



МЕТАЛЛУРГИЯ СТАЛИ: ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА В XX в., ПРОБЛЕМЫ И ПРОГНОЗ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ

Академик РАН **Н. П. ЛЯКИШЕВ**, **А. В. НИКОЛАЕВ**, д-р техн. наук
(Ин-т металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова РАН, г. Москва, РФ)

Рассмотрены основные этапы развития металлургического производства стали в XX веке и сформулированы геополитические факторы, определяющие его развитие. Показана определяющая роль энергопотребления аглодоменного производства — в энергетическом балансе завода полного цикла. Рассмотрены альтернативные процессы изготовления стали. Существенное снижение энергопотребления может быть достигнуто при объединении нескольких технологий. Перспективна выплавка стали и выработка товарной тепловой и электрической энергии по технологии плазменного электрометаллургического комплекса. Намечены пути развития металлургии в XXI в.

Ключевые слова: мировая индустрия, металлургическое производство, энергопотребление, экология, объединение технологий, пламенный и электрометаллургические комплексы, перспективы

Производство железа в XX в. XX в. называли «чугунным», поскольку выплавка чугуна в мире превосходила производство стали, и в 1913 г. составляла 78,5 млн т (стали — 72,4 млн т). К концу XX в. производство стали достигло 800 млн т, а чугуна — около 500 млн т (примерно 63 %), что позволило назвать его «стальным веком» (рис. 1) [1]. Главным производителем чугуна и стали в XX в. являлись заводы полного цикла, функционирующие на основе аглодоменной технологии. В сталеплавильном производстве в первой половине XX в. решающую роль играл мартеновский процесс и частично кислородно-конвертерный. Для производства качественных сталей применяли электросталеплавильный процесс. Вторая половина XX в. характеризовалась практически полным отказом от мартеновского процесса и широким распространением конвертерного.

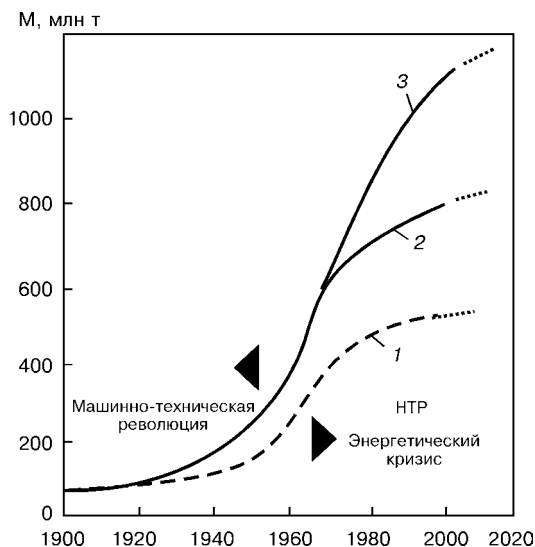


Рис. 1. Мировое производство М чугуна (1) (физические тонны) и стали (2 — физические тонны, 3 — качественные [2]) в XX в.

© Н. П. Лякишев, А. В. Николаев, 2003

За прошедшее столетие в мире накоплен огромный металлофонд, это потребовало разработки промышленных методов его утилизации. Для решения указанной задачи оптимальным металлургическим агрегатом стала электродуговая печь, что стимулировало быстрое развитие электросталеплавильного процесса (рис. 2).

Широкое распространение получил созданный в СССР способ непрерывной разливки стали, позволивший увеличить выход годного металла приблизительно на 15 %, а также повысить его качество. Однако по объемам использования непрерывного литья отечественная металлургия пока значительно отстает от передовых стран мира: в настоящее время оно составляет около 50 %, в то время как в развитых странах более 90 %.

Изменения, происходящие в металлургическом производстве, отразили глобальные процессы, формирующие развитие мировой индустрии. Произошли существенные изменения в энергетической и сырьевой базе, отчетливо проявилась экологическая проблема.

Геополитические факторы современного развития мировой индустрии. Во второй половине XX в. произошел переход от машинно-технической революции к научно-технической, которая характеризуется широким использованием наукоемких технологий. Интенсифицировался производствен-

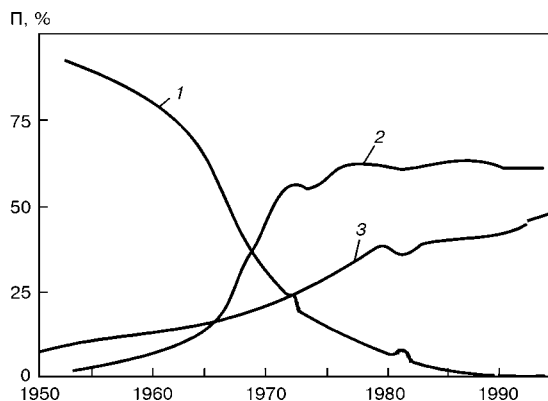


Рис. 2. Структурная перестройка электросталеплавильного перелома П во второй половине XX в.: 1 — мартеновские печи; 2 — конвертеры; 3 — электродуговые печи

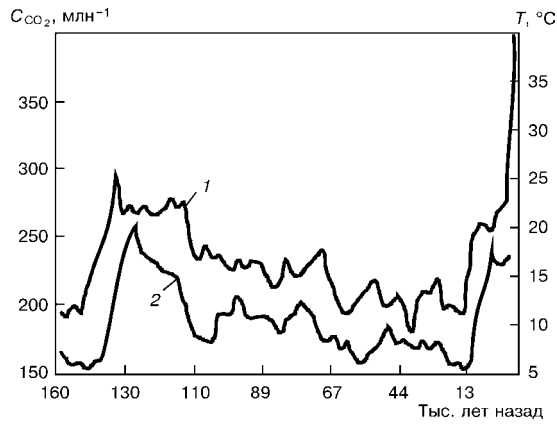


Рис. 3. Изменение концентрации C углекислого газа в атмосфере (1) и средней глобальной температуры земной поверхности (2): 1 — $C = 280 \text{ млн}^{-1}$ в начале машинно-технической революции; 2 — $C = 353 \text{ млн}^{-1}$ в настоящее время

ный процесс, увеличились его удельные параметры, улучшилось качество производимой продукции, снизились энерго- и материалоемкость, повысилась производительность труда.

