

являющейся наиболее значительным потребителем кислорода.

Новые методы получения кислорода дали основание Советскому правительству принять ряд решений по производственному оформлению кислородного дела. Так возникло Главное управление по кислороду при Совнарком-е СССР, которое призвано широко внедрить в промышленность новые методы получения жидкого и газообразного кислорода, а также снабдить все отрасли промышленности кислородными установками турбинного типа.

Важнейшим органом Главного управления по кислороду является его Технический со-

вет, который осуществляет руководство внедрением в промышленность новых способов получения кислорода и его применением для интенсификации технологических процессов ряда отраслей промышленности СССР. В состав Технического совета входят руководящие деятели различных областей народного хозяйства Советского Союза. На регулярно собираемых заседаниях Техсовета решаются важнейшие вопросы, связанные с применением кислорода в промышленности. Значительная часть обработанных стенограмм докладов и прений на заседаниях Технического совета будет публиковаться в сборниках.

С ЗАСЕДАНИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО СОВЕТА

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ СООБРАЖЕНИЯ О ПЕРСПЕКТИВАХ ПРИМЕНЕНИЯ КИСЛОРОДА В ЧЁРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ*)

Акад. И. П. БАРДИН

Кислород участвует во всех физиологических, органических и неорганических процессах природы. В результате реакций его с другими элементами выделяется свободная тепловая энергия. Наиболее часто вступает в соединение с кислородом углерод и его органические соединения, которые и служат главнейшими источниками тепловой энергии.

Металлургия вообще, а стали в особенности, это — химия высоких температур. Она является одним из главных потребителей углерода и кислорода. Запасы кислорода в воздухе безграничны и распределены повсюду, поэтому воздух — незаменимый материал для всех термических процессов металлургии.

Активной составляющей частью воздуха, принимающей участие в химических реакциях, сопровождающих горение, служит кислород, который занимает лишь $\frac{1}{5}$ объёма воздуха. Остальные $\frac{4}{5}$ объёма представляют собой инертный, мёртвый газ — азот.

Металлургические процессы, представляющие собой или химические реакции, или тепловые и механические воздействия на металл, как правило, протекают при температурах выше 1000°C .

Азот, не принимающий участия в химических процессах, наравне с другими материалами нагревается до высоких температур и выбрасывается с дымовыми газами в атмосферу.

От всякого балласта, когда его размеры выше определённых пределов, необходимо избавиться. Такой процесс мы называем обогащением и применяем в необходимых случаях к нашим рудам, углям и неметаллическим ископаемым. (В исключительных случаях, при плавке богатых руд, для получения необходимых свойств и качества шлака приходится намеренно извне вводить бедные руды.)

Азот — балласт, от которого надо избавиться и стараться работать на воздухе, обогащённом кислородом до такого содержания, какое будет наиболее экономически выгодно для разнообразных металлургических процессов.

*) Доклад на заседании Технического совета Главкислорода 24 августа 1943 г.

Попытки применения в металлургии обогащённого кислородом воздуха известны давно. Широкому использованию кислорода в металлургии железа и стали препятствовали две основные причины: а) дороговизна кислорода и маломощность производящих его установок*) и б) неизученность и неподготовленность процессов, которые должны быть переведены на работу с кислородом. Сравнивая эти две основные причины, надо сказать, что в настоящее время, когда техника получения кислорода имеет большие достижения, организация массового применения его и подоготовленность к этому металлургии совершенно недостаточны.

Если ранее считалось, что надо только иметь дешёвый кислород, а применение его в металлургии обеспечено, то теперь наоборот. Решение задачи получения кислорода в неограниченных количествах и при этом дешёвого к осуществлению ближе, чем немедленное и экономически выгодное применение его в большом количестве для целей металлургии. Речь должна идти именно о большом количестве потому, что только тогда кислород может быть дешёв.

Работа на повышенных концентрациях кислорода в дутье должна, по нашим представлениям, изменить самый характер физико-химических процессов металлургии в сторону их интенсификации. Это повысит использование агрегатов и может привести к новой технологии с новым техническим оснащением. Эта сторона применения кислорода теоретически и практически известна очень мало.

Положение с кислородной проблемой в металлургии аналогично тому, какое было 40 лет назад с сухим дутьём Гейлея, с одной лишь большой разницей: 40 лет назад металлургия была готова принять дутьё в любой

*) Так, анализируя этот вопрос, Люрман в 1912 г. находит, что при стоимости кислорода в 25 пфенигов за 1 м³ удорожание чугуна с повышением концентрации кислорода в дутье на 1% составит 10,2 марки. Уровень кислородопроизводящей техники того периода характеризуется тем, что самая большая кислородная установка производила 200 м³ в час и стоимость кислорода равнялась 25 пфенигам за 1 м³.

В 1923 г. Американское Горное бюро, анализируя вопрос применения кислорода в металлургии, находит возможным получение тонны кислорода ценной в 3 доллара, т. е., сравнивая это со стоимостью: 1912 г., имеем удешевление в 15 раз. При такой себестоимости кислорода Горное бюро находит возможным и экономически выгодным применение кислорода для производства ферромарганца. При плавке ферромарганца в размерах производства 60—70 т в сутки имеем стоимость 81,8 доллара за тонну при обычном способе производства, против 66 долларов — на кислороде.

момент, но техника получения сухого дутья была не освоена. Когда инженеры-энергетики решили задачу экономически рентабельного получения сухого воздуха, доменные печи одна за другой стали переходить на такой способ работы.

В кислородной проблеме положение противоположное — металлургия не готова к принятию кислорода в широкую практику. Это указывает на то, что металлургам надо приступить к решению этой задачи немедленно, так как состояние вопроса с получением дешёвого кислорода и в любых количествах ближе к осуществлению, чем возможность его использовать у главного потребителя — металлургии — в больших количествах и экономически целесообразно.

Надо заметить направления, по которым прежде всего необходимо развернуть работу. Эти направления, несомненно, должны быть наиболее перспективны по народнохозяйственной значимости.

