проректор, доцент,
кандидат технических наук

Илья Сергеевич Курошев

Научно-исследовательский институт «Центр экологической промышленной политики»,
начальник отдела металлургической, нефтегазовой и горнорудной промышленности

ВВЕДЕНИЕ

Металлы разделяются на цветные и черные. Черные металлы, по сути — это железо, с различным количеством углерода, и отличающимися кристаллическими решетками. К черным металлам относят стали и чугуны, которые, в свою очередь, имеют достаточно большое количество основных классов. При производстве чугунов и сталей различных типов используют именно черные металлы, добываемые из металлических руд. В экономике металлов черные металлы имеют широкое распространение (более 90%). От процентного содержания углерода зависит, какие свойства приобретет материал — чугун или сталь. Для повышения качества черного металла используются легирующие добавки (другие металлы и сплавы, а также химические элементы), которые улучшают свойства сплавов и придают им нужный оттенок характеристик в зависимости от его применения. Распространенными легирующими добавками являются:

- медь;
- кремний;
- хром;
- никель.

Классификация черных металлов

Классификация черных металлов построена на основании деления элементов по их химическому составу и свойствам. Содержание легирующих элементов определяет железо и его сплав. В свою очередь, 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 подразумевает деление на следующие классы:

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

Также классификация черных металлов подразумевает отделение сталей легированных и нелегированных, которые еще называют углеродистыми. К углеродистым сталям относятся стали, в которых углерод является основным компонентом. Легированные имеют в наличии один или несколько легируемых элементов, которые оказывают большое влияние на свойства стали. Легированные стали очень широко применяются для изготовления ответственных деталей, несущих большую нагрузку, испытывающих разный температурный режим, сильное фрикционное воздействие. Применение такой стали распространено в машиностроении, тракторостроении, тяжелой промышленности и в других областях.

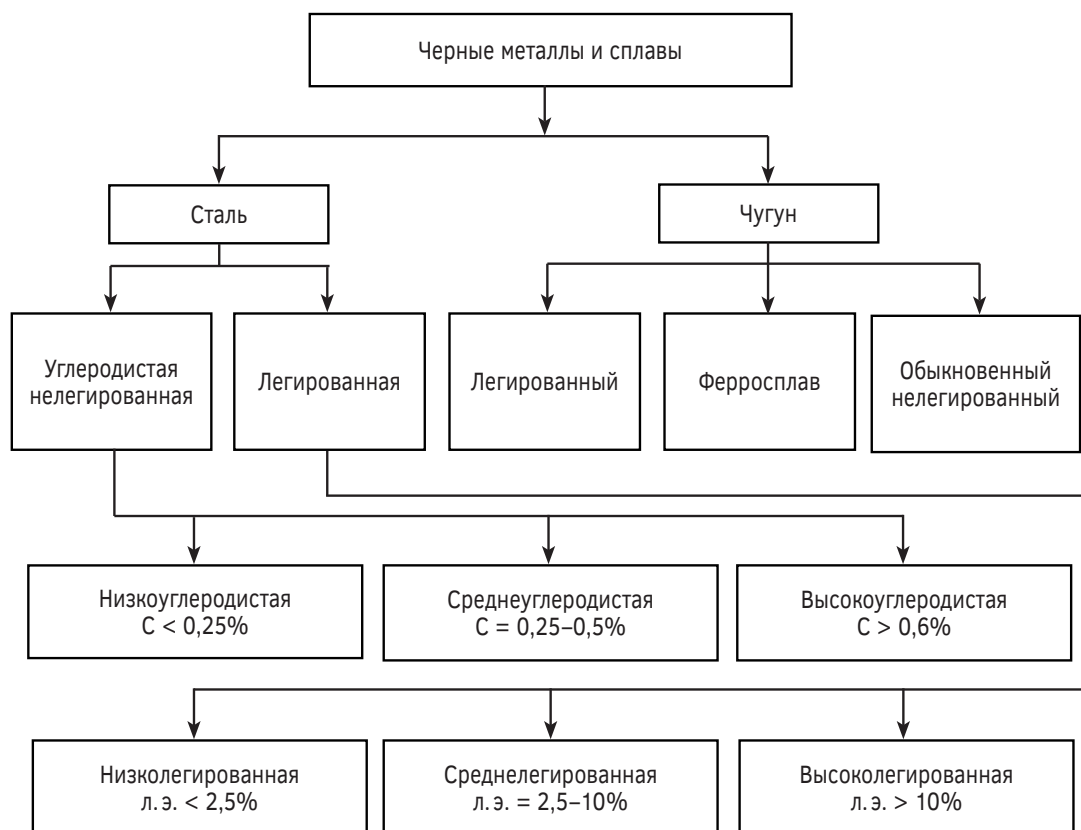


Рис. 7.1. Виды черных металлов

Виды черных металлов из стали имеют большое применение. Однако все виды стали по себе 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. Чугун — это сплав железа с углеродом, и его содержание больше чем в стали. Так как чугун имеет хорошие литейные свойства, то его в основном используют для литых деталей. Чугун подразделяется на виды:

- чугун литейный;
- чугун передельный;
- чугун антифрикционный;
- ковкий чугун;
- чугун низколегированный;
- чугун высоколегированный;
- чугун с шаровидным графитом;
- чугун 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. Отдельные виды черного металла, к примеру, чугун с шаровидным графитом благодаря своей структуре шаровидного состояния применяют в изготовлении деталей, имеющих очень высокое качество.

Исходные материалы

Железорудное сырье. Железная руда состоит из рудного вещества и пустой породы. Рудным веществом чаще всего являются окислы, 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, которые используют непосредственно, 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. Восстановимость железа из руды хорошая.

Бурый железняк содержит железо в виде водных окислов. 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 окислов. 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.

Марганцевые руды содержат 25–45% марганца в виде различных окислов марганца. Их добавляют в шихту для повышения в чугуне количества марганца.

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.

Чугун. Руду, кокс и известь загружают в домну. При высокой температуре *кислород соединяется с углеродом кокса и отделяется железо* — получается *углекислый газ*. Оставшийся углерод занимает место кислорода и соединяется с железом — выпускается готовый чугун.

Чтобы ускорить плавку, в домну накачивают не просто воздух, а чистый кислород. Современные домны работают на природном газе. А это не только ускоряет плавку, но и значительно сокращает расход кокса. Что дает возможность получать более дешевый чугун.

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ РОССИИ

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.

Таблица 7.1. Регионы и наименования предприятий черной металлургии России

№ 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»
11	Московская область	АО «МЗ «Электросталь» АО «Металлургический завод „Электросталь”»
12	Саратовская область	АО «Северсталь — Сортовой завод Балаково»
13	г. Санкт-Петербург	ООО «ОМЗ — Спецсталь»
13	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» ООО «ВИЗ-Сталь»
21	Тюменская область	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»

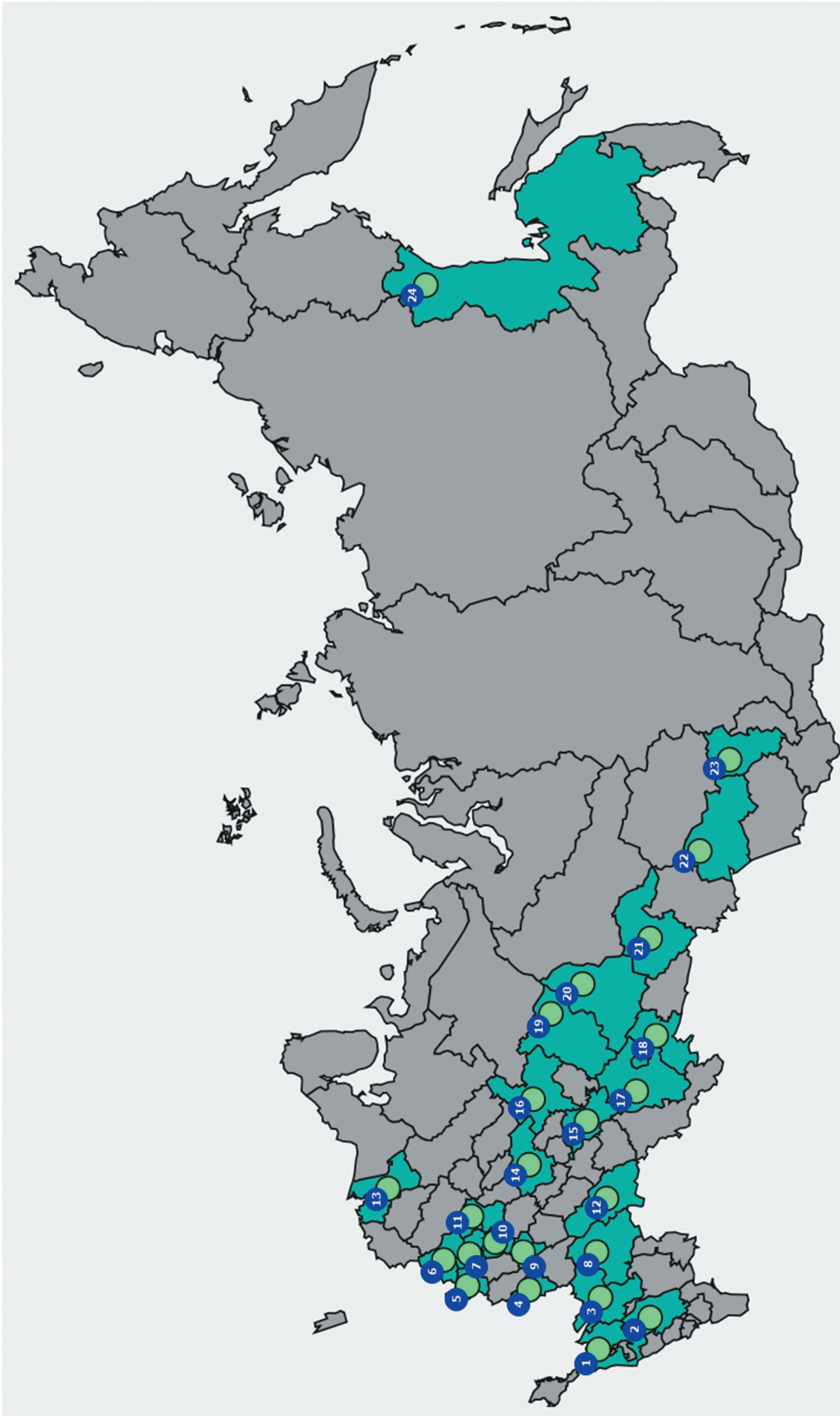


Рис. 7.2. Карта-схема размещения металлургических предприятий Российской Федерации

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 полутора тысяч предприятий, из которых более 70 являются градообразующими. Предприятия металлургии располагаются практически во всех федеральных округах, в 25 краях и областях. Регионы и наименования предприятий черной металлургии представлены в таблице. Географическая карта размещения металлургических предприятий России представлена на рис. 7.2.

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 табл. 7.2.

Таблица 7.2. Крупные холдинги черной металлургии России

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

* 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 рынках, 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.

ИСТОРИЯ ЗАРОЖДЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Зарождение металлургической промышленности в мире

Техническое название железа и железных сплавов — черные металлы. Значение черных металлов вообще и стали в частности в народном хозяйстве огромно. Без использования стали не могли бы развиваться ни горная промышленность, ни транспорт, ни машиностроение, ни сельское хозяйство. За последние 60–100 лет во много раз увеличилось производство цветных металлов, особенно алюминия, однако доля черных металлов в мировом производстве продолжает оставаться преобладающей и почти неизменной — около 95% общего производства металлов. В течение многих столетий уровень экономической мощи

того или иного государства определялся в первую очередь количеством выплавленной стали. При этом основную массу составляли так называемые рядовые марки стали; доля качественных и высококачественных марок была невелика.

Основной примесью стали, в значительной мере определяющей ее свойства, является углерод. По содержанию углерода сплавы Fe-C делят на сталь и чугун. При содержании ниже 1,7–2% C сплав Fe-C называют сталью, а при > 1,7% C чугуном. Различают сталистые чугуны (от 1,7 до 2,8–3% C) и обычные чугуны (> 3% C). При высоких температурах сталь обладает высокой пластичностью, способностью коваться и прокатываться. Чугун этими свойствами не обладает. Чугун имеет температуру плавления, значительно более низкую, чем сталь, поэтому обладает хорошими литейными качествами и широко применяется в литейном производстве. В настоящее время выплавляют стали, содержащие, как правило, < 1,2% C, и чугуны с 3,5–4,5% C.

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» (*древнеегипетск.*), «звезда, небесное тело» (*древнегреч.*), произошедшие от *sidus, 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, ранее, чем другие народы, 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 тонн, высотой 7,5 м и диаметром 40 см. Надпись на колонне гласит, что она сделана примерно в 380–330 гг. до н. э. Она сооружена из отдельных криц, сваренных в кузнечном горне. Большее удивление, чем размеры колонны, вызывает тот факт, что на ней нет ржавчины. В захоронениях Древней Индии найдено оружие из железа, изготовленное в середине первого тысячелетия до н. э.

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 до н. э., способствовало распространению этого опыта на территории Западной Европы. От кельтского названия железа «изарнон» произошли немецкое «айзен» (*Eisen*) и английское «айрон» (*iron*).

«Железная революция» началась на рубеже I тысячелетия до нашей эры 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; племенами же, проживающими на территории будущей Руси (киммерийцами, а позже скифами и сарматами), железо использовалось еще до нашей эры. В Японии железный век наступил только в VII в. н. э. Известный популяризатор науки Айзек Азимов так описывает историю перехода человечества из бронзового века в железный.