В этот период быстро развивалась мировая индустрия в целом, возросли и темпы роста производства стали. Потребление энергии существенно увеличилось, и в 1970-х годах начал проявляться энергетический кризис, который в менее явном виде продолжается и до сих пор.

В промышленно развитых странах проведена большая работа по снижению энергоёмкости внутреннего валового продукта (ВВП). К сожалению, энергоёмкость ВВП в России в целом почти в 3 раза превышает этот показатель в передовых странах. Помимо несовершенства самих технологий, на этот фактор отрицательно влияют также климатические условия России.

Важной особенностью прошедшего столетия являлось то, что в этот период начал отчетливо проявляться мировой экологический кризис. Антропогенное воздействие на систему «Земля» проявляется в интенсивном исчерпании сырьевых ресурсов и ископаемых топлив, увеличении в атмосфере концентрации парниковых газов, что ведет к изменению климата. Средняя температура земной поверхности изменяется адекватно содержанию углекислого газа в атмосфере (рис. 3). Вопреки рекомендациям Протокола Киото за последние три года наблюдается увеличение выбросов углекислого газа и его концентрация продолжается. Это обус-



Рис. 4. Геополитические факторы, определяющие современное развитие металлургического производства

ловлено тем, что для сокращения выбросов углекислого газа необходима замена старых традиционных технологий принципиально новыми, что требует значительных капиталовложений. Так, затраты на модернизацию промышленности США с целью сокращения выброса углекислого газа на 20 % (по сравнению с 1990 г.) могут составить до 3,6 трлн дол. США [3].

Под влиянием глобальных процессов, происшедших в XX в., начата разработка концепции «устойчивого развития», сущностью которой является создание условий на Земле, позволяющих человечеству выжить [4].

Металлургия ко всему перечисленному имеет самое прямое отношение. Исходя из изложенных позиций, рассмотрим происходящие изменения в металлургическом производстве (рис. 4).

Научно-техническая революция (НТР) и металлургия стали. Несмотря на то что в России НТР в целом проходила несколько замедленно, в черной металлургии имелись значительные достижения. Наряду с укрупнением доменных печей и модернизацией их конструкции, а также улучшением качества кокса и рудного сырья широкое применение получили такие новшества, как увлажненное дутье, повышенное давление газа на колошнике, обогащение дутья кислородом, вдувание в горн газообразного, жидкого и твердого топлив и др. Все это позволило снизить к середине века расход кокса с 1,5...2,7 до 0,7...0,9 т/т чугуна, что соответствовало энергоёмкости производства чугуна на уровне 40...50 ГДж/т. К концу века в передовых странах расход кокса снижен до 250...500 кг/т, а расход энергии — уровня 20...25 ГДж/т чугуна (рис. 5).

В сталеплавильном производстве в последние десятилетия наиболее значимые достижения наблюдались в области электроплавки: улучшено конструктивное оформление печей, значительно увеличена их удельная электрическая мощность, применены разнообразные формы дугового разряда — дуга при постоянном токе, плазменная с полым электродом, дуга, горящая во вспененном шлаке и др. Все это позволило повысить произ-

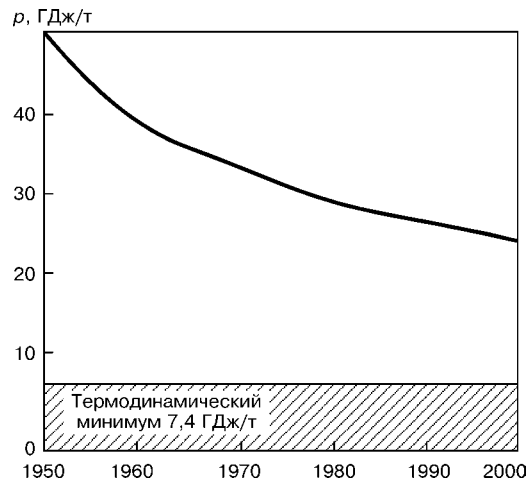


Рис. 5. Динамика энергопотребления ρ при производстве чугуна в доменных печах во второй половине XX в. в промышленно развитых странах

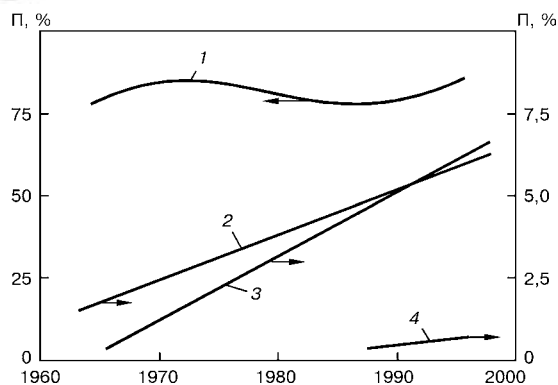


Рис. 6. Динамика роста объема потребления П конструкционных материалов в США: 1 — сталь; 2 — алюминий; 3 — пластмасса; 4 — титан, керамика и пр.

