

РАБОТА ДОМЕННОЙ ПЕЧИ НА КИСЛОРОДНОМ ДУТЬЕ*)

Инж. М. А. ШАПОВАЛОВ

Инженер Михаил Антонович Шаповалов руководил опытными работами по выплавке ферросплавов в доменной печи на кислородном дутье. Эти опыты велись в 1940—41 гг. на Днепродзержинском заводе металлургического оборудования (ДЗМО).

В настоящее время тов. Шаповалов работает в конструкторской группе Главкислорода по проектированию доменных печей на кислородном дутье. В декабре прошлого года он защитил диссертацию на учёную степень кандидата технических наук.

Вступление

Как известно, источниками тепла в доменной печи является горение углерода топлива и физическое тепло, вносимое нагретым дутьем. Небольшое количество тепла получается также в результате химических реакций при шлакообразовании.

Для сжигания одного килограмма углерода в горне доменной печи требуется $0,933 \text{ м}^3$ кислорода или $4,48 \text{ м}^3$ обычного воздуха. При этом образуется $1,86 \text{ м}^3$ окиси углерода и $3,47 \text{ м}^3$ азота. Содержащийся в газе азот не принимает участия в химических реакциях и удаляется с продуктами горения. При сжигании одного килограмма углерода выделяется 2407 калорий тепла. Вдуваемый воздух, нагретый до 800° , добавляет ещё 1150 калорий. Таким образом, на каждый килограмм сжигаемого топлива в печи образуется 3557 калорий. Теоретическая температура горения в печи при этом достигает 2000° . При такой температуре отходящие газы могут оставить в горне печи не больше 825 калорий тепла на килограмм сжигаемого углерода.

Обогащение дутья кислородом уменьшит количество воздуха, необходимого для сжигания углерода. Это уменьшение численно равно сокращению содержания азота в дутье. Соответственно уменьшится и количество газов, образующихся в результате горения. Таким образом, станет меньше и количество тепла, вносимое нагретым дутьем. Следовательно, с повышением содержания кислорода в дутье печь недополучит некоторое количество тепла извне; это тепло должно быть компенсировано за счёт дополнительного сжигания топлива.

С другой стороны, благодаря уменьшению количества газов, получающихся от сгорания

углерода, повысится теоретическая температура горения (см. таблицу I).

Таблица I

Зависимость теоретической температуры горения и количества газов от изменения содержания кислорода в дутье

| Содержание кислорода в дутье в % | Количество воздуха в м^3 на 1 кг углерода | Количество газов в м^3 на 1 кг углерода | Физическое тепло дутья в кал. на 1 кг углерода | Теоретическая температура в градусах Ц |
|----------------------------------|--|--|--|--|
| 21 | 4,48 | 5,4 | 1150 | 2000 |
| 30 | 3,4 | 4,03 | 785 | 2300 |
| 35 | 2,7 | 3,63 | 680 | 2450 |
| 40 | 2,4 | 3,33 | 604 | 2600 |
| 50 | 1,91 | 2,84 | 480 | 2840 |
| 60 | 1,6 | 2,53 | 405 | 3070 |

Вследствие повышения температуры пламени увеличится разность температур между газом (теплоотдающей средой) и чугуном и шлаком (теплопоглощающей средой), благодаря этому увеличивается интенсивность теплопередачи. Так, например, при содержании кислорода в дутье в количестве 30% теплопередача увеличивается примерно в 1,7 раза по сравнению с обычным дутьем. Уменьшение количества газов повысит их теплоотдачу в области выше критических температур (выше 1500°) и соответственно уменьшит унос тепла в области умеренных и низких температур. Распределение тепла по температурным областям доменной печи, в зависимости от содержания кислорода в дутье, представлено графически на рис. 1. Нетрудно заметить, что с повышением содержания кислорода увеличивается количество тепла в области выше кри

*) Доклад на заседании Технического совета Главкислорода 21 сентября 1943 г.

тических температур и уменьшается количество тепла в области умеренных и, особенно, в области низких температур.

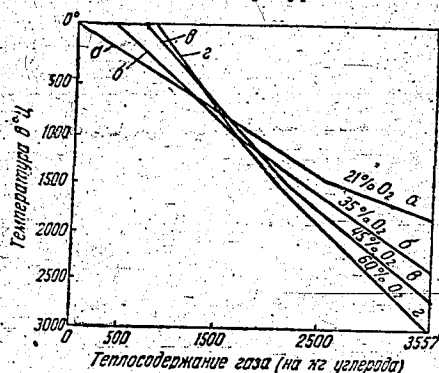


Рис. 1. Распределение тепла по температурным областям, доменной печи в зависимости от содержания кислорода в дутье.

На рис. 2 представлено изменение теплосодержания газов в области температур выше 1500° в зависимости от содержания кислорода в дутье, нагретом до 800°, и холодном. Из сказанного следует, что применение дутья,

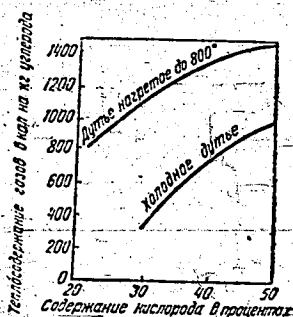


Рис. 2. Изменение теплосодержания газов в зависимости от количества кислорода в дутье, при температурах выше 1500° Ц.

обогащенного кислородом, вызывает следующие изменения процессов, происходящих в доменной печи: а) повышается теоретическая температура горения; б) уменьшается количество образовавшихся газов; в) повышается интенсивность теплопередачи; г) увеличивается теплоотдача в области температур выше критических и соответственно уменьшается унос тепла в области низких температур.

Благодаря указанным изменениям доменная печь становится более совершенной; открываются совершенно новые возможности

эффективной выплавки в ней таких продуктов, которые при обычном дутье вовсе не получаются или получают с весьма низкими технико-экономическими показателями, делающими этот процесс нецелесообразным.

Ниже подробно рассказывается о работе экспериментальной доменной печи на Днепрпетровском заводе металлургического оборудования. На этой домне были проведены успешные опыты по выплавке специальных чугунов на дутье, обогащенном кислородом. Мы останавливаемся также на вопросах получения передельного чугуна, алюмосиликата и портланд-цемента в доменных печах с кислородным дутьем. В заключении рассказывается о новых возможностях использования коксового и коксового газов при применении кислородного дутья в металлургическом производстве.

Выплавка ферросплавов

Выплавка ферросплавов в доменной печи на обычном дутье сопровождается большим расходом кокса, по крайней мере в два раза превышающим его расход при выплавке обычных чугунов. Кроме того, при выплавке ферросплавов производительность домы резко понижается — до 30—40% от нормальной производительности при выплавке обычного чугуна. Большой расход кокса при выплавке ферросплавов объясняется тем, что восстановление таких элементов, как марганец, хром, кремний, требует значительно большего количества тепла, чем восстановление железа. Кроме того, при выплавке ферросплавов необходима высокая температура в горне доменной печи, где теплоотдача газов при работе на обычном дутье относительно невелика. Чтобы обеспечить высокую температуру в этой области печи, приходится затрачивать большое дополнительное количество горючего. В результате этого в печи в областях низких и умеренных температур получается большой избыток тепла, который здесь не может быть использован и уносится газами, покидающими печь при температуре 500—600°. Обогащение дутья кислородом повысит теплоотдачу газов в горне, поэтому для покрытия потребности тепла в этой области требуется меньший расход топлива. Расчёты показывают, что при выплавке ферросилиция в доменной печи на дутье с содержанием 35% кислорода расход углерода составит 0,8—0,9 на единицу сплава вместо 1,4—1,5 при обычном дутье, т. е. расход углерода будет ниже на 30—35%.