Порядок разработки всякой новой идеи должен проходить следующие стадии (см. схему на стр. 6).

Решение всякой инженерной задачи прежде всего требует знания размера явления, с которыми придётся иметь дело, условий, в которых они будут протекать, и какие преимущества и возможности имеют новые процессы по сравнению со старыми способами.

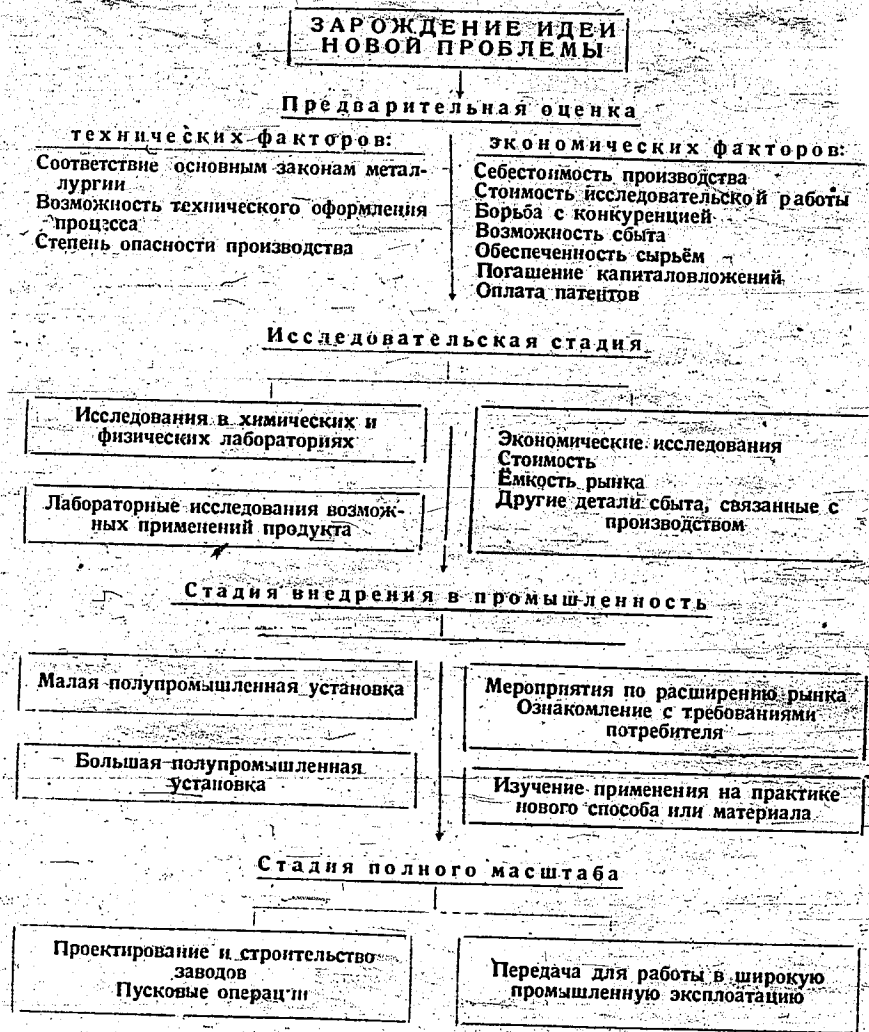
В металлургии имеют место два вида процессов: физические — нагрев тел и химические — восстановление и окисление. Азот воздуха участвует в обоих видах. Если в физических процессах он является теплоносителем, т. е. средой, отдающей по пути своего следования часть полученного тепла на полезную работу, то в химических процессах он разжижает концентрацию восстановительных или окислительных сред, замедляет течение реакции и тем самым препятствует интенсификации технологии.

Выгоды от применения кислорода вместо воздуха должны быть определены как в физических, так и химических процессах металлургии чугуна и стали.

Количество кислорода, участвующего в тепловых процессах металлургического завода замкнутого цикла, т. е. выплавляющего чугун, переделывающего его в сталь и затем выпускающего весь металл в виде готового проката, будет следующее: завод, производительностью в 1 млн. т готового проката, употребит, при высоком уровне техники производства, 2 млн. т угля, содержащего

1,75 млн. т углерода. Весь этот углерод в конце концов сгорает, превращаясь в углекислоту, на что требуется 3,26 млрд. м³

рой сбрасывать в атмосферу, то это равносильно потере 40—50% всего употребляемого в производстве угля. К счастью, применяя ре-



кислорода. Это количество кислорода сопровождается 13,0 млрд. м³ азота и составит 16,26 млрд. м³ воздуха.

Средние температуры топочных пространств агрегатов чёрной металлургии могут быть приняты не ниже 1400°С. Если азот в количестве 13,0 млрд. м³ с такой температу-

генерацию и рекуперацию теплоты продуктов горения, мы снижаем температуру отходящих газов до 300°С, что даёт потерю с азотом в дымовых газах только 0,65 млн. калорий на тонну топлива, или 9% от всего поступающего угля. Это и есть минимальный размер потерь от прохождения через печь азота.

Помимо потерь с дымовыми газами, снижения температур горения, надо ещё указать на излишнюю работу по транспортировке ненужного азота по воздухо- и газопроводам.

Компрессия азота до 1—1,25 атм. изб. для производства миллиона тонн чугуна требует излишнюю мощность в 14 000 л. с. при доменном производстве. Остальное количество азота употребляется в металлургических печах при меньших компрессиях (до 0,1 атм. изб.), что также требует около 11 000 л. с. мощности по транспорту азота. Если выразить эту излишнюю работу в калориях и перевести на условное топливо, то потребность в излишнем угле для компрессии азота составит 100 тыс. т в год, а всего 280 тыс. т угля, или 14% от поступающего.

Абсолютная величина потеря вследствие работы металлургического завода на небогатом дутье настолько велика, что необходимость и срочность мероприятий по переводу печей на воздух, обогащенный кислородом, не требует доказательств.

