



*Н. В. АНДРИАНОВ, А. Г. АФАНАСИАДИ, РУП «БМЗ»,  
И. Л. НУМЕРАНОВА, А. В. ДЕМИН, Н. Л. МАНДЕЛЬ,  
Институт тепло- и массообмена им. А.В.Лыкова НАН Беларуси,  
Д. К. ГРИБОК, О. Н. ТЫЩЕНКО, БНТУ*

УДК 669.187

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА МЕТАЛЛОШИХТЫ ДЛЯ РАЗЛИЧНОГО МАРОЧНОГО СОРТАМЕНТА СТАЛЕЙ, ВЫПЛАВЛЯЕМЫХ В ДСП-100 №3 РУП «БЕЛОРУССКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ЗАВОД»

Технология высшего уровня при выплавке стали в сверхмощных дуговых печах предполагает наиболее рациональное использование шихтовых материалов. Выбор определенного технологического процесса при оптимальном составе металлошихты позволяет обеспечить значительный технический и экономический эффект при минимальных затратах на производство стали.

Выбор оптимального варианта шихтовки проводится по двум критериям.

1. Стоимость металлошихты и легирующих добавок.

2. Быстрое и экономичное расплавление загруженной шихты в печь.

При выплавке стали основная доля расходов приходится на компоненты металлошихты и легирующие добавки и составляет 80 - 95% от стоимости всех затрат. Поэтому возможность существенного снижения затрат связана прежде всего с использованием наиболее дешевых шихтовых материалов и при минимальном расходе легирующих присадок в жидком полупродукте при внепечной обработке.

Эффективная работа сверхмощной дуговой сталеплавильной печи с точки зрения теплофизических представлений требует решения быстрого и экономичного расплавления загруженной шихты, на которое оказывают влияние следующие факторы [1]:

- фракционные размеры и насыпная плотность шихты;
- способ укладки шихты в корзине;
- химический состав лома.

Применение легковесного лома с низкой насыпной плотностью, используемого в завалку до 90–100%, приводит к снижению расхода электроэнергии, однако при этом возрастает угар металла. Вместе с тем низкая насыпная плотность

*The program "Calculation of the optimal metalburden composition", allowing to minimize the total cost of charging and of addition elements at the required output of molten metal of the predetermined chemical composition, has been developed on the basis of the offered technology.*

лома приводит к дополнительной довалке корзины, тем самым, увеличивая время внутривалочного простоя. В связи с этим рекомендуется использовать в общей массе шихты до 40% тяжеловесного лома, что частично компенсирует угар металла, но при этом увеличивается расход электроэнергии.

По объемной массе и габаритам лом подбирают таким образом, чтобы из первой бадьи на подину печи в небольших количествах поступал легковесный лом, защищающий ее от разрушения при падении кусков тяжеловесного лома. Тяжеловесный лом в количестве до 40% общей массы металлошихты, предназначенной на плавку, загружают на эту «подушку» в нижние слои шихты, чтобы при его расплавлении не происходило поломок электродов. В верхнюю часть первой и в остальные корзины загружают преимущественно малогабаритный легковесный лом.

Исходным сырьем для выплавки стали в дуговых печах являются металлоотходы собственного производства (с известным химическим составом) и поступающий со стороны привозной лом (с неопределенным химическим составом).

Для любого сталеплавильного агрегата обязательным является знание химического состава металлошихты.

Состав лома, используемого в дуговых сталеплавильных печах, интересует нас прежде всего с точки зрения рационального использования содержащихся в нем легирующих элементов, таких, как никель, молибден, хром, марганец и др. Кроме того, важное значение имеет количество вредных (сера, фосфор) и остаточных примесей (медь, олово и др.), поскольку последние не удаляются из металла и их концентрация может превысить допустимые для выплавляемой стали пределы.

Знание химического состава лома гарантирует от случайных выпадов выплавляемой стали по составу, так как к выплавке высококачественных марок стали предъявляются особо жесткие требования по содержанию меди и никеля.