Высокая температура пламени, вызванная повышением содержания кислорода в дутье, обеспечит ускорение реакции восстановления ведущего элемента, что позволит форсировать ход доменной печи почти до такой же степени, как и при выплавке чугунов обычных марок. С уменьшением расхода кокса сократится и объём шихтовых материалов на тонну ферросплава. Таким образом, за счёт форсирования плавки и уменьшения удельного объёма шихты производительность доменной печи при выплавке ферросплавов должна увеличиться по крайней мере в 2,5—3 раза.

При выплавке ферромарганца в обычной доменной печи вследствие недостатка тепла в зоне высоких температур потери марганца в шлак достигают 15—20%. Кроме того, ввиду высокой температуры и большого количества газов, уходящих из печи, около 10% марганца испаряется и уносится отходящими газами. Таким образом, при выплавке ферромарганца в доменных печах на обычном дутье использование марганца, загружаемого в печь, составляет не больше 70—80%. С переходом на дутьё, обогащённое кислородом, представится возможность держать более основные шлаки за счёт окиси кальция, что значительно улучшит восстановление марганца, и потери его в шлак уменьшатся до 3—5%. Потери марганца в виде паров будут ничтожны, так как количество газов, уходящих из печи, уменьшится больше чем в 2 раза и температура этих газов понизится примерно во столько же раз. Следовательно, при выплавке ферромарганца на кислородном дутье кроме сокращения расхода кокса и увеличения производительности уменьшатся потери марганца. Это даст экономию около 130 кг марганца на тонну ферросплава. Следует добавить, что при работе печи на кислородном дутье представится возможность выплавать такой важный комплексный раскислитель, как силико-марганец. Попытки выплавить его в доменной печи на обычном дутье производились за границей и у нас, но успеха не имели. Трудности получения силикомарганца заключаются в том, что требуется одновременно восстановить в большом количестве кремний и марганец. Для успешного восстановления марганца нужно иметь основные шлаки, за счёт повышенного содержания окиси кальция, тогда как для восстановления кремния необходимы кислые шлаки, получающиеся при повышенном содержании кремнезёма. Совместить одновременно эти шлаки в доменной печи невозможно, и поэтому приходится подбирать

«промежуточный» шлак, который может удовлетворить условиям восстановления кремния и марганца. Для успешного восстановления этих элементов, особенно при сравнительно неблагоприятных шлаках, необходимо держать более высокую температуру в горне печи, а это может быть достигнуто повышением содержания кислорода в дутье.

В настоящее время в доменных печах выплавляют только относительные низкопроцентные ферросплавы. Получение в домнах ферросплавов с большим содержанием специальных элементов на обычном дутье практически невозможно, так как при этом на единицу конечного продукта понадобилось бы расходовать 4—5 единиц горючего. Но это экономически невыгодно и технически недопустимо хотя бы потому, что температура колошниковых газов в этом случае превысит 1000°. Под действием столь высокой температуры быстро наступит разрушение засыпного устройства печи и возникнет много других непреодолимых трудностей в работе. Как показывают расчёты, обогащение дутья кислородом позволит выплавать 35—40%-ный ферросилиций, а также силикохром с содержанием 50—55% хрома, при расходе 2,5—3 т горючего на тонну ферросплава. При этом благодаря концентрации тепла в горне печи и уменьшению количества колошниковых газов их температура будет не выше 350—400°, что вполне допустимо. Таким образом, выплавка ферросилиция, содержащего 30—40% кремния, силикохрома и феррохрома с теплотехнической стороны вполне осуществима. Затруднения могут возникнуть в подборе первичного шлака, который при расчёте шихты на получение 30—40% ферросилиция должен содержать более 70% кремнезёма. Такой шлак будет иметь температуру плавления выше 1500°. В области начала шлакообразования такой высокой температуры при кислородном дутье достигнуть не удастся. Следовательно, шлак при этих условиях не будет плавиться. Для устранения этого препятствия некоторое количество кремнезёмистой части шихты нужно вдвухать непосредственно в горн печи через фурмы.

Получение алюмосиликата и портланд-цемента в доменной печи

Глинозёмистый (алюмосиликат) и силикатный (портланд-цемент) шлаки в отличие от обычных шлаков, получающихся при выплавке литейного или передельного чугунов, обладают

высокой температурой плавления, доходящей до 1550° . Для достижения необходимой текучести такие шлаки требуют большого перегрева, поэтому и теплосодержание их значительно выше, чем теплосодержание обычных шлаков. В настоящее время в доменных печах уже освоена в промышленном масштабе выплавка алюмосиликатных и глинозёмистых шлаков на обычном дутье. При этом на одну тонну чугуна выплавляется тонна шлака. В качестве исходного материала для выплавки глинозёмистых шлаков употребляют только богатые бокситы, в которых отношение $\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$ должно быть не меньше 6,8—7.

Применение более бедных бокситов, содержащих больше кремния и меньше глинозёма, недопустимо, так как кремнезём боксита почти полностью переходит в шлак и последний становится непригодным для получения алюминия. При кислородном дутье благодаря повышению температуры и концентрации тепла в горне печи представится возможным повысить восстановление кремния, вследствие чего в шлак перейдет меньше кремнезёма, а чугун получится с более высоким содержанием кремния. Таким образом, увеличение восстановления кремния позволит выплавлять глинозёмистый шлак желаемого состава из более бедных бокситов. Использование бедных бокситов для выплавки глинозёмистых шлаков важно потому, что природные запасы их весьма велики, а месторождения встречаются в разных частях Советского Союза. Это освобождает транспорт от дальней перевозки уральских бокситов на юг и, кроме того, значительно расширит сырьевую базу алюминиевой промышленности.

Подсчёт теплового баланса показывает, что при выплавке глинозёмистого шлака на кислородном дутье с получением литейного чугуна расход кокса составит меньше единицы, вместо 1,2—1,4 при выплавке его на обычном дутье. Получение глинозёмистого шлака из бедных бокситов с одновременной выплавкой ферросилиция требует более горячего хода печи и более высокого выхода шлака, чем при получении его с обычным литейным чугуном. Ввиду этого расход кокса должен составить не менее 2,0—2,5 т на тонну ферросилиция. При выплавке такого же ферросилиция на обычном дутье с получением обычного шлака расход кокса составляет 1,8—2 т на тонну ферросилиция. Из этого видно, что получение ферросилиция и одно-

временно глинозёмистого шлака на кислородном дутье требует более высокого расхода кокса. Зато в этом случае получается больше тонны глинозёмистого шлака, стоимость которого оценивается почти так же высоко, как и стоимость ферросилиция, тогда как обычные шлаки в большинстве случаев выбрасываются в отвалы.

В настоящее время при выплавке литейных и бессемеровских сортов чугуна в ряде случаев получают шлаки с содержанием окиси кальция около 45—46%. Такие шлаки с успехом используются в качестве сырья для получения рядовых сортов цемента и как материал для шлакобетона. Если в этом шлаке повысить содержание окиси кальция до 63%, то он станет пригодным для непосредственного приготовления портланд-цемента. Получение в доменной печи шлаков с содержанием 62—63% окиси кальция при работе на обычном дутье не представляется возможным вследствие высокой температуры плавления таких шлаков. Применение кислородного дутья устраняет это препятствие. В доменной печи, работающей на кислородном дутье, можно будет беспрепятственно получать и такой шлак. Однако, при этом возникнут другие трудности: первичные шлаки, которые образуются в заплечиках, будут иметь чрезмерно высокую температуру плавления, которая как раз в этой части печи не будет достигнута. Устранить это препятствие можно путём подачи части извести и шихты не в колошник, как обычно, а непосредственно в горн печи. Метод вдувания извести в горн печи пока ещё нигде не применялся и потребует большой экспериментальной работы. Однако, выгоды одновременного получения литейного чугуна и шлака, типа портланд-цемента, вполне очевидны. При доменной плавке вместо обычного шлака может получаться весьма ценный продукт без дополнительной затраты горючего и без дополнительных агрегатов.