Участие кислорода в химических процессах обещает не меньше преимуществ, чем в физических. Рассмотрим это отдельно в доменном и сталелитейном производствах.

Особенности доменного процесса при дутье, обогащенном кислородом

Применение дутья, обогащенного кислородом, вносит существенные изменения в условия доменного процесса. Температура нижних горизонтов печи повышается, разность между температурой газов и шихты увеличивается. Температура верхних горизонтов печи понижается и разность между температурой газов и шихты уменьшается. Чем выше концентрация кислорода в дутье, тем меньше поступает тепла в шахту. Следовательно, без дополнительного подвода тепла предел обогащения дутья кислородом определяется моментом, когда в шахте начинает недоставать тепла. Чем выше расход горючего, чем выше температура колошника, тем хуже тепловой коэффициент полезного действия печи.

При дутье, обогащенном кислородом, количество и упругость дутья и газов в печи понижаются. Отдача газами тепла улучшается, температура колошника понижается, вынос пыли меньше, концентрация окиси углерода в газах увеличивается, что вызовет развитие процесса непрямого восстановления окислов железа.

Различные исследователи дают для условий работы с обогащенным воздухом достаточно разноречивые размеры экономии горючего и увеличения производительности доменной печи. Так, специальная комиссия Американского Горного бюро, созданная для разработки кислородной проблемы, проведя ряд теоретических подсчетов, находит, что при работе на холодном дутье с содержанием кислорода в 31% можно получить меньший расход кокса и увеличение производительности при работе на передельный чугун в размере 18%, против работы на обычном горячем дутье. Недостаток тепла в шахте в этом случае компенсируется дачей извести и предварительной подсушкой материалов. Расход тепла на эти статьи не учитывается; так как для этого можно расходовать менее ценное горючее, нежели кокс. Наибольший эффект обогащенное кислородом дутье, по мнению Комиссии, принесёт при выплавке специальных чугунов.

Ричардс в 1910 г. определил расчётным путём экономию кокса и соответственно увеличение производительности при работе на дутье с 25,8% кислорода на 16%. Держлей (1922 г.) считает, что увеличение содержания кислорода в дутье, нагретом до 800° С, на 5% повышает производительность печи на 33,8%. Брюнингхауз (1925 г.) опять-таки теоретическим подсчётом определяет, что холодное дутье с содержанием кислорода в 28,5% вызовет повышение коэффициента расхода горючего от 1,050 до 1,116 и увеличение производительности домны на 25%.

Разбирая вопрос применения кислорода в доменной плавке, Рейхардт приходит к выводу, что при холодном дутье, обогащенном кислородом, можно не допустить увеличения расхода горючего, но и нельзя ожидать заметной его экономии. Минимальное содержание кислорода в дутье для работы на холодном воздухе он считает не ниже 59%. При меньшем содержании кислорода в холодном дутье нельзя иметь такой же расход горючего, как при горячем небогатом дутье. Недостаток тепла в шахте Рейхардт предлагает компенсировать загрузкой в печь горячего кокса, извести, агломерата. Проф. Н. А. Костылёв писал, что при 33—35% кислорода в холодном дутье можно получить экономию кокса в размере 10—12%.

Все эти рассуждения показывают, насколько противоречивы данные, полученные расчётным путём видными и признанными теоретиками доменного дела. Причина этого

кроется в том, что недостаточная изученность скорости процессов при обогащенном кислородом дутье приводит к тем или иным ошибкам.

Посмотрим, что дают экспериментальные данные.

В 1913 г. в Бельгии на заводе Угрэ-Марие были впервые проведены опыты работы доменной печи на дутье, содержащем 23% кислорода. В этих опытах увеличение производительности доменной печи составляло 12% и сокращение расхода кокса 2,5—3%.

На заводе ГФФ при выплавке томасовского чугуна увеличение содержания кислорода в дутье до 26% дало уменьшение коэффициента расхода кокса на 13,3% и повышение суточной производительности домы от 63,8 т до 71,4 т, т. е. на 11,9%. Наибольшая экономия кокса была получена при выплавке ферромарганца. Немецкие исследователи на основе этих опытов считают, что наиболее выгодно для передельных чугунов концентрацию кислорода держать около 26%, а при выплавке ферромарганца — 30%.

Наши опыты, проведенные на Чернореченском заводе, показали возможность применения дутья с концентрацией кислорода до 60%.

Имеющиеся данные нашей печи ДЗМО, во всяком случае при относительно длительной эксплуатации, показали, что при выплавке ферросилиция на дутье с 30% кислорода сокращение расхода кокса составляло 25%, а производительность увеличилась вдвое против работы на обычном дутье. Так как работа этой печи является темой специальной статьи, то мы ограничимся лишь приведенными выше данными.

Все приведенные экспериментальные данные хотя и однозначны, но имеют большой разброс в данных сокращения расхода кокса и увеличения производительности. Главнейший недостаток ещё в том, что опыты проводились кратковременно и на агрегатах, имеющих профиль, не свойственный для доменной печи на дутье с обогащенным кислородом. Несомненно, что доменная печь со специальным профилем даст лучшие и устойчивые производственные коэффициенты.

Нами на основании имеющихся, далеко неполных, данных, а в некоторых случаях лишь собственных предположений произведен ряд подсчетов экономики кислородных процессов в металлургии. Задача этих подсчетов — завоевать право кислорода на испытания в масштабах полноценных металлургических агрегатов и завода. Лишь после такого испытания

возможно решить вопрос о массовом внедрении кислорода. При наших подсчетах мы учитывали не только экономию на самом металлургическом процессе, но и отражение этой технологии на смежных отраслях, обслуживающих металлургию, а также в капиталовложениях по всем линиям — от сырья до готового металла.

Объяснение данных, принятых в таблице 1а:

а) Расход пара для дутья турбовоздуходувками на современных доменных печах составляет 0,8 т на тонну чугуна. При дутье с 42%-ным кислородом уменьшение расхода кокса и объема 40%-ной смеси одновременно снижает расход пара до 0,3 т на тонну чугуна.

