

11 коп.

Индекс 70067

срз 9/11хб 4  
Ковачев

НОВОЕ  
В ЖИЗНИ, НАУКЕ,  
ТЕХНИКЕ

ЗНАНИЕ

2/1975

СЕРИЯ  
ТЕХНИКА

Е. С. Калинин  
ЧЕРНАЯ  
МЕТАЛЛУРГИЯ:  
РЕАЛЬНОСТЬ И  
ТЕНДЕНЦИИ



Калинников Е. С.

К 17 Черная металлургия: реальность и тенденции. М., «Знание», 1975.

64 с. (Новое в жизни, науке, технике. Серия «Техника», 2. Издается ежемесячно с 1961 г.)

Автор, используя отечественные и зарубежные материалы, подробно рассматривает состояние черной металлургии и перспективы ее развития. Изложены вопросы организации металлургического производства, управления крупными металлургическими предприятиями, основные современные способы получения чугуна, стали, проката, а также новые достижения в этой области (непрерывная разливка стали, различные виды переплавок, интенсификация процессов и т. д.). Особое внимание уделено внедрению в черную металлургию достижений естественных наук.

Брошюра рассчитана на широкий круг читателей.

31005

6ПЗ.1

## Предисловие

Роль черных металлов в жизни современного общества известна, и специалисты полагают, что их потребление будет возрастать примерно на 63% за каждое последующее десятилетие (по другим источникам — на 5% ежегодно). Естественно, что увеличивается и их производство. Так, если в 1973 г., по предварительным данным, мировая выплавка стали достигла 690 млн. т (при этом более 60% приходилось на долю СССР, США, Японии и ФРГ; соответственно эти страны лидируют и в области других металлургических производств), то по опубликованным данным к 2000 г. цифра эта будет порядка 2 млрд. т.

В оценке общих тенденций развития черной металлургии ученые достаточно единодушны. По имеющимся расчетам организация металлургического производства в прогнозируемых масштабах потребует больших капитальных затрат. Ожидается резкое увеличение межконтинентальных перевозок железной руды и торговли черными металлами.

Чтобы лучше представить себе масштаб прогнозируемого развития металлургии, обратимся к имеющемуся в настоящее время опыту. Так, за десятилетие 1961—1970 гг. капиталовложения в развитие черной металлургии СССР составили около 18,6 млрд. руб., Японии — 10,1 млрд. долл., США — 18,6 млрд. долл. Следовательно, три крупнейшие промышленные страны мира затратили в общей сложности (ориентировочно) 47,3 млрд. долл. А это лишь около 40% от суммы прогнозируемых ассигнований на 1971—1980 гг.!

Каковы же задачи, стоящие перед черной металлургией? Прежде всего максимальное удовлетворение потребности народного хозяйства в черных металлах по



сортаменту, качеству и количеству; дальнейшее совершенствование структуры металлургического производства; ускорение процесса внедрения новых прогрессивных процессов и оборудования; повышение эффективности использования и совершенствования структуры капитальных вложений.

Особо следует подчеркнуть, что основная задача отрасли — коренное улучшение качества металлопродукции за счет внедрения прогрессивных способов производства металла и расширения сортамента проката труб и метизов. Выплавка стали должна достичь в 1975 г. 142—150 млн. т, производство готового проката — 101—105 млн. т, труб стальных — 17,5 млн. т. (Чтобы обеспечить такой объем производства проката по верхнему пределу в 1975 г. по расчетам Госплана СССР необходимо выплавить 110 млн. т чугуна.) В 1973 г. было произведено 95,9 млн. т чугуна, стали — 131 млн., готового проката — 91,4 млн., труб стальных — 14,4 млн. т. А за 9 месяцев 1974 г. страна получила чугуна 74,5 млн. т (105% по отношению к 9 месяцам 1973 г.), стали — 102 млн. (104%), проката 70,3 млн. (103%), труб стальных — 11,2 млн. т (105%).

В различных областях черной металлургии проявляются достаточно устойчивые тенденции развития, которые, по-видимому, сохраняют свое значение и в обозримой перспективе. В этой связи в книжке рассмотрен ряд вопросов, которые с известным допущением можно сгруппировать следующим образом:

организационно-технические — выбор основной схемы металлургического производства, важнейшие тенденции в области его организации и управления;

совершенствование современных металлургических агрегатов и технологий;

использование новейших достижений науки и техники.

Каждая из проблем представляет самостоятельный интерес, весьма сложна и для ее освещения требуются усилия больших коллективов. Поэтому мы делаем попытку лишь в самом общем виде ознакомить читателя с наиболее важными техническими решениями и процессами, которые в настоящее время можно считать перспективными. При рассмотрении этих вопросов автор широко использовал отечественный и зарубежный опыт.

## Организационно-технические вопросы

### Одноступенчатая схема металлургического производства

В настоящее время, как известно, получение чугуна в доменной печи и передел его в сталеплавильном агрегате (или, как ее называют, двухступенчатая схема) — господствующий процесс металлургического производства. В обозримой перспективе он не потеряет своего значения. Большая часть черных металлов будет выплавляться в агрегатах современного типа, естественно, усовершенствованных, и, может быть, существенно изменивших свою конструкцию. Однако уже в настоящее время с двухступенчатой схемой сосуществует одноступенчатая. При ее использовании отпадает необходимость в коксе, следовательно, зарождается новое направление — бескоксовая металлургия. В результате прямого восстановления железа из руд получают металлizedанное сырье для переплава в электропечах и дальнейшего передела полученной стали в готовые изделия (прокат, трубы, метизы). Оно может быть использовано и в доменной плавке, для того чтобы повысить производительность печи и уменьшить расход кокса.

Однако прежде чем рассматривать вопрос по существу, следует уточнить терминологию. Под прямым восстановлением подразумевают обычно многочисленные способы плавки, в процессе которых восстановление происходит исключительно в твердом состоянии. Готовый продукт — так называемую железную губку, именуемую также железом прямого восстановления, губчатым железом, металлizedанными окатышами — получают в твердом состоянии, и по внешнему виду он мало отличается от загружаемой в реактор железной руды.

Истощение запасов коксующихся углей, с одной стороны, или недостаток средств для строительства современных дорогостоящих интегрированных металлургических предприятий — с другой, заставляют многие страны заниматься развитием бескоксовой металлургии. К тому же металлizedанное сырье представляет большой интерес как первородная шихта в металлургии высококачественных сталей (шарикоподшипниковых, конструкционных, нержавеющей).

Проведенные экономические исследования показали, что для стран, которые не располагают достаточными средствами для строительства современных доменных печей или находятся в районах с низкими ресурсами металлолома, сооружение небольших металлургических заводов в составе установки для производства губчатого железа и электропечи с непрерывной загрузкой в нее металлizedованного продукта более экономично, чем строительство металлургических заводов с полным циклом, и соответственно легче может быть реализовано.

Однако и в наиболее развитых странах имеются все предпосылки для развития подобных предприятий, поскольку считают, что при мощности завода менее 1—2 млн. т стали в год схема «металлизированный продукт — дуговая электропечь» выгодней схемы «доменная печь — кислородный конвертор» при условии применения богатых руд и дешевого восстановителя.

Для получения железа прямого восстановления используют шахтные и вращающиеся печи, реторты, реакторы с кипящим слоем в конвейерные машины. Сырьем служат окатыши и кусковая руда, восстановителями — природный газ, жидкое и практически любое твердое топливо.

В настоящее время опробовано много устройств для получения металлizedованного сырья. Наиболее широко используются шахтные и вращающиеся печи на газообразном топливе. В первом случае прямое восстановление железа на большинстве предприятий производится так называемым Мидрекспроцессом, разработанным фирмой «Мидленд-Росс», США. В качестве восстановителя используется природный газ. Так, например, на заводе фирмы «Вилли Корф А. Г.», ФРГ, перерабатывают шведские окисленные окатыши, содержащие 67% железа или богатую кусковую руду. Имеется агрегат конверсии природного газа. Смесь водорода и окиси углерода поступает в печь при температуре около 800°С навстречу опускающимся железорудным материалам. В нижних горизонтах печи полученная губка охлаждается в потоке газа (предположительно аргона, азота и т. п.) и выдается на транспортер.

Первая в мире фабрика, использующая Мидрекспроцесс, построена в Портленде, США, в 1969 г. Она рас-

считана на производство 400 тыс. т металлizedованных окатышей в год (степень металлизации 95%); их используют в качестве шихты для дуговых электропечей. В 1971 г. пущены в эксплуатацию также фабрики в Джорджтауне, США, и Гамбурге, ФРГ. В последнем случае после ввода в эксплуатацию второго цеха производство металлizedованного сырья намечено довести до 800 тыс. т в год. Подобные предприятия начнут работать в Новом Орлеане, США, затем в Голландии, Франции и Японии.

Максимальным количеством установок для производства губчатого железа располагают США, Канада и ФРГ. Все они введены в эксплуатацию с 1968 г. Планируется увеличить их количество и мощности, считают, что это стимулирует строительство и развитие мини-заводов.

В Канаде разрабатывается проект строительства крупного металлургического завода без доменных печей, на котором металлizedованные окатыши, полученные на установках предварительного восстановления, будут переплавлять непосредственно в сталеплавильных печах. Первоначальная его мощность — 2 млн. т стали в год, плановая — до 10—12 млн. т.

В Японии будет сооружено несколько предприятий для производства предварительно восстановленного сырья. В 1973 г. введены в эксплуатацию две фабрики для производства металлizedованных окатышей мощностью 400 тыс. т в год каждая. По некоторым сведениям, одна из фабрик, рассчитанная на производство 2 млн. т офлюсованных окатышей, перейдет в дальнейшем на изготовление частично восстановленных окатышей. Большое внимание здесь уделяют использованию в качестве сырья колошниковой и конверторной пыли.

В нашей стране также ведутся работы по бескоксовой металлургии железа. Директивами XXIV съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1971—1975 гг. поставлена задача организовать промышленное производство металлizedованного железорудного сырья. Помимо экономии кокса и обеспечения металлургии высококачественных сталей особо чистой шихтой, это позволит организовать экономичное производство железного порошка, который все более нужен в промышленности. В районе КМА наме-



чено строительство комбината по производству 5 млн. т металлизованных окатышей и 2,7 млн. т проката в год. Первая очередь (1,5 млн. т проката) будет сооружаться в 1975—1978 гг. Металлизированные окатыши будут переплавлять в электросталеплавильном цехе. Предусматривается разливка стали на установках непрерывной разливки (УНРС). Для получения металлизованного сырья можно использовать метод Мидрекс. Однако окончательное решение по этому вопросу, по-видимому, еще не принято. Не исключено, что будет использована отечественная схема, разрабатываемая в настоящее время на опытно-промышленной шахтной печи одного из заводов Минчермета СССР.

В более далекой перспективе производство металлизованного сырья будет все увеличиваться. Но для получения металлопродукции прямым восстановлением в количествах, соизмеримых с современными масштабами производства, требуется соответствующее количество хорошо подготовленных высококачественных руд и тепловой энергии. По расчетам специалистов ФРГ, с должным размахом такое производство может быть осуществлено не ранее 1985 г.

Из предыдущего абзаца ясно, что будущее бескоксовой металлургии зависит от наличия дешевой энергии. Ведь металлургия — одна из наиболее энергоемких отраслей промышленности. Например, в Японии на ее долю приходится 34,8% всех энергозатрат. Поэтому в некоторых странах ведутся работы по использованию в процессе производства черных металлов тепловой энергии веществ — охладителей атомных реакторов. Однако прежде чем представится возможность практически использовать эту энергию, необходимо решить ряд крупных технических задач. Ниже вопрос об использовании энергии атомных реакторов будет рассмотрен более подробно.

Указанное уже в достаточной мере позволяет считать, что, несмотря на развитие процессов прямого восстановления железа из руд, существующая двухступенчатая схема металлургического производства еще долго сохранит свое значение. Под таким углом зрения и рассмотрим основные тенденции развития современной металлургии.

## Важнейшие тенденции в организации металлургического производства

В последнее время внимание специалистов все больше и больше привлекают вопросы совершенствования организации металлургического производства, в частности его концентрации, комбинирования и специализации. Начинают проявляться противоречивые тенденции, которые требуют глубокого анализа, выходящего за рамки настоящей брошюры. Здесь мы вынуждены ограничиться лишь рассмотрением отдельных примеров.

**Концентрация.** Прежде всего следует сказать об увеличении мощности отдельного предприятия и соответственно мощности эксплуатируемых единичных агрегатов, что обусловлено рядом объективных причин, среди которых следует выделить следующие:

1. Себестоимость продукции металлургического завода при прочих равных условиях снижается на 0,05% на каждый 1,0% увеличения объема его производства.

2. Крупное предприятие объективно более мобильно в смысле создания условий для повышения качества продукции на базе оперативного внедрения новой техники и технологий, так как располагает значительными материальными ресурсами.

3. Крупное предприятие с максимальным эффектом может применять современные методы и средства управления, в том числе автоматизированные системы.

Названные факторы, наряду с некоторыми другими, существенно влияют на процесс определения оптимальной мощности современного металлургического завода. Так, в 50—60-х годах оптимальной считалась мощность 3—4 млн. т стали в год, в 1970 г. — уже 8—10 млн. т стали в год, а к 1980 г. эта цифра, по-видимому, увеличится до 16—20 млн. т. В этой связи интересно представить себе структуру металлургического предприятия будущего.

Наиболее распространено в настоящее время представление о его так называемой «блочной структуре». В понятие «блок» входит комплекс металлургических производств, мощность которого по выходу готовой продукции определяет мощность обжимного стана или широкополосного стана горячей прокатки. В настоящее время она составляет 5—6 млн. т в год. Соответственно этому развивается сталеплавильное производство (кислород-

но-конверторный или электросталеплавильный цех), доменное и прочие, необходимые для обеспечения основного производства.

Если требуется расширить производство, лучше всего построить второй блок завода на той же площадке. Вопрос о типе прокатного стана решается с учетом потребностей народного хозяйства, а о сталеплавильном цехе — с учетом баланса стального лома в данном регионе.

