

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА ВЕДЕНИЯ ПЛАВКИ СТАЛИ В ДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧАХ ПО ПРИБЫЛИ ПРЕДПРИЯТИЯ

С. А. Храпко (Донецкий НТУ)

Проанализирована зависимость эффективности производства сталеплавильного цеха от технологических параметров процесса выплавки стали. Показано, что при сравнении различных вариантов технологии, а также в автоматизированных системах управления ТП выплавки и внепечной обработки в качестве целевой функции оптимизации должны использоваться не косвенные показатели работы цеха (производительность агрегата, себестоимость продукции), а конечная цель любого производства — прибыль предприятия.

Обычно для анализа зависимости прибыли предприятия от объема производства (или производительности печи) используют следующие рассуждения [1]. Затраты завода на производство продукции составляют:

$$Z = S \cdot G, \quad (1)$$

где S — затраты на основные материалы и энергоносители на тонну готовой продукции, \$/т; G — масса произведенного металла, т/г; S — условная денежная единица.

Выручка завода от продажи металла:

$$Y = C \cdot G, \quad (2)$$

где C — цена продукции, \$/т.

В результате получают следующую формулу для годовой прибыли завода:

$$\Pi = Y - Z - Z_c = (C - S)G - Z_c, \quad (3)$$

где Z_c — условно-постоянные расходы (зарплата, налоги, плата за землю, ремонт оборудования — все, за что платит завод, независимо от производства продукции), \$/г.

Из (3) делают вывод, что при производительности менее $Z_c/(C-S)$ производство становится убыточным, а повышение производительности всегда однозначно приводит к повышению прибыли, а указанную зависимость иллюстрируют графиком, изображенным на рис. 1 [1].

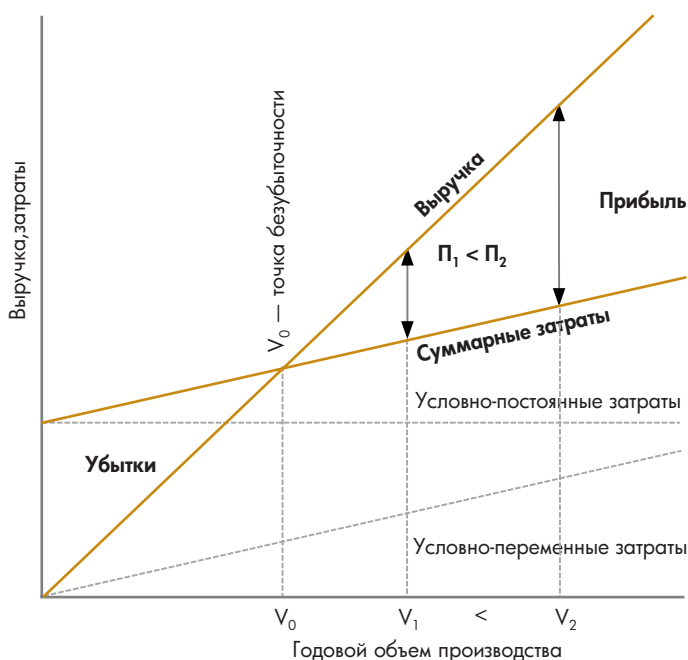


Рис. 1. Зависимость прибыли от объема производства и затрат

В этих рассуждениях имеется один недостаток: считается, что при повышении производительности печи все исходные данные (а именно, расходные коэффициенты) остаются неизменными. Такая ситуация соответствует "экстенсивному" пути повышения производительности (увеличение числа печей, их емкости и т. д.). Если же рассматривается способ повышения производительности печи за счет изменения технологии плавки (в частности, интенсификации вдувания кислорода), то необходимо учитывать, что в этом случае уменьшается не только продолжительность плавки (за счет дополнительного тепла химических реакций), но и масса жидкого полупродукта на выпуске (за счет повышенного угара железа). При этом затраты на основные материалы и энергоносители на одну плавку практически не изменяются, что эквивалентно росту всех расходных коэффициентов на 1 т жидкого металла. Таким образом, формула (1) перестает отражать зависимость затрат от массы металла на выпуске, и необходимо считать величину затрат постоянной для каждой плавки. Другими словами, если в печь загрузили металллом определенной стоимости, то последняя никак не зависит от результатов плавки — хоть 10% металла перейдет в шлак, хоть 50%.