Для выплавки стали более ответственного сортамента необходимо использовать металлоотходы собственного производства (оборотный лом), которые имеются в ограниченном количестве. Использование привозного углеродистого и легированного лома всех категорий не вызовет никаких опасений при соответствующей сортировке в копровом цехе.

Комплексной научно-производственной лабораторией «Проблемы металлургического производства» Белорусского национального технического университета совместно со специалистами РУП «Белорусский металлургический завод» была разработана методика определения оптимального состава шихты для всего базового марочного сортамента сталей, выплавляемых в условиях ДСП-100 №3 РУП «БМЗ».

С точки зрения технологии выплавки данный марочный сортамент сталей можно разбить на две основные группы: первая – марки стали, выплавляемые на основе чистого металлизированного сырья (кордовый сортамент); вторая – на основе углеродистого и легированного лома. Так как одна и та же марка стали может быть получена различными комбинациями исходных шихтовых материалов, то эти группы в зависимости от состава и количества используемой металлошихты были систематизированы и обобщены по вариантам шихтовок с учетом схемы укладки шихты в корзину и последовательности завалки корзин в печь.

По всем вариантам было проведено не менее одной серии плавов с уточнением следующих параметров: вида и количества используемого лома; расхода электроэнергии, извести, кислорода и газа, ферросплавов (только для легированных марок сталей).

В данной методике процесс выплавки стали условно разделен на три этапа [2].

**1. Расплавление шихты.** Для расчета состава металла определяли химический состав каждого компонента металлозавалки и отклонение содержания в них контролируемых элементов, а также наличие и количество металлошихты на складе копрового цеха для выплавки заданной марки

стали. Для всех вариантов состава металлошихты проведены расчеты массовых содержаний каждого из элементов. При расплавлении учитывали угар отдельных элементов из общей массы шихты. Значения коэффициентов угара, доверительных интервалов, а также теплофизических условий расплавления металлошихты определяли путем статистической обработки данных проведенных плавов по всем вариантам шихтовок для каждой марки стали.

**2. Корректировку химического состава металла** проводили путем присадки легирующих добавок. Для расчета требуемого количества легирующих добавок, присаживаемых на плавку, задавали коэффициенты усвоения элементов, содержащихся в легирующих добавках. Также для расчета учитывали требования нормативно-технической документации (НТД) для конкретной марки стали и использовали данные ранее проведенных плавов.

**3. Технологические особенности плавки – расход затрат материалов на шлакообразование и электроэнергию.** Необходимое количество извести определяли в зависимости от основности шлака и содержания кремния и фосфора в исходной шихте. Основность шлака рассчитывали путем статистической обработки данных ранее проведенных плавов по каждому варианту шихтовок.

При расчете расхода электроэнергии учитывали следующие основные факторы: условия расплавления легковесного и тяжеловесного лома; количество извести (на плавление 1 т шлака затрачивается в среднем около 530 кВт·ч энергии); температуру выпуска металла.

По всем вариантам шихтовок для каждой марки стали определяли общие затраты на выплавку, равные сумме затрат на отдельных этапах. При этом максимальная экономия ресурсов возможна при условии, когда расходы на каждом этапе будут минимальны.

Данная методика применяется при определении оптимального состава для базового сортамента марок сталей, выплавляемых в ДСП-100 №3 РУП «БМЗ».

В качестве примера приведем результаты расчета методики при определении оптимального состава металлошихты для стали марки 20ХНР. Сталь 20ХНР – низкоуглеродистая легированная. Требования НТД по химическому составу данной марки стали приведены в табл. 1.