В ФРГ недавно высказано соображение об «идеальном заводе будущего» мощностью более 20 млн. т по весу прокатных слитков в составе следующих производств и цехов: аглофабрики с двумя лентами по 400 м<sup>2</sup> на 10 млн. т в год; фабрики окатышей с двумя обжиговыми машинами по 400 м<sup>2</sup> на 10 млн. т в год; доменного цеха в семь печей на 15 млн. т в год (одна печь постоянно в ремонте или в резерве); кислородно-конверторного цеха на 12 млн. т в год с тремя 400-тонными конверторами для рядового сортамента; кислородно-конверторного цеха на 6 млн. т в год с тремя 250-тонными конверторами для легированных сталей; электросталеплавильного цеха на 2 млн. т в год с четырьмя 150-тонными печами для особо ответственных сталей; УНРС — во всех сталеплавильных цехах; широкополосных станков «2000» и «1250» соответственно на 6 и 4 млн. т, толкостогового на 3 млн. т, крупносортового на 2 млн. т, сортовых и проволочных на 3 млн. т. Оставшиеся 2 млн. т стали пойдут на производство труб, облегченных профилей и т. п. В целом соотношение между количеством производимого листового и сортового проката должно быть 2 : 1.

В соответствии с планом развития черной металлургии СССР в девятой пятилетке на Криворожском металлургическом заводе будет введена в эксплуатацию крупнейшая в мире доменная печь полезным объемом 5000 м<sup>3</sup>. Это положит начало развитию второго блока завода. Его специализация — производство листа (в отличие от первого, выпускающего сортовой прокат). Ставится задача довести мощность завода до 18 млн. т чугуна, 22 млн. т стали и 18,5 млн. т проката в год. Предполагается, что завод будет одним из крупнейших предприятий черной металлургии мира.

С ростом оптимальной мощности предприятия (темпы которого опережают в черной металлургии темпы

роста общих объемов производства) создаются объективные предпосылки для уменьшения их числа. Поэтому предприятия небольшой мощности нецелесообразно развивать до оптимальных размеров; стало быть, нет смысла вкладывать средства в их модернизацию. Однако однозначно подойти к этой проблеме весьма сложно, поскольку здесь затрагиваются вопросы техники, экономики, социологии и др.

Рост оптимальной мощности металлургического завода немислим без увеличения мощности отдельных металлургических агрегатов — их размеров, производительности, улучшения технико-экономических показателей. Это потребует использования новейших научных и технических достижений. Так, в производстве чугуна нарастающими темпами увеличивается полезный объем вновь вводимых в эксплуатацию печей — за последние 15 лет в 2,5 раза. Та же тенденция наблюдается и в других металлургических производствах: кислородно-конверторном, электросталеплавильном, прокатном. Номинальная емкость действующего конвертора возросла до 350 т, а электропечи — до 365 т.

Целесообразность укрупнения основных агрегатов, сооружаемых и эксплуатируемых, естественно, с учетом новейших достижений в области науки и техники может быть проиллюстрирована следующими примерами. Производительность труда при выплавке чугуна в доменной печи объемом 5000 м<sup>3</sup> по расчетам будет почти на 30% выше, чем при выплавке его в печах объемом 2700 м<sup>3</sup>, а себестоимость и капиталоемкость — ниже на 2 и 12% соответственно. Имеются также сообщения, что на печи в 5000 м<sup>3</sup> будет занято 193 человека, годовая выплавка чугуна на каждого из них составит 20,7 тыс. т. На доменной печи объемом 3200 м<sup>3</sup> Новолипецкого завода она проектировалась в размере 15,8 тыс. т, а в среднем по отрасли составляла на начало 1974 г. 4,6 тыс. т. Аналогичные данные могут быть приведены и по другим металлургическим переделам.

Максимально высокий уровень концентрации металлургического производства в настоящее время достигнут в СССР, Японии и США. Но во многих странах наряду с крупными предприятиями действует и множество мелких. Например, в той же Японии есть около 8000 предприятий, из которых лишь на 65 работало более 1000 человек. Это характерно и для США. Следова-



но, организация крупных и крупнейших заводов не исключает существования современных мелких предприятий (передельных), занятых отделкой металлопродукции, сортировкой и т. п.

Уместно также заметить, что при строительстве мини-завода — фабрика получения металлizedованного сырья, электросталеплавильный цех с УНРС и прокатный цех — следует учитывать специфические условия его работы. С одной стороны, он не связан с использованием кокса, с другой — чтобы добиться высоких технико-экономических показателей, нет необходимости развивать его производственные мощности до 5 млн. т и более. Кроме того, предприятие, базирующееся на прямом восстановлении железа, менее ограничено минимальными размерами. По отзывам иностранных специалистов, размер предприятия в этом случае не играет особой роли. При таком подходе вопрос о концентрации производства ставится на совершенно новую основу и требует специального изучения (к мини-заводам мы еще вернемся ниже).

Следует заметить, что концентрация производства осуществляется также и по линии организации производственных объединений (в условиях СССР) и путем слияния фирм (в капиталистических странах).

Все более и более развивающаяся интеграция металлургического производства начинает перерастать национальные границы. Так, западногерманская фирма «Хёш» и голландская «Хооговенс» в 1972 г. заключили соглашение о слиянии и образовали монополистическое объединение «Хёш — Хооговенс», располагающее мощностями на производство 12 млн. т стали в год; оно намеревается построить на побережье Северного моря еще завод на 5 млн. т стали в год. Предполагается, что к строительству этого завода будет привлечена еще одна западногерманская фирма.

Концентрация производства черных металлов на крупнейших интегрированных предприятиях требует позаботиться о решении транспортной проблемы. Сейчас мы говорим о тенденции строить их на морском побережье. Так поступают, в частности, в Японии, Англии, Нидерландах, ФРГ, которые стремятся в максимальной мере использовать для снабжения своих предприятий наиболее экономичный вид транспорта — морской.

**Комбинирование.** С концентрацией производства тесно связано его комбинирование — повышение непрерывности процесса в рамках одного предприятия, увеличение числа производств, связанных комплексным использованием сырья, отходов основного производства, вторичных энергоресурсов и т. п. В черной металлургии процесс комбинирования развивается преимущественно в двух направлениях.

1. Развитие всех последовательных металлургических переделов в рамках одного предприятия, т. е. создание заводов с полным металлургическим циклом (коксохимическое — доменное — сталеплавильное — прокатное производство со вспомогательными и обслуживающими подразделениями).

2. Сочетание металлургического цикла с производством изделий дальнейшего, следующего за прокатным, передела (труб, метизов, гнутых профилей, сортового и листового проката с защитными покрытиями, предметов ширпотреба и т. п.).

Комбинирование производства на заводах с полным металлургическим циклом в наиболее развитых странах достигает весьма высокого уровня. Например, доля в выпуске стального проката таких предприятий на рубеже 70-х годов составляла в СССР более 80%, в США — 73, Японии — 86%.

Развивается и второе направление. В СССР производство белой жести, гнутых профилей, железнодорожных накладок и подкладок полностью сосредоточено на металлургических заводах, а листовой оцинкованной, освинцованной и луженой стали — более чем на 80% (остальные 20% — на машиностроительных предприятиях). На металлургических заводах производятся также стальные шары для шаровых мельниц, некоторые штампованные изделия, трубы, метизы, металлическая посуда и т. п.

Основной стимул комбинирования металлургического производства — экономическая целесообразность. Так, на заводе с полным металлургическим циклом удается использовать тепло, содержащееся в полужаженных продуктах производства, физическое тепло отходящих газов, горючие отходы, энергию давления, теплоту сгорания технологических газов и т. д. и т. п. Имеются расчеты, которые показывают, что за счет вторичных энергоресурсов потребность в энергетическом топливе на метал-

лургическом заводе с полным циклом может быть удвоена (при оптимальных условиях) на 70—80%.

Однако комбинирование производства на современном металлургическом предприятии большой мощности имеет и отрицательные стороны, с которыми нельзя не считаться. К их числу следует отнести две наиболее важные, с нашей точки зрения: прогрессирующее усложнение управления предприятием; развитие большого количества разнообразных производств, часть из которых по своим масштабам может не соответствовать оптимальному уровню и, следовательно, оказаться нецелесообразной на том или ином конкретном предприятии.

**Специализация.** Наиболее сложный процесс в организации производства — специализация. В черной металлургии преимущественно развивается видовая (или технологическая) специализация, которая предполагает отделение друг от друга многопредельных технологических комплексов по виду выпускаемой продукции (специализированные заводы качественных сталей и рядовых сталей, специализированные заводы по виду прокатной продукции — листопрокатные или сортопрокатные, горнорудные предприятия, огнеупорные заводы). Такая специализация может осуществляться и в более узких пределах, в рамках производства того или иного вида продукции более или менее узкого сортамента (например, толстого или тонкого листа, высоколегированных сталей и сплавов или низко- и среднелегированного металла и т. п.). Уровень ее в конечном итоге определяется с учетом многих факторов, влияющих на экономическую целесообразность. В металлургической практике эти вопросы не новы, поэтому останавливаться на них более подробно, по-видимому, не требуется.

Однако не потеряла своего значения и передельная (операционная) специализация, предполагающая разделение общего технологического потока на отдельные переделы (или операции). Доля передельных заводов в ведущих странах мира порядка 15—20%. В последние годы за рубежом строительство подобных предприятий ведется довольно интенсивно. Одновременно выводятся из эксплуатации устаревшие предприятия такого типа.

Развитие техники электропечестроения, промышленное освоение УНРС, создание технически совершенного прокатного оборудования — все это при наличии дешевого скрапа (железного лома) и электроэнергии созда-

ет предпосылки для развития в некоторых странах передельных заводов небольшой мощности, так называемых мини-заводов. Схема такого завода предельно проста: электропечи — УНРС — мелкосортный или проволочный стан.

В качестве металлической шихты в электросталеплавильном цехе могут быть использованы металлизированные окатыши (железо прямого восстановления, металлическая губка). Тогда в составе завода следует иметь фабрику для получения такого сырья. Подобный вариант обычно осуществляется в развивающихся странах (Мексика, Венесуэла, Бразилия и др.), однако им не пренебрегают и в США и ФРГ. Обычно мини-завод выпускает 100—500 тыс. т стали в год, а численность персонала — 200—600 человек. Издержки производства проката на мини-заводе примерно на 25—30% ниже, чем на заводе с полным металлургическим циклом. За рубежом специально для мини-заводов организовано производство современных прокатных станов нужной мощности.

Автором совместно с профессором А. А. Вертманом и доцентом А. Н. Глазовым выдвинута идея создания отечественного мини-завода, включающего фабрику по производству рудо-топливных окатышей, прямоточный плавильный агрегат для их восстановления в кипящем шлаковом слое, вакуумную индукционную канальную печь для легирования и рафинирования стали и устройства для ее формообразования обычными методами или с использованием принципов гидроэкструзии, грануляции и т. д.

Полагают, что передельная специализация по линии строительства мини-заводов будет развиваться. Однако в соответствии с имеющимися ресурсами сталеломы их доля в общем производстве стали не превысит 15%. Основную роль в черной металлургии по-прежнему будут играть крупные предприятия полного металлургического цикла, работающие по современной двухступенчатой схеме.

Итак, проявляются новые интересные тенденции в области специализации производства. Вот еще несколько примеров. Так, в ФРГ существует мнение о целесообразности разделения производств тонкого листа, толстого листа и проволоки. Доказывают, что, если отде-



лить производство заготовок от производства готового проката, можно более гибко варьировать не только оптимальными размерами предприятия, но также и выбором места его расположения. В этой связи следует обратить внимание еще на одно новое явление в металлургической практике.

За рубежом, в первую очередь в США и Японии, крупные интегрированные предприятия неохотно принимают заказы на малые партии проката и требуют за их поставку крупных приплат. Это обусловило появление специализированных фирм-посредников, которые делают заказы на крупные партии проката, а затем делят их на мелкие и перепродают потребителям. Постепенно такие предприятия (центры) расширили круг выполняемых работ и превратились, по существу, в заготовительные производства машиностроительных предприятий. Они осуществляют, например, резку проката на заданные размеры, вырезку заготовок нужной конфигурации, прошивку отверстий, отделку кромок, нарезку резьб, шлифовку, полировку, термообработку и другие операции. Это позволило потребителям отказаться от заготовительного оборудования и оснастки, сократить площади и запасы металла. Только благодаря этому машиностроительная фирма средних размеров в США получает годовую экономию около 600 тыс. долл. В стране через посреднические центры реализуется около 20% произведенной стали, в том числе нержавеющей тонколистовой — 60%, а нержавеющей труб — 70%. Существуют они и в Японии, ФРГ и других странах. По-видимому, этот опыт может оказаться полезным и в системе народного хозяйства СССР.

**Капиталовложения.** Естественно, темпы и уровень развития научно-технического прогресса, в том числе и в металлургии, в значительной мере определяются объемом капиталовложений и их структурой. Поэтому отмеченный выше рост металлургического производства — следствие постоянного увеличения суммы капиталовложений практически во всех странах мира. Так, в СССР в годы восьмой пятилетки сумма капиталовложений в черную металлургию составила 10,8 млрд. руб., а в девятой пятилетке она предусмотрена в размере 17,7 млрд. руб., т. е. примерно на 67% больше. Но дело не ограничивается этим. Достичь оптимальных технико-экономических показателей работы отрасли можно,

только располагая оптимальной структурой капиталовложений.

В настоящее время уже не вызывает сомнения тот факт, что необходимую потребителю единицу продукции можно получить разными путями — либо увеличивая вес выплавляемой стали и проката (следовательно, и добычу руды, угля, флюсов и т. д.), либо повышая качество и улучшая сортамент продукции. Однако разница между этими двумя путями огромна: капитальные вложения на соответствующее повышение качества продукции в металлургии в 3—4 раза меньше капитальных затрат на создание мощностей для дополнительного производства металла по всему циклу начиная с добычи руды. Следовательно, повышение доли капитальных вложений в прокатное производство и четвертый передел (производство жести, труб, метизов и т. п.) позволят при относительном сокращении одновременных и текущих затрат полнее удовлетворять потребности народного хозяйства в металле. Именно поэтому в большинстве индустриально развитых стран на развитие прокатного и четвертого переделов направляется свыше половины капиталовложений.

Заканчивая рассмотрение вопросов, связанных с организацией металлургического производства, следует также отметить, что в последние годы в США начинает проявляться новая тенденция: уменьшение численности занятого в отрасли персонала при одновременном увеличении численности инженерно-технических работников и служащих. Указанное изменение — результат систематического расширения масштабов применения средств механизации и автоматизации производственных процессов, совершенствования организации производства и труда, усложнения оборудования и т. п. Поэтому очень интересно рассмотреть более подробно металлургический завод как объект управления.

### **Металлургический завод как объект управления**

Управлять современным металлургическим предприятием без автоматизированных систем управления невозможно. Также невозможно создать автоматизированные системы управления без электронно-вычисли-

тельных машин, которые позволяют решать многочисленные задачи с помощью экономико-математических методов, выявлять различного рода качественные оценки, выраженные теми или иными точными правилами. В металлургической практике ЭВМ применяются для построения оптимальных режимов управления производством, оперативного контроля и управления технологическими процессами (или производственными комплексами), создания новых процессов, агрегатов и т. п.