водительность печей, коэффициент использования установленной мощности, энергетические и технологические показатели выплавки стали и улучшить условия труда.

Во второй половине XX в. были разработаны и внедрены в промышленность наукоемкие технологии такие, как вакуумно-дуговой переплав, электронно-лучевая плавка, плазменный переплав, электрошлаковая и индукционная плавка. Развитие этих процессов, особенно в нашей стране, стимулировалось также требованиями военно-промышленного комплекса, для решения проблем которого был необходим металл высокого качества. В этот период бурно развиваются смежные с черной металлургией отрасли — цветная металлургия и химическая промышленность. Благодаря интенсификации их производства создана высококонкурентная среда в сфере производства и использования конструкционных и функциональных материалов. Хотя сталь и удерживает ведущее положение на рынке (90 % по массе и 70 % по объему), ее позиции теснят алюминий, пластмассы и полимеры, медленнее идет внедрение в производство композитов и керамики. Так, в США использование стали в период 1971–1991 гг. снизилось на 15 %, потребление изделий из алюминия возросло на 55 %, а из пластмасс — почти в 3 раза (рис. 6). Аналогичная картина наблюдалась в Японии, Германии и др.

В связи с создавшейся ситуацией производители стали больше внимания стали уделять обеспечению качества выпускаемой продукции. Заслуживает внимания динамика роста мирового производства стали на душу населения в этот период. С 1970-х годов обозначилось некоторое снижение указанного показателя (рис. 7).

Потребность в стали во второй половине XX в. удовлетворялась за счет не только физического объема, но в значительной мере и за счет ее качества. В конце века спрос на сталь примерно на 40 % обеспечивался именно благодаря последнему [2]. Снижение фактического потребления стали на душу населения главным образом произошло в результате увеличения выпуска качественных сталей (в основном низколегированных).

Энергетическая проблема производства стали.

Производство стали является высокоэнергетозатратной технологией — металлургия в целом потребляет

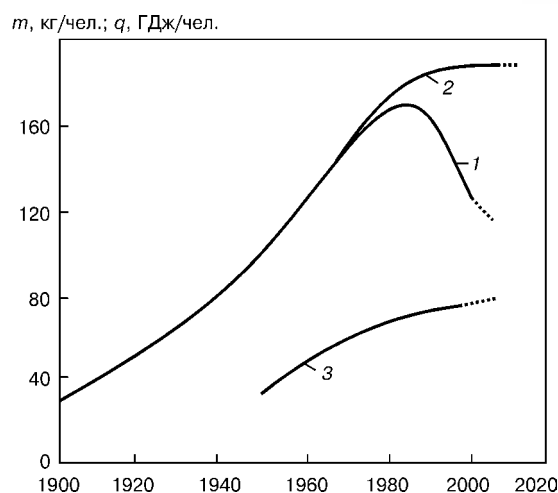


Рис. 7. Динамика мирового производства на душу населения стали m (1 — физические тонны; 2 — квалитонны) и энергии q (3) в XX в.

около 20 %, а черная металлургия — около 10 % всех энергоресурсов. Стоимость энергии при производстве железа в большинстве стран составляет примерно половину стоимости стальной заготовки. Энергоемкость продукции как в настоящем, так и в ближайшем будущем следует рассматривать в качестве основного показателя, определяющего положение стали на рынке материалов [5].

Указанный выше уровень потребления энергии в металлургии характерен практически для всех развитых стран. Он стимулирует создание менее энергоемких конструкционных материалов, в том числе не на основе железа.

В настоящее время главным производителем стали являются заводы полного цикла. Доменная печь с ее инфраструктурой (коксохимическим, агломерационным и энергетическим производствами) потребляют около 79 % общих энергетических затрат (рис. 8). За последнюю половину XX в. в развитых странах расход энергии на производство чугуна снизился примерно в 2 раза и составляет 20... 25 ГДж/т [6]. Это достигнуто за счет улучшения качества кокса, рудного сырья и ряда новых технологических решений, о которых было сказано выше.

При определении резервов экономии энергии реальный технологический процесс сопоставляют с его «идеальным» аналогом. Как известно, термодинамический минимум (минимальные энерго-

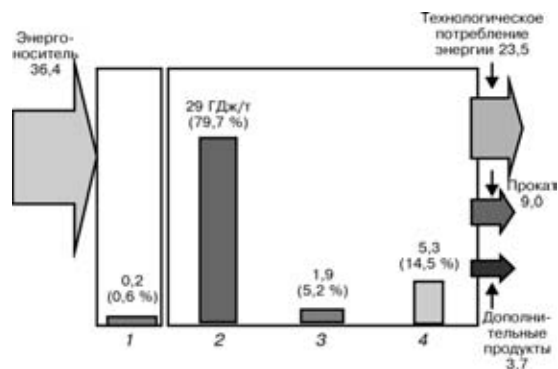


Рис. 8. Структура энергопотребления при производстве стального проката по технологии доменная печь—конвертер: 1 — рудоподготовка; 2 — аглодомное производство; 3 — сталеплавильное; 4 — прокатное

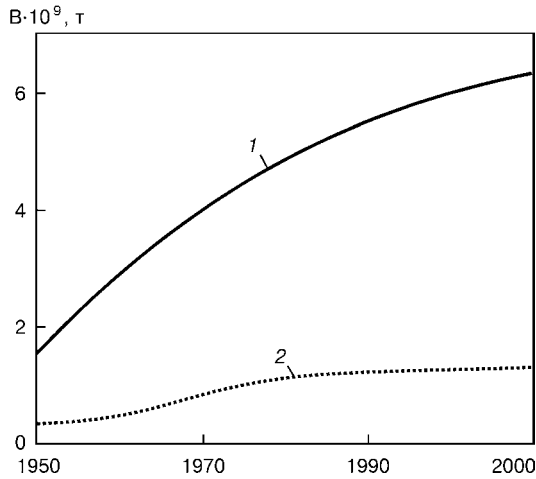


Рис. 9. Глобальные (1) и мировые (2) выбросы V углекислого газа при производстве чугуна во второй половине XX в.