Где-то около XV–XIV вв. до н. э. техника выплавки и науглероживания железа была разработана в кавказских предгорьях в Урарту. Эта страна находилась тогда под властью Хеттского царства, которое находилось на высшей точке своей мощи. Хеттские цари тщательно охраняли монополию на новую технику, ибо понимали ее важность. Вначале получали только маленькие партии железа, и в течение нескольких столетий оно стоило порой в сорок раз дороже серебра. Но еще до того, как выплавку можно было увеличить, а хеттам этим воспользоваться, им пришел конец. Хеттское царство было разрушено во время беспорядков, последовавших за движением «народов моря», и хеттская монополия на железо была нарушена. Технология выплавки железа быстро распространялась в том числе, конечно, в Ассирию, которая граничила с «железным царством» Урарту.

Торговля железом восстановила процветание Ассирии. Открылся путь для новых завоеваний.

Вторгшиеся в Грецию дорийские племена обладали железным оружием, именно поэтому они так легко покорили вооруженных бронзой ахейцев. Было железо и у «народов моря». Когда филистимляне захватывали ханаанское побережье, в сражениях они использовали железное оружие, но они были не настолько глупы, чтобы раскрывать секрет выплавки железа. Пока им удавалось хранить эту техническую тайну, израильтянам приходилось обороняться более примитивным оружием. Благодаря железу филистимляне не только легко закрепились на побережье, но и обложили данью ближайшие к ним племена. Около двух веков (до прихода к власти Давида в 1013 г. до н. э.) им удавалось господствовать над более многочисленными израильскими племенами

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, в Московском государстве 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 близ г. Тулы.

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, Вжищу, а также в районе Ладожского озера и в других местах обнаружены остатки плавильных горшков, сыродутных горнов, так называемых волчьих ям и соответствующие орудия производства. В одной из волчьих ям, применявшейся для выплавки железа, близ села Подмоклого, в южной части Подмосковского угольного бассейна, была найдена монета, датированная 189 г. мусульманской эры, что соответствует началу IX в. нашего летоисчисления. Это значит, что железо на Руси умели делать уже в те времена.

Металлографические и рентгено-структурные 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 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 дойницами образовались своего рода центры кустарного производства железа — Устюжна Железнопольская в Новгородской губернии, Дедилово 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. 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 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 в Московском государстве (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 сот человек. Они трудились в разных сферах. В металлургии, например, особо заметный след оставил А. 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 ссуду, он построил четыре

железодельных завода на р. Тулице, 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; производительность каждой из них была в два раза больше производительности лучших для того времени английских домен.

Общая производительность всех русских железодельных заводов в 1674 г. достигала 150 000 пудов (2400 т).

Около иностранных специалистов набирались опыта отечественные мастера. В грамоте, данной А. А. Виниусу, было, в частности, сказано: «Людей государевых всякому железнному 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 железодельного 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 г.) (если не считать Ницинского завода, построенного на р. Нице 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 железодельное производство было организовано и развито на обширной территории всего Урала. Петр нашел талантливого 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 г.), Верхнетагильский и Быньговский (1718 г.), Выйский (1721 г.), Нижнетагильский (1725 г.), Шайтанский (1732 г.) 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 металлургией Урала того времени связаны также имена В. Н. Татищева и В. И. Геннина. Приглашенный Петром I специалист в области горного дела голландец Георг Вильгельм де Геннин (в русской истории известен как В. И. Геннин) сыграл важную роль в начале в организации работы Олонецких литейных заводов (Карелия), снабжавших русскую армию во время войны со шведами. Затем он служил в качестве главного директора сибирских заводов. Историк, философ, видный государственный деятель XVIII в. В. Н. Татищев в течение многих лет успешно управлял казенными (государственными) заводами Урала. Считается, что Татищев в 1721–1723 гг. основал, а Геннин построил город Екатеринбург. По инициативе Татищева в этом городе было открыто первое на Урале Горное училище.

Геннин расширил Петровский, Алексеевский, Повенецкий и Вичковский казенные заводы, построенные по указам Петра I в 1701–1703 гг. вместо первых заводов олонецкой группы — Устьрецкого и Петрозерского, закрытых в начале войны со шведами. В 1721 г. Геннин руководил постройкой Сестрорецкого завода, а в 1722 г. ему было поручено управление уральскими казенными заводами. В дальнейшем им были построены уральские заводы: Верх-Исетский (1723 г.), Синячихинский (1727 г.) и Сысертский (1732 г.).

Еще более плодотворной оказалась деятельность преемника Геннина — В. Н. Татищева, который за короткий срок, в течение трех лет, значительно приумножил число уральских заводов. В 1734 г. к приезду Татищева на Урале действовало 30 заводов, в том числе 11 казенных и 14 демидовских. В 1737 г. на Урале уже работало более 40 заводов и 36 заводов строились или были запроектированы. За это время была построена Гороблагодатская группа заводов — Туринский, Кушвинский, Баранчинский. Позднее были пущены Серебрянский завод на западном склоне Урала, Боткинский и Ижевский заводы в Приуралье.

Быстрому развитию металлургии в этот период способствовало и привлечение частного капитала. За 9 лет, с 1754 по 1763 г., только на Урале возникло 42 частных металлургических завода, в том числе Златоустовский и Симский (1757 г.), Тирлянский (1759 г.), Белорецкий (1762 г.).

Точных данных о годовой выплавке черных металлов за это время нет. Достоверные сведения относятся к 1767 г., когда было выплавлено около 83000 т чугуна. Имеются ориентировочные данные, из которых можно заключить, что в 1793 г. было выплавлено 134 000 т чугуна и 89 760 т железа и стали.

До второй половины XIX в. в России основная доля производимых железа и стали поступала именно с уральских заводов. На Урале проводил свои исследования и знаменитый наш металлург П. П. Аносов. Около 40 лет работал на Урале крупный специалист в области производства рельсов и один из авторов так называемого «русского бессемерования» К. П. Поленов. На Урале длительное время работал и создавал свою теорию конструирования металлургических печей В. Е. Грум-Гржимайло — один из авторов первого русского учебника по производству стали.

Заметное изменение социально-экономической ситуации в России произошло благодаря реформам Александра II (с его именем связаны освобождение крестьян от крепостного права, реформа системы образования и др.). В России появилось больше свободных и грамотных людей.

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 железнорудного района начались с постройки Луганского (1795 г.), Керченского (1845 г.), Бахмутского (1858 г.) и Лисичанского казенных заводов, но действительными основателями южной металлургии являются русский капиталист Пастухов, построивший Сулинский завод (1870 г.), и акционерная компания «Новороссийское общество», построившая Юзовский завод (1871 г.).

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

Несколько позже были пущены заводы в центральном районе России.

Бурный рост промышленности неизбежно привел к увеличению числа технических специалистов в области горного дела и металлургии. В начале это были выпускники университетов и учебных заведений Петербурга и приезжие специалисты из-за рубежа; впоследствии появились специальные учебные заведения в Екатеринославе, Томске, Киеве, Варшаве. Российские специалисты постепенно начали «вытеснять» иностранцев, успешно решая многие технические задачи самостоятельно.

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 *рудного процесса* (или *процесса братьев Горяиновых*).

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

Наш виднейший металлург В. Е. Грум-Гржимайло в своих воспоминаниях пишет, что на этом заводе использовали весьма распространенную в то время технологию, при которой чугун расплавляли в пламенной регенеративной печи и затем заливали в бессемеровский конвертер. Для нормального проведения операции продувки в конвертере принято было заливать чугун, содержащий не менее 2% Si. На одной из плавки обстоятельства сложились так, что плавка в печи затянулась, вследствие чего значительная часть кремния окислилась, и в конвертер попал чугун с низким содержанием кремния. Несмотря на это, продувка в конвертере прошла нормально и полученная сталь была высокого качества. Заводом в то время управлял известный металлург К. П. Поленов. Он обратил внимание на необычно хороший результат этой «ненормальной» плавки, на то, что «холодный» химически (с малым содержанием кремния) чугун был перегрет, т. е. был «физически горячим».

В результате после проведения еще нескольких аналогичных опытных плавки им была разработана технология *«русского бессемерования»* с использованием малокремнистого чугуна, имеющего высокую температуру. Эта технология оказалась экономически выгодной и использовалась на ряде заводов (в том числе на Обуховском в Санкт-Петербурге). Важно подчеркнуть творческое отношение к делу К. П. Поленова, его инженерное чутье. Казалось бы, единичный факт «нарушения» технологии, но с хорошим результатом — и Поленов исследует его (в то время это было одно из немногих исследований металлургического процесса) и доводит дело до широкого внедрения.

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., и в) заводы в крупных промышленных центрах, использующие металлоотходы местных промышленных предприятий (в Петербурге, Москве, Н. Новгороде, Царицыне и др.).

В 1913 г., перед Первой мировой войной, по количеству выплавляемой стали Россия находилась на пятом месте в мире. В это время в России выплавлялось 4,3 млн т стали в год. 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 4 раза по сравнению с дореволюционным. Такое значительное увеличение производства стало возможным в результате коренной реконструкции старых заводов, а также строительства.

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 вступили в строй новые заводы, в том числе Челябинский металлургический комбинат (первая плавка электростали в апреле 1943 г.), Кузнецкий ферросплавный и другие заводы.

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. Такой значительный рост производства стали после войны был достигнут прежде всего не за счет строительства новых заводов, а за счет увеличения производственных мощностей на действующих предприятиях, увеличения емкости печей и в первую очередь совершенствования технологии и организации работ. Так, например, производство стали на Кузнецком металлургическом комбинате увеличилось почти на треть, причем не было введено в строй ни одной новой печи. Съем стали с 1 м² пода мартеновских печей в среднем по СССР увеличился с 3,75 т в 1945 г. до 6,96 т в 1957 г. 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.

Кроме того, серьезные проблемы, которые пришлось также оперативно решать, — это проблемы, связанные с обновлением устаревшего оборудования и прекращением деятельности неэффективных производств. В период 1990–1997 гг. на металлургических заводах России выведено из эксплуатации и демонтировано 66 мартеновских печей, 1 конвертер, 3 дуговые сталеплавильные печи (общей производственной мощностью около 27 млн т стали в год).

За 2016 г. использование мощностей по производству готового проката составило 80,4%, по производству стали — 82,2%, по производству чугуна — 83%. Данная загрузка производственных мощностей сопоставима с показателями основных зарубежных металлургических компаний-производителей черных металлов.

ЦИКЛЫ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЧУГУНА И СТАЛИ

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.

По этой причине технологические циклы развития производства стали и чугуна можно соотнести с основными циклами развития мировой промышленности.

Таблица 7.3. Основные этапы технологических циклов развития производства чугуна и стали

Цикл	Научно-технический этап	Технико-экономический этап	Экономическо-социальный этап	Социально-регуляторный этап
Первый (прямое получение железа из руды)	Прямое получение железа — сыродутный процесс	Развитие технологии сыродутного производства	Рост потребления железа в различных отраслях	Высокая трудоемкость и малая производительность
Второй (получение кричного железа из чугуна)	Вытеснение сыродутного процесса из производства	Получение кричного железа из чугуна	Активное развитие промышленности	Низкая производительность, дороговизна кричного передела, массовое уничтожение лесов
Третий (получение стали в пудлинговой печи)	Поиск более производительного способа получения железа	Получение стали окислительным плавлением чугуна на подду отражательно печи	Усовершенствование пудлинговых печей	Низкая производительность, невозможность получения литой стали
Четвертый (получение жидкой (литой) стали)	Вытеснение технологии получения стали в пудлинговых печах	Получение литой стали конверторным, мартеновским электроплавильным способом	Ужесточение природоохранного законодательства, отказ от неэкологичных технологий	Методы непрерывного сталеварения и появление сталеплавильных агрегатов непрерывного действия

Первый технологический 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. Учитывая неизбежные потери 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). 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, от 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, большие потери железа со шлаком, высокая трудоемкость процесса и низкое качество металла, определили повсеместное его вытеснение. К концу XX в. возникли новые способы получения железа непосредственно из железорудных материалов. Эти способы получили общее

название «прямое получение железа» (*англ.* DI или DRI: Direct-Reduced-Iron). Получаемый при этом продукт часто называют «первородной шихтой» (т. е. не подвергавшейся переплаву). Этот продукт обычно используют в качестве шихты в дальнейшем переделе.

Второй технологический 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, т. е. 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 в случае продолжения 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, неизвестна, 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* — свинское 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, т. е. 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 blomery furnace* (большая кричная печь), в Германии — *Stückofen* (от *Stück* — кусок, крица и *Ofen* — печь), или *Wolfafen* (волчья печь), во Франции — *fourneau à loupe* (волчья печь).

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

Третий технологический 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.

Печи для производства чугуна в России получили название «домна» (от *старославянск.* «дмение» — дутье); в Англии *blast furnace* (дутьевая печь); в Германии *Hoch ofen* (высокая печь); во Франции *haul fourneau* (большая высокая печь); у западных славян: *wielki pec* (*польск.*, большая печь), *vysoká pec* (*чешск.*, высокая печь).

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 ломом). 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_n . 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 С, 0,05–0,1 Si, ~ 0,1 Mn, 0,01 P и 0,004 S, т. е. получали очень чистый металл.

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

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 процессов 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. 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, стяжные 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 технологический 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 мощности промышленно развитых стран. Менее чем за 100 лет мировое производство стали выросло более чем в тысячу 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.

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.

