

7. Самойлович Ю. А., Тимошпольский В. И., Трусова И. А., Маточкин В. А. Теоретические основы расчета температур, вязкоупругих напряжений и деформаций в корке непрерывнолитой заготовки // Энергетика: Изв. вузов и энергетических объединений СІПГ. – 2002. – № 3. – С. 48–56.

8. Расчет температур, напряжений и деформаций при производстве непрерывнолитых заготовок в условиях РУП «Белорусский металлургический завод» / Ю. А. Самойлович, В. И. Тимошпольский, В. В. Филиппов и др. // Металлургическая теплотехника: Сб. тр. – Днепропетровск, 2002. – Т. 7. – С. 104–109.

9. Хасин Г. А., Дьяконова Л. В. Теплофизические и электрические характеристики ряда легированных сталей и сплавов при высоких температурах // Проблемы стального слитка: Тр. 4-й конф. по слитку. – М.: Металлургиздат, 1969. – С. 71–85.

УДК 669.1.054.85

Д. Н. АНДРИАНОВ, канд. техн. наук (РУП «БМЗ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА ИСХОДНОГО СЫРЬЯ НА КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ РУП «БЕЛОРУССКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ЗАВОД»

Изучение влияния исходного сырья на качество готовой продукции имеет первостепенное значение для принятия обоснованных технических решений по совершенствованию технологии выплавки стали в дуговых сталеплавильных печах.

В качестве металлического сырья в электросталеплавильном производстве в настоящее время используют стальной лом (углеродистый и легированный), чугуны (жидкий и твердый) и железо прямого получения (губчатое железо, горячебрикетированное железо, карбид железа, металлизированные окатыши). В зависимости от происхождения различают три основные категории стального лома:

образующийся при производстве стали (собственные ресурсы лома или оборотный лом);

образующийся при потреблении металлопроката (отходы металлообработки);

амортизационный (товарный) или основной.

Качество лома определяется в основном по трем параметрам. Первый параметр характеризует содержание железа в ломе; второй – содержание загрязняющих элементов, в первую очередь таких, как

медь, хром, никель, мышьяк, кадмий, свинец, висмут, олово, молибден и цинк; третий – его насыпную плотность и максимальные размеры. Существенное значение при оценке качества лома того или иного типа имеет стабильность его состава и геометрия.

Металлолом, предназначенный для шихтовки корзин, предварительно проходит входной контроль в соответствии с требованиями ГОСТ 2787–75. Пробы для определения химического состава отбираются сменным персоналом копрового цеха в присутствии контролера ОТК, отправляются в ЦЗЛ на анализ. Результаты анализа фиксируются в журнале химического анализа металлошихты работниками ОТК.

Наиболее качественным ломом является обрезь прокатных цехов металлургических предприятий. Такой лом имеет высокую насыпную плотность ($> 1,5 \text{ т/м}^3$), практически не содержит примесей цветных металлов и неметаллических примесей, примерный состав его обычно известен. При разливке стали в изложницы доля прокатной обрезки составляет 20–30% от массы слитков. Высококачественный тяжеловесный лом широко используют во всех сталеплавильных процессах. Переход на непрерывную разливку стали в водоохлаждаемый кристаллизатор резко снизил количество прокатной обрезки, поэтому с увеличением количества металла, разливаемого на МНЛЗ, доля высококачественного тяжеловесного лома, используемого в сталеплавильном производстве, неуклонно снижается. Вместе с тем с учетом уменьшения срока морального износа оборудования в настоящее время существует тенденция значительного увеличения накопления и потребления амортизационного лома в электросталеплавильном производстве.

Амортизационный лом имеет обычно небольшую насыпную плотность ($0,8–1,0 \text{ т/м}^3$), загрязнен всевозможными примесями (цветные металлы, пластмассы, резина, мусор), химический состав его, как правило, неизвестен. Амортизационный лом отличается повышенным содержанием серы и меди. Для рационального использования требуется специальная его подготовка. Лом машиностроительных предприятий в значительной степени перерабатывается в литейных цехах этих предприятий, но часть его попадает и на металлургические заводы. Качество такого лома также невысоко: металлическая

стружка загрязнена масляной эмульсией, химический состав лома, как правило, неизвестен. Для рационального использования в сверхмощных дуговых печах такого лома также требуется его специальная подготовка (брикетирование стружки и т. д.) [1].

