

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ДОМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА В XXI ВЕКЕ*ГТУ «МИСиС», Россия, г. Москва*

Показано, что вопреки пессимистическим прогнозам и атакам лоббистов компаний, пытающихся ослабить позиции господствующей схемы производства стали, доменное производство продолжает динамично развиваться.

Мировое экономическое развитие всегда требовало производства достаточного количества конструкционных материалов для создания сооружений, орудий труда, изделий и вооружения. На протяжении двух с половиной тысяч лет основными конструкционными материалами служили металлы и, прежде всего, железо и его сплавы. История техники убеждает, что объем производимой стали во все времена являлся мерой промышленного развития страны, а две мировые войны только подтвердили общепринятую аксиому о том, что базой военно-промышленного потенциала страны является количество производимого металла.

Отметим, однако, что в последние 15–20 лет это положение, особенно в устах многих западных комментаторов и повторявших подобные доводы некоторых отечественных их последователей, подвергается сомнению, а в ряде случаев и отвергается вовсе. Для обоснования такой позиции привлекаются данные о быстром развитии «высоких технологий», решающей роли «наукоемких производств», определяющих, по мнению авторов подобных воззрений, развитие современной техники. Не вдаваясь в существо дела, поскольку эти вопросы являются темой отдельной дискуссии, отметим, что строгая естественно-историческая классификация свидетельствует о том, что мы живем и неопределенно долго будем жить в «железном веке», поскольку основным конструкционным материалом современности, как уже было указано выше, является железо и его сплавы. В обстоятельных работах Г.Г.Ефименко и др. [1,2] подробно анализируется мировой рынок конструкционных материалов последней четверти XX века. В качестве основных конкурентов стали рассматриваются некоторые цветные металлы и их сплавы, искусственные химические материалы и цемент. Такие материалы, как керамика, композиты и др. в виду крайне малых по сравнению со сталью объемов применения, в том числе и на перспективу, в качестве конкурентоспособных не обсуждаются. Авторы на основе большого массива данных показывают ошибочность утверждения, что рост удельных расходов альтернативных конструкционных материалов снижает удельный расход стали (табл.1).

Так Япония и ФРГ, страны с наиболее высоким годовым удельным потреблением стали – 717–720 кг/душу населения, расходуют и больше всего альтернативных материалов (28,3–28,5 кг алюминия, 95–140 кг пластмасс, 496–684 кг цемента – все на душу населения). В то же время США

и Франция при меньшем потреблении стали и другие конструкционные материалы расходуют меньше.

Таблица 1. Главные конструкционные материалы (1990 г.).

	Произведено, млн. т/год				Произведено, кг/чел. в год			
	Сталь	Алю-миний	Пла-стмас-сы	Це-мент	Сталь	Алю-миний	Пла-стмас-сы	Це-мент
СССР	160,0	2,3	4,5	135,0	534	8	16	475
Япония	110,0	2,1	13,0	84,0	720	17	102	684
США	87,0	4,1	30,0	76,0	408	16	118	302
КНР	61,0	0,5	2,4	203,0	64	0,4	2	181
ФРГ	38,0	0,9	3,3	30,3	717	15	152	496
Франция	19,0	0,5	4,3	27,0	428	9	76	478
Мир	769,0	18,0	88,0	1200	154	3,6	17,6	240

Эти рассуждения показывают, что современные тенденции в использовании как новых, так и традиционных конструкционных материалов определяются не стремлением вытеснить черные металлы, а областями потребления каждого материала, которые в свою очередь формируются структурой промышленного производства.

Важное значение имеет и техническая сторона проблемы использования материалов. Это, в свою очередь, требует общей оценки свойств разных материалов, и сопоставления свойств альтернативных материалов с возможностями стали. Различная физическая природа материалов определяет существенные отличия их свойств и сочетаний этих свойств, прежде всего прочности, упругости и вязкости. Поэтому заменить металлы другими материалами в виду принципиальных различий в этих свойствах нельзя.