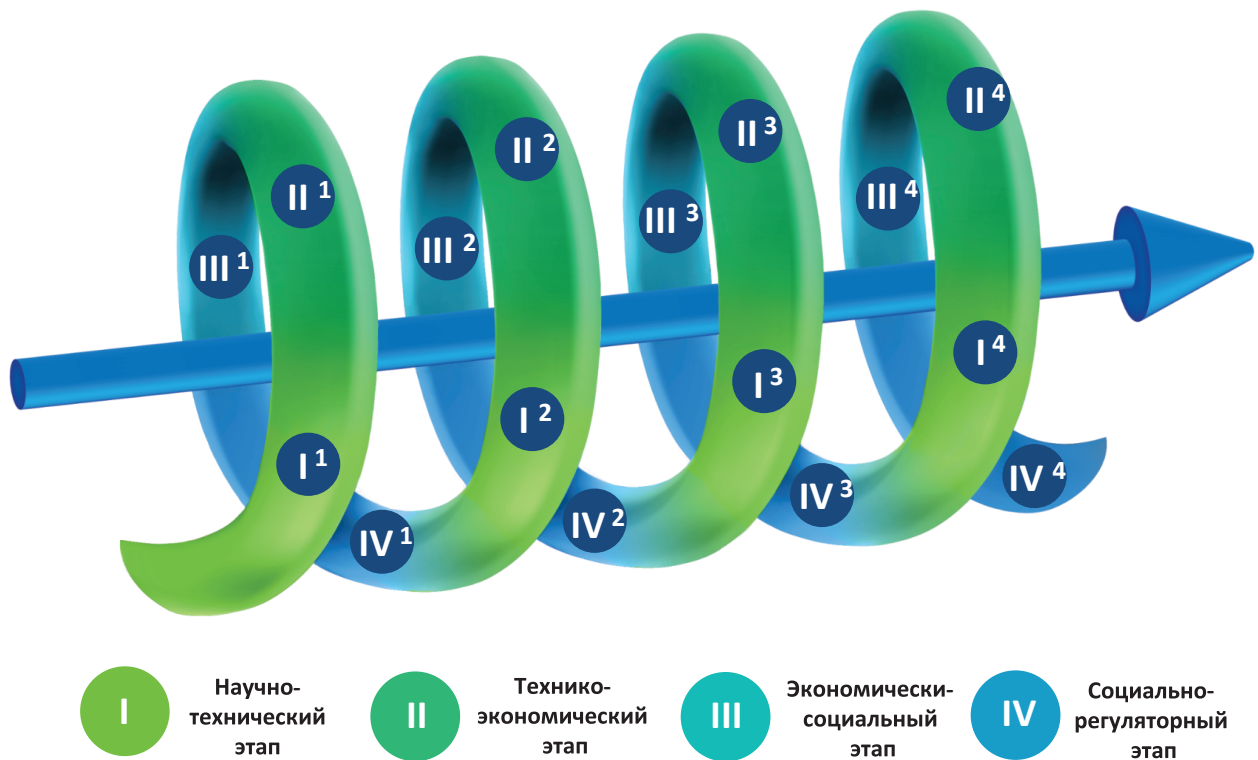
В то же время при переходе на непрерывную разливку потребовалось существенно повысить чистоту разливаемой стали, и возникла проблема совершенствования контроля за ее качеством. В результате вся сталь, поступающая на установки непрерывной разливки, подвергается дополнительной внепечной обработке.

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.

Эволюция технологий производства чугуна и стали

Каждый цикл обусловлен определенным этапом, который дает новый толчок к развитию технологий. Последовательное прохождение всех этапов приводит к завершению цикла развития отрасли, после чего цикл повторяется.

Ресурсоэффективность рассматривается как важнейший фундаментальный концепт перехода технологического развития на новый уровень. При этом метод исследования сосредоточен на изучении реакции отрасли как целого на изменяющиеся условия, без подробного описания механизма работы и внутреннего устройства той или иной технологии, так как в рамках поставленной задачи это не является первостепенным объектом изучения.



- I¹** — появление сыродутного процесса
- II¹** — развитие технологий сыродутного производства
- III¹** — рост потребления железа в различных отраслях
- IV¹** — высокая трудоемкость и малая производительность технологии

- I²** — вытеснение сыродутного процесса из производства
- II²** — получение кричного железа из чугуна
- III²** — активное развитие промышленности
- IV²** — низкая производительность, дороговизна кричного передела, массовое уничтожение лесов

- I³** — поиск более производительного способа получения железа
- II³** — получение стали окислительным плавлением чугуна на поду отражательной печи
- III³** — усовершенствование пудлинговых печей
- IV³** — низкая производительность, невозможность получения литой стали

- I⁴** — вытеснение технологии получения стали в пудлинговой печи
- II⁴** — получение литой стали конверторным, электроплавильным и мартеновским способами
- III⁴** — ужесточение природоохранного законодательства, отказ от неэкологических технологий
- IV⁴** — методы непрерывного сталеварения и появление сталеплавильных агрегатов непрерывного действия

Рис. 7.3. Эволюция технологий производства чугуна и стали

ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА ЧУГУНА И СТАЛИ

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

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

Основные металлургические процессы, их взаимосвязи проиллюстрированы рис. 7.4 (слева — сырье, справа — продукты производства).

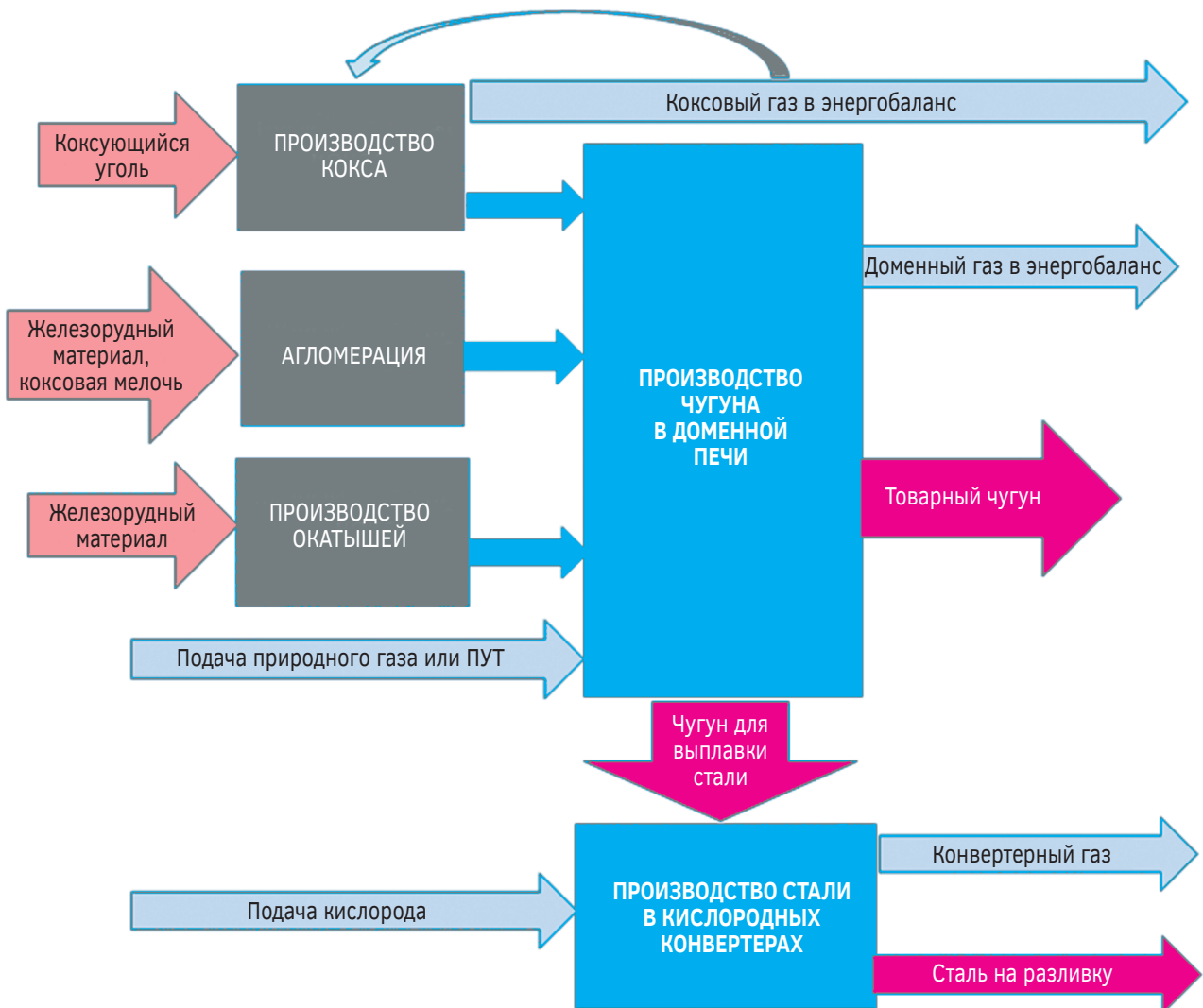


Рис. 7.4. Основные металлургические процессы, их взаимосвязи

Производство кокса

Вещество кокса 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, 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 рис. 7.5.

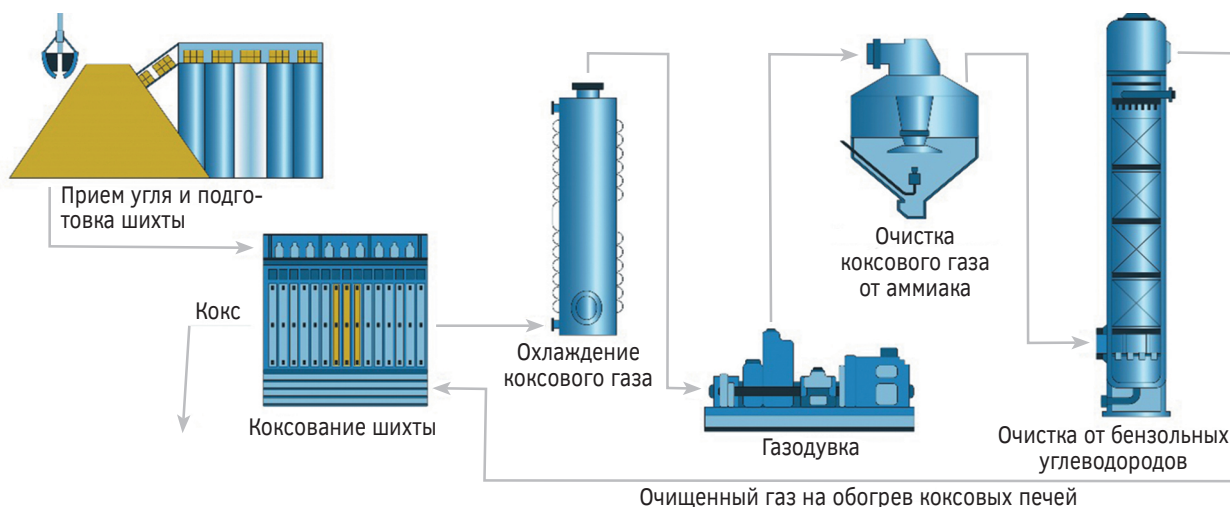


Рис. 7.5. Принципиальная схема производства кокса

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 коксовыталивателя.

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; коксораспределение 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.

Агломерация

Агломерация — это один из методов окучивания, т. е. 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%.

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 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, колосниковую пыль доменных печей, уловленную в циклонах или электрофильтрах сухую пыль, обезвоженные и высушенные шламы мокрой газоочистки и пр. Приход вредных веществ в аглошихту, например P_2O_5 , ZnO и R_2O , контролируют (где 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.

Основными требованиями к качеству агломерата являются:

- 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 CaO/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.

Производство чугуна

Чугунами принято называть сплавы железа с углеродом ($\text{Fe-Fe}_3\text{C}$) с содержанием углерода свыше 2% (в разное время это оценивали от 1,7% до 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 передельный», который устанавливает марки, группы, классы и категории в зависимости от содержания кремния, марганца, фосфора и серы. По требованию потребителей к химическому составу передельного 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 передельного 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 — 0,6%; Ti — 0,10%; P — 0,08%; Cr — 0,05%; C — 4,64%.

Передельный 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 обработку шлака на выпуске чугуна.

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

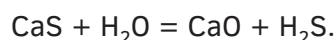
Шлак используют для производства строительных материалов и шлакопортландцемента. Побочной продукцией является колошниковый газ, который применяется для нагрева дутья в воздухонагревателях, основная часть которого подается в газовую сеть предприятия. Отходами производства являются скрап литейного двора, 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 рис. 7.5, осуществляется в сложном комплексе агрегатов и оборудования, который включает:

- 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 разлива товарного чугуна.

Технологические операции процесса выплавки чугуна, как видно из рис. 7.6, 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 отсеивании 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 H₂S, 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.