Чугун традиционно использовался в электросталеплавильном производстве для повышения содержания углерода в шихте. Его можно считать высококачественным железосодержащим шихтовым материалом. Содержание серы и фосфора в нем сравнительно невелико, практически не содержится примесей цветных металлов. В связи с достаточно высокой (по сравнению с ломом) стоимостью чугуна его использование в электросталеплавильном производстве значительно уменьшилось. В качестве науглероживателя шихты обычно применяют кокс и другие дешевые углеродсодержащие материалы. В настоящее время чугун в электроплавке стали применяют, как правило, для разбавления некачественного лома (понижения содержания вредных примесей в расплаве).

На показатели работы сверхмощной печи и качество производимого ею металла существенно влияет качество используемых шихтовых материалов: их насыпная плотность, содержание в них серы, фосфора, цветных и неметаллических примесей. В любом случае повышенное содержание вредных примесей в шихтовых материалах усложняет технологию и ухудшает показатели производства стали в сверхмощной печи. Так, повышенное содержание фосфора в исходном расплаве требует увеличения расхода шлакообразующих и окислителей, возрастает продолжительность дефосфорации металла и всей плавки, увеличивается расход электроэнергии и т. д. Повышенное содержание серы в шихте требует организации довольно сложной и дорогостоящей внепечной десульфурации металла. Высокое содержание примесей цветных металлов в шихте снижает качество производимой стали и затрудняет ее разливку на МНЛЗ.

При работе на сверхмощных дуговых печах стремление получить металл высокого качества часто вызывает необходимость использования в шихте тяжеловесной обрезки прокатных цехов металлургических заводов с низким содержанием вредных примесей. В этом случае возрастает стоимость шихтовых материалов. Результаты анализа работы 100-тонных дуговых печей РУП «БМЗ» пока-

зывают, что при увеличении средней насыпной плотности лома более 2 т/м^3 заметно возрастают расход энергии на плавление шихты и длительность периода плавления, при этом значительно ухудшаются условия работы футеровки стен вследствие доплавления крупных тяжелых кусков шихты открытой дугой и увеличивается число поломок электродов. По указанным причинам количество тяжеловесной обрезки в шихте необходимо ограничивать. При производстве в сверхмощной печи стали обычного качества оптимальным является вариант работы на легковесной хорошо подготовленной (ножничная резка с последующей сортировкой, фрагментация) шихте.

Особое место в практике работы сверхмощных дуговых печей занимает использование металлизированного сырья. Благодаря высокой чистоте металлизированного сырья появляется возможность производить в сверхмощной печи сталь очень высокого качества или, добавляя к металлизированному сырью лом низкого качества, получать сталь обычного качества без дополнительных затрат. Технико-экономические показатели работы печей в таком случае достаточно высоки. Производство электростали с использованием металлизированного сырья постепенно увеличивается, несмотря на некоторое увеличение расхода электроэнергии при работе на шихте с большим количеством такого сырья, связанное с дополнительными затратами энергии на плавление кислой пустой породы, и избыточного количества извести.

При производстве стали в электропечах должны решаться две основные задачи: повышение производительности печей при снижении затрат на производство, повышение качества продукции и соблюдение законов по охране окружающей среды, а также возможность перерабатывать самую различную металлошихту.

Быстрое увеличение количества сверхмощных электропечей и рост доли выплавки легированных сталей в них неизбежно ставят вопрос о переплаве легированных отходов в таких печах. Классическая технология переплава легированных отходов, разработанная для электропечей обычной мощности, не соответствует концепции сверхмощной печи. Но некоторые положения этой технологии могут быть использованы и для сверхмощной печи. В целом же переплав легированных отходов без потерь или с небольшими потерями легирую-

ших связан с понижением производительности сверхмощной печи и требует отказа от некоторых типичных для плавки в сверхмощной печи приемов интенсификации расплавления шихты и корректировки электрического режима плавки, что далеко не всегда технически и экономически оправдано.