б) Производительность рабочего угольщика принята в 300 т угля в год, или 8 рабочих часов на тонну угля. Производительность рабочего на руде — 1000 т в год, или 2,4 часа на тонну. В обоих случаях учтены все подземные, поверхностные рабочие и административно-технический персонал.

в) Затрата труда при производстве кокса и в доменном производстве принята равной 0,75 рабочего часа на 1 т чугуна, что соответствует производительности труда на современных доменных и коксовых агрегатах большой мощности.

г) В энергетических цехах для полного обслуживания комплекса ЦЭС на каждую тонну часовой производительности котельной, включая обслуживание машинного зала, распределительных устройств, угольных складов и пр., принят один рабочий час.

Таким образом, в результате сравнения техно-экономических показателей имеем общий итог при применении кислородного дутья, выразившийся в сокращении всех расходов на 146,5 млн. рублей, что при стоимости чугуна в 100 рублей даёт удешевление в 14,6 рубля на тонну, т. е. стоимость чугуна в 85,4 рубля (см. таблицу 1б).

Общий итог по анализу капитальных затрат

При кислородном процессе для производства 10 млн. т чугуна в год экономия в капитальных затратах против общепринятого способа составит: 1025 млн. руб. — 625 млн. руб. = 400 млн. рублей.

Сокращение капиталовложений при кислородной технологии в эксплуатации отразится на уменьшении начислений на амортизацию в размере 20—25 млн. рублей в год, что даст дополнительную экономию в 2,5 рубля на тонну чугуна.

Таблица 1а

Сравнение технико-экономических показателей работы металлургических агрегатов на 42%-ном кислороде и на воздухе

Доменный процесс. Производство 10 млн. т чугуна в год
 Дутьё с кислородом (42%) без подогрева
 Дутьё воздушное при температуре 600°C и выше

Сравнение эксплуатационных показателей

Расход кокса 0,75 при 42%-ном содержании кислорода и 1,00 при воздушном дутье.
 Расход руды 1,65 для кислородного и 1,75 для воздушного процессов.

	На кислороде	На воздухе	При кислородном процессе + экономия, - убыток			Причина
			Материал	Рабочие	Деньги	
Статьи расхода:						
Требуется кокса	7,5 млн. т	10 млн. т	+2,5 млн. т	12 500+2 000= 14 500	+100 млн. р.	Лучшие условия восстановления, меньше потерь с газами.
Требуется руды	16,5 » »	17,5 » »	+1,0 » »	+850	+10 » »	
Требуется пара дутью	3,0 » »	8,0 » »	+5,0 эквивалент +0,75 млн. т угля	2 500+575= +3 075	+40 » »	Меньше пыли Меньше азота и кокса
Требуется рабочих в доменных цехах	3 250	5 550		+2 300	+23 » »	Лучшее использование агрегатов
Требуется электростанции для кислорода	830 млн. квтч	Нет	Эквивалент -0,75 млн. т угля	2 500+575= -3 075	-41,5 » »	Принято: 0,8 углерода в коксе 50% прямого восстановления, 0,3 квтч на 1 м³ кислорода
Статьи прихода:						
Получено чугуна	10 млн. т	10 млн. т				Отсутствие кауперов, калорийность газа 1 600
Теплота горения избыточного газа	32,5 ¹² кал.	30,0 ¹² кал.	+250 ¹² кал. угля+350 тыс. т	+1 100	+15 » »	

Таблица 1б

Сравнение капитальных затрат на строительство мощностей на 10 млн. т чугуна в год для воздушного и кислородного процессов

Наименование объекта или агрегата	Потребность для		Стоимость (в млн. руб.)		+ экономия - перерасход (в млн. руб.)
	кислородного процесса	воздушного процесса	кислородного процесса	воздушного процесса	
Требуется дополнительно:					
Угольные шахты	Не надо	3,8 млн. т	Нет	275	+275
Железные рудники	» »	1,0 » »	» »	25	+25
Коксовые печи	7,5 млн. т	10,0 » »	750	1 000	+250
Необходимый объём доменных печей	17 500 м²	27 500 м²	175	275	+100
Каупера	Не требуется	81 аппарат— 1 500 000 м³ пов. нагрева	Нет	150	+150
Воздуходувки	25 машин по 5 000 квтч	35 машин по 10 000 квтч	125	350	+225
Кислородная установка	500 тыс. м³ в час	Нет	250	Нет	-250
Электростанция для кислородной установки	1,5 млрд. квтч/год	»	375	»	-375

Примечание: Рудные дворы принимаем одинаковыми по стоимости; на самом же деле при кислородном процессе размеры их будут меньше.

Вместе с уменьшением эксплуатационных расходов на выработку чугуна кислородным процессом себестоимость чугуна снизится до 82,9 рубля за тонну, против 100 рублей при обычном, что даст 171 млн. рублей экономии в год.

Объяснения к приведенной выше таблице.

Капиталовложения, принятые на тонну чугуна в год

В угольных шахтах	72 руб. 50 коп.
В рудниках	25 "
В коксовых печах (вместе с коксхимией)	100 "
На 1 м ³ доменной печи	1 000 "
Стоимость 1 м ² поверхности нагрева кауперов	100 "
Воздуховодные машины, за 1 км	1 000 "
Воздуховодные установки с коэффициентом использования от установочной мощности в 60% за м ³ кислорода в час	500 "
Дополнительная электрическая мощность и дополнительные энергии кислородных установок за км ²	25 "
Расход энергии на м ³ 98%-ного кислорода	0,3 кмвт

Применения кислорода в металлургии стали
 Область применения кислорода в металлургии стали. В металлургии стали кислород участвует или в качестве окислителя примеси (кремния, углерода и других элементов) или для горения газов в рабочих пространствах сталеплавильных печей. Наиболее перспективно, по нашему мнению, применение кислорода в бессемеровском процессе, где кислород одновременно выполняет две функции — нагрев металлической ванны и окисление примесей. Бессемер, продувая кислород вместе с воздухом через расплавленный металл, получил возможность. Скорость превращения чугуна в сталь в один раз превысила существовавший до тех пор способ. Бессемеру мы обязаны тем, что он открыл стальной век. Сталь появилась в большом количестве и стала быстро внедряться во все области человеческой жизни. Кислород, даже разбавленный азотом, но приведенный в непосредственное соприкосновение с чугуном, заставил металлургическую реакцию проходить в несколько раз быстрее.