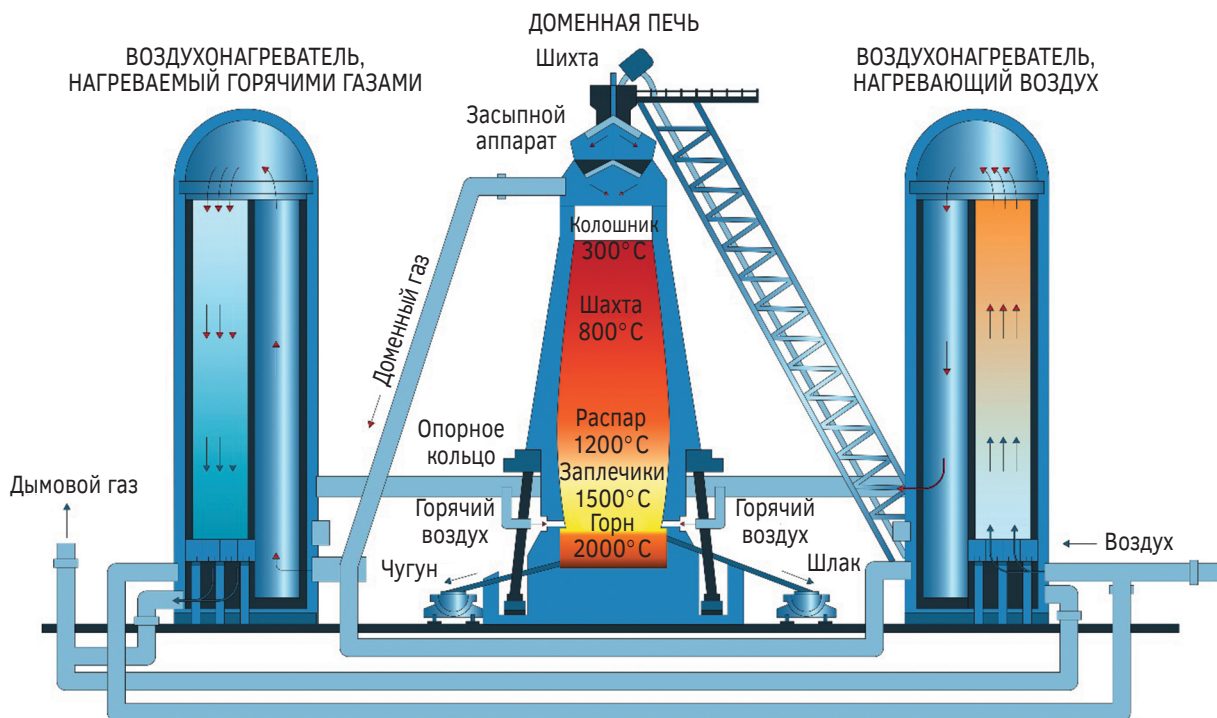


Рис. 7.6. Технологическая схема производства чугуна в доменной печи

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 ДСП, как правило, подается на платформах в контейнерах или загрузочных корзинах. Немагнитный лом для выплавки легированных марок стали подается в мурдах.

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 ЭСПЦ в специальные бункеры.

Для выплавки стали требуется большое количество сыпучих, порошкообразных и шлакообразующих материалов: свежееобожженная кусковая известь, плавиковый шпат, шамотный бой, кварцевый песок, боксит, железную руду, 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 мурдах рядом с дуговой печью. Дробление и подготовку сыпучих и порошкообразных материалов ведут в отдельных, рядом стоящих зданиях.

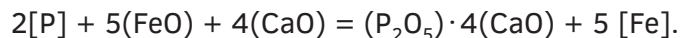
Шлакообразующие материалы и ферросплавы доставляются в печной пролет из шихтового отделения мостовым краном в мурдах или в саморазгружающихся бадах, а на ряде заводов через бункерную эстакаду по системе ленточных конвейеров.

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 бункера 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 стороны 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 примерный состав: 35–45% CaO; 15–25% SiO₂; 5–10% MnO; 10–12% MgO; 4–7% Al₂O₃; 10–15% FeO; до 0,5% P₂O₅ (основность 1,5–2,0). Скачивание и уборка шлака производятся через окно под печь самотеком или специальными скребками.

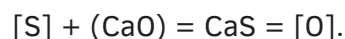
Окислительный период. В современных печах при активном использовании кислорода, которое начинается на стадии плавления металлошихты, период расплавления совмещен с окислительным периодом. Основная задача окислительного периода заключается в окончательном удалении фосфора. Начинается этот процесс при 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 0,1–0,05% 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)₄·P₂O₅ 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% SiO₂; 10–20% FeO; 5–19% MgO; 2–4% Al₂O₃; 0,5–2,0% P₂O₅ (основность 2,5–4,0). Общая продолжительность окислительного периода зависит от мощности трансформатора и продувочных устройств. На лучших печах время выплавки полупродукта в дуговой электрошлаковой печи (ДСП) 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, высокое 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.

Ковшевая 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 («ковшевая 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 рафинирования 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.

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 представлена на рис. 7.7.

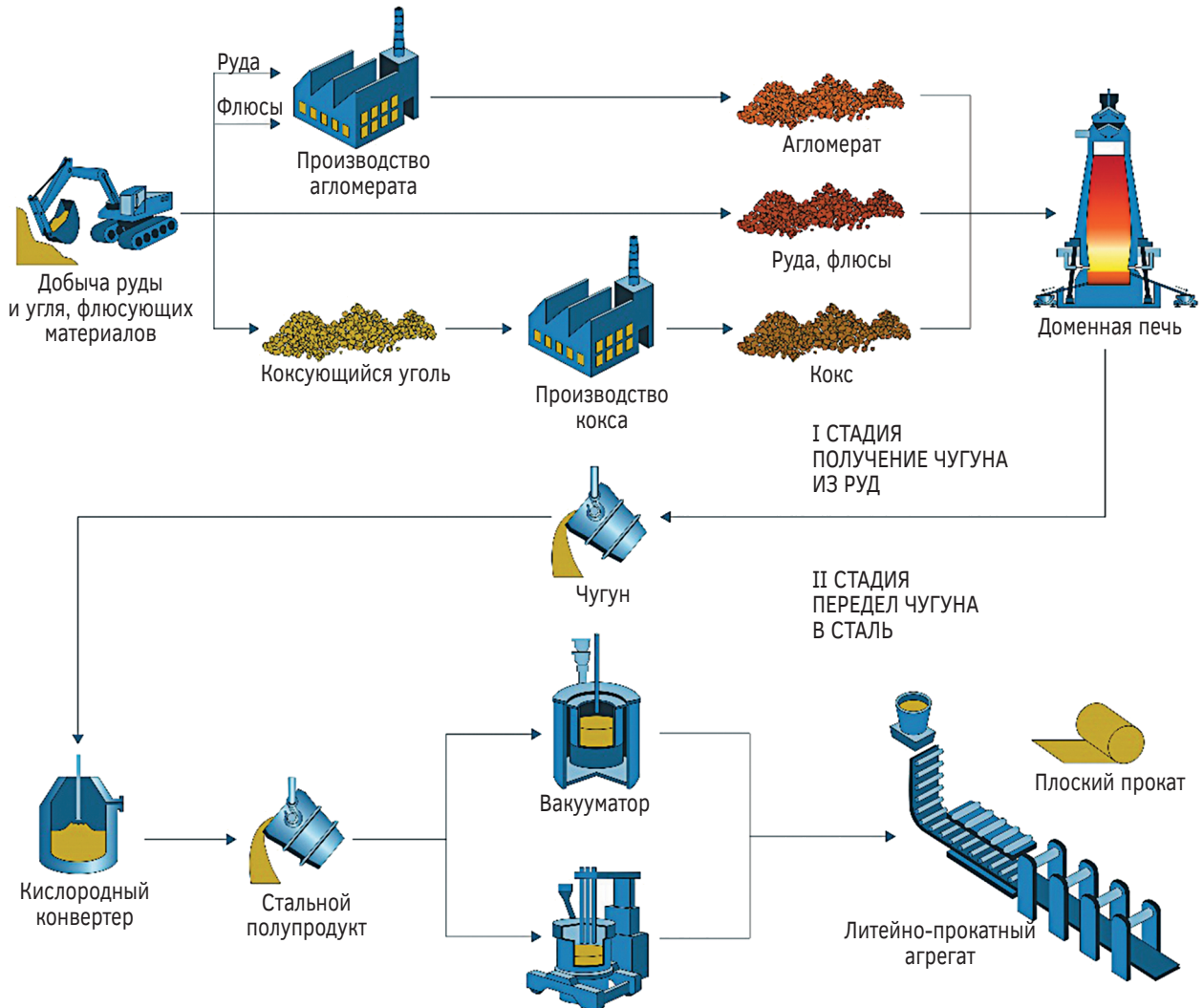


Рис. 7.7. Технологическая схема производства стали

СРАВНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ

Производство стали в кислородных конвертерах

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

Потребление ресурсов

Таблица 7.4. Удельное потребление ресурсов в конвертерном производстве отрасли (по данным анкетирования)

Потребление электроэнергии, кВт·ч/т	Топливо — природный газ, м ³ /т	Технологические газы (кислород), м ³ /т	Потребление воды, м ³ /т
			техническая вода на технологические нужды (в т. ч. оборотных циклов)
19,04–2,4	1,09–11	60–132	0,94–24

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

Таблица 7.5. Удельный расход сырья в конвертерном производстве отрасли (по данным анкетирования)

Сырьевые материалы	Расход, кг/т
Чугун	472–1082
Лом	20–585
Известь	31–72,3
Известняк	0,04–8,174
Доломит	5,2–50,4
Окатыши	1,9
Ферросплавы	5,6–19
Скрапы	59,5
Стружка	17,0
Окалина	76
Кокс	0,04–0,4
Коксовая мелочь	0,161–2,83
Угли	5,24–16,84
Агломерат	0,01–1,25
ВСЕГО:	1153–1237

Выбросы в атмосферу. Конвертерное производство стали является источником выбросов пыли, газовых компонентов, образования твердых отходов/побочных продуктов и сточных вод.

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 7.6. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу в конвертерном производстве отрасли

Наименование загрязняющих веществ	Масса загрязняющих веществ в отходящих газах после очистки, г/т продукции
CO	1979–5651
NO ₂	28–320
NO	6–70
SO ₂	15–290
Пыль неорганическая суммарно	113–350

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/м³]: NO₂ — 94–100; NO — 44–47; CO — 5700–6090; SO₂ — 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, образующихся при выплавке, обработке и разливе стали представлен ниже, 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;
- шлак от внепечной обработки — 9–15 (возможно применение в производственном рециклинге);
- брызги металла — 2,8–15;
- шлак при непрерывной разливке — 4–5;
- окалина при непрерывной разливке на МНЛЗ или в изложницы — 2,3–6,4.

Таблица 7.7. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу в конвертерном производстве отрасли

Наименование отхода	Объем образования, кг/т продукции	Обращение с отходами
Шлак конвертерного производства	114,6–191,8	– Рециклинг в сталеплавильном производстве; – Использование при ликвидации горных выработок; – Использование для дорожного строительства
Окалина при непрерывном литье заготовок	Нет данных	Рециклинг — вторичное использование в качестве металлошихты
Скрап чугунный незагрязненный	Нет данных	
Скрап стальной незагрязненный	11–34	
Лом и отходы, содержащие незагрязненные черные металлы в виде изделий, кусков, несортированные	9,58–24,1	
Отходы (осадки) механической очистки (осветления) воды систем мокрой газоочистки производства стали с преимущественным содержанием оксидов железа	11,72–22,29	Реализация в качестве побочной продукции
Отходы (осадки) механической очистки (осветления) воды систем мокрой газоочистки производств стали с преимущественным содержанием оксидов кальция и алюминия	0,56–17,82	– Рециклинг — утилизация в процессе агломерации; – Переработка для собственных нужд; – Реализация сторонним организациям

Таблица 7.7 (окончание)

Наименование отхода	Объем образования, кг/т продукции	Обращение с отходами
Лом футеровок печей и печного оборудования производства черных металлов	2,95–17,06	– Рециклинг — утилизация в огнеупорном производстве; – Использование при ликвидации горных выработок
Пыль газоочистки неорганизованных выбросов конвертерного производства	0,27–5,65	– Рециклинг — утилизация в процессе агломерации; – Переработка для собственных нужд; – Реализация сторонним организациям
Пыль газоочисток при десульфурации чугуна	0,2	Переработка для собственных нужд или реализация
Пыль миксерного отделения (пыль чугунная)	0,002–0,13	Переработка для собственных нужд или реализация
Отходы известняка, доломита и мела в кусковой форме практически неопасные	1,9–311	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.

Основными путями утилизации конвертерных шлаков являются 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 составляют 24–56 м³/т стали.

За последние 40 лет использование физического тепла отходящих газов электродуговой печи достигло 140 кВт·ч/т жидкой стали, в основном расходуемого на нагрев лома (приблизительно до 800°С), что снижает потребление энергии на 100 кВт·ч/т жидкой стали. Таблица 7.8 иллюстрирует потребление ресурсов в отрасли при производстве стали в электродуговых печах.

Расход технической воды на процесс (в том числе оборотных циклов) находится в диапазоне от 61 до 210 м³/т продукции, однако основная часть этой воды почти полностью находится в замкнутом водооборотном цикле, который составляет 98,8–100%.

Таблица 7.8. Удельное потребление ресурсов в отрасли при производстве стали в электродуговых печах (по данным анкетирования)

Потребление электроэнергии, кВт·ч/т	Топливо — природный газ, м ³ /т	Технологические газы (кислород), м ³ /т	Потребление воды, м ³ /т	
			техническая вода на технологические нужды (в т. ч. оборотных циклов)	«свежая» вода
312–590	10–52	32–71	61–210	0,06–7,3

Таблица 7.9. Удельный расход сырья при производстве стали в электродуговых печах в отрасли (по данным анкетирования)

Сырьевые материалы	Расход, кг/т
Лом	559–1126
Чугун	3,7–542
Скрап	16,3–59,5
Ферросплавы	10,8–21,4
ГБЖ	15,8–19
Окатыши	16,8
Коксовая мелочь	12–19,3
Кокс	0,3–2,9
Известь	54,4–61,2
Известняк / доломит	0,3–51,8
Стружка	17
Легирующие	7,6
Окалина	6,8
ВСЕГО:	1102–1274

Выбросы в воздух. Источниками выбросов в электросталеплавильном производстве являются собственно электродуговая печь, машины непрерывного литья заготовок, а также дополнительные агрегаты, предназначенные для обеспечения процесса плавки (стенды сушки и разогрева стальной ковшей и промежуточных ковшей, 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 (в случае трех электродов — печи на переменном токе) или из второго отверстия с патрубком для газоотсоса (в случае одного электрода — 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 м³/ч.