При шихтовке плавки на легированных отходах, содержащих хром, марганец, вольфрам и другие легкоокисляющиеся элементы, следует учитывать невозможность дефосфорации легированного расплава без больших потерь легирующих элементов и предусматривать использование некоторого количества низкофосфористого лома для разбавления фосфора (снижения его общего содержания) в шихте.

Использование традиционных способов ускорения расплавления легированного лома в сверхмощной печи затруднено, так как связано с увеличением потерь легирующих элементов. Следует учитывать, что раннее использование газообразного кислорода для интенсификации плавления приводит к повышенному угару легирующих. При переплаве легированных отходов кислород рациональнее использовать в конце плавления, как и в обычных печах. Применение твердых окислителей для ускоренного формирования шлака при работе на легированных отходах невозможно без увеличения потерь легирующих в период плавления. Вспенивание шлака, широко применяющееся при плавлении углеродистого лома, также затруднено при работе на легированных отходах. Необходимое для окисления подаваемого в шлак углерода большое количество оксидов железа неизбежно приведет к повышенному окислению и переходу в шлак легирующих. Связь между содержаниями оксидов железа и легирующих элементов в шлаке отмечалась неоднократно. Это не позволяет в период расплавления легированного лома работать длительное время на длинных дугах при максимальных значениях напряжения и мощности дуги.

После расплавления легированной шихты дальнейшее ведение плавки зависит от содержания легирующих элементов в выплавляемой стали. При производстве низко- и среднелегированных сталей возможно использование монопроцесса плавки. В таком случае необходимое обезуглероживание металла производится в печи продувкой ванны кислородом после расплавления шихты. После оконча-

ния процесса обезуглероживания и одновременно проводимого нагрева металла осуществляют доводку плавки до заданного состава. Доводка, как и в случае работы на углеродистой шихте, может производиться в печи или в ковше.

По результатам статистического анализа химического состава металлошихты, использовавшейся на РУП «БМЗ» в 2004–2005 гг., определены средние значения химического состава различных категорий металлошихты (табл. 1) и извести (табл. 2).

Таблица 1. Химический состав металлошихты, %

Материал	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
Чугун передельный ПЛМК	4,3	0,5	0,27	0,043	0,042	0,02	0,03	0,04
Лом категории А	0,27	0,6	0,66	0,04	0,04	0,25	0,2	0,28
Лом категории А (пакеты)	0,27	0,7	0,66	0,04	0,04	0,22	0,2	0,3
Лом категории А (ж/д лом)	0,6	0,3	1,22	0,04	0,04	0,02	0,03	0,05
Лом категории АК (пакеты)	0,04	0,016	0,21	0,011	0,016	0,02	0,03	0,03
Лом категории А (КЧ) (пакеты)	0,04	0,02	0,02	0,011	0,016	0,02	0,02	0,02
Лом категории А (К) (штамповка)	0,04	0,02	0,02	0,011	0,016	0,02	0,02	0,02
Лом категории А (оборотный)	0,15	0,21	0,61	0,02	0,02	0,088	0,08	0,15
Лом категории А(КЧ) (оборотный)	0,75	0,21	0,55	0,005	0,009	0,05	0,05	0,05
Лом категории Б1, Б2, Б3	0,5	0,3	1,0	0,03	0,03	1,2	0,1	0,2
Лом категории Б5	0,18	0,25	0,46	0,02	0,02	1,0	2,5	0,2
Лом категории Б8, Б13	0,5	1,0	1,0	0,02	0,02	1,0	0,8	0,15
Лом категории Б22	0,8	0,8	14	0,02	0,02	0,5	0,1	0,1
Окатыши металлизированные	1,08	0	0	0,105	0,011	0,004	0,003	0,003

Таблица 2. Химический состав извести, %

Материал	S	Fe мет	SiO ₂	MgO	CaO	Al ₂ O ₃
Известь	0,05	0,05	0,6	1,0	93	1,0

В качестве примера приведем расчет усвоения элементов при использовании лома категории А как единственно возможного вариан-

та загрузки до 100% на плавку с возможностью его использования в комбинациях с другими видами лома, при этом на данном ломе можно выплавить любую марку стали для производства труб. Средний химический состав лома категории А приведен на рис. 1, а средний