В качестве примера рассмотрим два варианта технологии: "базовый" и "сравнительный". Примем, что "сравнительный" вариант отличается от "базового" лишь меньшей массой выпущенного металла и продолжительностью плавки, все остальные показатели будем считать неизменными:

- условно-постоянные расходы $Z_c = 120$ млн. \$/год (ориентировочная оценка; в дальнейшем показано, что эта величина не влияет на результаты сравнения);
- цена жидкого полупродукта (цена заготовки минус затраты на легирование, прокатку, разливку, транспортировку и т. д.) $C = 105$ \$/т;
- время работы печи за год $T = 8000$ ч;
- затраты на основные материалы и энергоносители на одну плавку $Z_0 = 10500$ \$ (ориентировочный расчет приведен в табл. 1).

Оценим снижение массы и продолжительности плавки при повышении интенсивности вдувания кислорода. Общий расход тепла на выплавку 1 т металла составляет ориентировочно 540 кВт·ч/т или 1944 МДж/т. Для снижения продолжительнос-

ти плавки на 1 мин (с 60 мин в "базовом" варианте до 59 мин в "сравнительном") необходимо ввести $1944/60 = 32.4$ МДж/т тепла за счет окисления железа кислородом продувки. Реакция окисления железа газообразным кислородом имеет тепловой эффект не более 5.9 МДж/кг железа. Следовательно, на каждую минуту сокращения продолжительности плавки дополнительный "угар" железа составит 5,5 кг/т, а при средней массе плавки 125 т снижение массы выпускаемого металла составит 0,686 т.

Проанализируем зависимость прибыли в единицу времени от интенсивности вдувания кислорода в дуговых сталеплавильных печах (ДСП). Изменение показателей при повышении интенсивности продувки приведены в табл. 2.

Расчеты показывают, что рассмотренный "сравнительный" вариант невыгоден (годовая прибыль снижается на 225 тыс. \$), несмотря на повышение производительности производства стали на 11410 т/г. Для упрощения анализа различных вариантов технологии желательнее иметь аналитический вид зависимости прибыли от приведенных выше факторов.

Подстановка приведенных в таблице выражений в формулу (3) дает следующий вид зависимости прибыли предприятия за год от продолжительности плавки:

$$\Pi = T \frac{CM - Z_0}{\tau} - Z_{\tau}, \quad (4)$$

Таблица 1. Расходные коэффициенты (затраты на основные материалы и энергоносители) в "базовом" варианте (при массе выпуска $M=125$ т)

Наименование ресурса	Ед. изм.	Расход, ед/т стали	Цена, \$/ед.	стоимость, \$ /т стали	стоимость, \$ /плавку
Пом	т	1,2	50	60	7500
Электроэнергия	кВт·ч	400	0,03	12	1500
Электроды	кг	3	3	9	1125
Известь	кг	50	0,05	2,5	312,5
Природный газ	м ³	10	0,05	0,5	62,5
Итого				84	$Z_0=10500$

Таблица 2. Сравнение показателей

№	Наименование показателя	"Базовый" вариант	"Сравнительный" вариант	Изменение
1.	длительность плавки τ , час	1,00	0,98 (59 мин)	-1 мин
2.	масса выпуска M , т	125	124,32	-0,68
3.	производительность печи $Q=M/\tau$, т/час	125	126,43	+1,43
4.	число плавов за год $N=T/\tau$	8000	8135	+135
5.	удельные затраты на основные материалы и энергоносители $S=Z_0/M$, \$/т	84	84,46	+0,46
6.	объем годового производства $G=Q \cdot T$, тыс. т	1000	1011,41	+11,41
7.	общие затраты за год $Z=Z_0 \cdot N$, тыс. \$	84000	85424	+1 424
8.	выручка завода за год $Y=G \cdot C$, тыс. \$	105000	106199	+1 199
9.	прибыль за год $G=Y-Z-Z_{\tau}$, тыс. \$	9000	8775	-225
10.	прибыль на одной плавке Π/N , \$	1125,00	1078,60	-46,40
11.	прибыль в час Π/T , \$/час	1125,00	1096,88	-28,12