Авторы [2] сообщают, что по результатам широкого опроса предприятий, конструкторских и исследовательских организаций стран Европейского сообщества главное значение придается механическим (прочность, упругость, деформируемость) и термическим (термостойкость) свойствам и их сочетаниям. Именно по этому комплексу свойств сталь превосходит другие материалы. Добавим, исходя из анализа фактического состояния рынка конструкционных материалов, что быстро расширяется область замены традиционных сортов стали не альтернативными материалами, а новыми сортами специальных сталей с повышенными служебными свойствами.

Современный подход к оценке материальных ресурсов с точки зрения «жизненного цикла изделия» позволяет дополнить результаты анализа новыми соображениями (табл.2).

Составление экобаланса, являющегося численным показателем «жизненного цикла изделия», показывает, что энергоемкость производства первичного алюминия с учетом возможного снижения массы изделия в 5–

7 раз выше, чем для стали. Для пластмасс это превышение составляет 3–4 раза.

Таблица 2. Экобалансы производства основных конструкционных материалов.

	Энергоемкость, ГДж/т	Коэффициент ре- циклирования, %
Алюминий (полуфабрикат) - первичный алюминий (из бокситов) - вторичный алюминий (переплав лома)	160 – 240 12 – 20	25 – 30
Пластмассы (гранулы, например, поливинилхло- рид, полиэтилен)	45 – 70	8 – 12
Сталь – кислородно–конверторная – электросталь (на скрапе)	16 – 27 10 – 18	54 – 58

Производство стали имеет также серьезные преимущества перед получением алюминия и искусственных химических материалов с точки зрения выбросов в окружающую среду. Это относится и к возможностям рециклинга. Так, значение коэффициента рециклирования для черных металлов составило 55 %, алюминия 27 %, пластмасс около 10 %.

Эти и другие соображения позволяют убедиться в отсутствии серьезных возможностей на перспективу существенной замены металлов альтернативными материалами. Таким образом, в концепции устойчивого развития, предполагающей мировой рост производства без опасностей для окружающей среды, объективно предусмотрено соответствующее развитие объемов металлургической продукции.

За время, прошедшее после появления работ [1,2], действительность блестяще подтвердила точность проведенного анализа. Если в 1990 г. мировое производство стали составляло 769 млн.т., то в 2005 г. уже 1106 млн.т. Некоторое падение производства черных металлов в 80^е–90^е годы прошлого века в западноевропейских странах и США, послужившее основой для рассуждения о «закате металлургии, как станомом хребте индустрии» (именно в это время начал активно пропагандироваться тезис о решающей роли наукоемких производств), целиком компенсировалось резким ростом производства металлургической продукции в странах – новых лидерах – Корее, Индии, Бразилии, Турции и прежде всего в Китае (табл.3). В прогнозах начала XXI века замелькала аббревиатура БРИК (Бразилия, Россия, Индия, Китай), странам которой предлагают блестящее промышленное будущее.

Попытаемся спрогнозировать рост производства стали на период 2015–2020 гг. Подушевое годовое производство стали в настоящее время колеблется в широких пределах, главным образом в диапазоне 50–700 кг.

При некоей средней величине 200 кг. и численности населения на Земном шаре 8,2 млрд. человек мировое производство стали составит 1 млрд. 640 млн.т. При подушевом производстве 250 кг. и населении мира 10 млрд. человек эта величина составит 2,5 млрд. т.

Таблица 3. Производство стали в 2005 году, млн. т.

КНР	349,4	Бразилия	31,6
Япония	112,5	Италия	29,1
США	93,9	Турция	21,0
Россия	66,1	Франция	19,5
Корея	47,7	Тайвань	18,5
ФРГ	44,5	Испания	17,8
Украина	38,7	Мексика	16,3
Индия	38,1		

Эти цифры представляются вполне реальными. Из них следует, что объемы поставляемого железорудного сырья достигнут немислимых 4 млрд. т. руды, добываемой из недр. Снизить такую нагрузку на окружающую среду может лишь применение в широких, не виданных ранее объемах техногенного сырья. Этот факт, как многие другие, убеждает, что развитие металлургии в XXI веке будет происходить в новых условиях.