Таблица 7.10. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу при производстве стали в электродуговых печах в отрасли

Наименование ЗВ	Технологический этап / Источник выброса	Масса загрязняющих веществ в отходящих газах после очистки		
		диапазон, г/т	среднее, г/т	
NO ₂	Подготовка стальной заготовки	0,1–10,7	3,6	
NO		0,1–1,74	0,7	
CO		0,4–18,1	7,7	
SO ₂		0,14–1,24	0,7	
NO ₂	Печь-ковш	6–9,8	7,9	
NO		1–3,48	2,2	
CO	Труба Вентури, каплеуловитель	–	0,017	
Пыль неорганическая	Очистка сухая: Фильтр рукавный	0,105–4	1,9	
MgO		1–2	1,5	
Mn и его соед.		0,1–1,43	0,8	
NO ₂		ДСП	8,5–552,9	281
NO	2,5–257,4		–	
CO	270–4499		2910	
SO ₂	4–335		41	
Пыль неорганическая суммарно	140–749,4		500	
MgO	1,5–7,6		4,4	
Mn и его соединения	1–17		6,4	
Fe ₂ O ₃	9–230		85,7	
	Разливка стали (МНЛЗ)		–	–
			–	–
CO		0,36–3,8	2,1	
Пыль неорганическая		–	5,9	
Mn и его соединения		–	0,09	
NO ₂	Установка внепечной обработки стали (УВОС)	67,9–80	73,9	
NO		–	11	
CO		30–52,8	41,4	
Пыль неорганическая суммарно		3,9–91	53	
MgO		–	3,8	
Mn и его соединения		–	2,1	
Fe ₂ O ₃		–	23	
		Очистка сухая: Фильтр рукавный	–	–
			–	–

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

Отходы и побочные продукты. Производственные остатки (отходы и побочные продукты) включают 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 7.11. Обращение с отходами электросталеплавильного производства в отрасли
(по данным анкетирования)

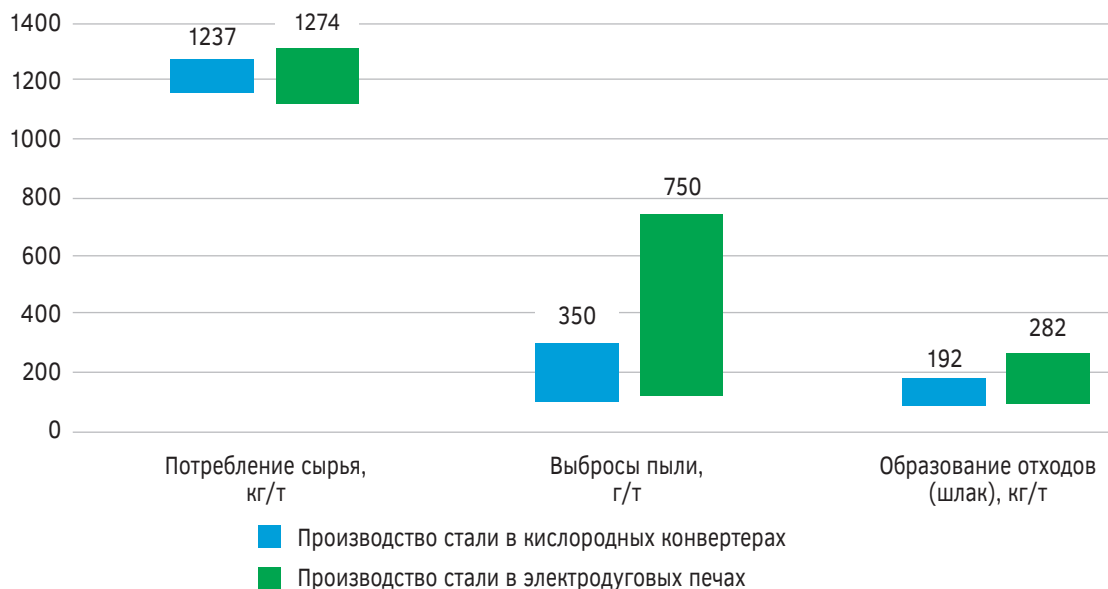
Наименование отхода	Объем образования, кг/т продукции		Обращение с отходами
	среднее	диапазон	
Шлак электросталеплавильный	197,7	127–282	– Рециклинг — в сталеплавильном производстве; – Переработка в шлаковый щебень; – Использование для ликвидации горных выработок; – Использование в производстве цемента; – Использование в качестве инертного материала на полигоне
Скрап стальной, незагрязненный	49,5	43–56	Рециклинг — в сталеплавильном производстве
Лом и отходы, содержащие незагрязненные черные металлы в виде изделий, кусков, несортированные	28,8	0,88–82,6	Рециклинг — в сталеплавильном производстве
Отходы известняка, доломита и мела в кусковой форме, практически неопасные	21,6	0,116–43	Использование сторонними организациями при производстве строительных материалов
Пыль газоочистки черных металлов, незагрязненная	15,8	12,9–18,8	– Размещение на полигоне (90%); – Использование при создании инертного слоя при рекультивации полигонов
Пыль аспирации электросталеплавильного производства	14,7	0,12–41	– Рециклинг — переработка в окатыши железосодержащие; – Рециклинг — в качестве железосодержащей добавки при производстве агломерата; использование для ликвидации горных выработок; – Размещение на ОРО; – Передача сторонним организациям
Окалина при непрерывном литье заготовок	6,6	0,02–18,7	Рециклинг — в агломерационном и/или сталеплавильном производстве; передача сторонним организациям
Лом футеровок печей и печного оборудования производства черных металлов	4,3	2,3–6,6	– Сортировка, извлечение металлоскрапа; – Рециклинг — при выплавке стали; – Использование в собственном производстве полученных огнеупорных порошков
Электроды графитовые отработанные, не загрязненные опасными веществами	0,2	0,03–0,92	– Рециклинг — в качестве добавочного материала; – Повторное использование после восстановления резьбы; – Передача сторонним организациям

Сравнение технологий производства стали

	Потребление электро- энергии, кВт·ч/т	Потребление топлива, м³/т	Потребление воды, м³/т
Производство стали в кислородных конвертерах	19–24	1–11	1–24
Производство стали в электродуговых печах	312–590	10–52	61–210



	Потребление сырья, кг/т	Выбросы пыли, г/т	Образование отходов, кг/т
Производство стали в кислородных конвертерах	1153–1237	113–350	114–192
Производство стали в электродуговых печах	1102–1274	140–750	127–282



РОЛЬ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В ГЛОБАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКЕ

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 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.

Начиная с 2000 г., тенденции развития отечественной черной металлургии кардинально изменились: объем инвестиций в 2016 г. вырос в 7,4 раза по сравнению с 2000 г., общий объем инвестиций в отрасль за период 2000–2016 гг. составил около 2,04 трлн руб. Динамика инвестиций в черную металлургию России представлена на рис. 7.8.

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. Крупнейшими потребителями продукции черной металлургии являются машиностроение и металлообработка, строительная индустрия, железнодорожный транспорт. Самым тесным образом черная металлургия связана с химической и легкой промышленностью.

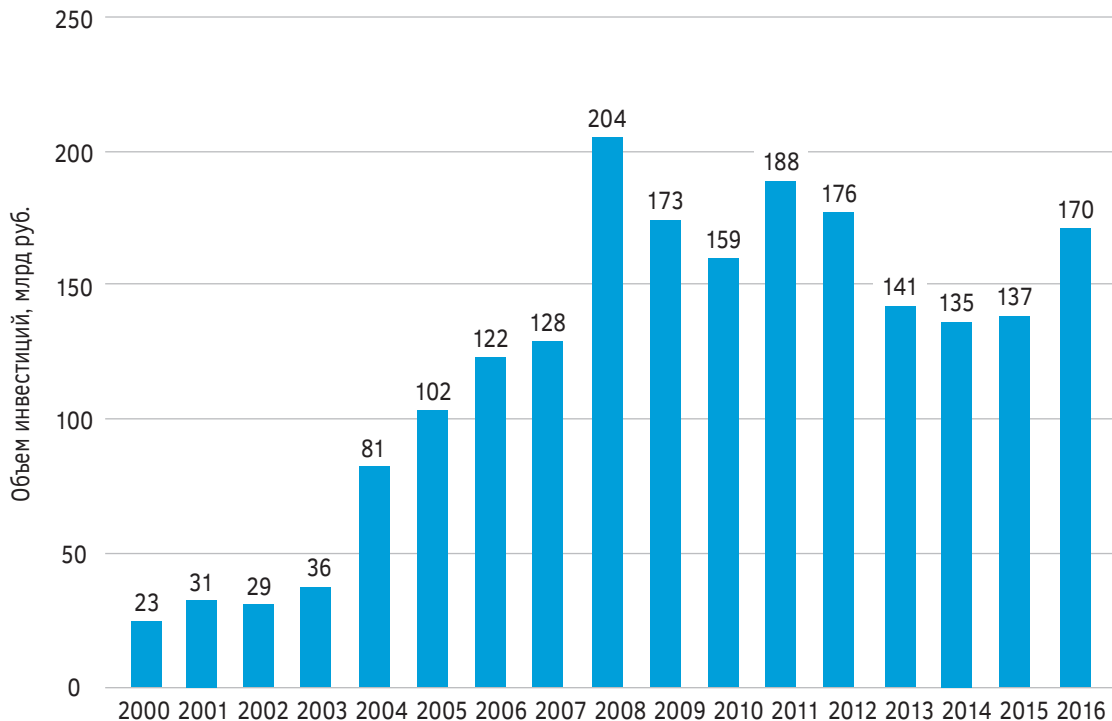


Рис. 7.8. Динамика инвестиций в черную металлургию России

Черная металлургия, являясь одной из базовых отраслей, вносит существенный вклад в экономику России.

За 2016 г. использование мощностей по производству готового проката составило 80,4%, по производству стали — 82,2%, по производству чугуна — 83%. Данная загрузка производственных мощностей сопоставима с показателями основных зарубежных металлургических компаний-производителей черных металлов.

В 2016 г. из расчетных данных по материалам Росстата доля черной металлургии составляла в ВВП страны — около 1,4%, в промышленном производстве — 5,7%, в валютных поступлениях в экономику России — 6,1%. 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 15%. Доля черной металлургии в экономике России в 2016 г. показана на рис. 7.9.

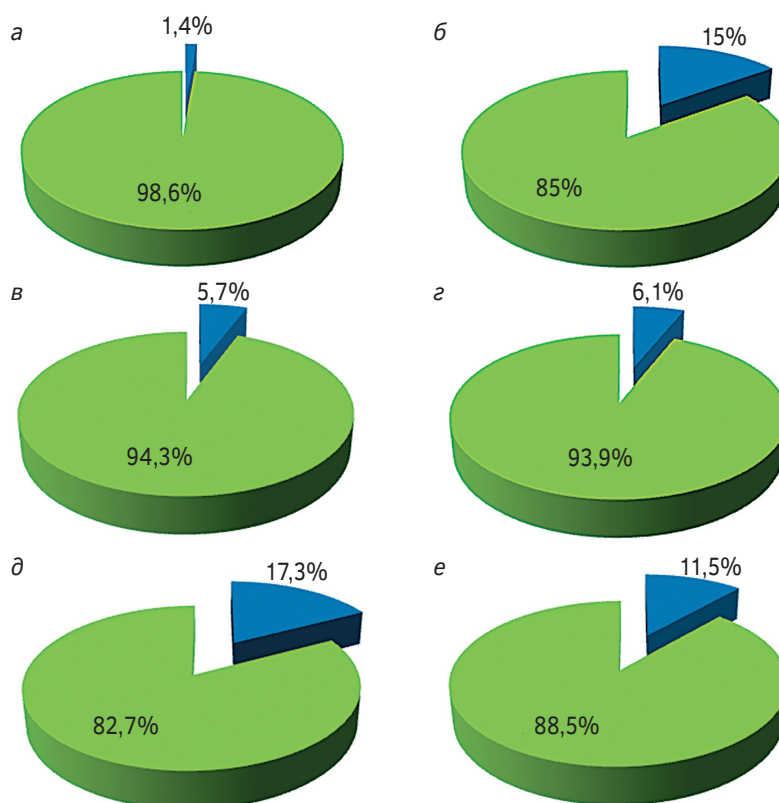


Рис. 7.9. Доля черной металлургии в экономике России в 2016 г.:

- а) в ВВП; б) в грузовых железнодорожных перевозках; в) в промышленном производстве; г) в валютных поступлениях в экономику России; д) в потреблении природного газа в промышленном производстве России; е) в потреблении электроэнергии в промышленном производстве России

Благодаря инвестициям износ основных средств снизился с 53,5% — в 2000 г. и до 42% — в 2015 г.

Россия занимает 5-е место в мире по производству стали (уступая Китаю, Японии, Индии и США), 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 и производится около 14 млн маркопрофилеразмеров.

Динамика структуры производства основных видов продукции черной металлургии в России представлена на рис. 7.10.