Для анализа формулы (4) вычислим производную

$$\frac{d\Pi}{d\tau} = \frac{T}{\tau^2} \left(C \frac{dM}{d\tau} \tau - (CM - Z_0) \right) = NC \left(\frac{dM}{d\tau} - Q \left(1 - \frac{S}{C} \right) \right) \quad (5)$$

Снижение продолжительности плавки приводит к повышению прибыли ($d\Pi/d\tau < 0$), если

$$\frac{dM}{d\tau} < Q \left(1 - \frac{S}{C} \right) \quad (6)$$

Интересно, что в формуле (6) фигурируют только два показателя: производительность и отношение затрат на материалы к цене полупродукта. Все остальные показатели (τ , M , T , Z_{τ}) не влияют на "выгодность" технологии. При приведенных выше "базовых" показателях "выгодность" интенсификации вдувания кислорода определяется выражением

$$\frac{dM}{d\tau} < 25 \text{ т/ч (0,43 т/мин)}, \quad (7)$$

т. е. сокращение продолжительности плавки на 1 мин должно приводить к снижению массы металла не более чем на 0,43 т (или, другими словами, каждая тонна окислившегося металла должна давать сокращение продолжительности плавки не менее чем на 2,5 мин). Если масса металла снижается больше, чем на 0,43 т (0,68 т в "сравнительном" варианте), то выгоднее не увеличивать интенсивность вдувания кислорода, а наоборот, уменьшать, при этом снизится

производительность, однако снижение стоимости основных материалов и энергоносителей на тонну металла будет преобладающим, что повысит прибыльность производства.

Приведенные расчеты вовсе не отрицают экономическую эффективность интенсификации вдувания кислорода в ДСП. Дело в том, что реакции окисления примесей металла (таких, как углерод, марганец, кремний) дают в 2...5 раз больше тепла (на килограмм примесей), чем реакция окисления железа. Окисление указанных примесей приводит к снижению массы металла на 0,14...0,34 т (на каждую минуту сокращения продолжительности плавки), что ниже критического значения 0,43 т. В результате прибыльность производства при повышении расхода кислорода растет, причем только до тех пор, пока идет преимущественное окисление примесей, а не железа. При дальнейшем повышении

Научные идеи — ветры, надувающие паруса корабля; ветер, правда, иногда топит корабль, но без него корабль не мог бы плыть.

Журнал "Автоматизация в промышленности"

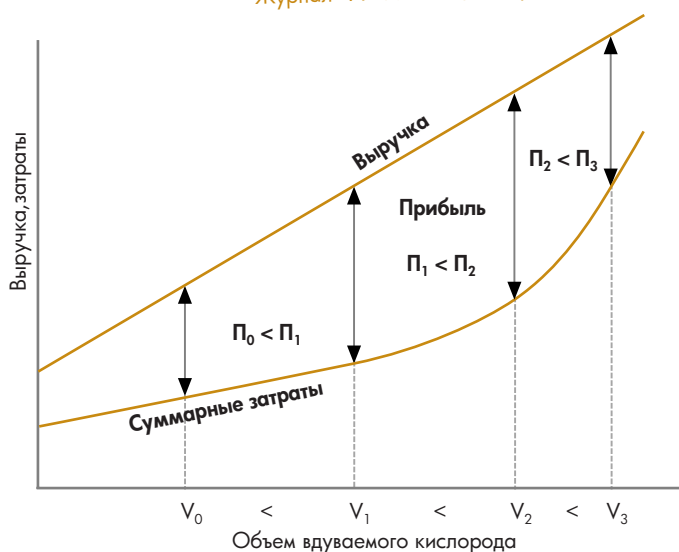


Рис. 2. Зависимость прибыли от интенсивности продувки

расхода кислорода зависимость изменяется на противоположную. Другими словами, углерод, марганец и кремний как источники тепла выгодны, в то время как "отапливать" печь железом — невыгодно. Поэтому речь идет лишь о том, что существует определенный экстремум, после которого практически весь дувяемый кислород расходуется на "сжигание" железа и дальнейшее повышение расхода кислорода становится нецелесообразным (рис. 2). Определить этот экстремум позволяют АСУТП выплавки стали, построенные на строгих термодинамических моделях, например, система "АСУТП-ОРАКУЛ" [2,3,5].