Новые условия развития металлургии в XXI веке

1. В конце XX века окончательно сформировались мировые рынки сырья и металлов. Мировые цены оказались тесно связаны с внутренними экономическими показателями. Импорт сырья и экспорт продукции стал повсеместным явлением в отечественной металлургии. Из этого также следует, что международные стандарты и особенно критерии качества не должны существенно отличаться от принятых за рубежом. Требования к качеству экспортной продукции должны также учитывать конъюнктуру рынка. Настоятельно проявляется необходимость повышения квалификации инженеров–металлургов в экономической области.

2. В мире наблюдается сокращение или для отдельных регионов исчезновение месторождений чистых по примесям железных руд. На наших глазах меняется понятие «чистая руда». В XXI веке уже невозможно будет игнорировать содержание попутных элементов, начиная с величины 0,001 % и выше. Таким образом, железные руды, попадающие в разработку, в большинстве своем будут относиться к классу комплексных руд, а технология, основанная на извлечении лишь одного элемента (железа), в XXI веке не должна иметь права на существование. Реальные составы чугунов некоторых металлургических предприятий Центра России приведены в табл.4, а распределение элементов между различными материалами в доменной печи после ее выдувки на примере доменной печи № 4 комбината «Северсталь» – в табл.5 [3].

Технологии извлечения попутных элементов в процессе доменной плавки практически отсутствуют. Надеяться, что они будут в короткие

сроки разработаны, не приходится. Для решения этой крайне важной для развития металлургии задачи необходимо в ближайшее время провести исследования поведения попутных элементов в доменной печи, без которых поиски ресурсосберегающих технологий могут затянуться на длительное время.

Таблица 4. Количество микропримесных элементов в чугунах металлургических предприятий, кг/т чугуна.

Химический элемент		Предприятие, вид выплавляемого чугуна				
		ОАО «НЛМК»	ОАО «Северсталь»		АК «Тулачермет»	
		передельный чугун	передельный чугун	передельный «холодный» чугун ([Si] < 0,5 % (масс.))	передельный чугун	нодулярный чугун
1	Алюминий	8–10	До 50	5	8–10	8–10
2	Бериллий	Н.о.	2	Н.о.	0,5–1,0	Н.о.
3	Ванадий	70	100	400	50	40
4	Висмут	Н.о.	Н.о.	Н.о.	3	Н.о.
5	Вольфрам	Н.о.	2	Н.о.	0,5	0,5–1,0
6	Галлий	20	30	70	100	15–20
7	Германий	Н.о.	Н.о.	Н.о.	1	1
8	Калий	20	4–8	20	6–10	6–10
9	Кальций	80	10–20	80	20	5–10
10	Кобальт	3–5	20	50	3–5	3–5
11	Литий	Следы	10	Следы	Следы	Следы
12	Магний	10	10	3–5	До 3	До 3
13	Медь	60	30	60	30	20
14	Мышьяк	10	3–5	3–5	3–5	10
15	Молибден	3–5	1	Н.о.	Н.о.	Следы
16	Натрий	8–10	40	1–3	3–7	1
17	Никель	20	60	40	10	10
18	Ниобий	3–5	3–5	3–5	1	1
19	Олово	5–8	10	Следы	1–3	4–8
20	Рубидий	Следы	0,5–1,0	Н.о.	Н.о.	Н.о.
21	Свинец	Н.о.	10	1–3	200	До 50
22	Серебро	Н.о.	Н.о.	Н.о.	0,5	0,3
23	Сурьма	5	5–8	2–5	5–8	5–8
24	Титан	100	500	700	350–400	200–300
25	Фтор	Следы	Следы	5	20	Следы
26	Хлор	5	20	10	10	5
27	Хром	100	300	80–90	170–200	80–100
28	Цинк	20	5–8	10	500	300
	Итого	550	1250	1550	1600	915