Использование ЭВМ в технических системах предполагает широкую номенклатуру средств автоматизации. Следовательно, в рассматриваемом случае речь идет об автоматизированных технических системах. Однако усложнение техники при решении задач управления не снижает роли человека. Наоборот, она постоянно возрастает.

Если техническая система создается без учета возможностей и характеристик человека, то возрастает вероятность ошибок. Чем сложнее техника, тем дороже обходятся ошибки. Поэтому особое внимание уделяется проблеме информационного взаимодействия человека и технического устройства, человека и машины, исследованиям процессов восприятия человека, его мышления, психологических механизмов принятия решения, изучению динамики и закономерности его работоспособности и утомляемости. Следовательно, современная система управления — сложная управляющая система, в которой используются возможности персонала, современной информационной-вычислительной техники, математических методов оптимального управления.

Конкретное распределение функций между ЭВМ и персоналом управления, степень автоматизации определяются тем, в какой мере можно получить с помощью электронной машины необходимую для управления информацией, подготовить математическое описание управленческого процесса и эффективные алгоритмы выбора оптимальных управляющих воздействий. Оно определяется и экономической целесообразностью их автоматического выполнения, надежностью имеющихся технических средств АСУ.

Стремление решать задачи управления достаточно точными методами в настоящее время призвано одним из важнейших направлений развития металлургического

производства. Не имея возможности в рамках настоящей работы более подробно останавливаться на вопросах методологии управления, мы отсылаем читателя к специальной литературе.

Особенность крупного металлургического завода как объекта управления в том, что он достаточно обособленный элемент внутри своей отрасли промышленности, да и всего народного хозяйства. Многие показатели производственно-хозяйственной деятельности и его участков устанавливаются непосредственно внутри завода. В то же время он тесно связан с внешней экономической системой, и это полностью определяет стратегию планирования и управления производством.

Для металлургического завода характерны сложные технологические и организационные связи между отдельными частями системы; сложность их усугубляется в металлургическом производстве «горячестью» основного продукта, некоторой случайностью результатов тех или иных технологических операций, случайными возмущениями извне и т. п.

Трудность решения задачи управления станет особенно очевидной, если напомнить, что на современном металлургическом предприятии основных и вспомогательных агрегатов около 200, число плавов — 1000, слитков — 60 тыс., блюмов и слябов — 500 тыс.; число циклов работы одного агрегата в месяц от 50 до 50 тыс. и т. д. Общее количество различных вариантов выполнения производственных операций может достигать порядка  $10^8$ — $10^{12}$ .

Специалисты приходят к заключению, что проблема управления металлургическим предприятием практически необозрима. Поэтому в условиях существующих систем управления даже очень опытные работники не в состоянии принимать оптимальные решения. Это приводит к значительным потерям по чисто организационным причинам. Если учесть высокую производительность современных металлургических агрегатов в целом, то легко себе представить, что даже небольшие ошибки управления влекут за собой значительные производственные потери и, следовательно, весьма ощутимые убытки.

В общем виде задача управления металлургическим заводом может быть сформулирована следующим обра-



зом: для заданной структуры производства, планируемых заказов на товарную продукцию и фондов поставок сырья и полуфабрикатов определить графики работы агрегатов, участков и завода в целом, удовлетворяющие условиям производства, не выходящие за рамки ограничений и обеспечивающие получение максимальной прибыли предприятием за планируемый период.

Можно себе представить, сколь сложна такая задача даже в рамках завода, не говоря уже об отрасли. Однако необходимость ее решения поставлена на повестку дня научно-технической революцией; во всех развитых в промышленном отношении странах в этом направлении ведутся интенсивные работы.

Важное место в автоматизированной системе управления металлургическим заводом занимает подсистема управления технологическими процессами (АСУТП). Не вдаваясь в детали, заметим, что даже в данном частном случае во главу угла поставлен целый ряд проблем, которые при современном развитии науки и техники на первый взгляд могут показаться неожиданными. К их числу можно отнести следующие:

- получение исчерпывающих знаний по теории металлургических процессов, достаточных для формализации в виде математических моделей и создания требуемых алгоритмов;

- создание типизированных технологических решений для одинаковых или сходных производств;

- разработка, выпуск и эксплуатация комплекса датчиков, преобразователей, устройств для воспроизведения и вывода информации о ходе процесса (с учетом возможности автоматического управления) и т. д.

Как видим, от производственников, ученых, конструкторов всех специальностей требуется много усилий для того, чтобы создать надежно действующие эффективные автоматизированные системы управления предприятиями черной металлургии.

Безусловно, рассмотренные выше тенденции развития бескоксовой металлургии, совершенствования организации и управления требуют глубокого и всестороннего изучения. Однако уже и сегодня ясно, что они существенно повлияют на общее направление развития отрасли.

## Совершенствование современных металлургических агрегатов и технологии

Как уже говорилось, в обозримой перспективе доменные печи, кислородные конверторы, электропечи и существующие ныне типы обжимного оборудования останутся основой металлургического производства, будут постоянно развиваться, совершенствоваться. Соответственно этому будет изменяться и технология производства. С другой стороны, совершенствование технологии на основе новейших данных науки, безусловно, окажет определенное влияние на технику металлургического производства. Рассмотрим наиболее важные тенденции этого процесса.

### Производство чугуна

Особенность развития доменного производства в СССР и за рубежом — укрупнение единичных агрегатов, совершенствование их конструкции и технологии, расширение использования средств автоматизации и ЭВМ, а в целом — существенное улучшение технико-экономических показателей производства. Так, за 60-е годы выплавка чугуна на одну доменную печь в наиболее развитых странах резко увеличилась: в США на 15%, в странах Европейского экономического сообщества — почти вдвое, в Японии — почти втрое.

Определяющее положение в производстве чугуна сейчас начинают занимать доменные печи объемом 2000 м<sup>3</sup> и более. В 1973 г. в мире эксплуатировалось около 60 таких печей, причем подавляющее их количество приходилось на СССР и Японию (соответственно 20 и 30). Остальные печи работали в США, ФРГ, Франции, Нидерландах, Канаде, Италии. Из числа эксплуатируемых в Японии пять имели объем более 4000 м<sup>3</sup>; с технической точки зрения можно строить доменные печи полезным объемом и более 5000 м<sup>3</sup>. Однако считают, что удельные капиталовложения наиболее низки для доменных печей объемом около 2500 м<sup>3</sup>. С увеличением объема капиталовложения постепенно возрастают из-за применения мощных воздухонагревательных средств



и увеличения веса оборудования и конструкций. Размер удельных капиталовложений для печей объемом более 4000 м<sup>3</sup> уже не зависит в такой степени от объема печи, как для печей 2500—4000 м<sup>3</sup>. Не исключено, что возможное в перспективе использование тепла атомных реакторов (или других источников энергии, например, плазмы) сделает крупные печи менее капиталоемкими благодаря упрощению системы подогрева дутья.

Тенденция к увеличению доменных печей и соответствующему усложнению условий их эксплуатации обуславливает совершенствование их конструкций. Как правило, доменные печи сооружаются по индивидуальным проектам. Если объем более 2000 м<sup>3</sup>, предусматривается не менее двух чугуновых леток, более 3000 м<sup>3</sup> — трех и 4000 м<sup>3</sup> и более — четырех. Расширение горна доменных печей требует увеличения числа воздушных фурм. Доменные печи объемом 2000—2500 м<sup>3</sup> имеют 24—28 фурм, 2500—3000 — 27—34, 3000—4000 м<sup>3</sup> — 34—40 фурм. Такое большое количество объясняется тем, что благодаря хорошей подготовке шихты печи работают с высоким расходом дутья. Запатентована конструкция доменной печи, у которой верхняя часть шахты выполнена без огнеупорной футеровки. Вместо нее на металлический кожух нанесен слой устойчивого против истирания материала.

Повышение производительности доменных печей и связанное с этим оборудование их несколькими летками потребовало двух литейных дворов или сдвоенный литейный двор большого размера. Число выпусков на крупных печах 10—11, а на некоторых доходит до 16—18.

Все мощные строящиеся и более 20 работающих печей в Японии оборудованы конвейерной системой подачи шихты на колошник; при реконструкции доменных печей скиповую загрузку в большинстве случаев заменяют конвейерной.

Из вопросов, связанных с усовершенствованием технологии доменной плавки, в первую очередь обращают на себя внимание:

- повышение качества шихтовых материалов;
- повышение температуры дутья и давления на колошнике;
- расширение использования кислорода, природного

газа (или других видов топлива) и горячих восстановительных газов.

При подготовке шихты основное внимание обращается на обогащение железорудного сырья, совершенствование способов его окускования, усреднение компонентов шихты. Об эффективности этих мероприятий можно судить хотя бы по следующему примеру. По расчетам, уменьшение содержания железа в шихте с 1,5 до 0,2% гарантирует прирост производства чугуна на 4—5%. В масштабе страны это позволит увеличить производство чугуна минимум на 4 млн. т в год при экономии 2,5 млн. т кокса.

Большое значение для роста производительности доменной печи имеет превращение ее в чисто восстановительный и плавильный агрегат. Что нужно для этого? Осуществить в процессе подготовки шихты такие операции, как удаление гигроскопической влаги, разложение гидратов и карбонатов.

Повышение температуры доменного дутья в пределах 1000—1350°С на каждые 100°, по опубликованным данным, увеличивает производительность печей на 2% и снижает расход кокса на 2%. Поэтому все вновь вводимые в эксплуатацию печи рассчитаны на работу с температурой дутья не менее 1350°С. Хотя и это не предел. Но для преодоления достигнутого рубежа требуется решить ряд технических задач — получить огнеупорного качества, улучшить фурмы для дутья и т. д.

Все вновь вводимые в эксплуатацию крупные доменные печи в СССР и за рубежом рассчитаны на работу с давлением газа на колошнике до 2,5 ати, поскольку считают, что при повышении давления на каждые 0,1 ати производительность увеличивается на 2,0%. Однако доменная печь в Мадзусиме, Япония, объемом 4323 м<sup>3</sup> спроектирована для работы с давлением 3,0 ати.

Проведенные в СССР опыты с применением дутья, обогащенного кислородом до 35%, показали, что таким путем производительность действующих доменных печей может быть увеличена на 15—20%. Существует мнение, что развитие доменного производства в этом направлении более эффективно по сравнению со строительством новых агрегатов. Опыты были повторены в ФРГ, где также пришли к заключению о целесообразности реализации результатов исследований в промышленных



масштабах. Это позволит примерно вдвое уменьшить капиталовложения по сравнению с новым строительством. Вообще говоря, каждый дополнительный процент кислорода в дутье позволяет увеличить производительность доменной печи на 4,2%.

Во всех странах мира особое внимание уделяется экономии кокса. В результате его расход в перерасчете на 1 т выплавленного чугуна за период 1960—1970 гг. уменьшился с 800 до 600 кг, а к 1980 г. он должен снизиться до 450 кг. Один из путей решения этой задачи — расширение масштабов применения в доменном производстве различных видов топлива — природного газа, мазута, угольной пыли и т. п. Выбор топлива определяется местными условиями и соображениями экономики. В отечественной металлургии, например, широко используется природный газ. Однако считают, что для нормальной работы в зимний период все печи должны быть оборудованы установками для вдувания мазута.

Не меньше внимания в этом плане уделяется комплексным мероприятием. В частности, японская фирма «Кавасаки сэйтецу», чтобы снизить расход кокса на своих заводах с 440 до 350 кг/т, намерена увеличить содержание кислорода в дутье на 3—5%, расход вдуваемого в горн мазута — до 100—120 кг/т, температуру дутья — до 1300°С, долю окатышей и агломерата в шихте — до 85%, а давление на колошнике — до 3 ат. Одна английская фирма разработала экспериментальную доменную печь с подачей смеси пара и кислорода под давлением 5—10 ат. При необходимости в дутье может присутствовать мазут. В печи образуется газовая смесь, состоящая из  $H_2$ ,  $CO$  и  $CO_2$ . Колошниковый газ после очистки от  $CO_2$  вновь подается в печь, что позволяет вдвое снизить расход кокса.

Аналогичный процесс разработала Британская научно-исследовательская ассоциация черной металлургии. Колошниковый газ после охлаждения и очистки попадает в обогреваемую систему, где смешивается с углеродородным топливом, например, с метаном. Образовавшаяся смесь из окиси углерода и водорода при температуре 1000°С подается в доменную печь на уровне заплечиков, смешивается с газами, поступающими из горна, и участвует в процессе. При таком процессе до 95% руды восстанавливается до поступления в зону плавления.

Привлекает внимание специалистов использование в шихте металлизированных окатышей. По данным одной японской фирмы, увеличение их содержания в шихте на 10% позволяет снизить расход кокса на 6% и увеличить производительность печи на 9%. Все шире ведутся у нас и за рубежом работы по применению формованного кокса из неспекающихся углей. Коэффициент замены им обычного кокса может достигать единицы.

Для управления доменной плавкой широко используются средства автоматизированного управления, включая ЭВМ. Например, в 1973 г. в Японии на 63 доменных печах (из 66 действующих) внедрены системы локального автоматизированного управления. Наибольшие успехи достигнуты в управлении транспортированием, дозированием и загрузкой шихтовых материалов, тепловым режимом печи и т. п.

Таким образом, доменное производство в целом развивается весьма динамично. Его развитие характеризует высокий технический уровень, быстрое внедрение достижений науки и техники.

## Производство стали

Среди наиболее важных тенденций развития сталеплавленного производства следующие:

- преимущественный рост выплавки стали в кислородных конверторах, увеличение мощности агрегатов, совершенствование технологии плавки, расширение сортамента;

- свертывание мартеновского производства;

- рост выплавки стали в электропечах, увеличение их мощности, совершенствование технологии;

- развитие внепечных методов рафинирования стали (в вакууме, синтетическими шлаками, продувкой газами) и спецметаллургии;

- совершенствование методов разливки стали в изложницы;

- интенсивное развитие процессов непрерывной разливки стали;

- разработка различных вариантов непрерывного сталеплавленного процесса.

Рассмотрим эти тенденции, выделив лишь самое главное. Кислородно-конверторное производство. За



пятилетие 1966—1970 гг. в СССР введено в эксплуатацию 19 кислородных конверторов емкостью 100—250 т. В девятой пятилетке этот процесс получил дальнейшее развитие. Введены в строй 250- и 350-тонные конверторы, до конца пятилетки намечен пуск еще шести 350-тонных агрегатов. В 1973 г. в мире в кислородно-конверторных цехах выплавлено около 50% всего выпуска стали.