Выплавка передельных сортов чугуна

Передельные чугуны в отличие от литейных, а тем более от ферросплавов содержат весьма незначительное количество трудно восстанавливаемых элементов. Поэтому для получения таких чугунов не требуется ни высокой температуры, ни большой концентрации тепла в горне печи, как это необходимо при выплавке литейных чугунов и ферросплавов. С этой точки зрения применение кислородного дутья для получения передельного чугуна

не является таким актуальным. Однако, для форсирования хода печи кислородное дутье является незаменимым средством. Известно, что основные процессы в доменной печи: горение углерода, восстановление железа и плавление, протекают настолько быстро, что теоретически позволяют увеличить интенсивность доменного процесса в 2—3 раза. Однако, практически осуществить это пока не удастся. При большой интенсивности хода печи газы не успеют отдать своё тепло в горне и будут уносить его в шахту. Таким образом, в горне будет ощущаться недостаток тепла, а в шахте будет его избыток. Кусковые материалы шихты не успеют поглотить того количества тепла, которое им будет передаваться газами при большой интенсивности хода печи. В результате этого поверхность кусков будет быстро нагрета до температуры, близкой к температуре газа, что повлечёт за собой ухудшение теплопередачи от газов к шихте. При кислородном дутье основное количество тепла газы отдают в горне и заплечиках, поэтому значительно уменьшится унос тепла в шахту, где условия теплообмена менее благоприятны, чем в горне печи. Таким образом, кислородное дутье устраняет препятствия к дальнейшему форсированию доменного процесса.

Сомнения в том, что при работе на кислородном дутье вряд ли удастся получить малокремнистый чугун, являются неосновательными. Известно, что интенсивное восстановление кремния начинается уже при температуре выше 1500° . В горне печи и при обычном дутье получается температура около 2000° . Следовательно, и обычное, нагретое дутье обеспечивает условия для интенсивного восстановления кремния. Как известно, в настоящее время в доменных печах выплавляют ферросилиций с содержанием 10—15% кремния и выше. Для этого требуется только повысить расход горючего и подобрать соответствующий состав шлага. Однако, это не лишает возможности в тех же печах получать малокремнистый чугун. Следовательно, получение высококремнистого или малокремнистого чугуна зависит не от температуры горения, а от действительной средней температуры в горне, которая регулируется расходом горючего. При кислородном дутье регулирование этой средней температуры может производиться в значительно более широком интервале. Таким образом, можно утверждать, что повышение содержания кислорода в дутье не может явиться препятствием к получению малокрем-

нистого чугуна, хотя в этом направлении до настоящего времени никаких опытов не проводилось.

Недостаток тепла в области умеренных температур может серьезно затруднить работу доменной печи при выплавке передельного чугуна на дутье с содержанием кислорода, превышающим 30%. Будет иметь место запоздалое шлакообразование, которое неизбежно повлечёт за собой подвигание шихты и повышение давления газов в горне печи. Устранить это препятствие можно будет изменением конструкции заплечиков, сделав их более крутыми и низкими. В настоящее время ещё нет достаточных данных, позволяющих установить оптимальную конструкцию заплечиков и высоту доменной печи, работающей на кислородном дутье. Однако, опытная эксплуатация доменной печи № 2 ДЗМО на кислородном дутье подсказывает, что высота заплечиков должна быть не больше 1,5—2 м, а высота доменной печи не больше 15—16 м. Для окончательного установления рационального профиля домны на кислородном дутье необходимо проведение опытов на большой доменной печи. Кроме того, для устранения нижних подстоев, которые будут вызваны запоздалым шлакообразованием, необходимо подбирать такой состав шлаков, чтобы первичные шлаки были наиболее легкоплавкими. Это легче всего может быть достигнуто некоторым увеличением закиси марганца в шлаке, а также введением в шихту доломитизированных известняков.

Возможность дальнейшего снижения расхода горючего остаётся весьма ограниченной и с переходом на кислородное дутье. Уже в настоящее время некоторые доменные печи на обычном дутье работают с весьма низким расходом кокса и близко к теоретически возможному минимальному его расходу. Повышение содержания кислорода в дутье не только не увеличивает приток тепла в печь, но, наоборот, несколько уменьшает поступление тепла в горн, так как с увеличением содержания кислорода в дутье уменьшается количество горячего воздуха, подаваемого в печь. Из таблицы 1 видно, что уже при содержании кислорода в дутье, равном 30%, количество тепла, вносимое нагретым дутьём, уменьшается с 1150 калорий до 785 калорий. Таким образом, печь недополучит 365 калорий на килограмм углерода, сжигаемого в печи. Этот недостаток тепла необходимо будет компенсировать за счёт дополнительного сжигания горючего. Правда, с переходом на

кислородное дутье уменьшится унос тепла из печи благодаря уменьшению количества колошниковых газов и снижению их температуры. Однако, ценность этого тепла для доменной печи весьма мала, так как отходящие газы имеют низкую температуру, при которой химические реакции не протекают. Таким образом, тепло, которое печь недополучит с нагретым дутьем, вследствие уменьшения его количества не может быть компенсировано уменьшением уноса тепла колошниковыми газами. Следовательно, ожидать значительного уменьшения расхода топлива при работе на кислородном дутье, благодаря уменьшению уноса тепла из печи колошниковыми газами, можно только в тех случаях, когда на обычном дутье печь работает с относительно высокой температурой колошника. Некоторое снижение расхода кокса будет иметь место лишь от увеличения степени непрямого восстановления железа (восстановление окисью углерода). Эта реакция не требует тепла извне, и чем большее развитие она получает, тем меньше будет расход кокса. С переходом на кислородное дутье содержание окиси углерода увеличится, вследствие чего увеличится степень непрямого восстановления.

Снижение расхода кокса следует ожидать также и от увеличения производительности домы; очевидно, что при этом уменьшатся относительные потери тепла. В настоящее время эти потери составляют 7—8% от общего расхода тепла в печи. С повышением производительности домы в два раза потери тепла уменьшатся также примерно вдвое. Расчёты показывают, что при выплавке передельного чугуна на кислородном дутье расход кокса снизится на 100—150 кг на тонну чугуна.

Возможность вдувания газов в горн печи, работающей на кислородном дутье

Мысль о вдувании различных газов в доменную печь в литературе обсуждается уже давно, но практического осуществления она ещё нигде не получила. Не вдаваясь в подробный разбор этого вопроса, скажем, что вдувание всех газов, за исключением водорода, в доменную печь, работающую на обычном дутье, вряд ли принесёт какую-либо пользу. Вдуваемый газ, даже если он будет нагрет до температуры дутья, будет охлаждать горн, что не только нежелательно, но и недопустимо. Для сохранения прежней температуры в горне потребуется расходовать

большое количество горючего, а это уже нецелесообразно. Совершенно иначе обстоит дело с вдуванием газов в горн печи, работающей на кислородном дутье. Как уже указывалось, количество газов резко уменьшается, повышается температура горения, увеличивается концентрация тепла в горне печи. Поэтому вдувание газа в горн в данном случае явится весьма полезным уже потому, что улучшит распределение тепла по высоте печи, не вызывая необходимости дополнительно расходовать горючее. Наиболее целесообразно вдувать в домну коксовый газ или его метановую фракцию (остаток коксового газа после удаления водорода). В коксовом газе содержится около 25% метана. Под действием высокой температуры метан будет распадаться на водород и углерод. Тепло, потребное для разложения метана, с избытком покрывается за счёт сжигания углерода, выпадающего при разложении метана. Расход тепла на нагрев вдуваемого в печь газа также покрывается за счёт горения того же углерода, выпадающего при разложении метана. Таким образом, вдувание в горн печи коксового газа или метановой фракции не требует дополнительного расхода горючего. Какой же эффект можно ожидать от вдувания коксового газа или метановой фракции в горн от доменной печи, работающей на кислородном дутье? Прежде всего произойдёт крекинг метана с получением водорода. При этом горновые газы сильно обогатятся водородом, что значительно ускорит процессы восстановления железа и позволит ещё больше форсировать доменный процесс, значительно снизив при этом расход кокса. Вдуванием относительно большого количества метановой фракции можно будет достигнуть такого состава колошникового газа, что последний будет пригоден для синтеза аммиака. Следует подчеркнуть целесообразность вдувания именно метановой фракции, поэтому необходимо коксовый газ предварительно пропускать через аппараты глубокого охлаждения — для выделения водорода, а уже остаток вдувать в доменную печь.