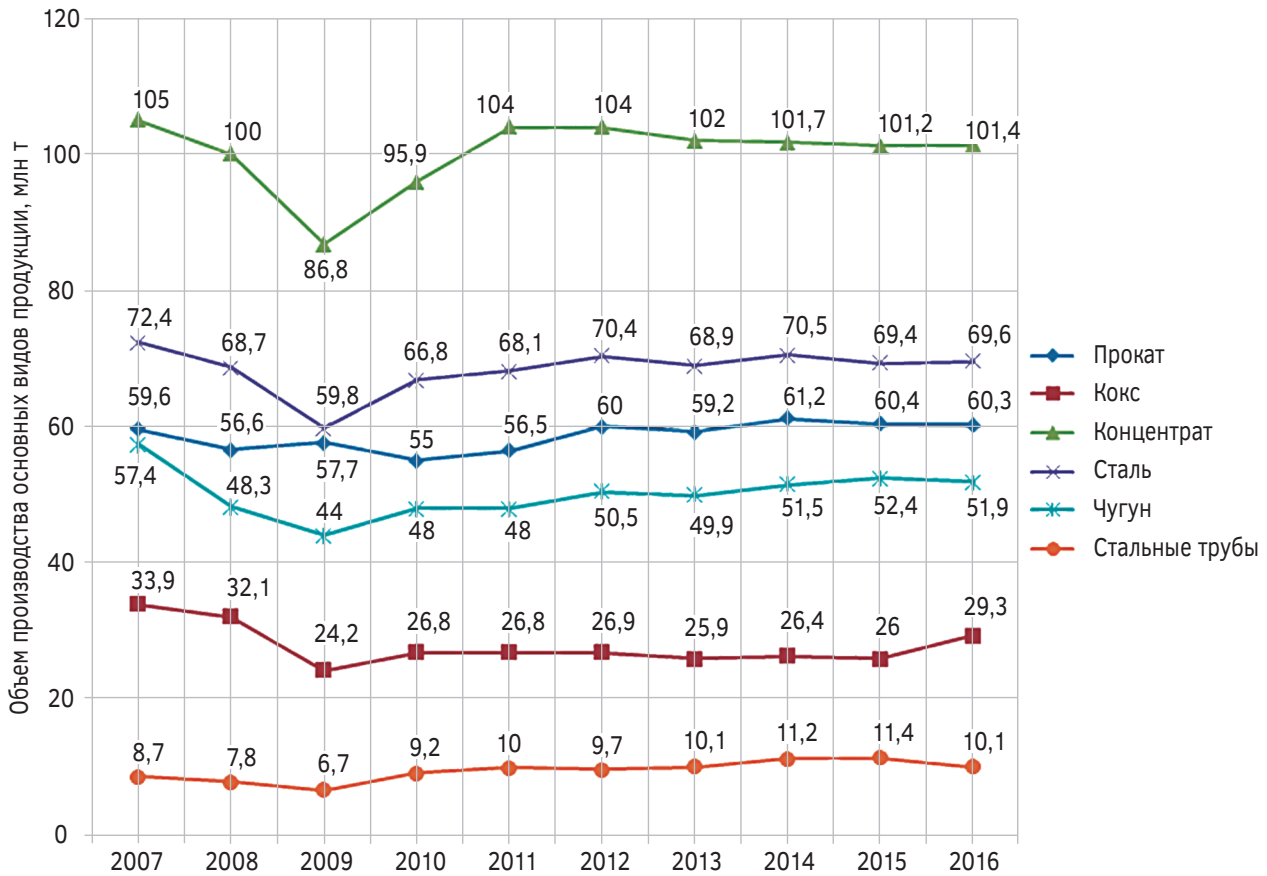


Рис. 7.10. Динамика производства основных видов продукции черной металлургии в России

Чугун выплавляется в доменных печах. Средняя удельная производительность печей увеличилась за период 2000–2015 гг. на 19%, а средний удельный расход кокса снизился примерно на 12%.

Сталь производится в конвертерах (66,5%), в электропечах (31,5%) и в мартеновских печах (2,0%). Динамика структуры выплавки стали по видам производства в России представлена на рис. 7.11.

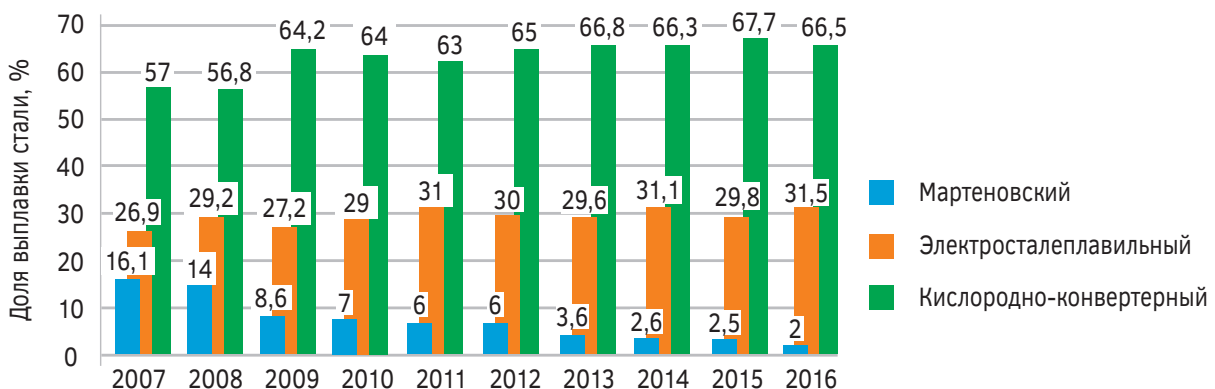


Рис. 7.11. Динамика структуры выплавки стали по видам производства в России

Изменения за период 2000–2016 гг. в сортаменте производимого готового проката в целом по отрасли характеризуются следующими данными, представленными в табл. 7.12.

Таблица 7.12. Сортамент производимого готового проката

Вид продукции	2000 г.		2016 г.	
	Объем производства, млн т	Доля в объеме производства, %	Объем производства, млн т	Доля в объеме производства, %
Готовый прокат:	46,7	100	60,3	100
– заготовки для переката на экспорт	11,8	25,3	14,1	24,0
– сортовой прокат	14,6	31,2	18,5	31
– листовой прокат, в т. ч.:	20,3	43,5	27,5	45
• холоднокатаный листовой прокат	6,4	31,6	8,1	29,1
• холоднокатаный листовой прокат с покрытиями	1,4	21,9	5,5	67,5

Увеличились объемы производства листового проката и холоднокатаного листа, в 3 раза выросла доля листового проката с покрытиями.

Динамика укрупненной структуры готового проката за период 2007–2016 гг. показана на рис. 7.12.

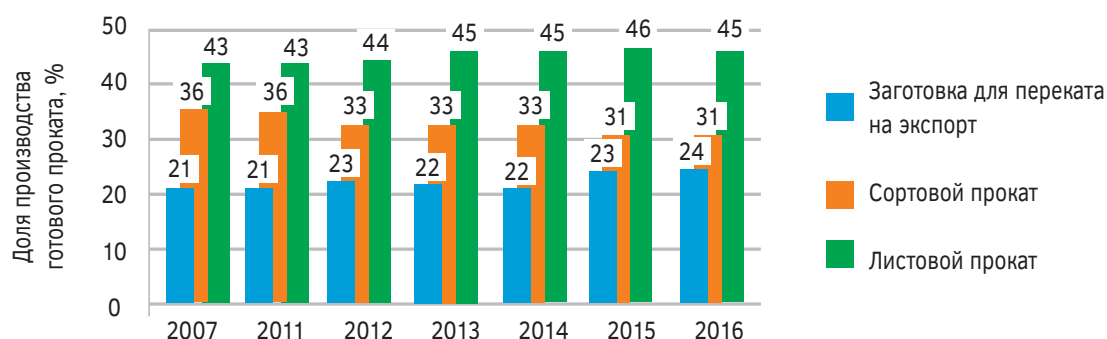


Рис. 7.12. Динамика укрупненной структуры производства готового проката

Производство, экспорт, импорт и потребление готового проката в РФ иллюстрируются динамикой производства стали, проката и объемами его потребления, представленными в табл. 7.13.

Таблица 7.13. Производство, внешняя торговля и потребление готового проката в РФ

Показатели	Годы									
	2000	2005	2007	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Производство, млн т	46,7	54,7	59,6	55,0	56,5	60,0	59,2	61,2	60,4	60,3
Экспорт, млн т*	27,0	29,9	28,0	29,3	24,8	26,9	24,8	25,4	28,0	28,9
Импорт, млн т*	1,8	4,0	6,4	5,2	6,4	6,0	6,0	5,3	5,1	2,4
Видимое потребление, млн т	21,5	28,8	38,0	30,9	38,1	39,1	40,4	41,1	37,4	33,8
Доля экспорта в производстве, %	57,8	54,7	47,0	53,3	43,9	44,8	41,9	41,5	46,4	47,9
Доля импорта в потреблении, %	8,4	13,9	16,7	16,8	16,8	15,3	14,8	12,9	13,6	7,1

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

Тенденции в мировом производстве

Эксперты EIU пересмотрели свою оценку роста мирового производства стали в 2017 г. до 3,8% (ранее они прогнозировали 5,5%) в соответствии с последними данными за весь год, опубликованными Всемирной ассоциацией стали (WSA). Тем не менее ускорение темпов роста производства, начавшееся во второй половине 2017 г., сопровождается ростом прибыли сталелитейных компаний, продолжилось в первой половине 2018 г. В январе-июле 2018 г. производство стали в мире выросло на 5,2% г/г и на 6,4% г/г в Китае. Однако во второй половине 2018 г. ожидается замедление темпов роста производства. EIU прогнозирует рост мирового производства стали на 4,3% в 2018 г. В следующем году рост процентных ставок будет препятствовать накоплению запасов и ослабит мировой спрос на сталь. Таким образом, производство стали в 2019 г., по прогнозам, вырастет всего на 0,5%.

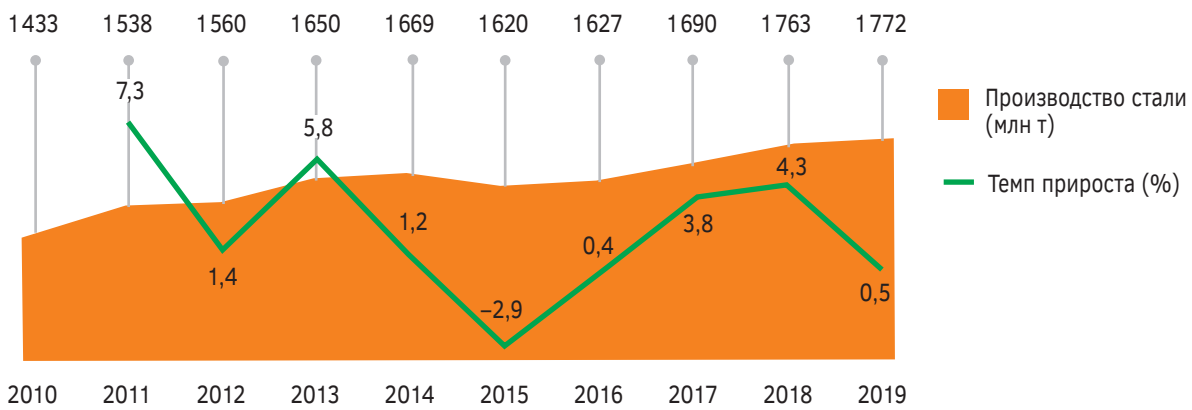


Рис. 7.13. Динамика производства стали в мире

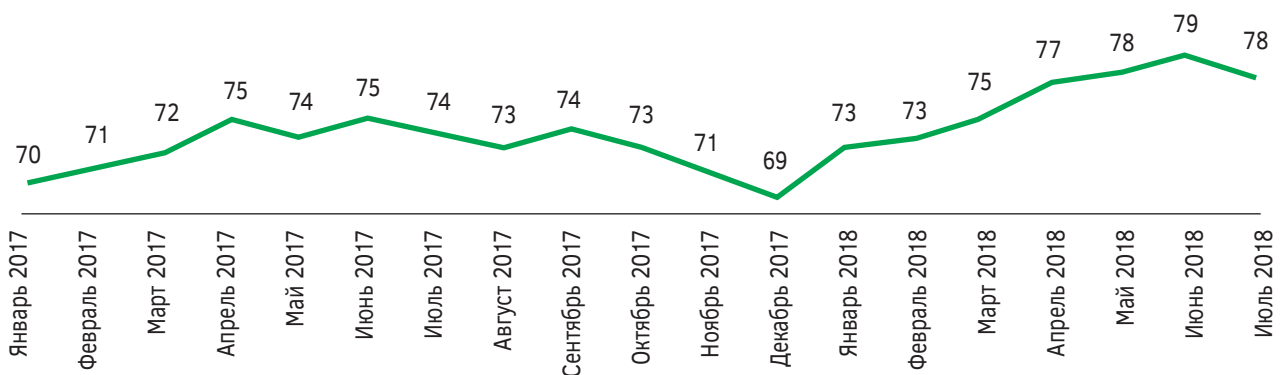


Рис. 7.14. Мировой коэффициент загрузки производственных мощностей (%), 2017–2018 гг.)