В повышении производительности кислородно-конверторных цехов большую роль играет интенсификация плавки, в первую очередь продувки, сокращение непродуваемых операций, повышение стойкости футеровки, стабильность качества применяемого сырья и сортамента выплаваемой стали, применение новых средств контроля процесса и автоматического управления им (с использованием ЭВМ).

В кислородно-конверторном цехе № 1 Новолипецкого металлургического завода в начале девятой пятилетки емкость конвертора увеличена со 100 до 143 т, а расход кислорода — с 460 до 500 м<sup>3</sup>/мин. В результате за первое полугодие 1972 г. было выплавлено 1,6 млн. т стали при годовой проектной мощности цеха 2,2 млн. т.

На производительность весьма влияют интенсивность продувки и стойкость футеровки конверторов. Так, на заводе в Тиба (Япония) в течение месяца выплавляли 507 тыс. т стали. Интенсивность продувки была около 5 м<sup>3</sup>/т·мин. Интенсификация играет не меньшую роль, чем увеличение емкости конвертора. И в этом отношении возможности далеко еще не исчерпаны. Так, по мнению специалистов Социалистической Республики Румынии, интенсифицировать продувку до 12 м<sup>3</sup>/т·мин вполне реально при условии внедрения динамической системы автоматического управления. При этом продолжительность плавки 150-тонного агрегата прогнозируется в пределах 20—25 мин (продолжительность продувки 9—10 мин), т. е. примерно в 2 раза меньше, чем при обычном ее уровне, порядка 2—3 м<sup>3</sup>/т·мин. Японские специалисты экспериментально доказали, что интенсивность продувки в кислородном конверторе может быть увеличена до 20 м<sup>3</sup>/т·мин.

Большие успехи достигнуты в черной металлургии СССР в отношении повышения стойкости футеровки кислородных конверторов. После 1965 г. она возросла в 2—3 раза и на лучших заводах в 1973—1974 гг. достиг-

ла в отдельные кампании 850—880 плавов. Стойкость футеровки конверторов в Японии — 800—1000 плавов, а в США, по-видимому, еще выше. Имеются сообщения, что на металлургическом заводе «Форд мотор» стойкость футеровки составила 1701 плавку; выплавлено более 338 тыс. т стали; расход огнеупоров оказался 2,5 кг/т, в том числе 0,8 кг/т кирпича в рабочем слое футеровки и 0,35 кг/м в защитном; 0,05 кг/т набивных материалов при кладке и 1,30 кг/т ремонтных материалов. А на заводе фирмы «Сумитомо Киндзоку Когё», Японии, довели стойкость футеровки 70-тонного конвертора до 2000 плавов. Это результат тщательного подбора огнеупоров и ухода за футеровкой, улучшения технологии плавки, совершенствования технологии ремонта.

Сортамент кислородно-конверторной стали непрерывно расширяется. Так, в нашей стране освоена выплавка кипящего и спокойного металла всего мартеновского сортамента, например, для глубокой и сложной вытяжки, рельсового, канатного, арматурного, для газопроводных труб. Осваивается выплавка высоколегированных сталей. Эта тенденция общая. В Японии в номенклатуре кислородно-конверторной стали 60% кипящей, 20% полуспокойной, остальное — спокойная углеродистая и легированная.

Легированную сталь выплавляют в кислородных конверторах СССР, ФРГ, США, Япония, Англия, Франция и другие страны. В одних цехах доля легированной стали 1—5%, а другие специализируются на их производстве. Для этого используют конверторы как малой, так и большой емкости. В сортамент кислородно-конверторной стали входят: низколегированная для сортового проката и труб; хромомолибденовая для котлов, теплообменников и химической промышленности; электротехническая, нержавеющая феррито-аустенитного класса для листового проката и труб различного назначения; пружинная для зубчатых передач, деталей автомобилей и сельскохозяйственных машин и др.

Основные способы получения высоколегированной нержавеющей и жаропрочной стали — продувка высокохромистого чугуна при высокой температуре, препятствующей окислению хрома, а также сочетание продувки металла в конверторе с раскислением углеродом при последующем выпечном вакуумировании.



Особо низкоуглеродистую электротехническую сталь (в том числе трансформаторную) получают продувкой металла в конверторе и обработкой его на установке внепечного вакуумирования с одновременным раскислением и легированием.

Качество кислородно-конверторной легированной стали не уступает качеству мартеновской и электростали соответствующих марок. Более того, выплавка некоторых низколегированных сталей в кислородных конверторах считается не только экономически целесообразной, но и единственно возможной в плане повышения качества. Поэтому сталь для холодной деформации, особенно для производства автолиста, во всем мире выплавляют преимущественно в кислородных конверторах. В них же стремятся выплавлять высокопрочные свариваемые стали для сосудов высокого давления и котлов, для работы при низких температурах и др. На Криворожском металлургическом заводе разработана технология выплавки канатной стали. У изготовленных из нее канатов выносливость на 20—25% выше обычной.

Один из вариантов усовершенствования кислородно-конверторного передела с верхним дутьем — метод Роторверт. Он применен на полупромышленном конвертере в экспериментальном центре в Риме. Конвертор вращается с большой скоростью вокруг вертикальной оси, что сообщает поверхности металлической ванны параболический профиль. Это увеличивает зеркало металла и, кроме того, обеспечивает защиту футеровки цилиндрической части корпуса конвертора от воздействия шлака и местных перегревов.

При опытных плавках конвертор вращался со скоростью 85 об/мин. Расстояние между высшей и низшей точками поверхности металла при этом оказалось равным внутреннему диаметру конвертора. Удельная же поверхность металла увеличилась в 2,5 раза, что способствует передаче тепла, образующегося при сгорании окиси углерода с участием вторичного кислорода (поступающего в верхнюю часть конвертора). Далее, ускоряется шлакообразование, создаются предпосылки для перемешивания металла и шлака благодаря возможности изменить направление вращения. Поскольку струя кислорода эксцентрирована, исключаются местные перегревы, что предполагает снижение содержания пыли в дымовых газах.

Метод Роторверт следует считать перспективным вариантом современного кислородно-конверторного процесса. С увеличением садки конвертора скорость его вращения может быть уменьшена, например, до 50 об/мин. Озабоченность вызывает только стойкость огнеупоров в верхней части и горловине конвертора.

Во многих странах мира начинают применяться в промышленности кислородно-конверторный процесс с донным дутьем (продувкой снизу) через фурмы в днище. Кислород поступает по центральной трубе фурмы. Его струя обволакивается защитным слоем газа (углекислого, природного и др.) или распыленного жидкого топлива (мазута). Они поступают по концентрически расположенной трубе большего диаметра. Благодаря этому тепловой центр удаляется от днища, что способствует большей сохранности футеровки. В 1972 г. в Европе и Южной Америке работало более 20 таких конверторов емкостью 30—80 т, общей производительностью более 5 млн. т стали в год. Фирма «Юнайтед стейтс стил», США, приобрела патентные права во Франции и ФРГ и планирует строительство во Фрейфилде двух 180-тонных конверторов общей производительностью 3,2 млн. т взамен 12 мартеновских печей постройки 1961 г. В Канаде намечается строительство двух 110-тонных конверторов на 2,2 млн. т в год. Кроме того, в США разработан так называемый Ку-Боп-процесс (спокойный донный кислородный процесс), который реализован на заводе фирмы «Юнайтед стейтс стил» в Гейри.

Преимущества выплавки стали в кислородных конверторах с донным дутьем — резкое уменьшение дымообразования и упрощение системы газоочистки, увеличение выхода годного продукта до 93,5%, возможность повышения расхода скрапа на 250 кг/т по сравнению с конверторами с верхним дутьем, улучшение условий шлакообразования и скачивания шлака.

Считают, что процесс с донным дутьем легче может быть реализован в действующих мартеновских цехах благодаря тому, что он не требует много места и обходится упрощенной системой газоочистки. Поэтому кислородные конверторы с донным дутьем намереваются широко использовать для замены мартеновских печей.

Рассмотренные тенденции развития кислородно-конверторного производства общие для всех стран с раз-



витой металлургией, в том числе и для нашей страны. Достаточно заметить, что в текущей пятилетке введены в действие крупные конверторы с верхним дутьем на Карагандинском металлургическом комбинате (250 т), на Западно-Сибирском металлургическом заводе (350 т) и на Новолипецком металлургическом заводе (350 т). Ведутся работы по освоению донной продувки и т. п.

Заканчивая рассмотрение вопроса о кислородно-конверторном производстве, отметим, что в настоящее время, благодаря использованию внепечных методов рафинирования, создаются предпосылки повышения качества конверторной стали до уровня высококачественной электростали и резкого расширения сортамента.

**Мартеновское производство.** Строительство новых мартеновских печей повсюду прекращено. В наиболее развитых странах, в том числе и в СССР, они выводятся из эксплуатации. Однако роль мартеновского производства в черной металлургии многих стран еще достаточно высока, например в СССР, США, ФРГ и др. Поэтому усилия специалистов направлены на его интенсификацию и повышение качества выплавляемой стали.

Важнейшие средства интенсификации мартеновской плавки — использование кислорода, природного газа, огнеупоров высокого качества, повышение уровня организации работ, качества исходных материалов и т. п. В 1973 г. среднесуточный съем стали с 1 м<sup>2</sup> площади пода достиг 9,96 т. Однако о тех резервах, которыми еще располагает мартеновское производство, свидетельствует опыт отечественных заводов. В 1970 г. 240-тонная мартеновская печь Макеевского металлургического завода дала 590 тыс. т (среднесуточный съем в 1 м<sup>2</sup> пода — 24—25 т). В 1972 г. выплавка на этой печи возросла до 604,6 тыс. т, т. е. примерно на 2,5%. Соответственно увеличился и съем стали. Для сравнения на такой же по весу садке печи завода «Запорожсталь» получено 448,4 тыс. т. В целом по Министерству черной металлургии СССР показатели работы мартеновских печей в настоящее время в 1,5—2 раза выше, чем когда-либо достигнутые в США, не говоря уже о Японии.

В настоящее время при использовании кислорода как интенсификатора плавки считается перспективной перестройка обычных мартеновских печей на двухванные. В Канаде разработан СИП-процесс — продувка ванны кислородом через фурмы специальной конструк-

ции (по аналогии с кислородным конвертором с донным дутьем). На заводе фирмы «Сидни стил» в мартеновском цехе с пятью 200-тонными печами одну переоборудовали для продувки ванны кислородом через фурмы в подине или откосах. Струю кислорода блокировали пропаном, вместе с которым подавали молотую известь. После 700 плавов фирма приняла решение о переоборудовании еще двух печей и остановке двух других. В результате реконструкции, стоимость которой около 7 млн. долл., мощность завода возросла с 1 до 2,25 млн. т.

Работы в этом направлении интенсивно ведутся на многих отечественных заводах. Следует подчеркнуть, что все виды интенсификации плавки с применением кислорода ставят вопрос об организации производства огнеупоров особо высокого качества.

Повышение качества мартеновской стали, как и кислородно-конверторной, зависит в настоящее время преимущественно от применения внепечных методов рафинирования. При этом, конечно, не исключается использование таких средств, как легирование, микролегирование, нитридное упрочение и т. п.

**Электросталеплавильное производство.** За последние годы доля электростали по отношению к общей выплавке ее всеми известными способами довольно значительно возросла. Этому способствовали следующие причины:

- успехи в развитии электропечестроения и электротехнической промышленности;

- наличие во многих странах мира дешевого скрапа, что обусловлено свертыванием мартеновского производства;

- расширяющаяся практика использования дуговых электропечей для выплавки сталей рядового сортамента;

- низкие капитальные затраты на строительство электросталеплавильных цехов (по сравнению с мартеновскими);

- гибкость электросталеплавильного процесса в отношении использования различных видов шихты (стального лома, чугуна, металлизированных окатышей);

- возможность в широких пределах варьировать подводимую мощность и на этой основе использовать наи-



более рациональные технологические схемы — внепечное рафинирование, разливка на УНРС и др.;

уменьшение количества дыма по сравнению с кислородно-конверторным и мартеновским производством и соответственно более простая технология газоочистки;

тенденция к дальнейшему снижению стоимости электроэнергии в связи с расширением масштабов использования природного газа и развитием атомной энергетики.

В развитии электросталеплавильного производства наметились следующие тенденции.

Увеличивается емкость вводимых в эксплуатацию электропечей. В девятой пятилетке в СССР введены в эксплуатацию 200-тонные электропечи и проектируются печи номинальной емкостью до 400 т. В 1970 г. на заводе фирмы «Нортуэстерн стил энд уайр», США, построена самая крупная в мире 350-тонная электропечь. Из числа работающих в настоящее время в Японии электропечей крупнейшая — 250-тонная фирмы «Тюбу сэйко».

Стремление интенсифицировать процесс электроплавки привело к резкому увеличению удельной мощности печных трансформаторов. Вместо принятой 5—10 лет назад удельной мощности порядка 250 кВА/т садки новые печи за рубежом имеют 500 кВА/т и выше.

Следствие увеличения мощности трансформаторов — стремление превратить электропечь в агрегат, предназначенный лишь для плавления шихты и доводки металла по углероду, фосфору и температуре. Все операции по рафинированию мыслятся вне печи, средствами внепечного рафинирования, о которых ниже будет сказано подробнее. Та же цель преследуется и при использовании разработанной в Швеции двухванной электропечи.

Две электропечи устанавливаются на близком расстоянии и покрываются взаимозаменяемыми поворачивающимися сводами. В одной из них плавят металл, в другой — рафинируют. Соответственно одна питается от трансформатора большой мощности, другая — малой. Можно также сочетать трансформатор большой мощности с газокислородной горелкой. Опубликовано сообщение о вводе в эксплуатацию в Генплевфорсе, Швеция, 60-тонной двухванной печи. Во время расплавления металла в одной из ванн подогрев ведется с по-

мощью электрической дуги, в другой ванне происходит рафинирование при подогреве газокислородными горелками. По окончании циклов своды сменяются. Одновременно возможна выплавка двух разных марок стали, например, углеродистой — в одной ванне, легированной — в другой. У агрегата — весьма высокие рабочие показатели.

Большое внимание в электросталеплавильном производстве уделяется использованию металлizedанной шихты. Считают, что при сооружении новых цехов это позволит уменьшить капитальные вложения на 40%, а благодаря большей технологичности операций на завалке и плавлении повысить производительность печей на 20—40%. Оптимальное содержание металлizedанного сырья в шихте электропечей — 80%.