Это было главным преимуществом бессемеровского процесса, но и главным недостатком среди тех методов контроля, которые соответствовали технике того времени. Процессы шли минутами, а контроль производства, а отсюда и управление им велось на глазок. Качество металла, получаемого бессемеровским

процессом, в особенности для некоторых сортов стали, было неудовлетворительным.

Второй недостаток бессемеровского процесса заключался в том, что он не был приспособлен для переработки стального лома, а последний всё время накапливался. И вот вследствие этих двух основных причин бессемерование начинает постепенно утрачивать свое первенство в металлургии стали и уступает его более медленному процессу — мартеновскому переделу, длительность которого больше соответствует контролю производства и при котором качества стали находятся в руках у металлурга. Поэтому для ответственных изделий употребляется, главным образом, мартеновская сталь.

Потеря бессемеровским способом производства стали своего первенства и сдача позиций мартеновской печи произошла потому, что управление бессемеровским процессом вследствие быстроты, с которой протекают реакции, не удавалось наладить удовлетворительно. Этот новорожденный оказался «трудным ребенком» в семье металлургических процессов. Он родился много раньше того, как были найдены способы управления им.

Лишь в самое последнее время, главным образом в США, освоено управление бессемеровским процессом на основе автоматизации. Контроль производства теперь успевает за процессом и автоматически указывает конец и различные фазы операции. Этот прогресс в управлении процессом немедленно отразился на улучшении качества металла, уменьшении расхода раскислителей, легирующих примесей и увеличении выхода стали.

Сравнивая мартеновский и бессемеровский металлы, к недостаткам последнего надо отнести: насыщенность металла газами (особенно азотом и водородом) и невозможность использования возврата металла; к достоинствам — быстроту огераций.

Посмотрим, как отразится на качестве металла, полученного в бессемеровском процессе, кислородное дутьё. Кислород для бессемерования будет содержать лишь следы азота и влаги и поэтому не заразит сталь азотом и водородом. Это снимет с бессемеровского металла тяжкое обвинение в насыщенности его газами. Мы получим металл, который по своей газонасыщенности будет стоять выше мартеновского и даже электростали.

Надо отвоёвывать ещё одно преимущество у мартеновского процесса, а именно, ему одному присущую особенность — утилизацию лома и обрезки, получающихся в процессе переработки.

ки стали на металлургических заводах замкнутого цикла в размере 35—40%. При нормальном бесемеровском переделе такое количество возвратов не может быть переплавлено. Кислородный процесс идёт быстрее, чем нормальное бесемерование, сопровождается большим выделением тепла. Достаточно сказать, что при нормальном бесемеровском процессе горение углерода в CO охлаждает ванну, а при кислородном эта реакция выделяет тепло и нагревает ванну. Поэтому в случае перехода на работу с кислородом тепловой баланс бесемеровского процесса будет настолько положительным, что явится возможность использовать не менее 30% скрапа, т. е. в этом отношении этот процесс приблизится к мартеновскому переделу. Это также повысит выход стали с 87—89% до 92—93%.

Некоторое количество плавов, весом каждая до 1,5 т и менее, продутых нами в достаточно примитивных условиях, не даёт ещё возможности установить точные расходные коэффициенты кислородного процесса, но для ориентировочных соображений, имеющих своей целью обосновать дальнейший шаг опытов, а именно, переход их в полупромышленную стадию, нам кажется, они показательны. Эти экономические соображения приведены в таблице 2.

Общая экономия в эксплуатационных расходах по производству стали кислородным методом будет:

По рабочей силе (сравнивая с мартеновским цехом)	7500 чел.
» добыче угля	6000 »
» производству огнеупоров	7500 »
Всего	21 000 чел.

По материалам:	
Уголь	1 800 млн. т
огнеупоры	400 000 т

Пояснения к таблице 2а и 2б:
Стоимость кислородных установок принята равной 500 рублей за 1 м³ кислорода в час. Расход кислорода на тонну стали — 65 м³. (Коэффициент использования 0,77.) Потребление электроэнергии крайями: при кислородном процессе — 10 кВтч, мартеновском — 15 кВтч и бесемеровском — 20 кВтч на тонну стали. Расход электроэнергии на 1 м³ кислорода составляет 0,3 кВтч. Расход угля на тонну стали в кислородном процессе принимается на производство электроэнергии, в мартеновском — на отопление печей и на электроэнергию. Расход огнеупоров в кислородном про-

цессе, исходя из меньшей производительности плавов и меньшего количества шлакообразующих, — 20 кг, в мартеновском — 50 кг, в бесемеровском — 30 кг на тонну стали. Производительною на тонну стали. Сравнение технико-экономических показателей кислородного и обычного процессов (на 10 млн. т стали в год).