затраты) при восстановлении железа из оксида (Fe_2O_3) равен 7,4 ГДж/т (энергия диссоциации оксида). Достигнутый в настоящее время уровень расхода энергии при производстве железа (чугуна) примерно в 3 раза превышает термодинамический минимум.

Высокая энергоемкость стальной металлопродукции интегрированных заводов обусловлена несовершенством утилизации и использованием вторичной энергии, которая в общем энергетическом балансе предприятия составляет примерно половину, а при нынешней технологии используется примерно 10...20 %.

Следует отметить, что энергопотребление при получении алюминия — основного альтернативного материала железа — в настоящее время более чем в 2 раза превышает аналогичный параметр железа (чугуна) и составляет около 57 ГДж/т, что в 1,7 раза (33,1 ГДж/т) превышает термодинамический минимум получения алюминия и в 7,7 раза (7,4 ГДж/т) термодинамический минимум производства железа. Однако следует иметь в виду, что коэффициент замены стали алюминием в некоторых сферах его применения равен примерно 3.

По мере накопления металлофонда доля первородного железа в производстве стали снижается. В промышленно развитых странах доля чугуна в 1990-х годах составляла в США около 50, во Франции и Англии — около 65, в Италии — около 45, в России — около 75 %.

Производство стали и экология. Поскольку металлургия является высокоэнергетической отраслью, энергетический фактор не мог не отразиться на ее экологических показателях. Так, по вредным выбросам в атмосферу металлургия занимает второе место, уступая только энергетике. Металлургические предприятия потребляют около 20 % всех ископаемых углеводородных энергоресурсов, в итоге превращая их в основном в диоксид углерода, тем самым они вносят значительный вклад в увеличение общих промышленных выбросов. Как следует из результатов расчетов, выбросы диоксида углерода при выплавке чугуна по доменной технологии могут составить примерно

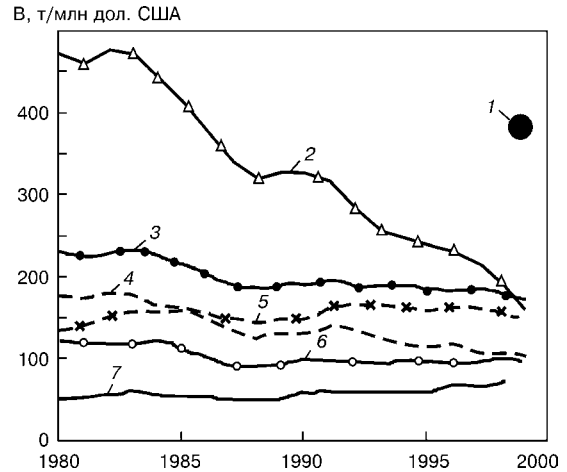


Рис. 10. Динамика выбросов углекислого газа, отнесенных к ВВП (доллары США), в различных странах мира: 1 — Россия; 2 — Китай; 3 — США; 4 — Великобритания; 5 — Индия; 6 — Япония; 7 — Бразилия

18 % эмиссии углекислого газа мировой промышленностью (рис. 9).

Во всем мире ведется поиск путей сокращения выброса углекислого газа, и в том числе способов производства железа, при которых уменьшается вредная нагрузка на окружающую среду. Так, в странах, широко использующих высокотехнологичные процессы (США, Япония, Великобритания, Китай) наблюдается отчетливая тенденция снижения выброса углекислого газа в атмосферу на единицу ВВП (рис. 10).

Основным потребителем энергии и источником эмиссии вредных веществ в окружающую среду при традиционном способе производства железа (чугуна) из минерального сырья является аглодоменный комплекс. Наибольший вклад (более 60 %) в загрязнение окружающей среды вносит агломерационное производство. Поэтому принципиальное изменение технологии на этом участке производственного цикла может дать наиболее ощутимый эффект.

В настоящее время развиваются два основных типа восстановительных процессов — твердо- и жидкофазный. В доменном процессе преобладает твердофазное восстановление. Существенный недостаток этого процесса — использование дефицитных восстановителей — кокса, природного газа и специально подготовленного рудного сырья достаточно высокого качества. Одним из важнейших направлений решения проблем, связанных с производством и применением кокса, является использование в доменном процессе пылеугольного топлива (ПУТ). Благодаря этому уменьшается вредное воздействие на окружающую среду (сокращается объем коксохимического производства), но при этом энергоемкость аглодоменного комплекса несколько возрастает. В металлургии СССР это топливо начали применять раньше, чем за рубежом. Однако в результате низкой цены на природный газ развитие этого направления в отечественной металлургии задержалось. В дальнейшем предстоит активизировать работы по использованию ПУТ.