Как средство повышения производительности электропечей все чаще используют предварительный подогрев шихты. На заводе фирмы «Шталь унд Реренверк», ФРГ, на 45- и 100-тонных дуговых электропечах при подогреве шихты в завалочных бадьях без огнеупорной футеровки сократили продолжительность расплавления на 16 мин. Расход электроэнергии снизился на 42 кВт·ч/т, а электродов — на 200 г/т. Затраты на сооружение установки окупаются за 9 месяцев. В самое последнее время появились сообщения, что в Японии также стали использовать этот метод интенсификации, применяя горелки различной конструкции. Здесь используют и пресованный скрап в пакетах, конфигурация которых близка к конфигурации печи; обычно это делается на печах небольшой емкости.

Этим не исчерпывается перечень направлений совершенствования процессов электроплавки и повышения эффективности электросталеплавильных цехов. По-прежнему ведутся работы в направлении создания 500—600-тонных электропечей с шестью электродами, отрабатывается технология вдувания в металлическую ванну порошкообразных реагентов, совершенствуются электроды.

Технико-экономические показатели современных электропечей говорят о возможности их использования не только при выплавке легированного, но и рядового металла. Электросталь рядовых марок обходится на 8,5% дешевле кислородно-конверторной. В ФРГ, например, строительство электросталеплавильного цеха

мощностью более 1,5 млн. т в год экономичнее строительства кислородно-конверторного той же мощности, а себестоимость стали в обоих случаях примерно одинакова.

В электросталеплавильных цехах США доля рядового металла достигает примерно 70%, а в ФРГ — 50%. Замена мартеновских печей крупными электропечами обуславливается чисто экономическими соображениями — крупные электропечи фирмы «Лектромелт», США, рассчитаны на продолжительность плавки 2,5—3,0 ч.

В нашей стране электросталеплавильное производство развивается в соответствии с общими тенденциями. Ведутся работы по реконструкции действующих цехов, проектируются крупные цехи, намеченные к пуску в десятилетку. Выплавка электростали увеличивается пропорционально увеличению ее общего производства.

**Внепечное рафинирование.** Сегодня это направление оценивается как одно из основных направлений технического прогресса в черной металлургии. Наиболее широко распространены в производстве три метода рафинирования:

- продувка металла в ковше или специальном агрегате инертными газами или окислительными смесями;
- обработка стали в вакууме различными способами;
- обработка стали жидкими синтетическими шлаками.

Все методы достаточно известны, поэтому ограничимся лишь отдельными замечаниями.

Аргоно-кислородная продувка металла применяется преимущественно при выплавке нержавеющей стали. Металл обрабатывается в специальном агрегате типа кислородного конвертора с донным дутьем. Это позволяет получить нержавеющую сталь с содержанием углерода менее 0,03% без расхода дорогостоящего безуглеродистого феррохрома.

По зарубежным данным, оплавление хромистых отходов и углеродистого феррохрома в электропечи продолжается 2 ч 40 мин, доводка плавки в конверторе — 1 ч 40 мин. Расход аргона — 18 м<sup>3</sup>/т. Стойкость футеровки электропечи — стен и свода — 394 и 369 плавов, передаточного ковша — 50, конвертора — 30—40 плавов. Используя эту технологическую схему, фирма «Юнион карбид», США, при минимальных капитальных

вложениях практически удвоила производство нержавеющей стали.

Разработанный в настоящее время процесс аргонно-кислородного рафинирования (АОД-процесс) может быть представлен следующим образом. В реторту из электропечи заливают расплав, содержащий 0,60% С, 0,48% Si, 18,4% Cr, 13% Ni. Фурмы для продувки (обычно 2—3) расположены горизонтально близ подины. Продувка длится 48 мин, за это время температура металла поднимается с 1515 до 1735°С. Соотношение между кислородом и аргоном в дутье по ходу продувки меняется. В начале оно равно 3 : 1, при достижении содержания углерода 0,26% понижается до 2 : 1, затем его постепенно доводят до 1 : 1, а при содержании углерода менее 0,10% — до 1 : 2. Если требуется уменьшить содержание углерода в расплаве до 0,01% и ниже, продувку удлиняют на 10—15 мин.

По окончании продувки присаживают шлаковую смесь и перемешивают ванну аргоном, восстанавливают хром ферросилицием и силикокальцием. При необходимости десульфурации шлак удаляют и заводят новый (высокоосновный). Полученная сталь содержит меньше обычного кислорода и азота (соответственно на 25—30 и 30—50%). Сквозное усвоение хрома 94% против 89% при обычной технологии. Кроме того, вместо малоуглеродистого феррохрома используется дешевый углеродистый передельный феррохром, уменьшается расход кремния и соответственно извести.

В 1970 г. АОД-процесс был использован для выплавки 63 тыс. т нержавеющей стали. В 1975 г. производство стали, полученной по этой технологии, во всем мире должно достигнуть 1 635 000 т.

Для рафинирования стали от неметаллических включений и водорода, выравнивания химического состава и температуры ее в ковше металл продувают инертными газами, для чего используют чаще всего аргон. Иногда его пытаются заменять азотом. В зависимости от поставленной задачи расход аргона различен.

Группа советских ученых и специалистов достигла крупных успехов в развитии и внедрении этой технологии. Так, И. П. Бармотин установил, что для удаления водорода до пределов получения нефлокеночувствительной стали, расход аргона должен быть 2—3 м<sup>3</sup>/т, удаления неметаллических включений — 0,8—1,0 м<sup>3</sup>/т, пе-



ремешивания металла — 0,2—0,4 м<sup>3</sup>/т. Отечественная технология широко применяется при выплавке высококачественных сталей ответственного назначения.

Продувку осуществляют через пористые блоки в днище ковша. Их изготавливают по специальной технологии из плавящихся огнеупоров — периклаза, глинозема, магнезиевой шпинели, муллита. Стойкость блоков обычно соответствует стойкости футеровки ковша. Их производство в промышленных масштабах организовано в саткинском заводе огнеупоров «Магнезит».

После продувки аргоном у стали хорошая жидкотекучесть, более низкое содержание водорода, кислорода и неметаллических включений. У нее повышенная пластичность, меньшая анизотропность свойств, большая устойчивость против хрупкого разрушения особенно на поперечных образцах.

Описанный метод рафинирования весьма экономичен особенно при выплавке высоколегированных сталей; его можно реализовать при минимальных капиталовложениях.

Вакуумная обработка стали впервые была опробована на Енакиевском металлургическом заводе под руководством академика А. М. Самарина. В конце 1973 г. в мире насчитывалось уже около 400 вакуумных установок, причем более 70% всей выпускаемой вакуумированной стали приходилось на 120 установок циркуляционного и порционного вакуумирования. В числе последних одна из крупнейших в мире 300-тонная порционная вакуумная установка Магнитогорского комбината, а также установки ряда заводов высококачественных сталей.

Сообщения о масштабах выплавки стали с применением вакуума весьма противоречивы. По-видимому, в таких странах, как США, Япония, ФРГ, Англия, она порядка 2,5—8% по отношению к общей выплавке. Наряду с указанными типами установок применяются устройства для вакуумирования металла в ковше и в струе. Однако такие установки уже не играют той роли, как в конце 50-х и в начале 60-х годов.

В 1970 г. большей частью вакуумной обработке подвергли сталь, выплавленную в электропечах и в мартеновских печах. Однако в последнее время, после появления установок порционного и циркуляционного типов, все шире и шире внедряется эта технология. Так, в Уир-

тоне, США, в кислородно-конверторном цехе введена в эксплуатацию крупнейшая в мире циркуляционная установка для вакуумирования 360-тонных плавок, а в кислородно-конверторном цехе фирмы «Аугуст Тиссен — Хютте», ФРГ, Брукхаузен — крупнейшая в мире установка порционного вакуумирования. Она рассчитана на обработку 420-тонных плавок.

Из 53 действовавших в 1973 г. вакуумных установок Японии 38 были установлены в электросталеплавильных цехах, 3 — в мартеновских, остальные — в кислородно-конверторных. Преимущественно строятся установки двух типов: порционного и циркуляционного. Как пример электропечи, работавшей в комплексе с вакуумной установкой, можно указать 120-тонную печь фирмы «Никон сэйко». При средней продолжительности плавки 3,6 ч ее месячная производительность 19 тыс. т. В 1972 г. в кислородно-конверторном цехе завода фирмы «Син ниппон сэйтецу» заработала крупнейшая в стране установка порционного вакуумирования. Ее производительность 50—80 тыс. т в месяц.

В 1973 г. началось использование 30-тонной порционной установки на Магнитогорском металлургическом комбинате при производстве стали для глубокой вытяжки. Изготавливается оборудование для нескольких отечественных установок, в том числе 250-тонных порционных для Орско-Халиловского металлургического комбината и металлургического завода «Красный Октябрь».

Вакуумная обработка гарантирует очистку стали от неметаллических включений и водорода. Результат — повышается ее пластичность, уменьшаются флокеночувствительность и склонность к образованию трещин как в холодном, так и в горячем состоянии. Она способствует повышению жидкотекучести стали, что позволяет производить разливку при температуре на 10—15°С ниже обычного уровня. Это особенно важно при использовании УНРС. В электросталеплавильных цехах резко сокращается продолжительность плавки при рафинировании в ковше, а в мартеновских и кислородно-конверторных цехах при использовании порционных и циркуляционных установок создаются условия для выплавки высококачественных сталей различного сортамента (так как в ковше можно осуществлять многие ранее невозможные операции, например, глубокое раскисление,



дегазацию, обезуглероживание, науглероживание, легирование, подогрев металла и т. п.).

Следствие применения вакуума — общее повышение технико-экономических показателей производства. Из зарубежной практики, например, известно, что отливка в вакууме слитка хромомолибденованадиевой стали позволяет сэкономить 6035 долл. при изготовлении турбинного вала массой 18,5 т (благодаря уменьшению расходов на отливку, обработку и отжиг).

Технология выплавки стали и рафинирования ее жидким синтетическим шлаком разработана и внедрена при активном участии автора на шести металлургическом заводах СССР в четырех мартеновских, трех электроплавильных и одном кислородно-конверторном цехе. Ее сущность сводится к следующему.

В разливочный ковш перед выпуском плавки из сталеплавильного агрегата наливают некоторое количество синтетического шлака, приготовленного в специализированном плавильном агрегате с нейтральной по отношению к нему футеровкой. Затем в ковш по возможности с большой высоты мощной струей выпускают металл. В результате интенсивного перемешивания металла и шлака последний эмульгирует в металле, межфазная поверхность металл — шлак увеличивается в сотни раз по сравнению с той, которая получается в электросталеплавильной печи. Соответственно процессы взаимодействия металла со шлаком ускоряются, и для рафинирования металла требуется уже не 1,5—2,0 ч, как обычно в электропечи, а лишь несколько минут или, точнее, время, которое уходит за выпуск плавки. В зависимости от размера плавильного агрегата выпуск производится со скоростью истечения металла порядка 10—30 т/мин.

В настоящее время наиболее широко используется синтетический известково-глиноземистый шлак (52—55%  $\text{CaO}$ , 38—42%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , менее 3%  $\text{SiO}_2$ , менее 1,0%  $\text{FeO}$ ). Он обеспечивает эффективное рафинирование стали и гарантирует при прочих равных условиях получение стабильных результатов. Расход шлака 3—5% по отношению к весу жидкого металла, а его температура перед выпуском в ковш 1650—1750°C.

Рафинированная синтетическим шлаком сталь любого способа выплавки имеет следующие отличительные признаки:

низкое содержание кислорода (не более 0,004%) и серы (0,003—0,010%), чему соответствует низкое содержание неметаллических включений, большая однородность химического состава стали, более высокая ее плотность, меньшее количество дефектов типа волосовин и т. п.;

стабильное, строго заданное содержание алюминия; повышенная пластичность и ударная вязкость при всех температурах, причем особенно значительная в направлении, перпендикулярном направлению деформации.

Следствие этих изменений, — например, увеличение служебного ресурса подшипников минимум на 30%, штанг глубинных насосов нефтяных скважин из стали 40 и 20 НМ — на столько же, возможность холодной высадки углеродистой стали (опробована сталь 15) в отношении 1:9 вместо 1:2 по ГОСТ 10712—63, снижение порога хладноломкости низколегированных сталей типа 17ГС на 30—40°C, улучшение свариваемости, уменьшение брака в передельных цехах по таким дефектам, как рванины, трещины и т. д., уменьшение (или полное отсутствие) отбраковки по неметаллическим включениям, волосовинам, механическим свойствам, величине зерна и т. п.

Важное преимущество рассматриваемой технологии: она обеспечивает получение высококачественной стали, приближающейся по своим свойствам к стали электрошлакового переплава, независимо от того, в каком плавильном агрегате она выплавлена — в электропечи, кислородном конверторе или мартеновской печи.

Другое важное обстоятельство то, что, в отличие от обычно наблюдаемого в практике явления, с ростом веса плавки (емкости агрегата) качество металла повышается. Это обусловлено увеличением продолжительности выпуска плавки и соответственно более эффективным взаимодействием металла и синтетического шлака в ковше.

Рафинирование стали синтетическим шлаком позволяет сократить продолжительность электроплавки примерно на 10—15%, а мартеновской плавки — на 10—30 мин. При его использовании в мартеновских и кислородно-конверторных цехах представляется возможность получать высококачественные стали традицион-



ного электропечного сортамента, например ШХ15, 40ХНМА, 45ХНМФА и др.

Возможность выплавлять в мартеновских печах и кислородных конверторах при использовании синтетических шлаков высококачественную сталь традиционного электропечного сортамента имеет особо важное значение для экономного расходования металлопродукции и, следовательно, повышения коэффициента использования металла в народном хозяйстве. В 1975 г. выплавка стали с обработкой синтетическим шлаком должна достигнуть 2,5 млн. т.

Имеются сведения о применении синтетических шлаков во Франции, Италии и некоторых других странах. В 1973 г. в Фос-сюр-Мере, Франция, пущен в эксплуатацию новый завод специальных сталей. В его составе два электросталеплавильных цеха, в каждом из них вакуумные установки и специализированные печи для получения жидких синтетических шлаков.

Наряду с рассмотренными методами повышения качества металла массового производства в последнее время начинают развиваться комбинированные методы внепечного рафинирования стали. Можно назвать следующие:

- рафинирование жидким синтетическим шлаком в ковше с одновременной продувкой металла газами;

- вакуумная обработка с одновременной продувкой газами;

- рафинирование жидким синтетическим шлаком в сочетании с вакуумированием;

- то же, в сочетании с продувкой газами и т. п.

Цель использования комбинированных методов — преодоление ограничений каждого из рассмотренных вариантов рафинирования и как следствие — дальнейшее повышение качества металлопродукции и общей эффективности производства.