(Масштаб производства 10 млн. т в год)

Наименование операций	Кислородный процесс	Обычный способ	
		мартен	бессемер
1. Расход электроэнергии на производство кислорода (0,3 кВтч на 1 м ³)	200 млн. кВтч	150 млн. кВтч	200 млн. кВтч
2. На работу кранов и вспомогательных механизмов	100 млн. кВтч	150 млн. кВтч	200 млн. кВтч
3. Расход угля на производство стали (10 млн. т). Требуется: раб.	200 тыс. т	2 млн. т	—
болич.	2 500 чел.	10 000 чел.	3 500 чел.
огнеупорных материалов	200 тыс. т	500 тыс. т	300 тыс. т

длительность рабочего по добыче угля — 300 т в год, рабочего по производству огнеупоров — 40 т в год (вместе с карьерами сырья). Стоимость строительства электростанций

Разница в капитальных вложениях для производства стали по кислородному и обыкновенному способам (на 10 млн. т стали в год)

Наименование операций	Кислородный процесс (млн. руб.)	Обычный способ (млн. руб.)	
		мартен	бессемер
Электростанция для производства кислорода	500	—	—
Стоимость кислородной установки	37,5	—	—
Здания, печи, оборудование сталеплавильных цехов	100	1 000	1 000
Итого	537,5	1 000	1 000

0,25 коп. за сумму капиталов в год. Стоимость мартеновских цехов — 100 руб. на тонну стали в год, в кислородном процессе — 20 руб. и бесемеровских — 50 руб. на тонну

рода в старых формах производства не даст тех выгод, которые оно может дать в новых, но последние могут быть осуществлены лишь при его наличии в большом количестве.

Кислородный процесс позволяет легко осуществить автоматическое регулирование состава стали простой дозировкой кислорода. Процесс передела чугуна в сталь может быть

печи, бессемер, колдцы и блюминги для прокатки заготовки. Шихтовые дворы мартенов соединятся с доменными, станет ненужным огромный парк изложниц и т. п.

Нами подсчитаны возможные результаты такого процесса, результаты подсчета представлены на трёх поточных диаграммах.

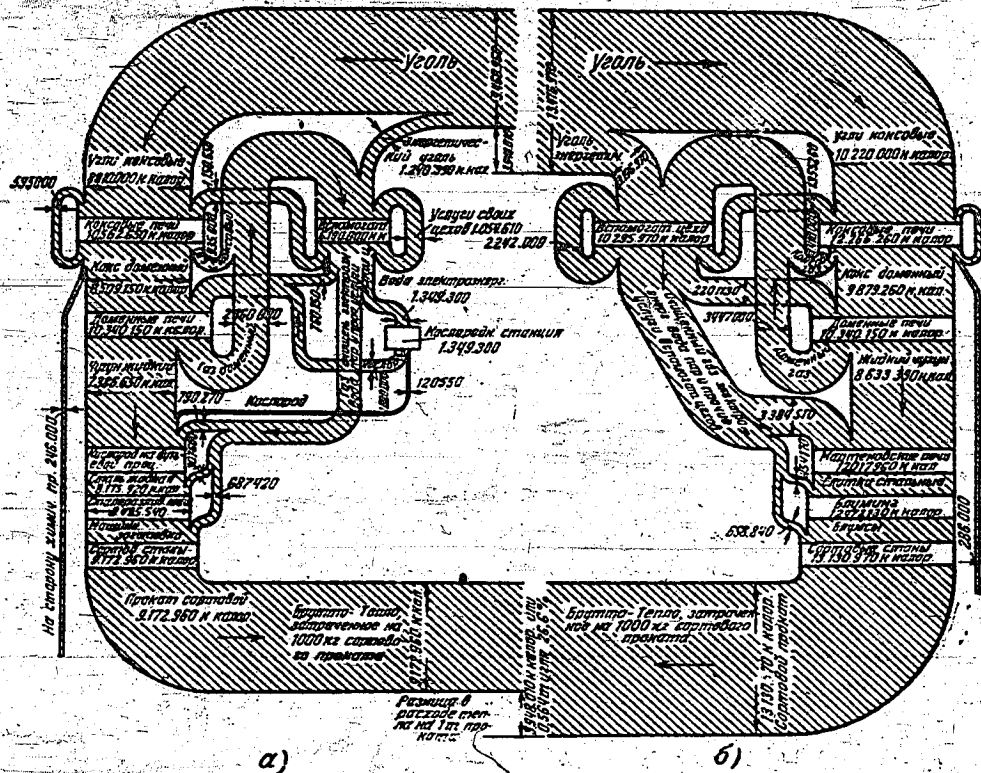


Рис. 2. Сравнительный баланс тепла при производстве 1000 кг проката: а) по новой технологии, с применением кислородного дутья, б) по существующей технологии (всюду в кг-калориях).

доведён до непрерывного. Будущее металлургии в этом случае можно представить себе в виде кислородной доменной печи, в которую загружаются сырые материалы, скрап, топливо; промежуточный нейтральный сосуд нагретого металла — миксер; идущий из него постоянный поток чугуна продувается кислородом. В этот поток металла добавляются необходимые жидкие раскислители. Полученная таким образом сталь поступает на бесслитковую прокатку или непрерывную разливку. В этом случае мы упраздняем мартеновские

Диagramма сравнительного баланса металла (рис. 1) показывает, что кислородный процесс не даёт больших преимуществ для прокатного производства. На 1000 кг металла мы будем иметь всего 78 кг экономии, т. е. 7,8%.

Наиболее эффективной будет экономия в тепле. [см. диаграмму сравнительного баланса тепла (рис. 2)], где вместо 13 130 970 калорий на тонну готового сорта будем иметь 9 172 960 калорий на тонну, т. е. 26,6% экономии.

Но больше всего применение кислорода отразится на балансе трудовых затрат

(рис. 3). Вместо расхода на тонну готового проката 19,6 человеко-часов будем иметь 11,8 часов, т. е. рабочих, занятых на металлургическом заводе, потребуется почти вдвое меньше.

Сопоставляя производственные расходы и расходы по сооружению завода, мощностью 10 млн. т стали и чугуна, мы будем иметь сле-

сте с накладными расходами — 10 000 руб. в год.