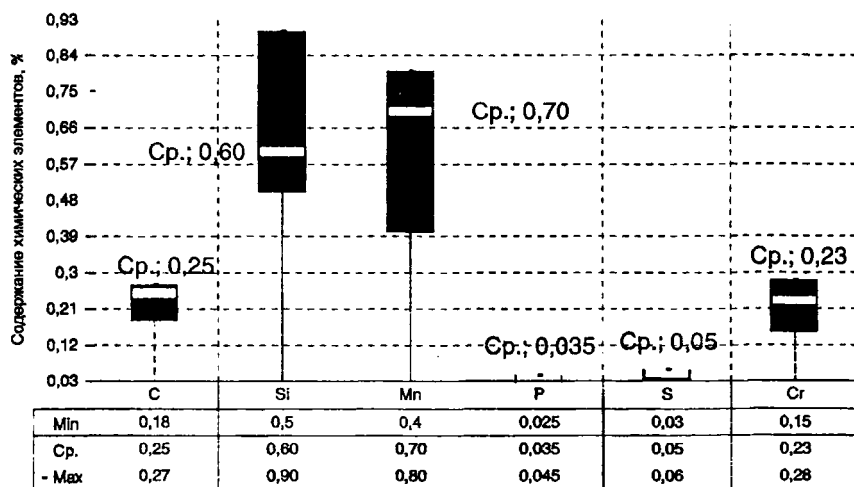


Рис. 1. Химический состав лома категории А

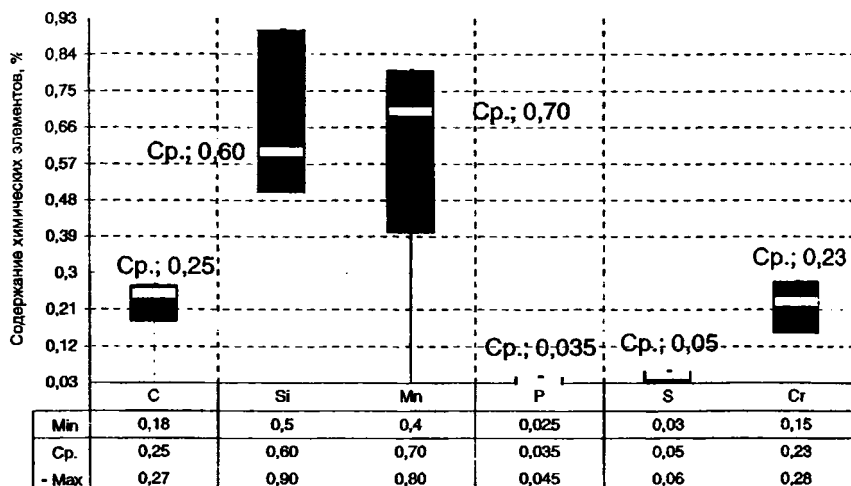


Рис. 2. Химический состав жидкой стали

химический состав полупродукта, выплавленного из этого лома, – на рис. 2.

Рассчитаем угар основных химических элементов лома категории А. Разница между суммарной массой каждого примесного i -го элемента в используемой металлошхите и содержанием примесных i элементов в жидком металле и есть угар элементов в печи (по массе):

$$mY = \sum mR_i^{\text{III}} - mR_i^{\text{II}}. \quad (1)$$

Расчет угара в процентах

$$Y = \frac{mY \cdot 100}{\sum mR_i^{\text{III}}}. \quad (2)$$

Из массива производственных плавов были отобраны значения по химическому составу каждого элемента по пробам жидкого металла в печи. Исходя из этих значений и применяя данную методику определения угара металла и при использовании статистических методов, были получены значения угара металла в печи (рис. 3).

Кроме этого метода, существует и способ определения угара металла исходя из содержания примесных i элементов в жидком ме-