Многие сведения о поведении в доменной печи даже элементов, постоянно находящихся в сфере внимания технологов и исследователей устарели и не отвечают нынешнему состоянию дел. Так в работе [4] показано, что в чугун переходит лишь 60–70 % мышьяка, в шлак попадает 10–15 % и с газом из печи выносятся 20–30 %. Новые данные получены также и по фосфору [5]. В отличие от данных, приводимых в учебниках и справочниках, в продукт плавки переходит лишь 80–90 %, в шлак попадает 3–5 %, а 10–15 % фосфора уносится с газом.

По большинству попутных элементов данные об их поведении в доменной плавке в последнее время не изучались вовсе.

Таблица 5. Содержание примесных элементов в материалах, отобранных из доменной печи № 4 ОАО «Северсталь» после выдувки, г/т чугуна (или в % при содержании элемента > 1%).

Примесный элемент	Козловой чугун со шлаковыми включениями	Отложения на загрузочном устройстве	Цинковая настывль	Железистый шлак из швов кладки горна	Металл из гарнисажа под головкой фурмы	Примесный элемент
1	Алюминий	(1)	2000	1	(6)	4
2	Барий	500	100	Следы	2000	Следы
3	Бериллий	1	2000	Следы	6	Следы
4	Бор	70	0,3	Н.о.	100	Следы
5	Бром	Н.о.	30	Н.о.	Н.о.	Н.о.
6	Ванадий	600	200	Следы	400	Следы
7	Висмут	Н.о.	20	20	Н.о.	200
8	Галлий	10	20	Н.о.	Н.о.	Н.о.
9	Германий	Н.о.	4	Н.о.	Н.о.	Н.о.
10	Железо	Основа	(18)	200	4%	6
11	Индий	7	30	Н.о.	Н.о.	400
12	Йод	Н.о.	10	Н.о.	Н.о.	Н.о.
13	Иттрий	8	6	Н.о.	60	Н.о.
14	Калий	(1)	(10)	0,9	(2)	Следы
15	Кальций	(4)	(1,2)	5	(29)	4
16	Кобальт	10	5	Н.о.	50	Н.о.
17	Кремний	(4)	(1,3)	8	(16)	6
18	Лантаноиды	80	40	Н.о.	360	Н.о.
19	Литий	100	50	0,2	200	Следы
20	Магний	(2)	3000	4	(1)	Следы
21	Марганец	4000	900	Н.о.	2000	Н.о.
22	Медь	20	10	10	40	400
23	Мышьяк	Следы	5	Н.о.	Н.о.	20
24	Молибден	10	2	Н.о.	Н.о.	Н.о.

25	Натрий	500	300	Следы	2000	Следы
26	Никель	20	40	Следы	40	Н.о.
27	Ниобий	30	Н.о.	Н.о.	30	Н.о.
28	Олово	Н.о.	4000	Н.о.	50	15%
29	Рубидий	300	2000	Следы	100	Следы
30	Свинец	Следы	1600	800	Н.о.	Основа
31	Селен	Следы	30	Н.о.	Н.о.	Н.о.
32	Сера	7000	(1,6)	7	(1,4)	10
33	Скандий	40	3	Н.о.	Н.о.	Н.о.
34	Стронций	300	300	Следы	400	Следы
35	Сурьма	Следы	30	Н.о.	2	1000
36	Титан	3000	1000	Следы	7000	Н.о.
37	Фосфор	600	70	Н.о.	100	8
38	Фтор	200	80	Следы	1000	Следы
39	Хром	300	100	Н.о.	100	Н.о.
40	Цинк	6	(47)	Основа	100	900
41	Цирконий	100	30	Н.о.	900	Следы
42	Хлор	7	300	Следы	60	6

3. Изменение экономической системы в стране частично или полностью привело к смене приоритетов в технологической деятельности. Производительность, главный приоритет плановой экономики уступает свое место ресурсосбережению и, в первую очередь, экономии энергоресурсов. Это влечет за собой пересмотр многих утвердившихся стереотипов. Упомянем прежде всего проблему использования в металлургии кислорода. Получение 1000 м³ кислорода требует в разных условиях расхода 600–1000 кВт·ч электроэнергии, что означает потребность для этого 60–120 кг у.т.