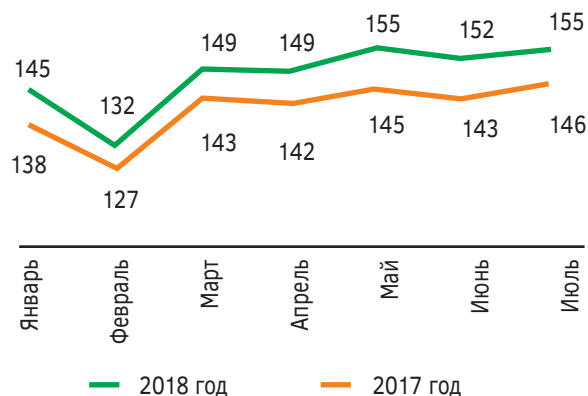


Рис. 7.15. Динамика производства стали, помесечно (млн т)

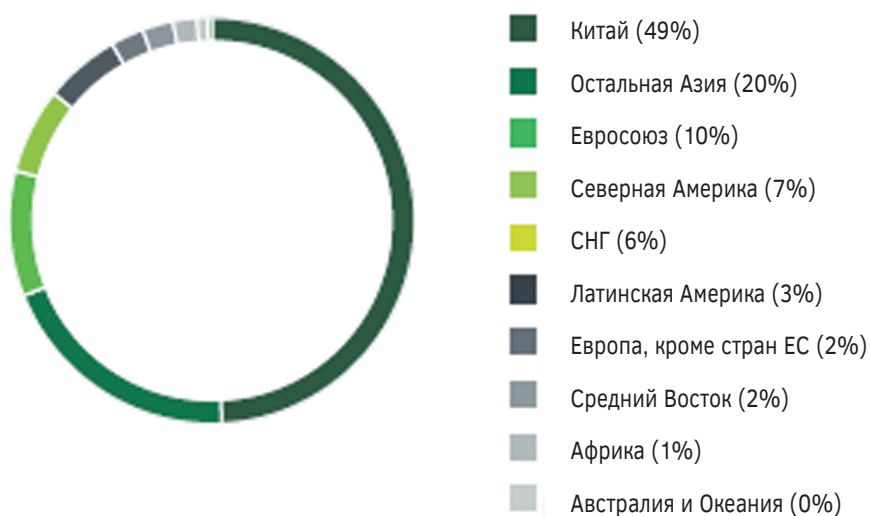


Рис. 7.16. Производство стали по регионам (% , 2017 г.)

Северная Америка

В марте 2017 г. правительство США ввело 25% пошлину на весь импорт стали. Канада, Мексика, ЕС, Южная Корея, Австралия, Аргентина и Бразилия, которые составляют более половины общего объема импорта стали в США, получили временные исключения, которые истекли 1 июня, а это означает, что поставки из этих стран уже пострадали от введения пошлин. Мексика (с 1 июня) и Канада (с 1 июля) ответили вводом собственных пошлин. Эти страны также расширили сферу их применения, включив в них не только стальную продукцию. В краткосрочном периоде действие тарифов создаст огромную неопределенность в цепочке поставок. Однако базовый сценарий экспертов из EIU не предусматривает действие пошлин для этих стран в длительном периоде. После введения пошлин производство стали в США начало увеличиваться. В марте 2018 г. US Steel объявила о перезапуске одной из доменных печей Granite City в июне, а второй доменной печи — в октябре. В июле Liberty Georgetown возобновила свое производство на проволочном заводе мощностью 700 тыс. т/год. В это же время JSW Steel приобрела Асего Junction и планирует возобновить работу электрической дуговой печи мощностью 1,6 млн т/год осенью 2018 г. Другие производители также, вероятно, увеличат загрузку производственных мощностей, поскольку в США растут цены на сталь и рентабельность металлургических компаний. Однако в 2018 г. эффект от введения пошлин на сталь в основном будет иметь только ограниченное влияние в виде сокращения бездействующих мощностей, составляющих около 5% от общего объема производства в США. Учитывая уровень инвестиций, который необходим для ввода в действие новых заводов, и средний период реализации в три-четыре года, маловероятно, что новые мощности начнут работать до 2022 г. Таким образом, цены на сталь в США останутся как минимум на 25% выше мирового уровня.

Европейский союз (ЕС)

19 июля 2018 г. Европейская комиссия объявила о введении тарифных квот на 26 видов стальной продукции для защиты внутреннего рынка от дешевого импорта в качестве мер защиты после повышения США пошлин на сталь и алюминий. Планируется, что защитная мера будет действовать на протяжении 200 дней. Пошлины в размере 25% будут вводиться лишь после того, как импорт превысит средний показатель за последние три года. Таким образом, это не резкое ужесточение баланса спроса и предложения в Европе, годовая квота для большинства продуктов соответствует 10% от объема импорта за 2017 г.

Тарифные квоты могут быть продлены после первоначального 200-дневного периода. Это продление, вероятно, принесет пользу европейским заводам, поскольку любое увеличение спроса благоприятно, тогда как ужесточение тарифов приведет к еще большему росту цен. Эксперты из EIU считают, что тарифные квоты будут продлены в текущем виде, и в соответствии с этим они прогнозируют рост производства стали на 3,2% в 2018 г. по сравнению с 3,9% в 2017 г.

Экономический рост ЕС остается стабильным, а ограничения на импорт позволят европейским заводам получить долю на рынке. Единственным недостатком может быть сокращение спроса из Алжира на арматуру. В целях защиты своей сталелитейной промышленности Алжир будет стремиться препятствовать импорту из ЕС в 2018 г. Существует несколько альтернативных рынков для арматурных заводов ЕС, но производство в этом секторе может упасть, особенно учитывая импортные тарифы США.

Тенденции в мировом потреблении

Мировое потребление стали в 2017 г. выросло примерно на 5,1% благодаря устойчивому мировому экономическому росту. Однако после впечатляющего начала года EIU ожидает, что во второй половине 2018 г. рост потребления будет умеренным из-за замедления промышленного роста в Китае, в частности, строительного сектора. В целом рост мирового потребления стали снизится до 2,8% в 2018 г., отражая тенденции в Китае и показывая устойчивый рост спроса на таких рынках, как ЕС и НАТОА.

В 2019 г. растущие процентные ставки, кредитные ограничения в Китае и циклическое замедление автомобильного сектора на развитых рынках будут иметь негативное влияние на мировой спрос на сталь. Несмотря на продолжающийся экономический рост в большинстве крупных экономик, потребление стали в 2019 г. будет расти медленнее и составит 1,3% в годовом исчислении.

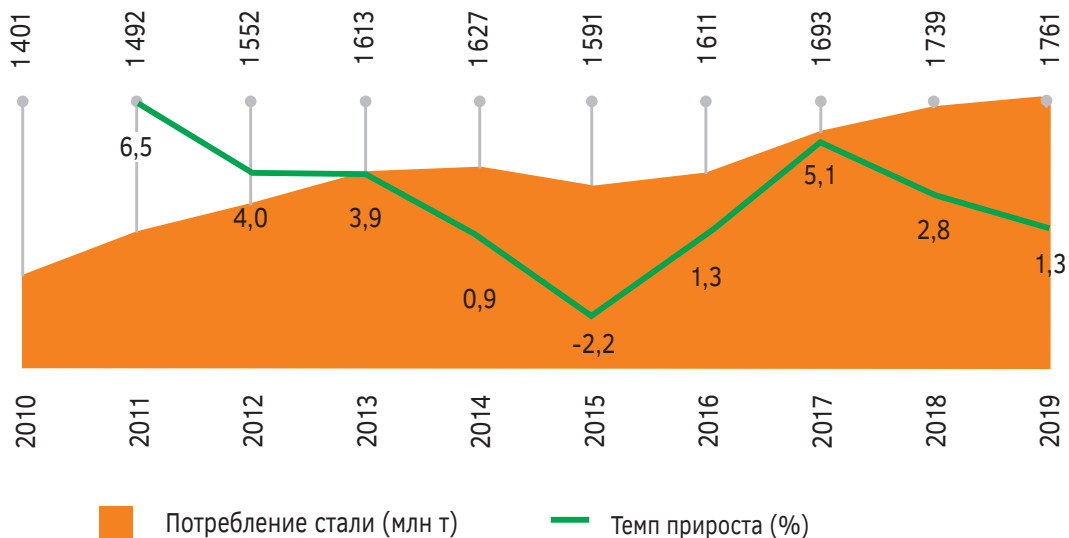


Рис. 7.17. Динамика потребления стали в мире с 2010 г.

Источник: данные World Steel Association. EIU

Северная Америка

По данным Американского института черной металлургии (AISI), на долю США приходится 75% потребления стали в Северной Америке, из которых 43% в 2017 г. относится к строительному сектору.

Администрация президента Дональда Трампа сделала амбициозные обещания инвестировать значительные средства в инфраструктуру, которая будет поддерживать потребление стали в США. Однако эти государственные расходы вряд ли будут осуществлены, учитывая одобренный в декабре 2017 г. законопроект о налоговой реформе, который сократит бюджетные поступления на 1,5 трлн долл. США в течение следующего десятилетия. Спрос на сталь на автомобильных рынках (на долю сектора приходится 27% спроса на сталь в США) также находится под угрозой из-за замены алюминия и разработки высокопрочных сплавов. Кроме того, создают угрозу долгосрочному спросу на сталь электромобили, поскольку технологические достижения и более длительное пользование электромобилями снижают спрос на их замену.

После того как правительство США ввело в середине 2018 г. 25%-ный тариф на импортную сталь, сталепотребляющие компании США, вероятно, будут платить как минимум на 25% больше за закупку стали, чем их конкуренты, поскольку они продолжают рассчитывать на импорт (эксперты не ожидают того, что американские сталелитейные компании смогут быстро наращивать мощности для удовлетворения внутренних потребностей в стали, будь то по объему или ассортименту продуктов).

EIU прогнозирует, что в 2018 г. потребление стали в Северной Америке вырастет на 4% из-за недавней волатильности цен и рыночной обеспокоенности, связанной с тем, что торговые споры могут ускорить дальнейшее накопление запасов. Росту потребления в 2018 г. также будут способствовать такие основополагающие факторы, как бурно развивающийся энергетический сектор, более высокие капиталовложения (отчасти из-за снижения налогов США) и высокий уровень потребительских расходов.

Однако к 2019 г. дальнейшее ужесточение денежно-кредитной политики и высокие цены на металлы снизят активность в секторе автомобилестроения и жилищного строительства. К тому же более высокие цены на сталь снижают спрос США в обрабатывающих отраслях промышленности, которые, возможно, перейдут на использование неамериканской стали и затем будут экспортировать готовую продукцию в США. В результате EIU прогнозирует, что потребление стали в Северной Америке сократится на 1%.

Азия

В Азии (за исключением Китая) потребление стали в 2017 г. увеличилось на 1,5%. В целом на долю небольших, но быстрорастущих стран Юго-Восточной Азии, таких как Вьетнам, Индонезия, Таиланд и Филиппины, приходится 25% от общего объема спроса Азии, еще 20% — на Индию. При этом в 2017 г. рост промышленного производства в Индии упал ниже ожидаемого уровня, что препятствовало более быстрому росту регионального спроса.

Тем не менее рост промышленного производства более чем на 7% в I квартале 2018 г. является значимой предпосылкой для роста спроса. Ожидается, что в 2018 г. рост потребления в регионе составит 3% при поддержке программы стимулирования в Южной Корее, которая частично компенсирует невысокий спрос в Японии.

К 2019 г. рост процентных ставок на развитых рынках, скорее всего, повлияет на экспортно ориентированные страны Юго-Восточной Азии, в связи с этим ожидаемый рост потребления стали в 2019 г. составит 1,5%.

Европейский союз (ЕС)

Расходы на производство и инфраструктуру будут поддерживать спрос на сталь в ЕС. Несмотря на то что Европейский центральный банк (ЕЦБ) завершит свою программу стимулирующей монетарной политики к концу 2018 г., экономика еврозоны останется достаточно устойчивой, чтобы обеспечить рост потребления стали на 2,9% в этом году. Также способствовать повышению спроса на сталь будет развитый автомобильный сектор, на который

приходится почти 20% регионального потребления. Регистрация новых автомобилей выросла на 3,4% в 2017 г., а снижение уровня безработицы привело к росту спроса в потребительском секторе, в том числе на бытовую технику. Тем не менее темпы роста регистрации новых автомобилей замедлились в первой половине 2018 г. до 2,9%. По прогнозам EIU, автомобильный рынок ЕС достигнет максимума в этом году.

В 2019 г. ужесточение фискальной и денежно-кредитной политики, скорее всего, повлияет на потребительские расходы и инвестиции, что приведет к замедлению роста спроса на сталь до 1,5%.

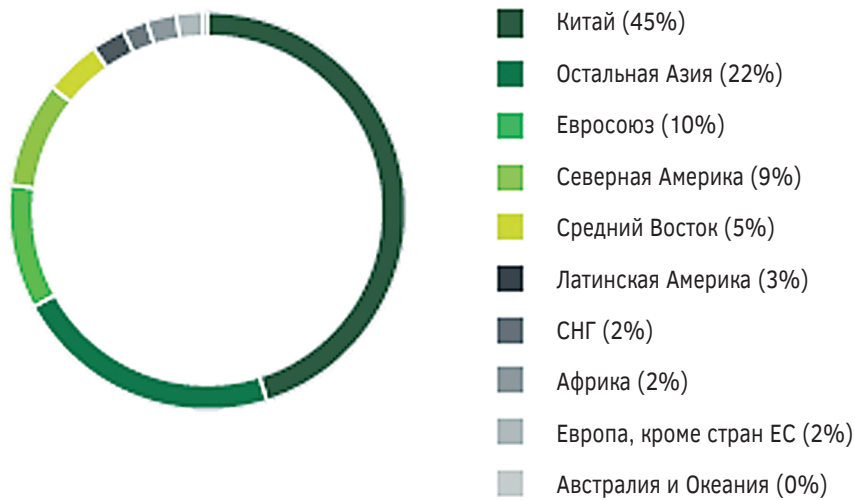


Рис. 7.18. Потребление стали по регионам (% , 2017 г.)