Отметим, что все рассмотренные методы внепечного рафинирования интенсивно развиваются.

**Комбинированные способы и спецметаллургия.** Стремление повысить технико-экономические показатели производства катализирует активный поиск новых технологических вариантов выплавки стали с использованием рассмотренных выше способов, которые включаются в технологическую схему в самых разнообразных комбинациях. Развиваются комбинированные спосо-

бы производства стали. Их применение выгодно, так как при этом увеличивается производительность основного металлургического оборудования, снижается себестоимость продукции.

Для выплавки сложнoleгированных высококачественных сталей в кислородно-конверторных и мартеновских цехах может, по предложению автора быть применено смешение в сочетании с рафинированием стали синтетическим шлаком. Здесь используются три синхронно работающих плавильных агрегата: сталеплавильная печь для выплавки углеродистого полупродукта, шлакоплавильная печь для получения синтетического шлака и электропечь (дуговая, индукционная, канальная) для получения лигатуры, химический состав которой определяется в зависимости от марки стали. На одном из отечественных заводов процесс осуществлен по следующей схеме.

Синтетический шлак, как обычно, наливают в разливочный ковш, который помещают под желобом сталеплавильного агрегата. Затем в передаточном ковше к разливочному ковшу подают выпущенную из электропечи лигатуру и приступают к выпуску углеродистой заготовки в сталеразливочный ковш с синтетическим шлаком. В него же во время схода металла переливают лигатуру из передаточного ковша.

Использование жидкой лигатуры исключает раскисление металла в ковше твердыми ферросплавами. Результат: характеристики качества полученного металла выше, чем у металла, выплавленного при обработке синтетическим шлаком по ранее описанной схеме. Технология применяется на одном из отечественных заводов, идет подготовка к более широкому ее внедрению.

При выплавке стали смешением с рафинированием синтетическим шлаком можно получить высококачественные стали практически любого химического состава, например, типа 18Х2Н4ВА, 14Х2Н3МА и так далее, которые до сих пор не удавалось выплавить в кислородных конверторах и в мартеновских печах.

И все же рассмотренные способы выплавки стали и методы повышения ее качества не позволяют достигнуть того уровня качества, который бы удовлетворял запросы всех потребителей. Следствие этого — начавшееся после второй мировой войны развитие так называемой спецметаллургии, которая включает в себя различные



виды рафинирующих переплавов заготовки, полученной в обычных сталеплавильных агрегатах, чаще всего в дуговых или индукционных электропечах, и специально подготовленной для использования. Исходный металл эффективно очищается от неметаллических включений и других нежелательных примесей, повышаются плотность и однородность его структуры, улучшаются физико-механические, антикоррозионные и другие свойства.

К числу рафинирующих переплавов спецметаллургии относятся:

- вакуумно-дуговой переплав (ВДП);
- индукционно-вакуумный переплав (ИВП);
- электронно-лучевой переплав (ЭЛП);
- электрошлаковый переплав (ЭШП);
- плазменно-дуговой переплав (ПДП) и др.

Особенно интенсивно спецметаллургия начала развиваться во второй половине 60-х годов. До 1970 г. основное внимание за рубежом было сосредоточено на развитии вакуумно-дугового, индукционно-вакуумного и электрошлакового переплавов. У нас особенно интенсивно развивался последний, разработанный в Институте электросварки АН СССР под руководством академика Б. Е. Патона. В последующие годы интенсивно развиваются электронно-лучевой и плазменно-дуговой переплавы, а также различные комбинированные процессы, те или иные сочетания названных методов.

Если говорить о цифрах, то за 1973 г. в наиболее развитых капиталистических странах методом ЭШП выплавили 80 тыс. т стали, причем в эксплуатации находилось 37 установок и в стадии строительства — 6. Диаметр выплавливаемых слитков достигал 400 мм. В настоящее время эксплуатируется установка для получения слитков диаметром 2500 мм. К 1977 г. выплавка стали этим методом в указанных странах прогнозируется в количестве 200 тыс. т, т. е. ежегодный прирост составит около 20%. Новые установки рассчитаны на получение слитков диаметром 500—1000 мм, наиболее крупные проектируются для диаметров 3000 мм.

Масштабы применения ЭЛП и ПДП также расширяются. Эти процессы оцениваются как весьма перспективные. На установках электронно-лучевого переплава в Детройте, США, планируется получать металл в слитках весом до 9 т с высокой пластичностью и хорошей свариваемостью. Срок службы подшипников из

этой стали вдвое больше, чем из стали, полученной при вакуумно-дуговом переплаве, и в 100 раз больше, чем из стали открытой электроплавки. По уровню капитальных затрат на 1 т металла ЭЛП и ВДП признаются равноценными. Вопрос о плазменно-дуговом переплаве — частный случай применения плазменного нагрева в металлургии. Он будет рассмотрен ниже.

По наличию мощностей, масштабам производства, уровню научных и конструктивных заделов отечественная спецметаллургия занимает ведущее положение в мире. По нашим лицензиям строятся и работают, например, установки ЭШП во Франции, Англии, США и других странах.

На современном этапе сталеплавильное производство развивается исключительно динамично как с точки зрения увеличения масштабов выплавки стали, так и с точки зрения совершенствования применяемого оборудования и технологических схем. Развивается спецметаллургия. Используются различные методы рафинирования в ковше, появляются сложные комбинированные процессы. По-видимому, эти тенденции в сталеплавлении производстве в перспективе не утратят своего значения по крайней мере до конца текущего столетия.

**Разливка.** В настоящее время способ непрерывной разливки стали принят в качестве основного направления развития мирового сталеплавильного производства. Однако до сих пор преобладающее количество металла разливают в изложницы, что говорит о необходимости усовершенствования этого способа.

Основное направление усовершенствования способа разливки в изложницы — увеличение выхода годного продукта главным образом за счет сокращения головной обрезки и улучшения качества поверхности. Для этого применяются экзотермические брикеты, вкладыши, засыпки, обогрев прибыльной части слитка и т. п. Все эти приемы достаточно известны и тем не менее их значение не только не уменьшается, а, наоборот, постоянно возрастает. Этому, в частности, способствует увеличение веса слитка, который в некоторых странах достиг 30—45 т. Следует отметить только тот интерес, который вызывает у специалистов разливка спокойной стали с применением теплоизоляционных вкладышей. В 1975 г.



на заводах Минчермета СССР планируется отлить по такой технологии около 10 млн. т металла.

В начале 70-х годов в СССР и за рубежом быстрыми темпами началось внедрение бесстопорной разливки. Привычное для металлургов стопорное устройство для перекрытия струи, вытекающей из ковша стали, заменено бесстопорным затвором: струю перекрывают скользящей плитой из огнеупорного материала. Такие затворы применяются на сталеразливочных ковшах емкостью до 330 т при разливке в изложницы и на УНРС, на промежуточных разливочных устройствах, при внепечном рафинировании. Они надежны и безопасны в работе, позволяют точно регулировать скорость разливки. Поскольку подготавливают затвор к работе снаружи ковша, процесс разливки может быть автоматизирован.

Применяются различные конструкции бесстопорных затворов — скользящие, поворотные, дисковые. Но наиболее распространены скользящие (шиберные) или, как их называют, заслонки. Для изготовления элементов таких затворов чаще всего применяют высококачественные огнеупоры — высокоглиноземистые, нитридокремниевые (для неподвижных и скользящих плит), цирконовые, шамотные (для верхнего стакана), с пропиткой смолой, из плавленного кварца (для нижнего стакана). Бесстопорная разливка имеет серьезные технико-экономические преимущества.

Как мы уже сказали, основной способ разливки стали в перспективе — непрерывная разливка. Первые экспериментальные УНРС были пущены практически сразу после окончания второй мировой войны в СССР и США. Однако практическое их применение в СССР началось значительно раньше; первая промышленная установка была введена в строй 1956 г. Из-за менее успешного преодоления технических трудностей США сильно отстали. Они смогли пустить первую промышленную УНРС лишь в 1962 г.

Успехи нашей страны в области научных разработок и практического использования дали толчок развитию нового способа разливки и в других странах, в первую очередь в ФРГ, Японии, Канаде, Франции, которые широко использовали наш опыт, покупая лицензии, изучая литературные источники и т. д.

Прогресс непрерывной разливки привел к коренно-

му пересмотру технической политики при строительстве новых металлургических заводов. Так, в СССР Новолипецкий завод впервые в мировой практике построен без обжимного цеха. Литая слябовая заготовка с установки непрерывной разливки поступает на широкополосный стан «2000» горячей прокатки, где и прокатывается на полосу. По такой схеме развивается, например, в металлургический комплекс в Оита, Япония. На заводе в Фос-сюр-Мере, Франция, предполагается примерно половину выплавленной стали перерабатывать по этой схеме, а остальную разливать в слитки и прокаты в блюминге.

Совершенствование непрерывной разливки на современном этапе ее развития идет в следующих направлениях:

- увеличение производительности промышленных установок как результат усовершенствования конструкций, улучшения организации работ, применения средств автоматизации и ЭВМ;

- повышение качества разливаемого металла, расширение сортамента литых заготовок и повышение их качества;

- сооружение промышленных агрегатов непрерывной разливки, совмещенных в одной рабочей линии с прокатными станами.

Все эти положения достаточно широко освещены в литературе, поэтому ограничимся лишь отдельными замечаниями.

Прирост мощностей УНРС в настоящее время достигается преимущественно строительством крупных слябовых установок. Их обычно совмещают с кислородными конверторами или крупными электропечами. Как метод разливки широко используется разработанная на Новолипецком заводе разливка «плавка на плавку», т. е. практически без перерыва струи разливают несколько, а иногда и десятки плавов. Наибольшее распространение получают установки радиального типа. Выход готового продукта при разливке стали на лучших установках мира порядка 96—99%.

В настоящее время крупнейшей в мировой практике является слябовая установка непрерывной разливки фирмы «Юнайтед стейтс стил», США, производительностью 1,8 млн. т в год, совмещенная с прокатным станом. Сегодня уже можно говорить о создании непрерыв-



ного процесса производства проката из жидкой стали, а отсюда недалеко и до полной автоматизации.

Но до решения проблемы совмещения процессов непрерывной разливки и прокатки еще не так близко — препятствует несоответствие их скоростей. Решить эту задачу можно, лишь резко увеличив скорости разливки стали (вытягивания заготовки из кристаллизатора). Однако в настоящее время этого сделать нельзя. Максимальные скорости, предусмотренные одним из крупнейших мировых поставщиков установок непрерывной разливки фирмой «Демаг», ФРГ, при проектировании крупнейших слабовых машин не превышают 2,5 м/мин. Это почти на порядок меньше скорости, нужной для синхронизации основных звеньев непрерывного процесса. Предпринимаются попытки преодолеть указанное затруднение. В активе имеются, с нашей точки зрения, весьма перспективные предложения отечественных авторов (пока еще на уровне изобретений).

Рассматривается возможность совмещения в одном агрегате следующих процессов: вакуумирование — разливка — нагрев и обжиг литых заготовок — резка заготовок на мерные длины — зачистка. Можно в начале потока установить сталеплавильный агрегат непрерывного действия (САНД), о котором коротко будет сказано ниже.

Имеются сообщения о разработке нового способа разливки стали под регулируемым давлением. Сущность его в следующем. Ковш с жидкой сталью установлен в герметизированной камере, заглубленной ниже уровня пола цеха так, чтобы крышка несколько возвышалась над ним. Повышая давление в камере, в помещенную над ней графитовую изложницу нагнетают сталь. Она поступает туда по вертикальной футерованной трубе, опущенной в металл, проходит через уплотненное отверстие в крышке камеры.

По своей конструкции камера напоминает вакуум-камеру для ковшевого рафинирования стали и может быть использована, кроме основного назначения, и для совмещения операций по рафинированию и разливке. Труба из высокоглиноземистого огнеупора выдерживает 20 разливов. Стойкость графитовой изложницы до 2000 плавов.

Из преимуществ разливки под регулируемым давлением отметим следующие:

качество металла повышается в связи с уменьшением ликвации и улучшением чистоты поверхности литой заготовки;

капитальные затраты снижаются за счет исключения ряда традиционных металлургических операций и сокращения необходимых производственных площадей;

снижается себестоимость заготовок (благодаря улучшению качества и увеличению выхода годного продукта до 95%);

разливается сталь любого химического состава;

гибкость с точки зрения изменения размера заготовок.

На начало 1973 г. имелись сведения о 14 действующих и 5 сооружаемых (1 — в СССР) установках для отливки заготовок различного типа — прямоугольных, квадратных, полых, фасонных и др. Максимальная емкость ковшей — 90 т, а вес отливаемых слабов — 31 т (размер  $230 \times 2500 \times 10000$  мм).

По конструкции все установки (действующие и проектируемые) можно разделить на три основных типа:

неподвижная камера с ковшом и перемещающиеся над ним изложницы (5 установок);

неподвижные изложницы и движущаяся под ним камера с ковшом (5 установок);

изложницы находятся на вращающейся платформе, под которую можно подать камеру с ковшом (1 установка).

Скорость разливки стали на установках рассмотренных типов весьма высока — 4—5 т/мин. Разливка под давлением особенно удобна при производстве сталей, легированных хромом, титаном, алюминием, поскольку можно не бояться их окисления во время процесса. Отлитая заготовка удаляется из графитовой формы через 15—25 мин после наполнения.

Метод перспективен. В США, например, существует мнение, что электросталеплавильный цех с оборудованием для вакуумирования и разливки стали под регулируемым давлением может конкурировать с кислородно-конверторным при разливке стали в изложницы и прокатке слитков на блюминге.

Сталеплавильные агрегаты непрерывного действия. Итак, выше говорилось об этом, имеются технические предпосылки повышения степени непрерывности ме-



таллургического производства. Уже сейчас доменный и прокатный переделы в некоторых случаях могут рассматриваться как непрерывные процессы. Однако в сталеплавильном производстве до сих пор преобладают процессы периодического (дискретного) характера. Поэтому ученые постоянно стремятся создавать схемы «непрерывности». К числу таких схем может быть отнесена хотя бы следующая: прямое восстановление железа — расплавление окатышей в электропечи — рафинирование и доводка расплава в ковше — разливка на УНРС — прокатка на непрерывном стане. Схема может оказаться весьма экономичной вследствие уменьшения протяженности заводских коммуникаций, повышения выхода годного продукта, снижения потерь тепла и, кроме того, предоставляет все условия для максимальной автоматизации производства.