4. В ближайшие годы следует ожидать массового сокращения масштабов использования в металлургии природного газа. Приближение к мировым ценам на энергоносители сделает применение природного газа в доменных печах экономически не выгодным. Следует ожидать возобновления интереса к вдуванию коксового газа, а также скорейший переход на использование пылеугольного топлива, использование которых в доменных печах России и стран СНГ неоправданно затягивается. Необходимо отметить, что применение ПУТ требует выполнения ряда условий (использование кислорода в дутье, повышенные требования к качеству кокса, специальные меры при подготовке углей к вдуванию и др.). Поэтому ошибкой было отсутствие внимания к таким конкурентам угольной пыли, как продукты газификации углей, углеродсодержащие техногенные материалы и к различным технологическим вариантам рециклинга колошного газа.

5. Можно не сомневаться, что будут резко возрастать требования к экологической чистоте металлургических процессов. Следует иметь в виду, что природоохранные проблемы уже в настоящее время служат мощ-

ным средством в конкурентной борьбе. Рассчитывать на снижение роли «экологического компромата» не приходится. В качестве примера можно привести массовый выброс статей в изданиях Франции, Германии и Японии о выделениях в атмосферу диоксинов в агломерационном производстве. Известно, что обязательным компонентом диоксинов является хлор. Не менее известно, что в подавляющей части агломерационной шихты хлор отсутствует. Анализ материалов, появившихся в изданиях вышеназванных государств, показывает, что источником хлора в агломерационном производстве является замасленная окалина. Поэтому жесткий контроль состава шихт, исключающий попадание в них источника хлора должен стать обязательным для всех производств черной металлургии.

Мы уже упоминали выше о целесообразности возобновления интереса к вдуванию горячих восстановительных газов, которое получило в Западных странах «более экологическое» название «рециклинг колошникового газа». В нашей стране, являвшейся в 60°–70° годы пионером в развитии этого направления технологического развития, к сожалению, интерес к нему отсутствует. Между тем, решая проблему снижения расхода кокса, вдувание ГВГ одновременно снижает выбросы в окружающую среду CO₂ – парникового газа, что резко повышает экологическую чистоту доменного производства.

6. В конце XX – начале XXI века доменное производство очередной раз доказало свое неоспоримое превосходство над альтернативными процессами. Первая массированная атака на доменную плавку, как на основной вид передела железорудного сырья, приходится на 60° годы прошлого столетия. Открытие огромных нефтегазовых месторождений на Ближнем Востоке, Северной и Центральной Африке и Латинской Америке породило невиданную эйфорию надежд и революций в черной металлургии в виде замены доменного производства низкотемпературными твердофазными процессами металлизации железорудных материалов.

Некоторыми специалистами, но в основном многочисленными лоббистами ряда горнорудных и металлургических компаний предсказывался рост мирового производства металлизированного сырья до 50, 100 и даже 200 млн. т. в год. Как и следовало ожидать, эти прогнозы оказались далекими от действительности. В тоже время все больше проявляли себя факторы, объективно определяющие ограниченный (небольшой) размер ниши в металлургии, на которую могут претендовать альтернативные твердофазные процессы. К этим факторам, прежде всего, относятся небольшая доля запасов легкообогатимых и чистых по примесям железных руд и наличие достаточных ресурсов нефти и газа с приемлемой, экономически обоснованной ценой.