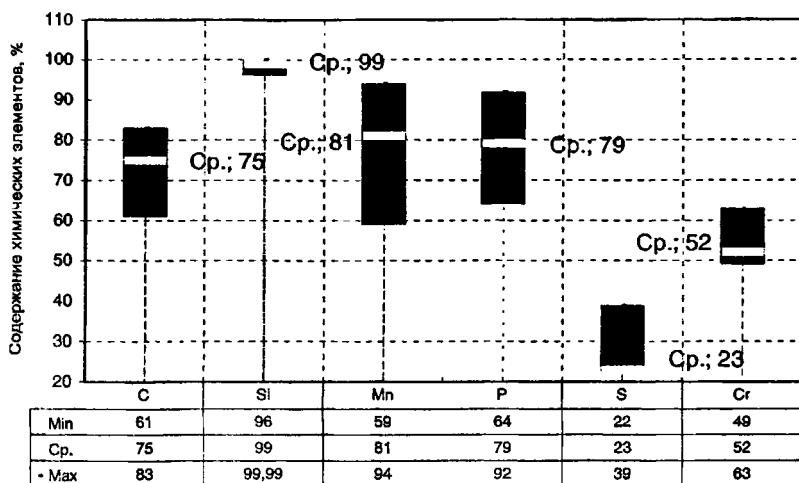


Рис. 3. Расчетные значения угара окисляемых элементов из общей массы шхиты при расплавлении в печи (метод 1)

талле и содержания оксидов этих элементов в шлаке и пыли. Исходными данными являются химический состав металла по расплавлению, химический состав шлака по расплавлению металла, химический состав пыли.

На основании этого, используя материальный баланс, определим суммарную массу элементов в металлошихте по формуле

$$\sum mR_i^{\text{III}} = mR_i^{\text{II}} + mR_i^{\text{IIIЛ}} + mR_i^{\text{ПЫЛЬ}}. \quad (3)$$

Суммарная масса элементов в шлаке и пыли и есть угар. Процент угара определим следующим образом:

$$y = \frac{(mR_i^{\text{IIIЛ}} + mR_i^{\text{ПЫЛЬ}}) \cdot 100}{\sum mR_i^{\text{III}}}, \% \quad (4)$$

Расчетные значения угара окисляемых элементов из общей массы шихты при расплавлении в печи представлены на рис. 4–8.

Используя данные, полученные по двум методам нахождения угара в 100-тонной дуговой сталеплавильной печи № 3, определили усредненные значения, которые приведены на рис. 9. Кроме того, для установления процента угара железа необходимо найти его содержание в пыли и шлаке. По отобранным пробам шлака определялось содержание железа в шлаке в зависимости от массы шлака:

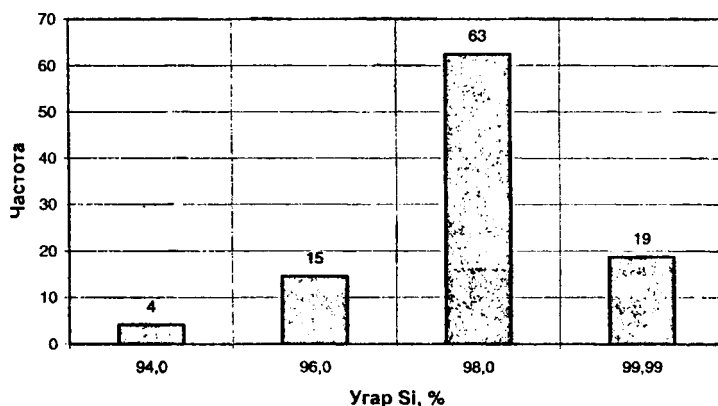


Рис. 4. Угар кремния

$$m_{\text{Fe}}^{\text{шл}} = \frac{m_{\text{шл}}(\% \text{Fe})_{\text{шл}}}{100} = \frac{m_{\text{шл}}(\% \text{FeO})_{\text{шл}} \cdot 56}{100 \cdot 72} = \frac{m_{\text{шл}}(\% \text{FeO})_{\text{шл}} \cdot 0,778}{100}, \quad (5)$$

где $m_{\text{Fe}}^{\text{шл}}$ – содержание железа в шлаке, кг; $(\% \text{FeO})_{\text{шл}}$ – содержание FeO в шлаке.