Применение кислородного дутья в сталеплавильном производстве

С переводом доменных печей на кислородное дутье повысится тепловорная способность колошниковых газов примерно до 1200 калорий. Такой газ сжигать в обычных энергетических печах нецелесообразно. Мы

считаем возможным перевод мартеновских печей на отопление чистым колошниковым газом без добавки коксового газа, но с применением воздуха, обогащенного кислородом. Расчёты показывают, что при теплопроводности способностью колошникового газа в 1 200 калорий и при нагреве его в регенераторах до 1 400° можно достигнуть температуры в мартеновской печи до 2 300° при содержании в дутье 43% кислорода. Использование тепла в мартеновской печи при этом повысится на 10—12%, в сравнении с работой на смеси 35% коксового и 65% доменного газов на обычном дутье. Количество продуктов горения при этом уменьшится на 0,230 м³ на каждые 1 000 калорий тепла, подводимого в печь. Улучшение использования тепла даст соответственное уменьшение расхода топлива на тонну стали. Таким образом, перевод мартеновских печей на колошниковый газ с применением воздуха, обогащенного кислородом, позволит обойтись в сталеплавильном производстве без ценного коксового газа и использовать последний для нужд химической промышленности. Кроме того, применение кислородного дутья даст снижение расхода топлива примерно на 10—12%.

Следует подчеркнуть, что в результате применения обогащенного кислородом воздуха есть все основания ожидать улучшения качества стали за счёт уменьшения содержания в ней водорода.

В бессемеровском процессе применение воздуха, обогащенного кислородом, как показали расчёты, позволит перерабатывать чугуны с содержанием кремния даже в 0,5%. В настоящее время при продувке металла в конверторе обычным воздухом содержание кремния в чугуне должно быть в пределах 1,2—1,5% и к тому же строго постоянным и относительно высоким. Получение таких чугунов требует дополнительного расхода кокса; кроме того, ведение самого процесса становится более сложным, чем при выплавке мартеновского чугуна.

Регулируя содержание в дутье кислорода, можно продувать в конверторе чугун с весьма широким диапазоном содержания кремния. Изменять содержание кислорода в дутье не представляет никаких трудностей, так как это достигается простым дозированием кислорода. Следовательно, применение воздуха, обогащенного кислородом, в бессемеровском процессе позволит прежде всего упростить выплавку бессемеровских чугу-

нов в доменных печах, а уже одно это даст существенное снижение расхода кокса.

Применение дутья, обогащенного кислородом, в ряде случаев также является весьма полезным и при томасовском процессе, где источником тепла является выгорание фосфора, содержащегося в чугуне. Это особенно важно в тех случаях, когда в доменных печах ведётся плавка фосфористых руд, не обеспечивающих необходимого для томасирования содержания фосфора, однако более высокого, чем это нужно для мартеновского производства. В настоящее время из-за недостатка фосфора такие чугуны не представляются возможным подвергать томасированию и поэтому приходится перерабатывать их в мартеновских печах, что связано с большими затруднениями, вызывающими снижение производительности, дополнительный расход топлива и, в конечном итоге, повышение себестоимости продукции. Повышение содержания кислорода в дутье при томасовском процессе компенсирует недостаток фосфора, и таким образом можно будет подвергать томасированию относительно малофосфористые чугуны. Это устранит необходимость переработки фосфористых чугунов в мартеновских печах.

Результаты работы доменной печи № 2 ДЗМО на кислородном дутье

Доменная печь № 2 ДЗМО имела полезный объём в 218 м³ и диаметр горна 3 150 мм. Профиль и размеры печи приведены на рис. 3. До перевода на кислородное дутьё печь выплавляла ферросилиций с содержанием кремния в 10—11%. При этом на тонну сплава расходовалось 2,3—2,4 т кокса, а производительность печи составляла в среднем 90 т в сутки. На обычном дутье печь работала ровно, никаких подвигов не наблюдалось. Температура колошниковых газов достигала 580—600°, что часто вызывало необходимость сокращать ход печи путём уменьшения количества дутья, подаваемого в печь.

После капитального ремонта печь задули 1 сентября 1940 г. для производства литейного чугуна на обычном дутье, но

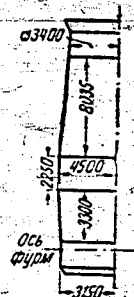


Рис. 3. Профиль и основные размеры доменной печи № 2 ДЗМО, на которой производились опыты по выплавке чугуна на кислородном дутье.

уже 10 сентября в печь дали обогащенное дутье с содержанием кислорода вначале 24%, а затем 25—27%. На этой последней концентрации продолжали работать до 17 января 1941 г.

С переходом на кислородное дутье оставались прежними все методы загрузки, качество всех материалов, состав ферросилиция и состав шлаков. Нагрев дутья также оставался прежним. 17 января содержание кислорода в дутье повысили до 33% и в дальнейшем работали с переменной концентрацией: 29—33% и 25—27%. Изменение содержания кислорода в дутье обуславливалось тем, что кислородные аппараты поочередно через каждый месяц останавливались на отопев. Таким образом, самые длинные периоды работы печи с относительно постоянной концентрацией кислорода были около месяца. Опыты продолжались до 25 июня 1941 г. Результаты работы доменной печи за период с сентября 1940 г. до конца опытов приводятся в таблице 2.

При дутье, содержащем 25—27% кислорода, печь работала ровно, никаких осложнений не наблюдалось, ход печи был быстрый, а производительность повысилась со 100 т до 160—180 т в сутки; расход кокса при этом снизился с 2,3 до 2,0 т на тонну продукции; температура колошниковых газов снизилась с 580 до 450°. С повышением содержания кислорода в дутье до 33% ход печи ухудшился: наблюдались подвисания шихты, резко повысилось давление дутья. Для устранения подвисаний часто приходилось снижать температуру дутья с 800 до 650° и уменьшать содержание кислорода в дутье. Эти мероприятия почти всегда давали желаемый результат, ход печи выравнивался, давление снижалось. Однако, несмотря на некоторое ухудшение хода, производительность печи возросла со 100 т до 210—230 т в сутки, а расход кокса снизился до 1,6 т на тонну продукта. Характерно, что содержание кремния в ферросилиции при этом несколько повысилось.

Недостатки поставленных опытов заключались прежде всего в том, что из-за быстрого хода процесса не успевали загружать печь, а это вынуждало систематически, по несколько раз в день, работать сокращенным ходом и ухудшало результаты работы печи.

В течение всего периода проведения опытов производились наблюдения над изменением давления газов, осуществлялся отбор

проб газов и материалов из печи, замер температур.