Второй пик интереса к альтернативным процессам относится к 80–90^м годам XX столетия, когда в качестве конкурентов доменному производству были выставлены жидкофазные процессы, в которых в качестве энергоносителя выступали недорогие и недефицитные сорта каменных углей.

Отметим, что «степень агрессивности» проводников альтернативных процессов стала значительно выше, чем ранее, хотя и прежде конкурентная борьба отличалась повышенной остротой. На этот раз кроме замены кокса на знаменах трубадуров альтернативных процессов появились и экологические лозунги. Однако сегодня можно констатировать, что доменное производство в очередной раз вышло победителем в этой конкуренции. Альтернативные процессы оказались неконкурентоспособными как в энерго- и материалосбережении, так и в экологической чистоте. Поэтому не удивительно, что доля металла, производимого в мире внедоменным путем, практически никогда не превышала 5–7 %, что объективно соответствует размеру ниши для этих процессов.

С учетом этих и некоторых других изменений в мировой хозяйственной конъюнктуре попытаемся сделать некоторые прогнозы эволюции доменного производства в XX веке.

Современные методы анализа и расчетов процессов в доменной печи позволяют определить нижние пределы расхода энергоносителей на проведении доменной плавки [3].

В пересчете на кокс они приблизительно составляют:

по восстановительным ограничениям – 300–350 кг/т;

по тепловым ограничениям – 350–400 кг/т;

по газодинамическим ограничениям – расчеты не позволяют определить величину расхода кокса, по косвенным данным – 200–250 кг/т.

Таким образом, можно считать, что общая сумма расхода всех используемых энергоносителей не может быть снижена менее величины, эквивалентной расходу кокса 350–400 кг/т.

Результаты работы некоторых эффективно работающих доменных печей близки к этим предельным показателям. Так доменная печь № 5 завода «Экошталь» в ФРГ устойчиво работает при выплавке передельного чугуна со следующим результатом:

Расход кокса	250–280 кг/т
Расход мелкокускового кокса	50–70 кг/т
Расход заменителей кокса (пластмассы, мазут)	50–70 кг/т

Это подтверждает соображение, что возможности улучшения восстановительной работы газового потока во многом исчерпаны, расходы энергоносителей на обеспечение тепловых потребностей процесса для хорошо работающих доменных печей также близки к предельным. Поэтому экономическая эффективность плавки будет определяться ценой на энергоносители, т.е. важное значение приобретает структура энергопотребления доменного производства.

Снижение значения производительности по сравнению с ресурсосбережением не меняет ее важной роли. Это означает, что управление движением газового потока, твердых и жидких материалов продолжит доминирование в числе основных управляющих воздействий.

Опыт последнего десятилетия свидетельствует о возрастающем значении математических моделей и компьютерной диагностики, позволяющих сделать доменную печь максимально «прозрачной».

Наконец, несколько неожиданным, но набирающим внимание оказался проявившийся в последнее время за рубежом интерес к малым доменным печам. Напомним, что в прошедшем столетии развитие доменного производства шло в основном по пути сооружения все более крупных агрегатов. СССР долгое время был лидером в строительстве крупных доменных печей. Работа этих агрегатов отличалась прежде всего ростом производительности труда. Между тем накапливалось все больше фактов негативных последствий роста объема печей [6]:

1. Мощные доменные печи успешно функционируют лишь при проплавке шихты повышенного качества. Это обуславливает повышение расхода ресурсов на процессы подготовки сырья;

2. Ввиду известных ограничений размера высоты доменных печей увеличение объема шло в основном за счет роста горизонтальных размеров агрегатов. Это вызывало различные затруднения, например, существенные отличия в составе чугуна, выпускаемого из различных леток. Снижение доли протяженности окисленных зон по отношению к размеру горна вызвало сложности, связанные с функционированием коксовой насадки. В 1980–х годах, впервые в XX веке технологи вынуждены были вновь ввести в обиход, казалось бы, забытый термин «готерман»;