Экономия сырья, топлива, рабочих рук выразится в следующих величинах: угля на 6,0 млн. т меньше, или на 26,8%. Руды меньше на 1,1 млн. т, или на 6,0%; огнеупоров меньше на 0,3 млн. т, или на 60%. И, наконец, рабочих, занятых на металлургических заводах,

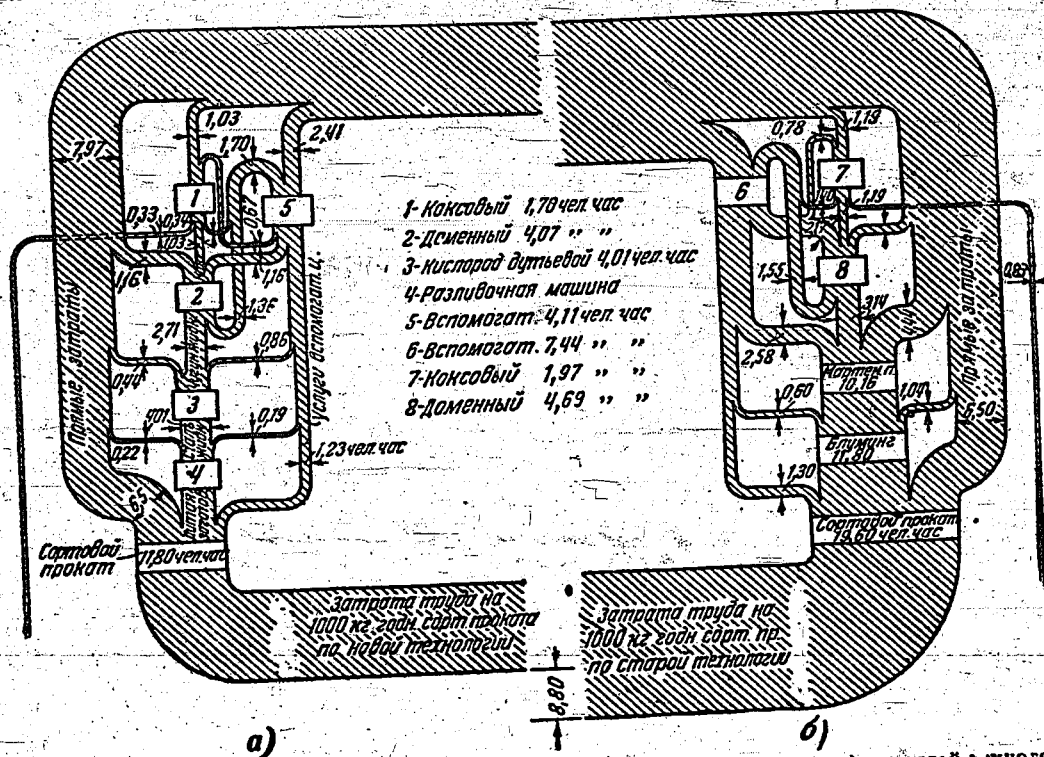


Рис. 3. Сравнительный баланс затрат труда при производстве 1600 кг проката: а) по новой технологии, применением кислородного дутья, б) по существующей технологии (всюду в человеко-часах).

дующие преимущества против существующих способов:

1) Экономия при производстве 10 млн. т чугуна и 10 млн. т стали будет слагаться из 146,5 млн. руб. уменьшения себестоимости чугуна и 151 млн. руб. уменьшения себестоимости стали. Итого около 300 млн. руб., что при общей себестоимости производства, по старому способу, около 2 млрд. руб. равно 15%.

В подсчетах по уменьшению себестоимости стали для кислородного способа принято: стоимость тонны угля — 20 руб., огнеупоров — 100 руб., оплата труда рабочего мартена вме-

будет меньше на 40-тыс. человек, или на 40%. чем на заводах, оборудованных на уровне современной техники.

2) Уменьшение капиталовложений в заводы, работающие на воздухе, обогащенном кислородом, против заводов существующего уровня техники, при их мощности, равной 10 млн. т чугуна и 10 млн. т стали, будет равняться сумме экономий на капиталовложениях по чугуну в 400 млн. руб. и по стали в 600 млн. руб., итого 1 млрд. рублей. Полная стоимость завода, производительностью в 10 млн. т, вместе с силовыми станциями, прокатными и вспомогательными цехами, железными рудни-

ками и карьерами может быть принята в 10 млрд. руб., что даст 10% экономии в пользу кислородного способа. Доменный и мартеновский комплексы будут стоить не больше 60% от полной стоимости завода, т. е. размер экономии будет 16,7% от этих затрат, так как только их и касается новая технология.

Приведённые соображения по перспективам применения кислорода в металлургии — не воздушные замки, а крепости сокровищ природы, которые надо взять. Но мы знаем, что нет таких крепостей, которые бы не взяла техника, вооружённая передовой наукой.

ОБСУЖДЕНИЕ

Проф. К. Г. Трубин: Нам, металлургам, в частности сталеварам, чрезвычайно важно иметь высококалорийный газ. Газ для мартеновской печи, который мы получаем из антрацитов, низкокалорийный. Он плохо обеспечивает нормальный ход работы мартеновской печи. Применение воздуха, обогащённого кислородом, несомненно позволит, как показывают теоретические подсчёты, получать из антрацита газ, калорийностью до 1500—2000 ккалорий и выше. Такой газ будет прекрасно работать в мартеновской печи. Установку для газификации осуществить очень легко. Так как угля, на которых мы работаем, по преимуществу антрацитовые, то для применения кислорода здесь открываются большие перспективы.

И. П. Бардин говорил об использовании кислорода в мартеновских процессах. Эти возможности связаны с проведением целого ряда исследовательских работ. Нельзя в точности предсказать, какие получатся результаты, но можно предвидеть преимущества этих процессов. Может быть, мартеновскую печь удастся превратить из регенеративной в дрямоточную, т. е. получить чрезвычайно простую конструкцию печи. В целом ряде случаев можно будет упростить конструкцию отказом от нагрева газа, оставив подогрев только воздуха, обогащённого кислородом; можно будет использовать низкокалорийные сорта топлив.

Практика наших заводов показывает, что на одном доменном газе мартеновская печь работать не может, а при применении воздуха, обогащённого кислородом, можно вести работу на одном колошниковом газе.