Изменения температуры в доменной печи при различных концентрациях кислорода в дутье представлены графически на рис. 4. На

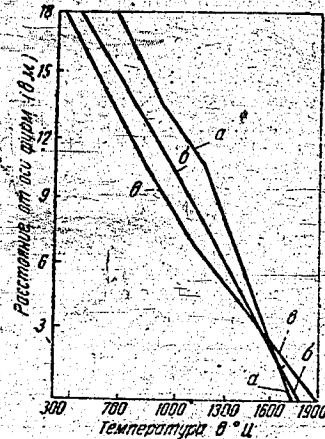


Рис. 4. Изменение температуры в доменной печи при различных концентрациях кислорода в дутье (а — обычное дутье, б — дутье с 25—27% кислорода, в — дутье с 29—33% кислорода).

оси абсцисс отложена температура, а на оси ординат — расстояние от фурм до колошника. Кривая а показывает изменение температуры по высоте печи при обычном дутье, кривая б характеризует температуру при дутье, содержащем 25—27% кислорода, и, наконец, кривая в показывает изменение температуры в печи при 29—33% кислорода в дутье. Из анализа этих кривых видно, что с переходом на кислородное дутье наблюдается резкое падение температуры по высоте печи. Так, например, на расстоянии 7 м от оси фурм при обычном дутье температура была 1480°, а при содержании кислорода в дутье в количестве 29—33% она снизилась до 1180°. Аналогичное понижение температуры наблюдалось и по остальным областям. Столь резкое падение температуры по высоте печи приводило к заподамлому шлакообразованию, что и было причиной ухудшения хода печи при повышенной концентрации кислорода в дутье. Устранить этот недостаток можно будет путем уменьшения высоты заплечиков до 1,5—2,0 м и увеличения угла их наклона. Кроме того, необходимо подбирать такие шлаки, которые могли бы легко плавиться уже в области верхней части заплечиков. Если этого удастся достигнуть, будет пол-

ностью устранена возможность нижних под-
стоёв шихты.

Заметим, что на домне № 2 ДЗМО с переходом на кислородное дутьё состав сырых материалов и шлаков, а также нагрев дутья, метод загрузки доменной печи оставались такими же, какими они были при работе на обычном дутье.

Исследование металлургических процессов, происходящих в печи

С переходом на кислородное дутьё предполагалось, что уменьшится объём зоны горения горючего и особенно её глубина. Сокращение глубины зоны горения привело бы к ухудшению работы доменной печи, так как при этом будет иметь место периферийное опускание шихтовых материалов. Кроме того, это приблизило бы фокус горения к кладке горна и тем ухудшило бы службу футеровки.

Исследование глубины окислительной зоны производилось путём взятия проб газа с помощью охлаждающейся трубы, вдвигаемой в горн через одну из воздушных фурм. Пробы отбирались в точках, расположенных через каждые 200 мм от глаза фурмы по направлению к центру; последняя точка была в центре горна. В пробе газа определялось содержание кислорода и углекислоты. Большое количество проб, взятых из области фурм (около трёх тысяч), показало, что глубина окислительной зоны при кислородном дутье оставалась такой же, какой она была и при обычном дутье. Углекислота исчезала на расстоянии около 1 000 мм, а кислород дутья — на расстоянии 700—800 мм от глаза фурмы.

Пробы металла, взятые из горна печи, показали, что в области фурм ферросилиций содержал 18—25% кремния, тогда как при выпусках через лётку этот ферросилиций имел только 12—13% кремния. Это подчёркивает тот факт, что в горне печи идёт энергичное окисление кремния. Шлаки, взятые в тех же точках, показали содержание закиси железа около 10—12%, тогда как выпущенный через лётку шлак содержал только следы закиси железа. Замеры температуры в горне не обнаружили её большого повышения даже при увеличении содержания кислорода в дутье до 33%. Это полностью подтвердило выдвинутое нами положение о том, что повышение содержания кислорода в дутье само по себе не может повысить температуру в горне,

если при этом не будет соответствующего избытка тепла.

Замеры давления по высоте печи, производившиеся одновременно в пяти точках, обнаружили, что при кислородном дутье на большие потери давления имели место в области от оси фурм до распара. Это лишний раз подтверждает то, что в заплечиках имела место закупорка шихтовых материалов вследствие запоздалого шлакообразования.

Пробы газа, взятые по радиусу на 3 м ниже уровня засыпки материалов, показали максимальное содержание углекислоты в периферийном кольце и минимальное количество в центре печи. Такое изменение состава газа по радиусу указывает на неудовлетворительное распределение материалов на колошнике.

Состав колошникового газа изменялся в соответствии с изменением содержания кислорода в дутье. При содержании кислорода в 30—33% количество окиси углерода в газе составляло 42—44%, углекислоты 4—5%, водорода 1,5—2,0% и метана от 0,3 до 0,8%; остальное приходилось на азот.

Таким образом теоретические расчёты и проведённые в течение 8 месяцев опыты показали техническую возможность и экономическую выгоду выплавки ферросплавов на кислородном дутье. На основании этих данных можно рекомендовать промышленности перевод доменных печей на кислородное дутье для выплавки ферросплавов и литейных чугунов с одновременным получением специальных шлаков.

Использование колошникового и коксового газов при применении кислородного дутья в металлургическом производстве

В настоящее время колошниковый газ используется как обычное топливо под котлами и в смеси с коксовым газом применяется для отопления мартеновских и коксовых печей. С переводом доменных печей на кислородное дутьё теплотворная способность колошникового газа повысится по крайней мере до 1 200 калорий. Газ с такой теплотворной способностью становится пригодным для нагрева мартеновских печей без добавки коксового газа, но с применением воздуха, обогащённого кислородом. Расчёт показал, что в тех случаях, когда часть чугуна (около 30%) будет переделываться в сталь бессемеровским процессом, количество колошникового газа достаточно для удовлетворения потребности доменного, сталеплавильного, прокатного и

коксового цехов. На тех заводах, где весь передельный чугун будет перерабатываться в сталь мартеновским процессом, количество колошниковога газа недостаточно для покрытия потребности указанных цехов. Недостаток колошниковога газа составит около 250 м³ на тонну выплаваемого чугуна. Этот недостаток выгоднее всего компенсировать газогенераторным газом, для чего необходимо будет установить газогенераторы. Для газификации можно будет употреблять низкосортные угли, так как для отопления коксовых печей не потребуются абсолютно чистого и высококалорийного газа. Потребность мартеновских и прокатных печей во всех случаях будет полностью удовлетворена колошниковым газом.

Таким образом, перевод мартеновских, коксовых, прокатных печей на отопление колошниковым газом позволит изъять, как топливо, коксовый газ и передать его для получения водорода. В коксовом газе имеется около 50% свободного водорода, кроме того, значительное его количество связано с углеродом (метан). Водород, как топливо, особенно для мартеновских печей не является первоклассным как по теплотворной способности, так и по влиянию его на качество получаемой стали. Теплотворная способность водорода ниже теплотворной способности окиси углерода в 1,18 раза. Кроме того, водород способен растворяться в стали, ухудшая её качество. Между тем, водород является основным составляющим для получения искусственного бензина, аммиака и других продуктов.

В настоящее время самым распространённым способом получения водорода является конверсия полуводяного газа. При этом для получения 1000 м³ водорода требуется 1450 кг специального качественного угля и необходима специальная аппаратура: газогенераторы и различные устройства для конверсии газа и отмывки углекислоты. Для получения такого же количества водорода из коксового газа методом глубокого охлаждения требуется только 444 кг угля; из них 74 кг расходуется на получение энергии для разложения газа и остальные 370 кг эквивалентны 1000 м³ водорода, взятых из коксового газа. Таким образом, получая водород из коксового газа, можно экономить до 1 т специального угля на 1000 м³ водорода. Остаток коксового газа после выделения водорода, так называемая метановая фракция, может быть использован для нужд бытовой газифи-

кации, причём благодаря высокой теплотворной способности этой фракции (около 5500 калорий/м³) её можно будет передавать на большие расстояния. Другая часть метановой фракции может быть использована для получения азотоводородной смеси путём вдувания её в горн доменной печи. Вдувание метановой фракции в горн домы является исключительно выгодным. Во-первых, при этом используется высокая температура и концентрация тепла в горне для разложения метана; во-вторых, обогащая горновые газы водородом, мы ускоряем процесс восстановления железа с меньшим расходом углерода; в-третьих, получается колошниковый газ, пригодный для синтеза аммиака без дополнительного расхода топлива. Существующие способы получения азотоводородной смеси требуют на тонну аммиака свыше двух тонн кокса или 1,8 т специального угля. Для получения 1000 м³ водорода из метановой фракции путём вдувания её в доменную печь требуется всего 627 кг условного топлива.