В зависимости от массы металлошихты определяли процент угара железа, перешедшего в шлак:

$$Y_{\text{Fe}}^{\text{шл}} = \frac{m_{\text{Fe}}^{\text{шл}}}{m_{\text{ТВ}}} \cdot 100\%. \quad (6)$$

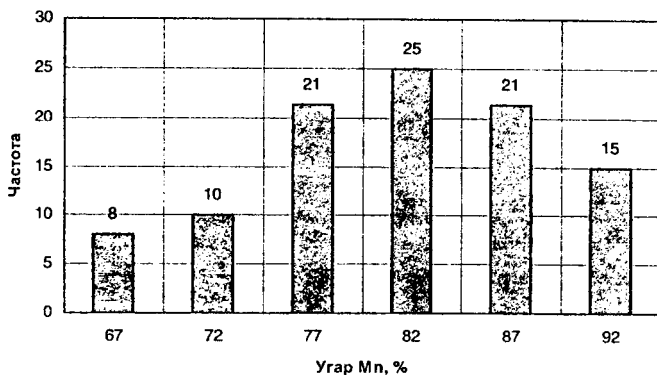


Рис. 5. Угар марганца

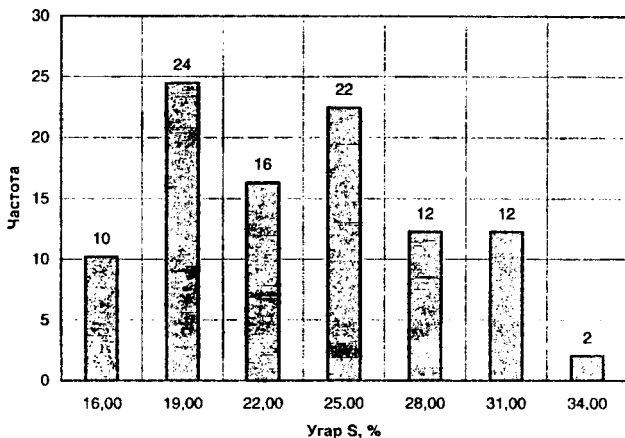


Рис. 6. Угар серы

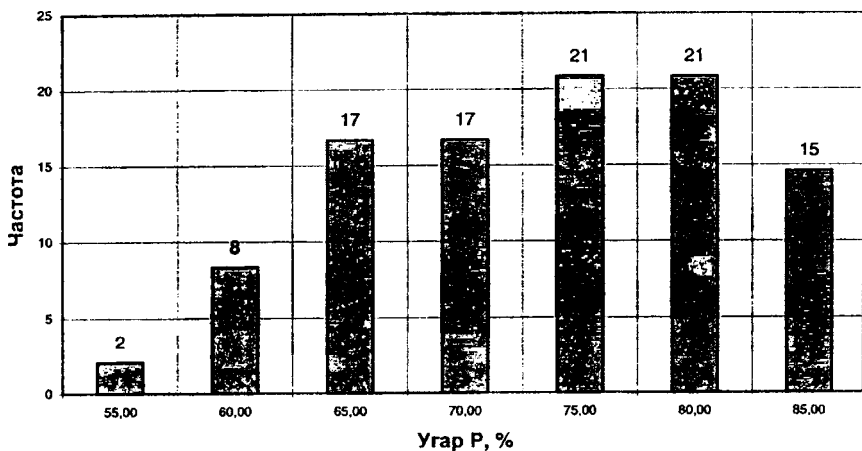


Рис. 7. Угар фосфора

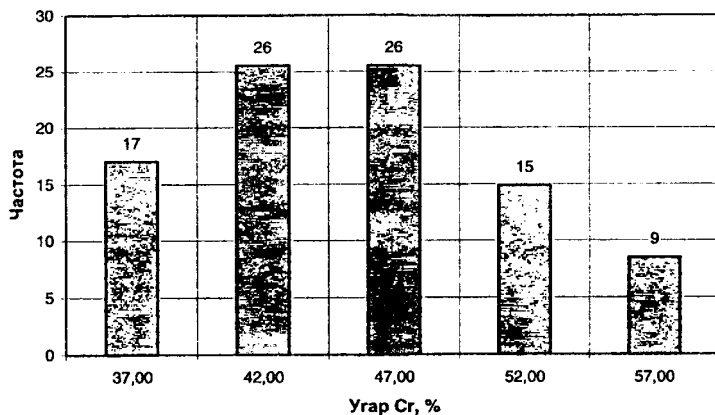


Рис. 8. Угар хрома

Содержание железа в пыли $m_{\text{Fe}}^{\text{пыль}}$ находится по формуле (рис. 10):

$$m_{\text{Fe}}^{\text{пыль}} = \frac{m_{\text{пыль}} (\% \text{Fe}_{\text{общ}})_{\text{пыль}}}{100}, \text{ кг}, \quad (7)$$

где $m_{\text{пыль}}$ – масса пыли, т.