Мартеновская печь — аппарат в высшей степени несовершенный, в частности, несовершенна система головок. Современная конструкция головок требует узких сечений для поступающего газа и широких сечений для

поступающего воздуха. Эти головки служат для отвода продуктов горения и распределения их в соответствии с объёмами регенеративных камер. Современные головки не удовлетворяют ряду требований. В результате неправильного распределения продуктов горения происходит неравномерное сгорание, и воздушная насадка сильно зашлаковывается. печи быстрее выходят из строя. Это — бедствие всякой мартеновской печи. Если мы будем применять обогащённый кислородом воздух, то соотношение объёма воздуха и газа изменится, и можно рассчитать такую конструкцию печи и такие сечения для газо- и воздухопроводов, при которых этот недостаток будет устранён.

Акад. И. П. Бардин: Использование обогащённого кислородом дутья в мартеновском процессе не исключено, но не даёт такой большой экономии в капитальных затратах, как применение кислорода в бессемеровском процессе. Чем хорош бессемеровский процесс? Если мы будем иметь чистый, не загрязнённый азотом и водяными парами, кислород, то получится очень чистый металл, и качество его в противовес существующей практике будет несколько не хуже мартеновского. Интенсификация горения и связанное с ней повышение температур позволят ввести в процесс достаточное количество скрапа.

Таким образом, я не отрицаю возможности применения кислородного дутья в мартеновском процессе, но, как бы мы ни изменяли при этом конструкцию печи, идея процесса остаётся той же, т. е. рельсы останутся старыми, может быть, полотно будет уложено на новом балласте. Принципиально нового можно ждать только при применении кислорода в бессемеровском процессе.

Акад. П. Л. Капица просит докладчика подробнее осветить вопрос о возможности непрерывного металлургического цикла на кислородном дутье.

Акад. И. П. Бардин: Идея непрерывного процесса сводится к следующему.

Из доменной печи выпускается чугуны. Он идёт в ковши, сливается в миксеры, а из миксеров непрерывной струёй движется по жолобу или какой-нибудь трубе, куда одновременно подаётся кислород. Дозировку кислорода в соответствии с количеством протекающего металла можно установить очень точно и в результате получать непрерывный поток. Основным возражением против такого процесса является указание на невозможность введения в него скрапа. Но это можно

обойти, задавая скрап в миксер или в виде руды при продувке. Важно то, что при этом процессе можно осуществить непрерывность. В конце этого потока должны быть предусмотрены соответствующие устройства, которые позволят распространить поток на дальнейшие стадии первичной обработки металла. Здесь можно представить себе цепь изложниц, из которых металл уже будет выдаваться в виде слитков. На одном из наших заводов были проделаны опыты в этом направлении, причём получена непрерывным путём полоса проката длиной в 500—700 м. Отдельные бруски, полученные на этом заводе, достигали длины до 70 м. Нет никаких указаний, которые говорили бы о невозможности осуществления такого непрерывного процесса в заводских условиях. Этот процесс обещает большие выгоды. В дополнение к той экономии, о которой я говорил в докладе, вы получите процесс, в котором исключена ещё одна очень дорогая операция — предварительный нагрев металла перед прокаткой на блюминге. Заготовка в горячем виде поступит для обработки в прокатных станах.

Такова общая идея, но, прежде чем перейти к её реализации, нужно освоить ряд промежуточных звеньев. Например, до сих пор остаётся неясным вопрос о методах разлива; добиваться ли получения непрерывного слитка или же дробить разливку и т. д.

Общие цифры экономии при непрерывном процессе представляются в следующем виде: металл будет получаться на 30% дешевле, чем сейчас. Данные по капиталовложениям трудно уточнить, так как мы не знаем технических форм, в которые будут облечены отдельные этапы процесса.

Я считаю, что при внедрении этих методов нам нужно пока оставить в стороне вопросы получения высококачественных сортов металла и заниматься исключительно металлом широкого потребления. Это позволит нам иметь дело с большими масштабами производства, для которого кислородное дутьё заведомо эффективно.

Проф. К. Г. Трубин: Применение кислородного дутья в бессемеровском процессе обещает меньше выгод, чем в мартеновском. За границей делалось много опытов; применялся кислород в томасовском процессе, и

вывод из этих исследований был таков: не стоит гнаться за сокращением операции, которая и так кратковременна (12—15 мин.), на этом можно сэкономить только 2—3 мин. В бессемеровском процессе наиболее существенным являются затраты времени не на самый процесс, а на частые ремонты конвертеров. Нужно стремиться прежде всего к продлению службы футеровки в конвертере, а не к сокращению операции.

Проф. А. М. Самарин: Приведённые акад. И. П. Бардиным цифры являются вполне обоснованными, но они касаются действующей аппаратуры, а это не совсем убедительно. Экономическая сторона этого вопроса может быть изменена, если отойти от обычных или известных способов производства. Здесь трудно спорить — что выгоднее: применение ли кислорода в бессемеровском процессе или в мартеновском? Может быть, и не в бессемере, и не в мартене, а в новом пласхо представляющемся нам сейчас агрегате.

Широкое применение кислорода внесёт значительные изменения в методы производства стали, в связи с этим изменится вся экономическая сторона этого дела. Мне хотелось бы обратить внимание на выплавку специальных чугунов в действующих доменных печах, так как большинство феррославо́в нам приходится выплавлять в электрических печах. Это — дорогое оборудование и очень дорогой процесс. Несомненно, что большинство феррославо́в, которые мы используем и будем использовать в будущем, можно выплавлять в доменных печах при наличии кислородного дутья и возможности получения высоких температур, которые с этим связаны.

Кроме того, я считаю, что применение кислорода будет целесообразно также при переработке наших специальных железных руд — титано-магнетитовых и хромо-никелевых. Переработка этих руд затруднена в доменах, по крайней мере для сырой руды. Применение кислорода в доменном процессе, особенно при переплавке титано-магнетитовых руд, несомненно, облегчит получение чугунов с высоким содержанием ванадия и некоторым содержанием титана. На эту сторону вопроса нужно будет обратить особое внимание в самое ближайшее время.