3. Возникли трудности и с общей организацией производства на предприятиях полного цикла. Случайные и аварийные остановки крупной доменной печи могли парализовать работу смежных цехов;

4. Крупные агрегаты должны уступить и исходя из экологических соображений. Известно, что основным недостатком черной металлургии, с точки зрения влияния на окружающую среду, является высокая степень ее концентрации. При общих невысоких по сравнению с другими отраслями народного хозяйства значениях выбросов черная металлургия характеризуется высокой их концентрацией на единицу площади металлургического региона. Исходя из состояния природной среды безусловно целесообразно рассредоточение производств, иначе говоря функционирование пяти доменных печей объемом 1000 м^3 и удаленных друг от друга, предпочтительней работы одной доменной печи объемом 5000 м^3 ;

5. В большинстве случаев относительно небольшие доменные печи имеют лучшие показатели по расходу энергоносителя и более маневренны в номенклатуре производимой продукции.

На решение проблемы размера доменных печей влияет также ситуация с увеличением количества мини-заводов и перспективы организации микрометаллургии. Для производства высококачественной стали для горячекатаных полос требуется такой же высококачественный и поэтому дорогостоящий лом. Вместе с тем жидкий передельный чугун обладает существенными преимуществами перед высококачественным ломом. От-

сутствие в чугуне нежелательных примесных микроэлементов, таких как медь, олово, хром и никель, гарантирует высокое качество производимой металлопродукции.

Другими преимуществами жидкого передельного чугуна по сравнению с ломом и твердыми носителями железа является его высокое тепло-содержание и «химическое» тепло углерода и кремния, которое составляет около 60 % от физического тепла жидкого чугуна. По некоторым данным при заливке в электропечь 40 % передельного чугуна ее производительность может вырасти на 30 %, а расход электроэнергии снижен на 35 %. Поэтому в 90–х годах потребность в жидком передельном и твердом чушковом чугуне, выплавляемом в небольших количествах, но для многочисленных мини–заводов, стимулировала совершенствование технологии плавки чугуна в печах небольшого объема. В настоящее время доменные печи небольшого объема, специально разрабатываемые для обеспечения потребностей мини–заводов, подразделяются на: компактные печи (CBF) – объем 500–1500 м³, производительность 1000–4000 т/сут; малые печи (MBF) – объем 100–500 м³, производительность 300–1000 т/сут; микропечи – объем до 100 м³, производительность 300 т/сут.

Наиболее активно печи малого объема используются в Бразилии, Индии, Индонезии и Китае. В табл.6 приведен перечень доменных печей объемом 100–500 м³. Построенные в последние 20 лет MBF, как правило, имеют полезный объем 100–250 м³ при удельной производительности около 2,2 т/м³·сутки (табл.7).

Таблица 6. Зарубежные доменные печи объемом менее 500 м³.

Страны	Количество печей	Примечания
Китай	более 250	Доля выплавки чугуна объемом менее 500 м ³ в общем объеме производства превышает 20 %
Бразилия	160	136 MBF производят товарный чушковый чугун, 24 MBF работают на заводах с полным циклом (в том числе 5 печей фирмы SMS Demag)
Индия	21	Все печи специальной конструкции MBF введены в эксплуатацию после 1990 г. (в том числе 15 печей фирмы SMS Demag)
Индонезия	10	–
Вьетнам, Парагвай, Польша, Турция, Украина, Франция	по 2–3	–
Аргентина, Босния, Венгрия, Перу, Тунис, Япония	по 1	–

Таблица 7. Показатели работы некоторых печей МВФ.