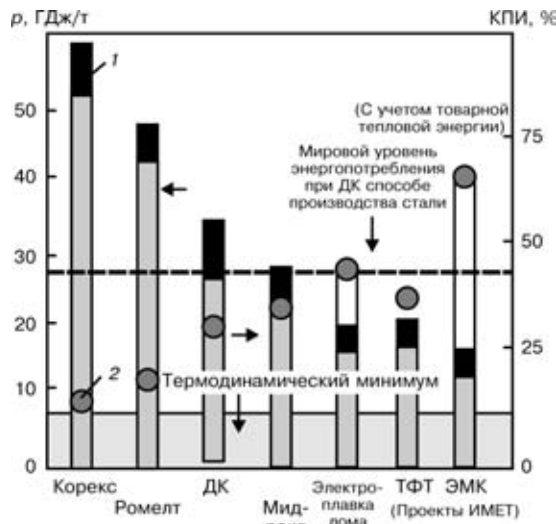


Рис. 11. Энергопотребление (1) и КПИ (2) различных технологических процессов производства стального проката (удельное энергопотребление в прокатном производстве составляет 5,3 ГДж/т; расходный коэффициент — 1,2): КПИ — коэффициент полезного использования; ДК — доменно-конвертерный процесс; ТФТ — технология без плавления металла; ЭМК — энергометаллургический комплекс; КПИ равен $I_s \cdot 100 / \Sigma I$ (I_s — химическая энергия стали; ΣI — суммарная потребляемая энергия)

В настоящее время создано множество технологий твердо- и жидкофазного восстановления, использующих как различные виды энергии, так и разнообразные рудные материалы и восстановители. Наиболее типичными и освоенными в промышленности процессами твердофазного восстановления являются Мидрекс и несколько модификаций процесса Хил. Типичный жидкофазный процесс Ромелт. Корекс является комбинированным процессом, он включает твердо- (восстановительную) и жидкофазную (получения чугуна) стадию.

Благодаря этим технологиям в той или иной степени решаются энергетические и экологические проблемы производства стали. Так, в процессе Мидрекс отсутствует коксохимическое производство. Энергопотребление производства железа при использовании этой технологии примерно в 1,5 раза меньше, чем при доменном процессе (рис. 11). Однако при применении указанной технологии требуется дефицитный и дорогой источник энергии и восстановителя — природный газ. Это значит, что по-прежнему происходит выброс в атмосферу углекислого газа, хотя он существенно (примерно в 2 раза) снижается по сравнению с доменным процессом.

Главное достоинство процесса Корекс состоит в том, что при получении чугуна используется только энергетический уголь. Однако эта технология не лишена недостатков. Энергоемкость выплавки чугуна по технологии Корекс почти в 2 раза выше, чем при доменном производстве. Поэтому объем выброса (кг/т) парниковых газов не снижается, а увеличивается [7]:

| | |
|---|------|
| доменно-конвертерный процесс | 2010 |
| электродуговая плавка металлолома | 640 |
| Мидрекс в сочетании с электроплавкой | 1870 |
| Корекс в сочетании с конвертерным процессом | 3090 |

Уменьшение энергопотребления процесса Корекс возможно только в случае фильтрации и полного использования тепловой и химической энергии отходящих газов.

В процессе Ромелт в качестве источника энергии и восстановителя также используют энергетический уголь, рудное сырье, при этом не требуется специальной подготовки. По энергопотреблению и выбросу в атмосферу углекислого газа процесс Ромелт значительно превышает доменное производство.

Для обеспечения приемлемых энергетических и экологических показателей в технологической структуре процесса Ромелт так же, как и в процессе Корекс, должна быть решена проблема улавливания парниковых газов и полной утилизации химической и тепловой энергии отходящих газов. Эти процессы формируют как энергометаллургические комплексы, где продукцией является металл и энергия (тепловая и электрическая). Создание таких комплексов находится на начальном этапе.

Для доменного и упомянутых выше процессов характерны также выбросы сернистых и азотистых соединений, опасность которых не менее значима, чем CO_2 . Таким образом, в уже существующих и разрабатываемых восстановительных процессах не просматривается достаточно полного решения проблем энергетики и экологии.

Очевидным альтернативным процессом является электрометаллургия стали, которая в последние годы развивается особенно быстрыми темпами. Основная предпосылка к этому — огромный металлофонд, накопившийся в мире, млрд т: в США около 3, в Европе — около 2,5, в России — около 2. При использовании в качестве лома около 3 % металлофонда металлургическая промышленность России может выплавлять около 50 млн т стали в год.

Мини-заводы, на которых осуществляется электросталеплавильный процесс на основе лома, практически по всем технико-экономическим показателям существенно превосходят заводы полного цикла. Энергопотребление производства стального проката на них почти в 2,5 раза ниже по сравнению с энергопотреблением на интегрированных предприятиях, а производительность труда в 3...5 раз выше, чем на традиционном заводе полного цикла. Важная особенность мини-заводов состоит в том, что для них единой энергетической базой является электричество — наиболее технологичный и экологически чистый источник энергии.

При использовании шихты, например содержащей 30 % чугуна и 70 % лома (рис. 12), энергопотребление производства стали в электропечах примерно в полтора раза ниже, чем при доменно-конвертерном способе и составляет около 16 ГДж/т [8].

Одной из проблем, которая возникает при разработке и создании высокоэффективного электросталеплавильного оборудования, является использование, помимо электричества, других источников энергии, например органического топлива. В электропечах фирмы «Даниели», питаемой от трансформатора мощностью 55 МВт и потребляющей активную мощность 43 МВт, установлено семь топливных горелок мощностью по 5 МВт каждая.