Источник: данные WorldSteelAssociation. EIU

ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ

Черная металлургия, являясь одной из базовых отраслей, вносит существенный вклад в экономику России. Успехи в развитии отрасли были обусловлены общей политической стабильностью, проведенными структурными и институциональными реформами.

В черной металлургии сформировалось десять крупных вертикально и горизонтально интегрированных холдингов, объединяющих предприятия по всей технологической цепочке производства от добычи угля и руды и их переработки до инфраструктурных подразделений, ломопереработку, энергетику, порты и ж/д транспорт, что позволяет уменьшить риски как на внутреннем, так и на внешнем рынках, оптимизировать инвестиционную политику и обеспечивать собственную сырьевую безопасность.

Суммарно на долю холдингов приходится порядка 90% производимого в России проката черных металлов. Компании активно развивают собственные сервисные службы по металлообработке и торговле готовой металлопродукцией в различных регионах страны и мира, а также осуществляют строительство электросталеплавильных заводов в регионах России в целях приближения к потребителю и повышения конкурентоспособности за счет снижения транспортных расходов. В связи с вводом новых мощностей принципиальных изменений в структуре отрасли не ожидается: более 80% производства будет приходиться на крупные вертикально интегрированные компании.

Действия, предпринятые Правительством Российской Федерации, способствовали защите внутреннего рынка, проведению модернизации (за счет отмены импортных пошлин на основные виды высокотехнологичного оборудования), уменьшению количества ограничений, действующих на внешних рынках в отношении российской металлопродукции.

Основными конкурентными преимуществами отрасли сегодня являются: собственная развитая железорудная и топливно-энергетическая база; современные мощности по выплавке чугуна, стали и производству металлопродукции; созданные вертикально-интегрированные структуры, конкурентоспособные на внешних рынках. При этом действовавший ранее такой фактор конкурентоспособности, как относительно низкие (по сравнению с внешними конкурентами) затраты на производство (природный газ, электроэнергия, тарифы на перевозку железнодорожным транспортом, заработная плата) при сопоставимом качестве продукции и технологическом уровне сегодня фактически исчерпан.

Практически не решенными сегодня остаются вопросы внедрения новых ресурсо- и энергоэффективных технологий производства; а также вопросы организации производства новых перспективных сталей и сплавов, необходимых для обеспечения спроса высокотехнологичных секторов экономики России.

Основными тенденциями развития черной металлургии являются:

- замедление темпов роста объемов производства и потребления металлопродукции;
- увеличение доли продукции, поставляемой на внутренний рынок;
- увеличение поставок на экспорт продукции с увеличением глубины переработки;
- рост импортозамещения;
- повышение требований к служебным характеристикам продукции, совершенствование ее сортамента и конкурентоспособности;
- ресурсо- и энергосбережение, снижение негативного экологического воздействия на окружающую среду;
- оптимизация избыточных производственных мощностей;
- строительство мини-заводов, передельных и сервисных центров;
- внедрение новой техники и технологий.

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

Основным направлением промышленной политики государства должна быть разработка экономических условий по стимулированию инвестиционной деятельности как в металлургии, так и, особенно, в отраслях, потребляющих черные металлы, для увеличения спроса на них, а также по совершенствованию горнометаллургического производства в направлении снижения расхода материальных и энергетических ресурсов, повышения производительности труда и решения проблем моногородов.

Сценарий консервативного развития экономики характеризуется невозможностью реализации новых долгосрочных масштабных проектов и программ, снижением технологической конкурентоспособности обрабатывающих производств, стагнацией в развитии топливно-энергетической отрасли. Рост внутреннего спроса на металлопродукцию по этому варианту будет происходить, в основном, за счет развития строительной отрасли, что вызовет, в свою очередь, сохранение в структуре производства преимущественно сортового проката. Прирост мощностей в металлургической промышленности будет происходить в основном за счет реконструкции и модернизации действующих объектов.

Сценарий умеренно оптимистичного развития опирается на наиболее полное использование конкурентных преимуществ России в энергетическом секторе, устойчивое наращивание экспорта сырья и повышение глубины его переработки, модернизацию транспортной инфраструктуры страны. Реализация данного сценария позволяет сформировать новые источники роста, основанные на ускоренном развитии энерго-сырьевых отраслей — ТЭК, металлургического и химического комплексов, а также транспорта. Соответствующий импульс технологического развития получают обрабатывающие отрасли, связанные с обеспечением развития энергетики, сырьевого сектора, транспорта.

Развитие металлургии по данному сценарию будет характеризоваться ростом внутреннего спроса за счет инфраструктурного и промышленного строительства и наращивания производства, за счет строительства новых и реконструкции действующих мощностей,

и совершенствования технологии металлургического производства, однако в структуре производства и экспорта сохранится значительная доля продукции с низкой добавленной стоимостью. Объемы производства металлопродукции из черных металлов по данному варианту будут масштабнее, чем по первому варианту.

Сценарий форсированного развития, наряду с использованием конкурентных преимуществ в энерго-сырьевом секторе, предполагает прорыв в развитии высокотехнологичных производств, привлечение иностранных инвестиций, развитие машиностроения опережающими темпами. Форсированный сценарий выступает в качестве целевого для экономической политики, поскольку только он в полной мере позволяет реализовать стратегические ориентиры развития России, включая развитие Арктической зоны, регионов Дальнего Востока и Сибири.

Данный сценарий отражает использование конкурентных преимуществ российской экономики не только в традиционных секторах (энергетика, металлургия, транспорт), но и в новых наукоемких секторах и превращение инновационных факторов в основной источник экономического роста. Его реализация позволяет обеспечить выход страны на уровень социально-экономического развития, характерный для развитых постиндустриальных стран, за счет повышения конкурентоспособности экономики, ее структурной диверсификации и роста эффективности.

Реализация данного сценария развития черной металлургии характеризуется опережающим развитием внутреннего спроса на продукцию с высокой добавленной стоимостью, что, в свою очередь, будет способствовать развитию новых технологий в производстве высокотехнологичных видов продукции.

При определении спроса на металлопродукцию в перспективе учитывались прогнозные показатели ВВП, промышленного производства и инвестиций в основной капитал.

Важнейшие направления для инновационных научно-исследовательских разработок:

- строительство, автомобильная промышленность, коммунальное хозяйство;
- приборостроение, аэрокосмическая, лазерная техника, водородная энергетика;
- нефтеперерабатывающая, нефтехимическая, химическая, автомобильная, машиностроительная, судостроительная промышленность;
- изучение и освоение континентального шельфа Российской Федерации;
- оборонная промышленность;
- производство труб;
- машиностроение;
- электроника;
- нефтегазовый комплекс, энергетика и другие отрасли промышленности;
- медицина и пищевая промышленность;
- железные дороги;
- металлургическая промышленность.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Баптизманский, В. И.* Конвертерные процессы производства стали / В. И. Баптизманский, М. Я. Меджибожский, В. Б. Охотский. — Киев : Техника, 1984. — 343 с.
2. *Борнацкий, И. И.* Производство стали / И. И. Борнацкий, В. Ф. Михневич, С. А. Яргин. — М. : Металлургия, 1991. — 400 с.
3. *Вегман, Е. Ф.* Окускование руд и концентратов / Е. Ф. Вегман. — М. : Металлургия, 1984. — 151 с.
4. *Воскобойников, В. Г.* Общая металлургия / В. Г. Воскобойников, В. А. Кудрин, А. М. Якушев. — 6-е изд., перераб. и доп. — М. : Академкнига, 2005. — 768 с.
5. *Галкин, Ю. А.* Инновационные технологии очистки оборотной воды технологических агрегатов заводов черной металлургии. Новые проекты и технологии в металлургии : [сб. научных трудов]. — Екатеринбург, 2010. — 636 с.

6. *Гасик, М. И.* Марганец / М. И. Гасик. — М. : Metallurgia. 1992. — 608 с.
7. *Геердас, М.* Современный доменный процесс. Введение / М. Геердас, Р. Ченьо, И. Ф. Курунов, О. Лингарди, Д. Риккетс. — М. : Metallurgizdat, 2016. — 280 с.
8. Государственный доклад о состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации в 2014 году / Минэнерго России. — М., 2015. — 160 с. — URL: <http://minenergo.gov.ru/system/download-pdf/5197/69065> (дата обращения: 23.10.2019).
9. Государственный доклад о состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации в 2015 году / Минэнерго России. — М., 2016. — URL: <http://minenergo.gov.ru/system/download-pdf/5197/66062> (дата обращения: 23.10.2019).
10. Доменное производство : справ. : в 2 т. Т. 1 / под ред. И. П. Бардина. — М. : Metallurgizdat, 1963. — 648 с.
11. Доменное производство — XXI век : Труды Международного конгресса доменщиков, 12–16 апреля 2010 года : [сборник] / [редкол.: Л. И. Леонтьев и др.]. — М. : Кодекс, 2010. — 535 с., [12] л. цв. ил.
12. *Дюдкин, Д. А.* Производство стали : в 3 т. Т. 1 : Процессы выплавки, внепечной обработки и непрерывной разливки / Д. А. Дюдкин, В. В. Кисиленко. — М. : Теплотехник, 2008. — 528 с.
13. *Ефименко, Г. Г.* Metallurgia чугуна / Г. Г. Ефименко, А. А. Гиммельфарб, В. Е. Левченко. — Киев : Выща шк. Головное изд-во, 1988. — 351 с.
14. ИТС 26–2017. Производство чугуна, стали и ферросплавов / Росстандарт. — М. : Бюро НДТ, 2017. — 478 с.
15. *Колпаков, С. В.* Технология производства стали в современных конверторных цехах. / С. В. Колпаков, Р. В. Старов, В. В. Смоктий ; под ред. С. В. Колпакова. — М. : Машиностроение, 1991. — 464 с.
16. *Кондаков, В. В.* Доменная плавка на обогащенном дутье кислородом / В. В. Кондаков. — Свердловск ; М. : ОНТИ НКПТ СССР, 1935. — 126 с.
17. *Коппенберг, Г.* Кислородное дутье в шахтной печи / Г. Коппенберг, В. Венцель. — М. : Metallurgizdat, 1959. — 159 с.
18. *Кудрин, В. А.* Внепечная обработка чугуна и стали / В. А. Кудрин. — М. : Metallurgia, 1992. — 337 с.
19. *Линчевский, Б. В.* Metallurgia черных металлов / Б. В. Линчевский, А. Л. Соболевский, А. А. Кальменев. — М. : Metallurgia, 1986. — 360 с.
20. *Лисин, В. С.* Ресурсо-экологические проблемы XXI века и metallurgia / В. С. Лисин, Ю. С. Юсфин. — М. : Высш. шк., 1998. — 446 с.
21. *Лузгин, В. П.* Энергетика сталеплавильных процессов / В. П. Лузгин, К. Л. Косырев, А. Е. Семин, Д. А. Досматов // Электrometallurgia. — 2010. — № 1. — С. 17–24.
22. *Лякишев, Н. П.* Развитие технологии непрерывной разливки стали / Н. П. Лякишев, А. Г. Шалимов. — М. : ЭЛИЗ, 2002. — 208 с.
23. Metallurgia чугуна / под ред. Ю. С. Юсфина. — М. : ИКЦ «Академкнига», 2004. — 774 с.
24. Metallurgia чугуна — вызовы XXI века : VIII Междунар. конгресс доменщиков / [редкол.: А. И. Гоммельфарб и др.]. — М. : Кодекс, 2017. — 624 с.
25. *Скляр, В. О.* Инновационные и ресурсосберегающие технологии в metallurgии : учеб. пособие / В. О. Скляр. — Донецк : ДонНТУ, 2014. — 224 с.
26. *Смирнов, А. Н.* Развитие конвертерного производства стали в мире / А. Н. Смирнов // Прогрессивные технологии в metallurgии стали: XXI век : тр. междунар. науч.-технич. конф. — Донецк : ДонНТУ, 2007.
27. *Стефаненко, В. Т.* Источники загрязнения атмосферы на коксохимических предприятиях / В. Т. Стефаненко. — Саарбрюккен : LAP Lambert Academic Publishing, 2016. — 115 с.
28. *Тулуевский, Ю. Н.* Инновации для дуговых сталеплавильных печей. Научные основы выбора : моногр. / Ю. Н. Тулуевский, И. Ю. Зинуров. — Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2010. — 347 с.
29. Чугун : справ. изд. / под ред. А. Д. Шермана, А. А. Жукова. — М. : Metallurgia, 1991. — 576 с.
30. *Шалимов, А. Г.* Инновационное развитие электросталеплавильного производства : моногр. / А. Г. Шалимов, А. Е. Семин, М. П. Галкин, К. Л. Косырев. — М. : Metallurgizdat, 2014. — 308 с.
31. *Шевченко, А. Ф.* Сопоставление эффективности способов десульфурации чугуна / А. Ф. Шевченко, Б. В. Двоскин, А. С. Вергун [и др.] // Сталь. — 2000. — № 8.
32. *Щербаков, В. П.* Основы доменного производства / В. П. Щербаков. — М. : Metallurgia, 1969. — 326 с.
33. *Юшина, Т. И.* Перспективы использования природного и техногенного железорудного сырья в Российской Федерации / Т. И. Юшина, И. М. Петров, Г. И. Авдеев, И. О. Крылов, В. С. Валавин, С. Г. Пак, В. Н. Дунаева // ГИАБ. — 2014. — № 12. — М. : Изд-во «Горная книга» (отдельная статья, специальный выпуск). — 56 с.
34. *Yi, S.-H.* Ironmaking in South Korea / S.-H. Yi, H.-G. Lee. — Beyond the Blast Furnace. — 2015. — Vol. 1. — P. 1491–1498.