Показатель	Страна, предприятия, доменные печи						Россия	
	Бразилия		Индия					
	MSA № 2, Белу-Оризонте	Gerdau № 1, Дивинópolis	Siderstal № 1, Рибас ду Риу Парду	Sesa Goa № 1, Гоа	Midwest № 1, Шрикакулам	Kirlos Kar № 2, Хоспет		Usha Marti № 1, Джамсхедпур
Полезный объем, м ³	250	118	136	175	215	215	250	224
Вид выплавляемого чугуна	Передельный	Передельный	Передельный/лит.	Литейный	Литейный	Литейный	Передельный	Передельный/лит.
Год начала эксплуатации	1986	1982	1990	1992	1993	1995	1994	1998
Наилучшая средняя производительность, т/м ³ ·сут.	2,83	2,20	2,28	1,60	1,21	1,82	2,26	2,10
Шихтовые материалы – твердое топливо	Древесный уголь	Древесный уголь	Древесный уголь	Кокс	Кокс	Кокс	Кокс	Кокс
крупность, мм	10–25	12–120	12–120	20–60	15–25	15–60	15–50	25–60
зольность, % (по массе)	2	3	4	12	21	15	13	12
– железорудные материалы	Кусковая руда	Кусковая руда	Кусковая руда	Кусковая руда	Кусковая руда	Кусковая руда	Кусковая руда	Кусковая руда
крупность, мм	6–32	9–25	9–25	10–30	10–30	10–30	8–30	6–30
содержание Fe, % (по массе)	66,5	65,0	66,5	65,0	64,0	65,0	65,5	65,0
Температура дутья, °С	800	750	700	800	750	780	760	750
Расход твердого топлива, кг/т чугуна	640	630	637	600	700	640	590	620
								Передельный – 575, литейный – 850 + ПП 55 м ³

Рабочая высота МВФ составляет 14–17 м, загрузочное устройство представляет собой традиционный двухконусный аппарат.

Вопреки пессимистическим прогнозам и атакам лоббистов компаний, пытающихся ослабить позиции господствующей схемы производства стали, доменное производство продолжает динамично развиваться. Строятся новые доменные печи в странах – новых лидерах мировой экономики, реконструируются агрегаты во многих западных государствах, расширяются области применения доменных печей, все шире внедряется практика использования доменных печей для утилизации техногенных материалов и, особенно, экотоксикантов. Опыт XX века убедительно показал, что у доменного производства нет серьезных конкурентов. XXI век безусловно подтвердит этот факт.

1. *Анализ развития и технико–экономические проблемы процесса производства стали в мире* / Г.Г.Ефименко, В.Н.Нешадин, М.И.Цимбал и др. – Днепропетровск, ДМетИ, 1993 г. – 277 с.
2. *Сталь и альтернативные материалы: анализ и прогноз* / Г.Г.Ефименко, И.Г.Михеев, В.Н.Нешадин и др. – Днепропетровск, ГМетА, 1997 г. – 54 с.
3. *Металлургия чугуна*. Учебник для вузов. 3^е изд. перераб. и доп./Под редакцией Ю.С.Юсфина. М.: – ИКЦ «Академкнига», 2004 г. – 774 с.
4. *Термодинамический анализ поведения мышьяка в процессах экстракции металлов* / Ю.С.Юсфин, П.И.Черноусов, А.Л.Петелин, Е.С.Михалина. // Известия вузов, черная металлургия. – 2002 г. – №3. – С.16–20.
5. *Распределение фосфора между фазами при выплавке высокоуглеродистого ферромарганца в доменной печи* /А.Л.Грошкова, Л.А.Полулях, А.Я.Травянов, В.Я.Дашевский, Ю.С.Юсфин // Известия вузов, черная металлургия. –2007 г. – № 11. – С.12–16.
6. *Печи малого объема – будущее доменного производства?* /Ю.С.Юсфин, П.И.Черноусов, О.В.Голубев // Известия вузов, черная металлургия. – 2005 г. – № 10. – С.20–25.

Сведения об авторе:

Юсфин Юлиан Семенович, докт.техн.наук, профессор, зав. кафедрой экстракции и рециклинга черных металлов, ГТУ «МИСиС», Россия, г. Москва