В наиболее развитых промышленных странах мира ведутся работы по созданию непрерывного сталеплавильного процесса и агрегата для его реализации — САНД. Разработанные варианты основаны на принципе осуществления в потоке известных металлургических реакций, хотя их и отличает методология действия и конструкционное оформление.

Непрерывный сталеплавильный процесс за последние годы все больше и больше привлекает внимание специалистов, поскольку, например, в Японии считают, что непрерывная выплавка стали со временем вытеснит дискретные способы. Уже сейчас вкладываются большие средства в развитие этого способа. В нашей стране работы по проблеме САНД ведутся такими институтами, как ЦНИИчермет, ВНИИметмаш, МИСиС на опытно-промышленных и опытных установках.

Сказанным, конечно, не исчерпывается перечень новых направлений и важных тенденций в развитии сталеплавильного производства. Мы постарались привлечь внимание читателя лишь на то, что в настоящее время нам представляется наиболее интересным и важным.

### Производство проката

В конечном итоге технический уровень черной металлургии и ее возможности определяются уровнем развития прокатного производства. Именно оно в подавля-

ющем большинстве обеспечивает металлообрабатывающую промышленность товарной продукцией определенного сортамента и качества. Следовательно, этой подотрасли металлургии должно быть уделено особое внимание. Именно по этой причине одновременно с настоящей работой издательство «Знание» выпускает ряд брошюр по различным вопросам прокатного производства<sup>1</sup>. Поэтому здесь мы ограничимся лишь перечнем наиболее важных тенденций, наблюдаемых на современном этапе его развития. К их числу относятся следующие:

ввод в эксплуатацию мощных высокопроизводительных станов для прокатки заготовок максимального веса, допускаемого технико-экономическими условиями производства конкретного вида проката;

резкое увеличение масштабов использования в качестве исходного металла листовых слэбов (заготовок) с УНРС;

использование для нагрева металла печей с шагающим подом, а также с электрообогревом;

максимально возможная реализация принципа непрерывности технологических операций при прокатке и отделке;

расширение и оптимизация сортамента прокатной продукции, (увеличение доли листового проката, выпуск новых фасонных профилей, производство проката с покрытиями и т. п.);

повышение механических свойств, точности размеров и улучшение состояния поверхности проката;

применение комплексной механизации и автоматизации технологических процессов с использованием ЭВМ.

Производительность новых широкополосных станов горячей прокатки — до 4,5 млн. т в год, скорость прокатки — до 22,8 м/с. Они могут сматывать в рулоны полосы толщиной до 16 мм. Вес прокатываемых рулонов достигает 45 т. На многоклетевых непрерывных широкополосных станах холодной прокатки вес рулонов до 50 т.

Среди вновь вводимых в эксплуатацию сортовых станов преобладают мелкосортные, проволочные и станы

<sup>1</sup> См.: А. И. Целиков. Прокатные станы: настоящее и будущее. М. «Знание». 1974.

для прокатки широкополочных балок. На проволочных станах скорости прокатки возросли до 50 м/с.

Ширится производство особо тонкой белой жести электролитического лужения, жести-фольги, горячей электролитически оцинкованной полосы, оцинкованного сортового проката, полосовой стали с алюминиевыми покрытиями, хромированной полосы и т. д. Много внимания уделяется индукционному нагреву особенно непрерывнолитых заготовок. Такой метод способствует малому окислению металла и снижению инерционности нагрева.

По-видимому, следует обратить внимание на прокатку металла в вакууме. Первый вакуумный стан был создан в нашей стране в Физико-техническом институте АН СССР для деформации тугоплавких и редких металлов. Имеются сообщения о постройке лабораторного вакуумного стана в США и Японии.

Считают, что в черной металлургии такие станы могут оказаться весьма перспективными при производстве многослойных материалов и в первую очередь наиболее простых композиций — биметаллов. Чистые, или, как говорят, ювенильные, поверхности, образующиеся при обработке в вакууме, обеспечивают создание композиций высокого качества. Сегодня этим методом получено много биметаллов, например титан — нержавеющая сталь, титан — алюминий, сталь — серебро и др. Для них характерна исключительно высокая прочность сцепления слоев. Обычно при попытках оторвать друг от друга слои биметалла разрушение происходит не по месту соединения, а по слою сплошного металла.

Заметим, что развитие прокатного передела невозможно без использования средств автоматизации. А это, в свою очередь, требует создания и широкого использования специальных приборов-датчиков, действие которых основано на бесконтактных измерениях различными методами (рентгеноскопии, ультразвуковыми, оптическими и т. п.).

## Использование новейших достижений науки и техники в металлургии

До сих пор мы рассматривали тенденции развития черной металлургии на базе ранее известных техниче-

ских решений и научных выводов. Однако в период научно-технической революции высокими темпами развиваются лишь те отрасли техники, в которых фундаментальные научные исследования предшествуют инженерным решениям. Это характерно для ядерной энергетики, ракетостроения, кибернетики и т. д. Напротив, в металлургии наблюдается тенденция не прогнозирования, а лишь объяснения ранее возникших процессов, в то время как задача любой теории — предсказание новых явлений, создание на этой основе новых процессов и соответствующей техники.

Причина отставания теории металлургических процессов была ясна еще академику А. А. Байкову, который отметил, что «металлургия только тогда превратится из искусства в науку, когда будут изучены свойства металлов в жидком состоянии». Он подчеркивал, что главное препятствие в развитии теории металлургических процессов — отсутствие надежных методов определения физико-химических свойств вещества при высоких температурах и, как следствие, отсутствие представлений о структуре расплавов и механизме важнейших реакций сталеварения.

Другая причина отставания металлургической науки — недооценка практиками ее роли.

Настало время, когда следует обратить особое внимание на то, чтобы создание новых способов производства опиралось на развитую теорию металлургических процессов. Следует согласиться с профессором А. А. Вертманом в том, что конечный результат науки металлургии — предвидение и обоснование возможных инженерных решений. Согласившись с этим, следует признать первоочередность интенсификации научных работ в следующих направлениях:

создание объективных методов и средств исследования металлических и шлаковых расплавов;

создание научных основ управления формообразованием в процессе разлива;

прогнозирование на теоретической основе новых технологических процессов.

Кратко рассмотрим эти направления и возможное их влияние на будущее черной металлургии.

В СССР академиком А. М. Самариным и его сотрудниками, по-видимому, ранее, чем в других странах, поставлены широкие исследования свойств расплавов.



Для этих целей применялись определенные средства и методы. А. М. Самарин пришел к заключению, что среди них наиболее перспективны экспериментальные методы измерения структурно-чувствительных свойств расплавов (т. е. свойств, зависящих от структуры расплава, например электропроводности). Многие из них позволяют проводить бесконтактные измерения с достаточно высокой точностью. Последнее обстоятельство и способствовало тому, что бесконтактные измерения структурно-чувствительных свойств стали основным источником информации о природе расплавов. Ныне удается в широком диапазоне температур измерять вязкость, электропроводность, магнитную восприимчивость, постоянную Холла, плотность, межфазную и поверхностную энергию, теплопроводность, теплоемкость и другие свойства.

Использование новых методов исследования позволило А. А. Вертману и А. М. Самарину получить ранее недоступную количественную информацию, обобщив которую, они сформулировали два фундаментальных положения:

1. Реальные расплавы сохраняют наследственную динамическую структуру соответствующих твердых фаз, обладающую значительной термической устойчивостью.

2. Реальные расплавы представляют собой дисперсные системы, диспергированная фаза которых достаточно стабильна.

По-видимому, столь же важен вывод о влиянии различных факторов на свойства жидкого расплава.

Результаты этих работ — важный вклад в науку, они с большим эффектом могут быть использованы в практике. В частности, авторы считают, что на их основе можно создать новые типы приемников входной информации автоматизированных систем. Особенно же важно знание того, что воздействие на состав, количество, форму, размер и состояние границ областей микро-неоднородности в расплаве оказывает влияние на свойства закристаллизовавшейся твердой фазы.

Теоретические исследования приводят к ощутимым практическим результатам. Так, установлены зависимости плотности и электропроводности жидкой стали от содержания в ней углерода. По изменению этих физических критериев можно непрерывно автоматически контролировать окислительные процессы в любом пла-

вильном агрегате; по связи между кислородом и электропроводностью — ожидаемое содержание неметаллических включений в готовом прокате, по изменению плотности по сечению кристаллизующегося металла — соотношение между количеством (толщиной) твердой и жидкой фазы в слитке, литой заготовке УНРС и т. п.

Как видим, прямая связь между источником информации и регулятором легко может быть реализована при изучении свойств жидкого расплава. Одновременно появляется возможность математически описать процесс не по качественным характеристикам, а по физическим критериям, что существенно облегчает создание нужной аппаратуры.

Однако значение работ А. А. Вертмана и А. М. Самарина этим не исчерпывается. Их выводы могут быть использованы и для осуществления активного воздействия на металлургические процессы, хотя, как отмечают сами авторы, практическая реализация их идей на современном уровне развития техники достаточно сложна. В частности, они рассматривают следующие примеры.

Центрифугирование металла способствует укрупнению диспергированной в нем фазы и ее перераспределение по размерам. Процесс может быть осуществлен во вращающемся магнитном поле, когда расплав — это как бы ротор асинхронного двигателя. В этом случае, благодаря очистке от неметаллических включений, собирающихся в центре воронки, и механическому дроблению кристаллов, меняется структура отливки.

Сепарировать включения можно, и не вращая расплав. Если расплав помещен в скрещенные электрические и магнитные поля, имеет место эффект кажущегося изменения плотности, причем даже при сравнительно небольших по напряженности магнитных полях можно его утяжелить в 10—12 раз, что и подтверждается экспериментом. Легко показать, что соответственно возрастет скорость всплывания неметаллических включений.

Известно, что опасность неметаллических включений в металле уменьшается с уменьшением их размера. Один из методов, способствующих измельчению, — повышению давления при кристаллизации. По данным А. М. Самарина, повышение давления в системе с жидким металлом до 5—6 ат способствует измельчению неметаллических включений в стальной отливке, повыша-

ет ее плотность. При более высоком давлении можно ожидать измельчения структуры металла и даже резкого повышения его прочности. Последнее, по-видимому, требует пояснения.

С увеличением давления возрастает вязкость расплава, поэтому при каком-то его значении затруднительно формирование упорядоченного расположения атомов в кристаллической решетке, т. е. создадутся условия, при которых можно получить металл в псевдожидком состоянии. А такой металл должен обладать уникальными прочностными свойствами.

На примере работ А. М. Самарина и его учеников видно, сколь плодотворен принцип использования результатов фундаментальных теоретических исследований. Однако из поля зрения металлургов ни в коем случае не должны выпадать достижения и других наук, например физики, микробиологии, геологии, которые могут существенно повлиять на обеспечение отрасли энергией, сырьем нужного качества и в потребных количествах, на оптимизацию технологических процессов и т. п.

Известно, что металлургия — одна из наиболее энергоемких отраслей промышленности. Поэтому в наиболее развитых в техническом отношении странах ведутся работы по использованию, как уже говорилось, в процессе производства черных металлов энергии атомных реакторов — тепловой энергии веществ-охлаждающих. Тепло охлаждающего реактор газа может быть использовано также для получения восстановительной смеси из окиси углерода и водорода газификацией твердого топлива, конвертированием природного газа либо жидкого топлива. Низкая стоимость тепловой энергии, полученной в атомных реакторах, делает ее весьма перспективной.

По расчетам, выполненным в США, при использовании атомной энергии для производства губчатого железа методом прямого восстановления и выплавке стали в электропечах на вновь сооружаемом заводе мощностью 2 млн. т в год капитальные затраты окажутся на 53% меньше, чем при сооружении такого же завода с доменным и кислородно-конвертерным производством. Стоимость стали может быть уменьшена на 7—10%. В Японии пришли к еще более оптимистичным выводам. Здесь считают, что при получении тепла и электроэнергии от атомного реактора и производстве губчатого же-

леза с использованием природного газа стоимость стали, выплавленной в электропечах, будет равна примерно 40% от стоимости стали, полученной обычным способом.

К числу наиболее вероятных потребителей тепловой энергии атомных реакторов, по-видимому, следует отнести и доменные цехи. Здесь она может быть использована для выплавки чугуна, нагрева дутья, получения и нагрева восстановительного газа.

В Японии изучают техническую и экономическую возможность использования атомной энергии для нагрева стали перед прокаткой. Имеется заключение об экономичности металлургического завода мощностью 10 млн. т в год с атомной электростанцией.

Существенна та деталь, что реактор — идеальный источник тепла для металлургии, поскольку он не зависит от наличия топлива и воды, что всегда лимитирующий фактор при строительстве металлургических заводов.

Для нашей страны проблема использования энергии атомных реакторов весьма важна. Доказательно, что строительство атомных электростанций (АЭС) целесообразно почти на всей европейской части СССР. С течением времени граница экономической целесообразности развития атомной энергетики будет смещаться к Востоку и около 1985 г. продвинется за Урал.

Пуск названных электростанций безусловно существенно повлияет на топливно-энергетический баланс страны и тем самым будет способствовать развитию черной металлургии. Однако несмотря на внешнюю простоту, решение проблемы использования атомной энергии в черной металлургии требует решения многих практических вопросов. К их числу относятся следующие:

повышение температуры отходящих от реактора газов более чем до 1000°С;

создание печей, по своей производительности способных конкурировать с доменными печами;

разработка материалов для теплообменников, не пропускающих водород (гелий);

обеспечение безопасных условий работы и т. д.

Имеются сообщения, что японская ассоциация черной металлургии создала специальный комитет для организации работ по изучению возможности использования атомной энергии. При комитете имеются подкорми-



теты, занимающиеся целенаправленными исследованиями в различных направлениях: разработкой теплообменников, технологий производства восстановительного газа, совершенствованием процессов получения восстановленного сырья, разработкой теплоизоляционных материалов. В США исследовательские работы по использованию атомной энергии в металлургии не ведутся. Однако существуют специальные научные подразделения, которые скрупулезно обобщают и изучают опыт других стран.

Истощение запасов ископаемого топлива и загрязнение атмосферы из-за его сжигания заставляют ученых искать новое горючее. Очень перспективным представляется использование водорода — топлива, которое за счет ядерной или другой энергии можно в неограниченном количестве получить из воды и которое после использования снова превращается в воду, процесс не наносит ущерба окружающей среде. Очевидно, водород станет главным поставщиком энергии для человечества. На первом этапе он будет использоваться предприятиями общественными, а затем промышленностью взамен природного газа. По-видимому, до этого момента еще несколько десятилетий. Однако в США намерены использовать водород уже через 10 лет в бездымных двигателях для транспортных средств. Широкое применение найдут гидриды металлов, разлагающиеся при нагревании. Работы по экономичному получению водорода из воды ведутся еще во многих странах мира — Франции, Италии и др.