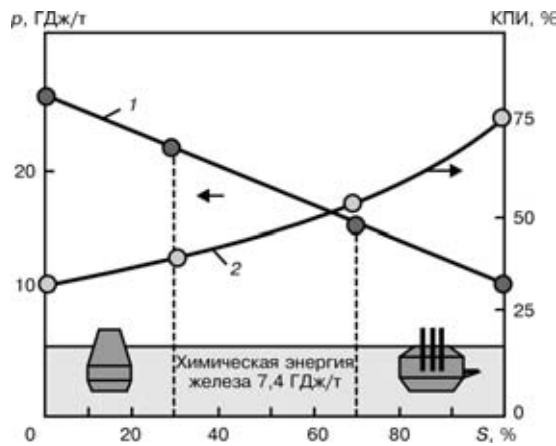


Рис. 12. Влияние содержания лома в шихте S на изменение энергопотребления p (1) и КПИ (2) энергии при производстве стали из чугуна и лома: КПИ равна $I_s \cdot 100 / (I_b + I_l + I_e)$ (I_b — энергоемкость производства чугуна; I_l — химическая энергия лома; I_e — электрическая энергия)

В дуговой сталеплавильной печи, применяющей топливный нагрев, несмотря на существенную экономию электрической энергии (до 200 кВт·ч/т), эффективность энергии в целом примерно в 2 раза ниже, чем при использовании только электричества. Это объясняется низким (около 20...60 %) значением эффективного КПИ топливных источников теплоты.

Эффективность энергии топливных горелок для нагрева лома низка (40...50 %). При сжигании дополнительного топлива возникают и экологические проблемы с нейтрализацией вредных выбросов в виде SO_x , NO_x , CO , фурана и т. п.

Несмотря на это применение ископаемого углеводородного топлива при плавке лома в электросталеплавильных агрегатах во многих случаях оправдано, поскольку способствует ускорению плавки и при относительно высокой цене на электроэнергию — снижению себестоимости стали.

В мире уже сейчас более 40 % стали выплавляется в электропечах. Особенно высокими темпами электропроцессы плавки внедряются в промышленность США (табл. 1).

В настоящее время по-прежнему актуальной остается проблема наличия вредных примесей в ломе цветных металлов (никеля, меди, хрома и др.). Учитывая, что при многократном использовании лома содержание вредных примесей в нем все увеличивается, возникает необходимость использования в шихте первородного железа — чугуна и железа прямого восстановления. Уже сейчас на мини-заводах в технологический процесс включается восстановительная часть, как правило, прямое восстановление. Следует отметить, что на таких предприятиях ведется непрерывная разливка стали

Таблица 1. Доля электроплавки в общем объеме производства стали, %

| Страна-производитель | 1970 | 2001 |
|----------------------|------|------|
| США | 15,5 | 47 |
| Страны ЕС | 14,0 | 41 |
| Япония | 16,8 | 28 |
| Россия | 13,0 | 15 |

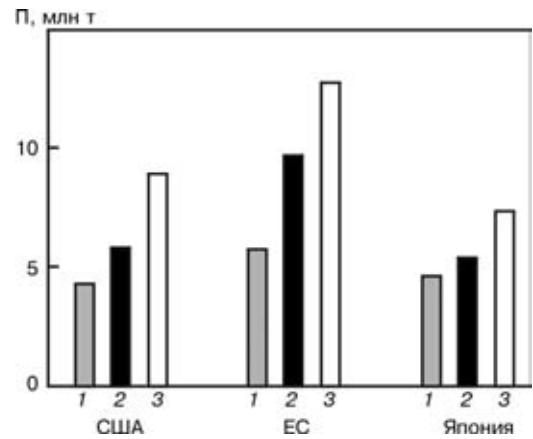


Рис. 13. Потребление Π тонких горячекатаных листов в промышленно развитых странах мира: 1 — 1997 г.; 2 — 2002 г.; 3 — прогноз на 2007 г.

в тонкие листы, что также экономит энергию. Этот способ получает все большее распространение.

Основные технологические параметры установки для непрерывной отливки тонкого листа на заводе «Krupp Thyssen Nirosta» в Креффилде следующие:

| | |
|---------------------------|-------------------------------|
| диаметр валков, мм |1500 |
| скорость разливки, м/мин |60...150 |
| размер листа, мм: | |
| толщина |1,5...4,5 |
| ширина |1100...1450 |
| сортамент сталей |аустенитные, нержавеющей |
| производительность, т/год |400000 |

Существенные изменения в технологии и сортаменте происходят в прокатном переделе. Производство горячекатаных полос непрерывно увеличивается (рис. 13).

Развитие электрометаллургии (строительство мини-заводов) существенно повлияло на структуру производства чугуна. Во многих странах мира количество доменных печей, в первую очередь малого объема, сокращается (табл. 2) и значительно совершенствуется их технология [9]. Так, в США при уменьшении количества печей на 34 % (38 печей — 1998 г. и 25 — 2015 г.) выплавку чугуна намечено сократить всего на 13 % (соответственно от 53 до 44 млн т/год). При этом расход кокса уменьшается до 320 кг/т, ПУТ увеличивается до 200 кг/т, а удельная производительность повысится до 2,9 т/(м³·сут). Это следует рассматривать как новое качественное изменение в развитии металлургии.