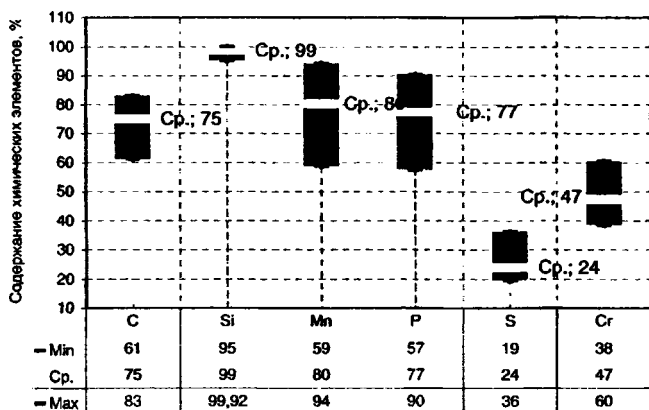


Рис. 9. Расчетные значения угара окисляемых элементов из общей массы шихты при расплавлении в печи (усредненные)

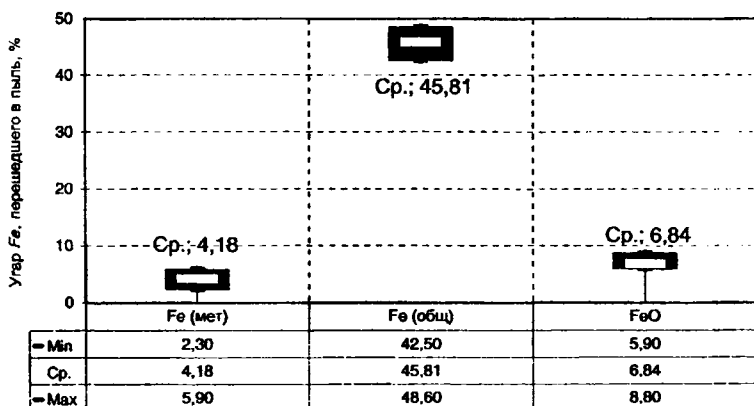


Рис. 10. Процент угара железа, перешедшего в пыль

Суммарное содержание железа в шлаке и пыли $\sum m_{\text{Fe}}^{(\text{шл}+\text{пыль})}$ определяется по формуле

$$\sum m_{\text{Fe}}^{(\text{шл}+\text{пыль})} = m_{\text{Fe}}^{\text{шл}} + m_{\text{Fe}}^{\text{пыль}}, \text{ кг.} \quad (8)$$

Процент угоревшего железа из металлошихты в шлак и пыль $\% \text{Fe}_{(\text{шл}+\text{пыль})}^{\text{ТВ}}$ вычисляется по формуле

$$\% \text{Fe}_{\text{тв}}^{\text{шл+пыль}} = \frac{\sum m_{\text{Fe}}^{\text{(шл+пыль)}}}{m_{\text{тв}}} \cdot 100\%. \quad (9)$$

Суммарное содержание железа в шлаке и пыли представлено в табл. 3.

Таблица 3. Суммарное содержание железа в шлаке и пыли

Значение	Масса угоревшего железа из металлошихты в шлак и пыль, т	Процент угоревшего железа из металлошихты в шлак и пыль % Fe _{тв} ^{шл+пыль} · %
Минимальное	2,24	2,69
Среднее	2,65	3,18
Максимальное	2,89	3,47

По результатам проделанной работы, базирующейся на значительном статистическом материале, можно предсказать процентное содержание элементов в получаемом полупродукте в зависимости от вида и количества применяемого исходного сырья, что оказывает существенное влияние на производство качественных сталей, в том числе и трубных марок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тимошпольский В. И. Плавка стали с использованием холоднопрессованных брикетов из стальной стружки категории 7А, 7Б в условиях РУП «БМЗ» / В. И. Тимошпольский, Д. Н. Андрианов, Д. К. Грибок и др. // *Литье и металлургия*. – 2006. – № 3. – С. 12–15.