Таким образом, полное высвобождение всего коксового газа и передача его для получения чистого водорода и азотоводородной смеси позволят удовлетворить самые широкие потребности в водороде для синтеза жидкого топлива и аммиака при весьма незначительных капиталовложениях. Следовательно, комплексное применение дутья, обогащённого кислородом, обещает исключительно большие технико-экономические выгоды народному хозяйству.

ОБСУЖДЕНИЕ

Инж. М. А. Шаповалов (Ответы на вопросы): Для выплавки ферросилиция мы употребляем бедные руды — кварциты. Анализы колошниковога газа производились при содержании кислорода в дутье от 29 до 33%. При этом колошниковые газы имели следующий средний состав: содержание окиси углерода 42—45%; метана 0,3—0,5%; углекислоты 4—5%, остальное — азот. Калорийность газа 1200—1400 калорий.

Мы работали с подогревом дутья до 800°, как и при обычной плажке. В литературе высказывалось мнение, что с переходом на кислородное дутье представляется возможным и целесообразным отказаться от нагрева дутья. Это не совсем так. Нагретое дутье вносит на каждый килограмм углерода добавочно, по сравнению с холодным дутьем, 1150 калорий тепла, т. е. примерно половину того, что

Таблица 2
Показатели работы доменной печи № 2 ДЗМО в 1940—41 гг. при выплавке обычного ферросплавника при разном процентном содержании кислорода в дутье

| Периоды | № п-риодов | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| Подолжительность в днях | 11 | 28 | 6 | 31 | 21 | 13 | 17 | 15 | 7 | 11 | 6 | 29 | 21 | 18 | 4 | 3 | 12 |
| Дни, исключенные из периодов | нет | нет | нет | нет | нет | нет | нет | нет | нет | нет | нет | нет | нет | нет | нет | нет | нет |
| Присутствие кислорода в дутье | 20,8 | 24,3 | 20,8 | 26,9 | 27,2 | 26,6 | 26,7 | 29,2 | 25,6 | 30,9 | 26,8 | 32,5 | 32,8 | 25,5 | 29,6 | 26,2 | 31,1 |
| Производительность за рабочие сутки в тоннах | 89 | 145 | 129 | 164 | 162 | 155 | 188 | 210 | 161 | 196 | 167 | 218 | 202 | 191 | 217 | 213 | 196 |
| Содержание кремния, % | 11,96 | 13,76 | 13,44 | 11,78 | 13,85 | 13,20 | 12,90 | 12,66 | 13,30 | 14,00 | 13,1 | 13,5 | 11,8 | 11,12 | 11,65 | 10,85 | 12,51 |
| Простои в часах | 0,02 | 0,99 | 0,52 | 0,95 | 1,23 | 0,44 | 0,29 | 1,44 | 0,32 | 0,88 | 0,33 | 1,05 | 1,22 | 0,23 | 0,82 | 0,83 | 1,17 |
| Тихий ход из-за неполноты печи в час | 0,01 | 0,43 | — | 1,32 | 1,84 | 0,61 | 1,97 | 0,28 | 0,33 | — | — | 0,18 | 0,19 | — | 0,5 | — | 0,27 |
| Тихий ход по другим причинам | 1,43 | 1,28 | 0,90 | 0,93 | 1,94 | 0,13 | 1,15 | 0,76 | 0,62 | 0,56 | 0,57 | 0,56 | 0,52 | 0,50 | 0,84 | 0,47 | 0,75 |
| Количество подачи | 56,7 | 74,6 | 79,5 | 82,9 | 74,4 | 75,0 | 82,6 | 98,7 | 90,5 | 96,4 | 88,3 | 93,5 | 88,6 | 91,4 | 97,5 | 91,6 | 90,5 |
| Количество осадок | 0,72 | 0,50 | 0,16 | 0,83 | 1,04 | 2,7 | 2,2 | 3,6 | 2,6 | 3,4 | 3,5 | 2,8 | 6,7 | 0,8 | нет | 1,6 | 1,7 |
| Количество стореших фурм | 0,09 | 1,10 | 0,50 | 1,3 | 2,26 | нет | 0,6 | 1,4 | 0,3 | 1,4 | 1,0 | 2,59 | 4,9 | 1,0 | 3,7 | нет | 3,1 |
| Расход кокса на тонну сплава | 2,43 | 2,08 | 2,25 | 2,10 | 2,08 | 1,85 | 1,84 | 1,88 | 2,14 | 1,89 | 1,98 | 1,67 | 1,72 | 1,86 | 1,77 | 1,62 | 1,80 |
| Расход скрапа на тонну сплава | 0,31 | 0,27 | 0,34 | 0,30 | 0,43 | 0,38 | 0,35 | 0,35 | 0,29 | 0,34 | 0,33 | 0,40 | 0,47 | 0,60 | 0,57 | 0,54 | 0,44 |
| Расход известняка на тонну сплава | 0,64 | 0,50 | 0,66 | 0,49 | 0,47 | 0,57 | 0,62 | 0,56 | 0,65 | 0,58 | 0,59 | 0,50 | 0,65 | 0,57 | 0,53 | 0,45 | 0,48 |
| Расход руды на тонну сплава | 1,69 | 1,89 | — | — | — | — | 1,67 | 1,56 | 1,78 | 1,67 | 1,83 | 1,56 | 1,50 | 1,27 | 1,47 | 1,26 | 1,40 |
| Состав шлага: SiO ₂ | 39,75 | 36,33 | 35,80 | 32,51 | 33,87 | 35,53 | 36,65 | 35,99 | 35,00 | 33,00 | 33,80 | 33,50 | 35,00 | 33,80 | 33,83 | 34,50 | 32,9 |
| CaO | 42,76 | 44,23 | 45,34 | 42,32 | 45,26 | 46,49 | 47,35 | 45,52 | 43,40 | 45,40 | 45,20 | 43,50 | 44,20 | 25,9 | 42,93 | 43,00 | 42,1 |
| Al ₂ O ₃ | 13,65 | 14,85 | 14,20 | 13,79 | 13,85 | 13,26 | 11,51 | 13,27 | 17,80 | 16,3 | 18,7 | 18,2 | 17,0 | 16,9 | 18,22 | 17,25 | 20,17 |
| Температура дутья, °Ц | 724 | 790 | 790 | 810 | 810 | 800 | 780 | 770 | 700 | 720 | 720 | 725 | 690 | 670 | 675 | 360 | 660 |
| Температура чугуна, °Ц | — | — | — | 1,465 | 1,480 | 1,460 | 1,445 | 1,460 | 1,430 | 1,460 | 1,460 | 1,460 | — | — | — | — | — |
| Температура шлага, °Ц | — | — | — | — | — | — | — | — | 1,495 | 1,500 | 1,510 | — | — | — | — | — | — |
| Температура колошника, °Ц | 543 | 501 | 498 | 406 | 420 | 390 | 415 | 370 | 360 | 360 | 360 | 330 | 360 | 425 | 420 | 440 | 370 |
| Давление дутья (ати.) | 0,53 | 0,65 | 0,88 | 0,73 | 0,65 | 0,62 | 0,67 | 0,76 | 0,73 | 0,72 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,73 | 0,70 | 0,75 | 0,74 |

даёт горючее, которое вносит 2407 калорий. Если работать на дутье, в котором содержание кислорода доведено до 30%, то общее количество вдуваемой кислородной смеси будет меньше, чем количество воздуха, и на каждый килограмм углерода, с учётом подогрева дутья, внесётся уже только 700 калорий. Но это тепло является весьма ценным, так как оно образуется в области высоких температур. В случае отказа от нагрева дутья придётся для компенсации этого тепла ввести в печь соответствующее количество горючего. При высокой цене на горючее отказ от нагрева дутья не принесёт выгоды. Нагрев осуществляется за счёт отходящих газов; этот процесс можно упростить путём применения рекуператоров. На основании наших опытов мы пришли к выводу, что нагрев дутья должен быть сохранён.