В рамках создания экологически безопасного комплекса (ЭМК) может представить интерес разработаемый в Институте металлургии и материаловедения РАН им. А. А. Байкова восстановительный модуль со сверхвысокой (около

Таблица 2. Динамика количества доменных печей в промышленно развитых странах мира

| Страна | 1975 | 1980 | 1990 | 1996 | 2001 |
|-----------|------|------|------|------|------|
| США | 197 | — | — | 40 | 36 |
| Страны ЕС | — | 154 | — | — | 58 |
| Япония | — | — | 34 | — | 30 |

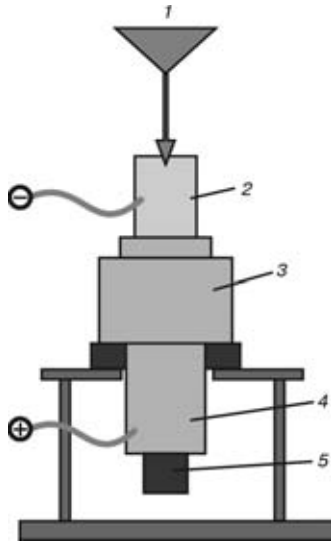


Рис. 14. Конструктивная схема полупромышленного плазменного восстановительного модуля (расчетные параметры: мощность 5...8 МВт; ток дуги 10 кА; напряжение 400...800 В; производительность 1,5...3,0 т/ч железа; удельная производительность 200 т/(м³·сут); диаметр электрода 300 мм; диаметр слитка 500 мм; расход газа до 2000 м³/ч; расход рудного концентрата 4,5 т/ч): 1 — рудный концентрат (восстановитель); 2 — плазмотрон; 3 — реактор; 4 — кристаллизатор; 5 — слиток

100 МВт/м³) энергонапряженностью, достигаемой в результате использования высококонцентрированного источника энергии — плазменной дуги (рис. 14). За счет высокой плотности энергии в реакционном объеме удельная производительность плазменной печи при жидкофазном восстановлении может достигать 200 т/(м³/сут), доменной — 2...3 т/(м³/сут.). На рис. 14 показана структура энергопотоков ЭМК. Получаемый при газификации угля очищенный от серы синтез-газ направляется на восстановление в металлургический блок, а затем как топливо — в газопаровую установку энергетического блока [10].

ЭМК производит три вида товарной продукции — металлопродукцию, тепловую и электрическую энергии. Комплекс не использует кокса и не потребляет электрической энергии от внешней энергосистемы. Отличительная особенность этой технологии состоит в том, что рудное сырье и восстановитель используются в дисперсном состоянии. Первичным источником энергии является энергетический уголь. Выполненные расчеты показали, что энергопотребление при производстве металлопродукта по технологии ЭМК с учетом вырабатываемой тепловой энергии в 1,5...2,0 раза меньше, чем при традиционной аглодоменной технологии. Технология ЭМК в данном варианте не исключает выброса углекислого газа в окружающую среду, но за счет уменьшения энергопотребления производства стали в целом он снижается.

Восстановительный модуль металлургического блока ЭМК может функционировать, используя только газообразный восстановитель, например водород. Таким образом может быть создана экологически чистая электроводородная металлургия стали, полностью исключая выброс в атмосферу углекислого газа.

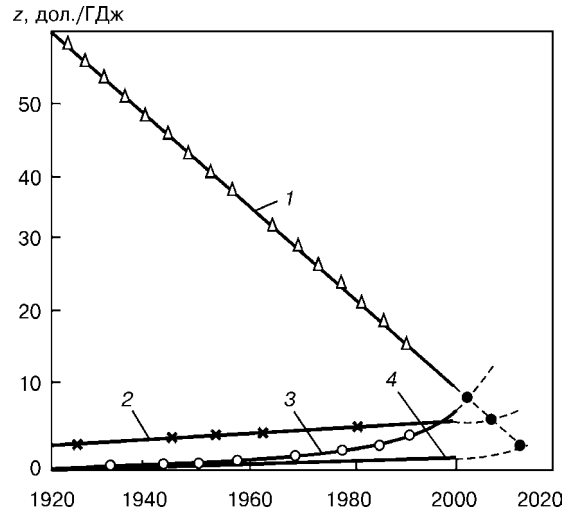


Рис. 15. Динамика цен z (средняя) на энергию различных энергоносителей в XX в.: 1 — электричество; 2 — нефть; 3 — газ; 4 — уголь

Широкому развитию электротехнологии, в том числе и электрометаллургии, будет способствовать неуклонное снижение цены на электроэнергию (рис. 15) [11].

Металлургия стали и стратегия «устойчивого развития». В конце XX в. в развитых странах наблюдается стабилизация и некоторый спад производства стали, а в странах Азии, Южной Америке и в ряде других регионов мира, наоборот, — бурное развитие черной металлургии. В этом отношении особо отличается Китай, который за короткий срок создал современную металлургическую индустрию и вышел на первое место в мире по производству стали.

К концу 1980-х годов в промышленно развитых странах таких, как США, Германия, Англия, Франция, потребление стали стабилизировалось на уровне около 400...500 кг/чел. и появилась тенденция некоторого снижения производства. Россия в настоящее время производит около 50 млн т, уступая Китаю, Японии и США. Более половины металла, изготовляемого в России, идет на экспорт. Фактическое потребление стали (проката) в России

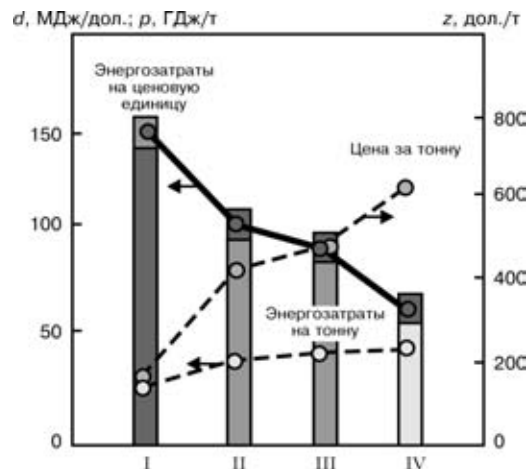


Рис. 16. Энергозатраты на ценовую единицу (d), на тонну (p) и цена (z) различных видов металлопродукта: I — чугун, слитки; II и III — соответственно тонкий горяче- и холоднокатаный лист; IV — оцинкованный лист