Поскольку металлургические процессы осуществляются, как правило, при температурах более  $1000^{\circ}\text{C}$ , наряду с совершенствованием конструкций агрегатов и технологических схем совершенствуют известные и создают новые нагревательные устройства. К последним относятся плазменные горелки различных типов.

Простота устройства, широкий диапазон рабочих характеристик, возможность использования значительных мощностей и концентрация огромной тепловой энергии в малом объеме, высокая скорость нагрева газа открывают плазменному нагреву широкую дорогу в черную металлургию.

Плазмой называют ионизированную газовую систему, общий электрический заряд которой равен нулю. Другими словами, плазма представляет собой ионизи-

рованный газ, для которого с достаточной точностью соблюдается условие квазинейтральности.

Различают «горячую» (высокотемпературную) и «холодную» (низкотемпературную) плазму. В первом случае степень ионизации частиц близка к единице, во втором — около 1%, а температура соответственно составляет сотни тысяч градусов и  $5000\text{--}30\,000^{\circ}\text{K}$ . Как видим, для осуществления современных металлургических процессов наиболее приемлема низкотемпературная плазма. Поэтому ниже речь пойдет только о ней.

Низкотемпературную плазму можно получить либо термической ионизацией, либо ионизацией электрическим зарядом. Последний способ более распространен. Чаще всего плазму возбуждают дуговым разрядом. В плазмотронах, действующих по этому принципу, удается получить более высокие температуры.

При плавке металлов тепловая энергия чаще всего передается плазменной дугой (в принципе возможна также передача плазменной струей или стабилизированной дугой). Получают плазменную дугу при пропускании постоянного или переменного тока через плазменную струю дугового плазмотрона. В этом случае основная доля электрической энергии передается непосредственно дуговым разрядом, что обеспечивает высокий коэффициент полезного действия.

Большое достоинство дуговых плазмотронов — способность нагревать любые материалы, в том числе и неэлектропроводные. Свойства и параметры плазменной дуги в значительной степени зависят от свойств плазмообразующего газа, в качестве которого обычно применяют аргон, гелий, азот, водород или газовые смеси. Помимо нагрева металла плазменной дугой, в зависимости от выбора плазмообразующего газа можно осуществлять его нитридное упрочнение (азот), раскисление (водород), окисление примесей (кислород) и другие процессы.

В принципе плазменный нагрев может быть использован в нагревательных устройствах различных типов и назначения. В сталеплавильном производстве наиболее перспективным считают схемы с плазмотронами прямого действия (анод — ванна расплавленного металла). Их преимущества — почти неограниченная возможность повышения мощности и высокий КПД.

Как правило, плазменно-дуговые печи бывают двух

типов: с керамическим тиглем и водоохлаждаемым кристаллизатором. Первые практически не отличаются от обычной дуговой печи. Охлаждаемый анод смонтирован заподлицо с подиной и находится в контакте с жидким металлом. Неплавящийся катод плазмотрона выполнен из вольфрамового прутка, зажатого в медной токоведущей штанге. Медное водоохлаждаемое сопло плазмотрона одновременно служит для поджига дуги, ее формирования и защиты катода от брызг металла и шлака. Для плавки используют плазмотроны постоянного тока в несколько тысяч ампер. Напряжение дуги в зависимости от ее длины, состава газа и его расхода изменяется в пределах 30—150 В.

По сравнению с другими способами плазменная плавка имеет следующие преимущества: исключается загрязнение металла нежелательными примесями, например углеродом из графитовых электродов; плазменная дуга может быть образована необходимой смесью газов, что позволяет поддерживать в печи любую атмосферу — окислительную, восстановительную или нейтральную; в плазменно-дуговых печах можно достичь высоких и легко регулируемых температур, а стабильность процесса упрощает проблему его регулирования.

Фирма «Линде», США, серийно выпускает плазменно-дуговые печи емкостью 0,9—9,0 т для плавки металлов. Стойкость их огнеупорной футеровки не отличается от таковой в дуговой электропечи. Усвоение легирующих элементов переплавляемых сталей высокое. Подобные 3-тонные печи эксплуатируются в ГДР. Имеются сведения о работе более крупных печей в СССР и ФРГ.

Большие перспективы открывает плазменно-дуговой переплав в водоохлаждаемом кристаллизаторе (ПДП), разработанный в нашей стране.

Среди других вариантов использования плазменной дуги обратим внимание на следующий. Японская фирма «Дайдо сэйко» серийно производит индукционные печи для плавки металлов, дополненно оборудованные дуговым плазмотроном. С 1968 г. их емкость увеличилась с 200 до 2000 кг. Особенности следующие:

использование взаимодействия плазменной дуги и магнитного поля индукционной катушки для перемешивания содержимого печи в процессе плавки;

использование одновременно плазменного и индукционного нагрева для плавки;

полная герметизация печи от внешней атмосферы.

В подобной печи интенсивно протекают процессы испарения серы и фосфора, а также удаления неметаллических включений и обезуглероживания. Разработана технология выплавки малоуглеродистых аустенитных и ферритных коррозионностойких сталей. Недостаток ее — наличие подового электрода.

Развитие плазменно-дугового переплава в ближайший период будет определяться решением следующих технологических вопросов:

1. Созданием мощных плазмотронов постоянного тока и источников питания к ним.

2. Разработкой и созданием плазмотронов переменного тока.

3. Применением замкнутой системы рециркуляции и регенерации рабочего газа.

4. Созданием промышленных плазмотронов постоянного и переменного тока, в том числе с полым кольцевым катодом, для подогрева металла в ковше с целью компенсации тепловых потерь при рафинирующей обработке в промежуточной емкости и в струе при непрерывной разливке стали и др.

Естественно, перспективы применения плазменного нагрева не исчерпываются сталеплавильным производством. Ожидается, что он проникнет в доменное и прокатное производства. Мы остановились лишь на наиболее разработанном в настоящее время варианте его применения.

Из числа новых процессов, не имеющих аналогов, следует выделить процесс, который, по-видимому, будет играть в металлургии большую роль и который еще не получил названия. Речь идет об использовании микроорганизмов для добычи минерального сырья, извлечения металлов из руд и т. п. По-видимому, следуя за С. И. Кузнецовым и его сотрудниками, новое направление в металлургии следовало бы назвать металлургической микробиологией.

Микроорганизмы осуществляют множество таких реакций, которые до сих пор еще не поняты специалистами. Они могут перерабатывать практически любые виды сырья как органического, так и минерального. Не-



обходима лишь определенная культура бактерий. Вот далеко не полный перечень продуктов их питания: полиэтилен, нейлон, белая глина, дизельное топливо, алюминий, яды, кислоты и т. д. и т. п.

Еще в 1888 г. С. Н. Виноградский высказал гипотезу о том, что богатейшие отложения железных руд, известных под названием болотных, озерных, луговых, обязаны своим происхождением деятельности железобактерий. В настоящее время у геохимиков уже не вызывает сомнения бактериологическое происхождение, например, таких месторождений, как Криворожское в СССР и Железное плато в США, громадных скоплений железно-марганцевых конкреций и сернистого железа на дне Мирового океана.

Железобактерия является одним из видов микроорганизмов, многие из которых до сих пор еще не обнаружены. В свете современных представлений железобактерии поглощают растворенное в воде закисное железо и превращают его в нерастворимый гидрат окиси железа, а освободившийся при этом электрон ассимилируют. На каждый 1 г прироста этих бактерий требуется около 400 г железа, которое осаждается на дне водоемов, причем их жизнедеятельность может протекать без света и воздуха.

Представление о железобактерии дало толчок открытию целого класса минералообразующих бактерий. Обнаружены микробы, которые «питаются» марганцем, молибденом, ванадием, фосфатами, серой, медью, цинком, даже ураном. Однако наряду с минералообразующими бактериями существуют и их антиподы — бактерии разрушители минералов.

В зависимости от поставленной задачи в принципе можно культивировать определенный вид бактерий с селективным источником питания и использовать их для комплексной переработки руд, извлечения примесей из металлургического сырья (руд, кокса, газообразного топлива и т. п.). В частности, большого внимания в этой связи заслуживает извлечение серы, фосфора, ванадия, редкоземельных металлов и других примесей.

Имеются сообщения о том, что уже сейчас бактерии находят промышленное применение при производстве антибиотиков, некоторых витаминов, кормового белка и т. п. В Онтарио, Канада, бактериологическим способом получают ежемесячно около 5 тыс. т окиси урана.

Первая в мире установка бактериологической добычи меди построена в 1964 г. на Дегтярском руднике, на Урале по проекту кандидата технических наук А. И. Голмзина. Стоимость полученной меди оказалась в 4 раза меньше, чем обычно; горнометаллургический процесс превратился в бактериально-химический. На бактериологическую добычу меди в 1972 г. полностью переведен Блевинский рудник. В Мексике этим способом добывают медь из отвалов в количестве около 650 т в месяц при исходном ее содержании 0,2%.

Большое внимание в последнее время уделяется проблеме использования богатств Мирового океана. В частности, в Японии считают, что в текущем пятилетии финансирование работ, направленных на ее решение, может явиться одним из наиболее эффективных путей увеличения национального дохода. И это не случайно: в Мировом океане есть все элементы, запасы их неисчислимы. Поэтому академик Л. А. Зенкевич считает, что методу биологической концентрации нужных человеку веществ из морской воды принадлежит будущее.

Другая проблема, решить которую можно, используя бактерии, — очищение биосферы от индустриальных загрязнений — ядохимикатов, продуктов сгорания различных видов топлива, нефтепродуктов, сернистых соединений, пластмасс и т. п.

Вопрос о «бактериях-металлургах» и «бактериях-санитарах» имеет самое непосредственное отношение к развитию отрасли. Поэтому у нас не вызывает сомнения, что настало время уделить ему должное внимание.

Богатства Мирового океана могут быть использованы и более привычными способами. Разработана технология добычи и обогащения железосодержащих морских песков подводных россыпей. Установлена возможность получения в морских условиях железнорудных концентратов, содержащих 52,2—52,5% железа. Доводка такого концентрата на борту специализированного судна или в стационарных условиях позволяет повысить содержание железа в концентрате до 56—59,5%. Себестоимость такого концентрата, полученного в условиях Черного моря, в 2,2 раза ниже себестоимости дашкесанских концентратов.

В настоящей работе мы коснулись ряда проблем, поставленных перед черной металлургией как растущими потребностями общества, так и успехами современной науки. Их перечень можно продолжить. Однако, по мнению автора, задача книжки — привлечь внимание читателя не к отдельным явлениям, а к общему процессу развития научно-технической революции и показать, как неисчерпаемы резервы черной металлургии на современном этапе ее развития.

## Литература

Материалы XXIV съезда КПСС. М., Политиздат, 1971.

Белостоцкий А. А., Чухман В. А. Исследование и организация производства при создании автоматизированных систем управления. М., «Металлургия», 1971.

Бюлл. ин-та «Черметинформация», 1973, № 1(693), с. 3—11.

Бюлл. ин-та «Черметинформация», 1973, № 1(693), с. 1—7.

Бюлл. ин-та «Черметинформация», 1972, № 17(685), с. 3—21.

Бюлл. ин-та «Черметинформация», 1973, № 14(706), с. 60—61.

Вертман А. А., Самарин А. М. Методы исследования свойств металлических расплавов. М., «Наука», 1969.

Вертман А. А., Самарин А. И. Свойства расплавов железа. М., «Наука», 1969.

Воинов С. Г., Шалимов А. Г., Косой Л. Ф., Калинин Е. С. Рафинирование стали синтетическими шлаками. М., «Металлургия», 1970.

Калинников В. С. Вакуум в производстве стали. М., Металлургиздат, 1962.

Казанец И. П. Металлургия на рубеже новой пятилетки. М., «Металлургия», 1971.

Казанец И. П. Черная металлургия в девятой пятилетке. М., «Металлургия», 1972.

Князев В. Ф., Гиммельфарб А. И., Неменов А. М. Бескоксная металлургия железа. М., «Металлургия», 1972.

Крейчик Э. и др. Основы автоматизации для металлургов. М., «Металлургия», 1973.

Попов Л. И. Повышение эффективности металлургического производства. М., «Металлургия», 1972.

«Сталь», 1974, № 4, с. 305—307.

Самарин А. М. Наука и человечество. М., Изд-во АН СССР, 1972, с. 346—357.

Фарнасов Г. А. Плазменная плавка. М., «Металлургия», 1968.

Черная металлургия капиталистических стран в 1966—1970 гг. Краткий обзор. Бюлл. ин-та «Черметинформация», 1971.

Черная металлургия. ВИНТИ. Экспресс-информация, 1972, № 39, с. 17—22.

Черная металлургия капиталистических стран. Сталеплавильное производство. «Черметинформация», 1971.

Черная металлургия, ВИНТИ, Экспресс-информация, 1974, № 5, с. 28—30.

Черная металлургия, ВИНТИ, Экспресс-информация, 1974, № 15, с. 1—11.

«Черные металлы», 1973, № 15, с. 3—9.

Экономическое положение капиталистических и развивающихся стран. Обзор за 1972 и начало 1973 г. М., «Правда», 1973, с. 23—27.



## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие . . . . .	3
Организационно-технические вопросы . . . . .	5
Одноступенчатая схема металлургического производства . . . . .	5
Важнейшие тенденции в организации металлургического производства . . . . .	9
Металлургический завод как объект управления . . . . .	17
Совершенствование современных металлургических агрегатов и технологии . . . . .	21
Производство чугуна . . . . .	21
Производство стали . . . . .	25
Производство проката . . . . .	48
Использование новейших достижений науки и техники в металлургии . . . . .	50
Литература . . . . .	62

**КАЛИННИКОВ Евгений Сергеевич**

**ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ:  
РЕАЛЬНОСТЬ И ТЕНДЕНЦИИ**

Редактор **Г. И. Флиорент**

Обложка **В. Б. Лукин**

Худож. редактор **Т. И. Добровольнова**

Технич. редактор **А. М. Красавина**

Корректор **И. Л. Казеко**

А 12696. Индекс заказа 55002. Сдано в набор 13/XII 1974 г. Подписано к печати 10/XII 1974 г. Формат бумаги 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>. Бумага типографская № 3. Бум. л. 1. Печ. л. 2. Усл.-печ. л. 3,36. Уч.-изд. л. 3,45. Тираж 67 990 экз. Издательство «Знание». 101835, Москва, Центр, проезд Серова, д. 3/4. Заказ 2467. Типография Всесоюзного общества «Знание», Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.  
Цена 11 коп.