Когда возникла мысль о применении кислородного дутья в доменных печах, со стороны металлургов выказывались опасения, что существующие огнеупоры быстро расплавятся при тех высоких температурах, которые связаны с повышением концентрации кислорода в дутье. Вносились даже предложения, как искусственно понизить эти температуры. Например, вдувание пара даёт большой эффект в смысле понижения температур, но при этом неизбежно резко возрастёт расход кокса, и вся идея теряет свой смысл.

Мы предполагали, что повышение содержания кислорода в дутье не повлечёт за собой повышения температур; при этом повысится только теоретическая температура пламени, но не действительная температура в горне. Это положение подтвердилось. В опытах на Чернореченской домне, где применялись концентрации кислорода в дутье до 60% без подогрева дутья, разгар кладки не имел места. В наших опытах содержание кислорода доходило до 33%, и при этом разгара-кладки также не наблюдалось.

Был проведён один специальный опыт по испытанию влияния повышенных концентраций кислорода в дутье на огнеупоры. На маленькой домне мы испытывали обычные семилукские и углеродистые кирпичи, доведя концентрацию кислорода в дутье до 60%, без охлаждения. Через трое суток мы обнаружили, что семилукский кирпич выплавился наполовину, а углеродистый кирпич остался невредимым. Углеродистый кирпич в данном случае является прекрасным огнеупором, и его следует применять при переходе на кислородное дутье.

Почему же за границей идея внедрения кислородного дутья в чёрную металлургию не нашла широкого распространения и дел ограничилось лишь проведением опытов? В период бурного развития металлургии, на пример в США, стоимость кислорода была очень высокой, а мощность существовавших установок очень маленькой. Вместе с тем другие резервы поднятия производительности доменной печи не были использованы (рациональная подготовка сырья и материалов, например, привела к удвоению производительности доменной печи и т. п.). Естественно, что в США пошли по этому, более лёгкому пути. В 1929—1930 гг., когда появляются экономически выгодные кислородные установки, общий кризис в капиталистических странах сделал этот способ поднятия производительности доменной печи ненужным. Наоборот, в литературе в то время появлялись предложения о понижении производительности домен. Таким образом, применение кислородного дутья в целях поднятия производительности не вызывалось хозяйственной необходимостью и, кроме того, кислородные установки стоили относительно дорого.

Применение кислородного дутья даёт особенно большой экономический эффект в комплексном хозяйстве. Если остановиться только на применении кислородного дутья в доменной печи, то большого экономического эффекта ожидать нельзя. Мы можем в этом случае в ближайшее же время удвоить производительность доменной печи, но большой экономии при выплавке обычных чугунов не будет. В комплексе — при более рациональном использовании газов — можно получить большую экономию. Колошниковый газ доменной печи, работающей на кислородном дутье, будет передан мартеновской печи, а коксовый газ будет использоваться химической промышленностью для переработки в синтетические продукты. Экономия при этом будет большой, а стоимость чугуна — на 50% меньше, чем сейчас. В заграничных условиях такое комплексное хозяйство осуществить очень сложно. Для Америки синтетический аммиак не является проблемой, так как она располагает большими запасами природной чилийской селитры. Немцы не имеют чилийской селитры, но они достигли больших результатов в производстве синтетического аммиака. Перестройка же существующих домен потребует новых капиталовложений. Для американцев использование колошникового газа в мартеновских печах не представляет

интереса, так как у них большее количество маргеновских печей работает на нефти, чего мы себе позволить не можем.

Акад. А. А. Байков: В шахтных печах существует один момент, который имеет существенное значение в отношении температур, создаваемых в печи. Это касается тех шахтных печей, где в нижних горизонтах и в горне происходит плавление твердых материалов. В этих случаях можно наперед высказать одно простое положение, на которое обычно не обращают внимания, но которое резко выявляется тогда когда в печах употребляются некоторые особые материалы. Твердый материал в той или иной смеси не может быть перегрет значительно выше температуры плавления, ибо в шахте не всюду могут держаться на весу твердые материалы. Как только они начинают плавиться, они стекают вниз. Поэтому если мы будем повышать температуру, то горн не будет продолжать раскаляться, а будет усиливаться скорость плавления твердых материалов, т. е. в единицу времени мы будем получать большее количество расплава. В доменной печи мы это имеем. Температура в нижней части доменной печи — в горне — в том случае, если мы не имеем громадных избытков совершенно неплавких тел, например кокса, не может быть поднята значительно выше температуры плавления обрабатываемых материалов. Это обстоятельство и объясняет, почему в опытах инж. Шаповалова мало менялась температура в горне и почему были большие колебания температур сверху печи: внизу температура лимитируется температурой плавления материалов, сверху же таких ограничений нет. Я натолкнулся на это явление, когда занимался работой других шахтных печей — меднелавильных. Я занимался изучением пиритной плавки, где главным горючим материалом является пирит или продукты, которые получают после удаления мышовины, серы, с. в. сернистое железо. Долгое время существовали недоумения, почему при пиритной плавке нехватает тепла и приходится прибавлять кокс. При пиритной плавке из горна вытекает медный штейн; он состоит, главным образом, из сернистого железа и является тем горючим материалом, который дает необходимую теплоту и поддерживает процесс. Получалось, что в шахте очень много горючего материала, а между тем нехватает тепла и нужно добавлять кокс. Температура плавления сернистого железа ниже, чем температура плавления тех шлаков, которые при

этом получаются. Поэтому если всю теплоту получать от сжигания сернистого железа, то мы не будем иметь такие температуры, которые дадут нам возможность получать расплавленный шлак. Штейн будет вытекать, но внизу будет оставаться неплавкая, шлакообразующая, главным образом, кремнеземистая масса. Если теперь в печь добавить кокса, то он даст возможность повысить температуру в нижних частях печи на 20—30%. Этого достаточно, чтобы шлаки пиритной плавки, которые вообще чугуноплавки, перешли в расплавленное состояние и потекли. И, действительно, при пиритной плавке достаточно добавить 3—4% кокса, чтобы расплавить шлаки. Это — та добавка неплавкого горючего, которая дает возможность на небольшую величину повысить температуру нижних горизонтов и позволяет шлакообразующим материалам переходить в жидкое состояние.

Я думаю, что это обстоятельство объясняет те факты, о которых нам сегодня говорили. С других сторон сейчас я не могу переходить к обсуждению этих вопросов. Я в первый раз прослушал об этих опытах, хотя эти плавки видел и в подготовке их принимал участие.