находится на уровне 225 кг/чел. Сталь в основном экспортируется в виде заготовок, для которых расход энергии на ценовую единицу (т. е. на доллар или рубль стоимости металлопродукта) имеет наибольшее значение (рис. 16). Расход энергии на доллар стоимости заготовки примерно в 1,7 раза превышает аналогичный показатель для холоднокатаного и более чем в 2,5 раза для оцинкованного листа. Это означает, что металлургии России на мировом рынке объективно отводится роль производителя наиболее энергоемкой невысокотехнологичной и дешевой металлопродукции.

Металлургия стали будущего. Производство стали в мире в третьем тысячелетии происходит в условиях все углубляющейся НТР, обостряющегося экологического и энергетического кризиса. Представляется, что в XX в. производство продукции из стали по своей значимости в мировой индустрии достигло апогея. В дальнейшем металлургия стали будет развиваться в острой конкурентной борьбе с производителями альтернативных материалов (алюминия, пластмасс, керамики и композиционных материалов).

Важнейшим фактором при решении проблем, стоящих перед металлургами, в третьем тысячелетии будет всевозрастающая роль научно-технического прогресса. В США за последние двадцать лет в материалопроизводящих отраслях (металлургии, химии и др.) затраты на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы увеличились почти в 5 раз и составляют 16 млрд дол., а в целом внутренние затраты на исследования и разработки США — около 160 млрд дол. В России общие вложения в науку за последнее десятилетие резко снизились и составляют около 2 млрд дол. [12].

Несмотря на большие достижения в создании металлургических процессов, особенно в электро-технологии, основным источником производства железа (чугуна), по крайней мере в начале нового века, останется доменная печь. Исследования, направленные на повышение энергетических и экологических показателей, внедрение дешевых энергоносителей, могут продлить доминирующую роль доменно-конвертерного производства. Однако уже очевидно, что по энергоматериалоемкости и экологическим показателям аглодомное производство железа не выдержит конкуренции и уступит свою доминирующую роль по крайней мере во второй половине XXI в. Электротехнология на

базе железного лома и железа прямого восстановления уже в конце первой половины XXI в. будет основной в производстве стали. Это требует разработки эффективных способов подготовки лома и очистки его от вредных примесей. Многие, относящиеся к этой проблеме, пока еще не решены.

Таким образом, рассмотренные тенденции развития металлургии и альтернативных металлургических процессов, позволяющие снизить расход энергии, вовлечь в производство нетрадиционные энергетические и сырьевые ресурсы, снизить вредное воздействие на окружающую среду, несмотря на проявленный к ним большой интерес, пока еще находятся в начальной стадии разработок и промышленного внедрения. Успешное развитие новых и новейших энерго- и экологически совершенных процессов будет определяться капиталовложениями на проведение исследований наукоемких технологий и их промышленное испытание. Российская металлургическая наука имеет значительные заделы, но при недостаточном финансировании они быстро уменьшаются.

1. Лякишев Н. П., Николаев А. В. Металлургия стали на пороге третьего тысячелетия // Электрометаллургия. — 2002. — № 1. — С. 3–13.
2. Шевелев Л. Н. Мировая черная металлургия 1950–2000 гг. — М.: Машиностроение, 1999. — 216 с.
3. Иноземцев В. Л. Кризис Киотских соглашений и проблема глобального потепления климата // Природа. — 2002. — Январь.
4. Кондратьев К. Я., Лосев К. С. Иллюзии и реальность стратегии устойчивого развития // Вестн. РАН. — 2002. — № 7. — С. 592–601.
5. Лякишев Н. П. Основные тенденции развития черной металлургии и проблемы экономии энергии // Металлургия, стали, сплавы, процессы. — М.: Металлургия, 1982. — С. 10–14.
6. Николаев А. В. Системный анализ энергоматериальной структуры производства стали // Сталь. — 1993. — № 11. — С. 14–18.
7. Eurofer and the Kyoto Protocol // Steel Times. — 2001. — March. — P. 96.
8. Лякишев Н. П., Николаев А. В. Энергетические аспекты металлургии стали // Сталь. — 2000. — № 3. — С. 66–73.
9. Fewer blast furnaces, but higher productivity // New Steel. — 1996. — November.
10. Цветков Ю. В., Николаев А. В. Плазменные процессы в металлургии будущего (проблемы создания энергоматериального комплекса) // Сталь. — 1998. — № 10. — С. 55–60.
11. Холдрен Д. П. Энергетика на переходном этапе // В мире науки. — 1990. — № 11. — С. 113–121.
12. Страхов В. Н. Необходимость общественного движения «За возрождение российской науки», его цели и задачи // Наука и технология в России. — 2001. — № 4/5. — С. 2–5.

Major stages of development of metallurgical production of steel in the XX century are described and geopolitical factors defining its progress are formulated. Determinant role of energy consumption of agglomerate production is shown in energy balance of the integrated works. Alternative processes of steel production are considered. A significant reduction in power consumption can be attained in combination several technologies. Melting of steel and generation of conventional heat and electric power using the technologies of plasma electrometallurgical complex are challenging. Ways of metallurgy progress in the XXI century are outlined.

Поступила в редакцию 31.03.2003