Формула (6) позволяет сделать еще один вывод: экономическая целесообразность сжигания железа (и положение критической точки) определяется, в основном, отношением затрат на материалы к цене полупродукта. Например, если затраты на материалы и энергоносители составляют менее 67% от цены жидкого полупродукта, то "отапливать" печь железом становится выгодным (работа на "дармовом" металлоломе).

В приведенных выше расчетах рассмотрены лишь общие принципы ("скелет") анализа экономической "состоятельности" технологических вариантов выплавки стали. В частности, в условии (6) рассмотрен лишь один из влияющих факторов, поэтому он является упрощенным и весьма приблизительным. В системе "АСУТП-ОРАКУЛ" учитываются не только основные, но и многие другие факторы, сопутствующие повышению интенсивности использования кислородной продувки (хотя и влияющие на экономическую эффективность технологии в мень-

шей степени): снижение расхода электроэнергии за счет дополнительного тепла химических реакций; повышение расхода электродов за счет более интенсивного окисления кислородом; стоимость кислорода; увеличение расхода раскислителей и угара при легировании на выпуске полупродукта в ковш.

Кроме того, при повышении интенсивности дувяния кислорода учитываются технические возможности устройств для ввода кислорода в металл, наличие резервов для интенсификации получения газообразного кислорода, облегчение технологии обработки на УПК марок сталей с пониженным содержанием С и Р, ухудшение условий работы футеровки, газоочистки и т. д.

Проведенный анализ позволяет сделать некоторые выводы.

1. Тезис о том, что повышение производительности (объема производства) всегда приводит к повышению прибыли в общем случае неверен. Он справедлив только в том случае, если расходные коэффициенты основных материалов и энергоносителей на единицу продукции сохраняются неизменными (или изменяются незначительно).

2. Повышение производительности печи за счет изменения технологии выплавки полупродукта всегда ведет к изменению расходных коэффициентов, поэтому необходим более глубокий анализ "выгодности" тех или иных изменений технологии (повышается ли в результате прибыль завода, а не объем производства стали).

3. Все возможные варианты технологии выплавки стали "просчитываются" при помощи системы "АСУТП-ОРАКУЛ", которая позволяет выбрать оптимальный способ ведения каждой конкретной плавки с учетом "сегодняшних" экономических условий и указанных выше дополнительных факторов.

Список литературы

1. Еланский Д.Г. Тенденции развития электросталеплавильного производства // Электрометаллургия. 2001. №5.
2. Старосоцкий А.В., Керейник А.В., Щербина Т.В., Храпко С.А. Комплексная АСУТП выплавки стали // Материалы 2-й меж. научно-практической конференции "Автоматизированные печные агрегаты и энергосберегающие технологии в металлургии". М. МИСиС. 2002.
3. Храпко С.А., Старосоцкий А.В. Система автоматического управления раскислением и легированием стали // Там же.
4. Старосоцкий А.В., Бабичев А.К., Дервянченко И.В., Храпко С.А., Синяков Р.В. Создание системы автоматического ведения плавки в ДСП как первый шаг развертывания интеллектуальных систем управления в сталеплавильном производстве // Труды 6-го конгресса сталеплавильщиков. М. ОАО "Черметинформация". 2001.

Храпко Сергей Александрович — канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, докторант Донецкого национального технического университета кафедры "Электрометаллургия и конвертерное производство стали".

Контактные телефоны в г. Донецке: (380622) 57-76-02, (38062)334-47-24, (380622) 99-00-86.

E-mail: xca@oracul.org