Что касается экономической стороны дела, то я не знаю, можно ли согласиться с тем, как тов. Шаповалов трактует вопрос о введении водяного пара. Повышенные температуры, которые связаны с применением обогащенного кислородом воздуха, создают чрезвычайно благоприятные условия для получения в газе, при участии пара, большого количества водорода (колошниковый газ с большим содержанием водорода и малым содержанием азота, приближается к водяному газу). Эти колошниковые газы, обогащенные водородом, могут служить источником получения водорода для применения его в различных технических целях. Для меня еще неясно, как можно лучше спланировать те или иные приемы, чтобы получить наиболее выгодные условия. Этого газа может нехватить только в том случае, если обслуживается один маргеновский процесс, но ведь возможно сочетание с бесшмерованием, т. е. осуществление дуплекс-процесса. Дуплекс-процесс идет обычно очень туго, потому что к нему приспособляются цеха, запроектированные для маргеновского производства, а нужно, наоборот, проектировать цеха специально для осуществления дуплекс-процесса.

Я думаю, что внедрение кислорода в черную металлургию может открыть огромные

возможности. Весьма возможно, что увеличение производства, связанное с применением воздуха, обогащенного кислородом, будет настолько значительным, что по производительности небольшая печь сравняется с печами-гигантами. Малые печи во всех отношениях представляют большие удобства в смысле обращения, чем печи-гиганты. В этом отношении выгода от применения кислородного дутья является совершенно бесспорной, и на этот вопрос надо обратить самое серьезное внимание.

Желательно масштабы применения кислорода довести до таких размеров, чтобы можно было отказаться от постройки гигантских доменных печей, объемом в 1500 м³. Такие печи являются очень громоздкими агрегатами, с которыми трудно справляться. Желательно, чтобы печи, работающие на обогащенном кислородом дутье, могли заменить собой мощные домны, объемом в 1200—1500 м³, имея при этом не меньшую производительность. Это вполне возможно, и тогда обычной нашей печью будет печь в 500—600 м³.

Проф. А. А. Похвиснев: Опыты выплавки ферросплавов с применением воздуха, обогащенного кислородом, произведенные на ДЗМО, вполне убедительны. Это подтверждает и ряд теоретических работ, например, недавно проведенная в Уральском филиале Академии Наук работа Михайлова по феррохрому. Совершенно бесспорно, что применение кислорода в выплавке ферросплавов обещает большие выгоды. Мне представляется, что в первую очередь кислородное дутье должно найти применение при выплавке феррохрома.

С точки зрения расхода кокса (4 единицы кокса на единицу ферросплава) производство ферросплавов в доменных печах при обычном дутье нужно считать на данном уровне техники невыгодным. Я наблюдал это производство на двух заводах и должен сказать, что когда количество хрома в чугуна повышается, печи начинают стывать, а это связано с дополнительным расходом горючего. Кислородное дутье может оказать здесь существенную помощь. То же относится к другим ферросплавам.

Если ставить задачу внедрения кислородного дутья в черную металлургию широко, то мы должны решить этот вопрос также и для передельных чугунов. Докладчик отметил, что в результате применения кислородного дутья производительность домны, работающей на передельный чугун, возрастет

в 2—2,5 раза. Имеем ли мы право сказать это на основании сделанных экспериментов? По-моему, — нет. Инж. М. А. Шаповалов в своём докладе остановился на этом вопросе недостаточно подробно. Опытов по выплавке передельного чугуна на кислородном дутье не производилось. Этот вопрос неясен и требует экспериментирования.

Дело в том, что кислород очень сильно ускоряет процессы горения, и эти процессы в доменной печи начинают происходить в меньшем объёме. Есть опасения, что в печи не будет образовываться той равномерной воронки, в которую опускается материал. Печь, после некоторого периода работы, откажет и принимать высокие температуры, и мы будем вынуждены сбавлять температуру нагрева дутья. Можно ожидать, что мы столкнёмся с этим явлением именно при выплавке передельных чугунов.

Считаю, что на основании опытов ДЗМО проектировать и строить большие печи, которые будут выплавлять передельные чугуны на кислородном дутье, было бы преждевременно. Необходимо сейчас организовать опытную работу по производству передельного чугуна в одной или двух домнах на кислородном дутье. Эти печи должны быть достаточно хорошо оборудованными, чтобы позволить производить на них форсированную работу.

Акад. П. Л. Капица: Почему за границей широко не применяется кислородное дутье в черной металлургии, если метод этот обещает выгоды? Прежде всего, получение кислорода в больших масштабах там ещё не обеспечено. Помимо же этого есть один фактор, о котором надо всегда помнить: металлургия передельных чугунов — это колоссальное хозяйство с огромными капиталовложениями, и всякие изменения в нём чрезвычайно трудны. Аналогичным примером являются железные дороги мира. Они никак не перейдут на дизель-локомотивы, хотя мы знаем, что железнодорожное хозяйство потребляет 30% всего топлива, а КПД паровозов ничтожен (около 6%). Переход же на более эффективные машины затруднен именно громоздкостью всего железнодорожного хозяйства, приспособленного для локомотивной тяги. В деле внедрения кислорода в черную металлургию неизбежны большие капиталовложения. В США, например, вряд ли пойдут сейчас на большие капитальные затраты в металлургии, так как там металлургия в основном уже построена, поглотив большие капи-

талы. Но мы находимся в стране, которая ещё только создаёт свою металлургическую промышленность. Поэтому к постановке опытов мы можем подойти иначе, мы можем рисковать капиталовложениями гораздо смелее, чем отдельные капиталистические фирмы, поэтому мы имеем возможность вести эксперименты в больших масштабах. Здесь есть известный риск, но если мы откажемся от него, то потеряем время и не сумеем внедрить идею применения кислородного дутья в металлургическую промышленность. Сугубая осторожность, отсутствие некоторой смелости могут очень тяжело сказаться потом. Надо бояться того, что мы будем развивать нашу промышленность по старому пути: за 2—3 года мы настроим много домен старого типа, и тогда переходить на кислородное дутьё будет труднее.

Инж. С. В. Кафтано в: Вопрос о применении кислородного дутья в чёрной металлургии должен решить доменный процесс. Во-

просы комбинированного, комплексного использования кислорода в металлургии также связаны с процессом, происходящим в доменах. Нам нужно обдумать и в ближайшее время составить предложения по восстановлению и продолжению опытов по применению кислорода при доменной плавке. Может быть, целесообразно перенести эти опыты на новую дому, скажем, на Урале, специально оборудовав её. Пока же мы не получим конкретных данных об изменениях в доменном процессе, связанных с применением кислорода, вопрос о выгодах этого метода мы решить не можем. Точно так же в деле комплексного использования кислорода, т. е. передачи колошникового газа в мартеновскую печь, а коксового газа — химической промышленности, мы должны твёрдо знать, какой газ мы получим в доменной печи. Желательно поставить эти опыты на практические рельсы, чтобы наметить пути внедрения кислорода в металлургическое производство.

ОПЫТ И ПРАКТИКА

ОПЫТ ПОСТРОЙКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ПЕРВОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ КИСЛОРОДНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ДОМЕННОГО ДУТЬЯ НА ДНЕПРОПЕТРОВСКОМ ЗАВОДЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ (ДЗМО)

Инж. Д. Л. ГЛИЗМАНЕНКО

Инженер Дмитрий Львович Глизманенко 14 лет работал в автогенной промышленности. В настоящее время он является заместителем Главного инженера Главкислорода при СНК СССР. Он написал книгу «Производство кислорода», изданную в 1941 г., а также ряд брошюр и статей по автогенному делу.

Проблема работы доменных печей на дутье, обогащённом кислородом, была поставлена в технике ещё в 1913 г., когда впервые в г. Угре (Бельгия) были проведены опытные плавки чугуна на кислородном дутье, давшие положительные результаты. Однако, промышленная реализация этого метода в течение почти двух десятков лет не могла быть осу-

ществлена потому, что машиностроительная промышленность не была достаточно подготовлена для освоения производства тех мощных и экономичных кислородных установок, которые необходимы для работы доменных печей на обогащённом кислородом дутье. Производительность освоенных в то время кислородных агрегатов не превышала