Таблица 1. Химический состав стали

Требования НТД, %		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	Ti	B
		Min	0,16	0,17	0,6	-	-	0,7	0,8	-	-	-
Max	0,23	0,37	0,9	0,015	0,035	1,1	1,1	0,3	-	-	0,005	

При выплавке марки стали 20ХНР возможно использовать следующий многокомпонентный состав металлошихты:

- углеродистый лом категории 2А, 3А, т 70–90

- легированный лом категории Б-1, 3, Б-5; Б-8, 13, т 30–40
- легированный лом категории Б-22, т 5–10
- оборотный лом, т 5–10
- пакеты 9А, 10А, т 10–15

С учетом требований нормативно-технической документации и состава металлошихты данной марки стали методом итерации были определены основные варианты шихтовок (табл. 2).

При этом основной упор делался на снижение стоимости металлошихты за счет использования многокомпонентного состава металлошихты.

Таблица 2. Варианты шихтовок

Вариант шихтовки	Легковесный лом		Тяжеловесный лом				
	лом 2А, 3А	пакеты 9А, 10А	оборотный лом (А)	лом Б-1,3 (Cr, Mn)	лом Б-5 (Ni)	лом Б-8, 13 (Cr, Ni)	лом Б-22 (Mn)
1	80	-	-	-	40	-	-
2	70	10	-	-	40	-	-
3	75	-	10	-	40	-	-
4	75	-	-	-	-	45	-
5	65	10	-	-	-	45	-
6	70	-	10	-	-	45	-
7	74	-	-	-	40	-	10
8	74	-	-	-	-	30	10
9	69	-	10	-	40	-	10
10	69	-	10	-	-	40	10
11	70	-	-	20	30	-	-
12	70	-	-	20	30	-	-

При использовании приведенной выше методики были определены общие затраты на выплавку по предложенным вариантам шихтовок. С учетом этого все варианты расположили в порядке увеличения их общих затрат на выплавку. Результаты расчета общих затрат и отклонения по стоимости вариантов от оптимального (вариант 2)

приведены в табл. 3. Анализ результатов показал, что наиболее оптимальными вариантами шихтовки являются 2, 3, 9, 1 и 7. Следует также отметить, что использование легированного Ni – содержащего лома Б-5, используемого в этих вариантах в составе металлошихты для данной марки стали, является наиболее целесообразным.

Таблица 3. Результаты расчета при определении оптимального состава металлошихты

Лом 2А, 3А	Пакеты 9А, 10А	Оборотный лом (А)	Лом Б-1,3	Лом Б-5	Лом Б-8, 13	Лом Б-22	Отклонения, у.е./т	Вариант шихтовки
70	10	-	-	40	-	-	-	2
75	-	10	-	40	-	-	1,2	3
69	-	10	-	40	-	10	1,25	9
80	-	-	-	40	-	-	3,85	1
74	-	-	-	40	-	10	6,45	7
65	10	-	-	-	45	-	8,75	5
70	-	10	-	-	45	-	9,15	6
75	-	-	-	-	45	-	14,42	4
70	-	-	20	30	-	-	15,85	11
69	-	10	-	-	40	10	17,55	10
74	-	-	-	-	30	10	22,82	8
70	-	-	20	30	-	-	28,09	12

Таким образом, на основе предложенной методики была разработана программа «Расчет оптимального состава металлошихты», позволяющая минимизировать суммарную стоимость завалки и легирующих добавок при требуемом выходе расплавленного металла заданного химического состава.

Данная программа позволит проанализировать возможные варианты состава металлошихты при многокомпонентном составе и обеспечивать рациональную технологию при выплавке стали в ДСП.

С использованием разработанной программы возможно будет определить нормы расхода на металлошихту, легирующие добавки, шлакообразующие и электроэнергию.

### Литература

1. Поволоцкий Д.Я., Гудим Ю.А., Зинуров И.Ю. Устройство и работа сверхмощных дуговых сталеплавильных печей. М.: Металлургия, 1990.
2. Курдюмов А.В., Тэн Э.Б. Расчет оптимального состава шихты на ЭВМ. М.: Металлургия, 1984.