

Государственное автономное профессиональное образовательное
учреждение Свердловской области
«Серовский металлургический техникум»

**ПРОВЕДЕНИЕ ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ ПЛАВКИ В ИНДУКЦИОННОЙ
ПЕЧИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ ТЕХНИКУМА**

Автор
Ельсуков Андрей Александрович,
преподаватель спецдисциплин
ГАПОУ СО «СМТ

РЕЦЕНЗИЯ

На исследовательскую работу «Проведение окислительной плавки в индукционной печи металлургической лаборатории техникума»

С 2013 года в лаборатории металлургического техникума работает индукционная тигельная печь, при помощи которой студенты-металлурги приобретают профессиональные компетенции, необходимые для освоения специальности «Металлургия черных металлов». Студенты изучают устройство и принцип действия печи, учатся производить завалку и управлять энергетическим режимом плавки, подготавливают литейную форму и самостоятельно проводят свои первые плавки, во время учебной практики производят ремонт печи и набивку нового огнеупорного тигля.

Как правило, плавки в лабораторной печи студенты проводят методом переплава, в качестве шихтовых материалов используют как стальные или чугунные отходы, так и легированные отходы. Кроме того, студенты учатся легировать, добавляя ферросплавы для получения заданного содержания элементов, и раскислять металл, снижая содержание кислорода в сплаве.

Проведение окислительной плавки в индукционной печи – достаточно интересная исследовательская работа, проведенная в лаборатории техникума. В ходе проведения работы была смоделирована и осуществлена технология продувки расплавленного металла газообразным окислителем (воздухом) с целью изучения угаров элементов и подтверждения теоретических данных. В ходе проведения работы отмечается не только повышенный угар основного элемента в металле – углерода, но и большой угар легкоокисляющегося титана, а во второй плавке также марганца и кремния. Полученные данные прекрасно согласуются с теоретическими основами сталеплавильных процессов. Кроме того, по ходу плавки было проведено легирование металла медной проволокой для получения заданного содержания меди. Правильность выполненного расчета подтверждает полученное значение меди в металле.

В качестве дополнения к работе хочется отметить о необходимости проведения дополнительных окислительных плавок с целью закрепления полученных результатов, получения низко содержания углерода в металле и продолжения работ по легированию стали.

Главный специалист по
сталеплавильному производству
ПАО «Надеждинский
металлургический завод»



28.03.2023

Семков С.С.

Содержание

Введение	3
Основная часть	4
Заключение	8
Список литературы	9

Введение

Выплавка высоколегированных марок стали и специальных сплавов успешнее осуществляется в открытых индукционных печах (ОИТП), чем в дуговых электропечах, т.к. как в последних может произойти науглероживание металла от электродов.

Благодаря конструктивным особенностям ОИТП (наличие глубокой ванны и сравнительно малая ее поверхность) угар легирующих элементов и загрязнение металла азотом в них значительно меньше, чем в печах другого типа.

Под действием электромагнитных сил жидкий металл в ОИТП подвергается естественному перемешиванию, что ускоряет металлургические процессы в жидкой ванне, а также между металлом и шлаком.

Выплавку в индукционной печи ведут чаще всего методом переплава. Состав шихты должен обеспечивать при расплавлении содержание всех элементов, близкое к заданному в готовом металле. В ОИТП выплавляют все марки стали, в том числе легированные и высоколегированные с практически полным сохранением дефицитных дорогостоящих легирующих элементов. В качестве исходных шихтовых материалов применяют литейные и передельные чугуны, возврат собственного производства, лом стальной и стальную стружку, ферросплавы.

В индукционной плавке возможно проведение окислительного рафинирования для удаления углерода и фосфора из металла, а также попутно – кремния и марганца за счет присаживаемых в металл железной руды (агломерата или окатышей). Однако большое количество оксидов железа вызывает слишком энергичное кипение ванны и выплескивание из печи металла и шлака. Исходя из этого железную руду рекомендуется присаживать небольшими порциями, каждый раз после успокоения ванны.

Более быстрое и эффективное окисление примесей может быть достигнуто в ОИТП с основной футеровкой, если вдувать воздух на поверхность ванны. В этом случае удастся почти полностью удалить из ванны кремний и марганец, а содержание углерода и фосфора довести до 0,020% [2, с. 99].

Цель работы – изучение поведения элементов по ходу окислительной плавки в лабораторной ОИТП.

План работы:

- поиск и изучение научной информации;
- подбор комплектующих и сборка технологического оборудования;
- проведение опытных плавки;
- анализ полученных данных;
- подведение итогов о проделанной работе.

Основная часть

В рамках лабораторной работы по выплавке стали в лабораторной ОИТП Серовского металлургического техникума были проведены две окислительные плавки. В качестве окислителя применили воздух, который вдували на поверхность расплавленного металла. Технологическая установка для вдувания воздуха состоит из автомобильного компрессора для получения воздуха, источника питания компрессора и металлической трубки диаметром 3/8 " (Рисунок 1).



Рисунок 1 – Схема технологической установки для вдувания воздуха

Первую плавку кампании проводили 17 ноября 2021 года в соответствии с методическими указаниями к проведению работ [1, с. 24]. Сокращенный паспорт плавки приведен в таблице 1. В качестве шихтовых материалов использовали стальные отходы предыдущей плавки. После полного расплавления шихты включили компрессор и поместили металлическую трубку в тигель индукционной печи. Продувка воздухом осуществлялась на зеркало металла.

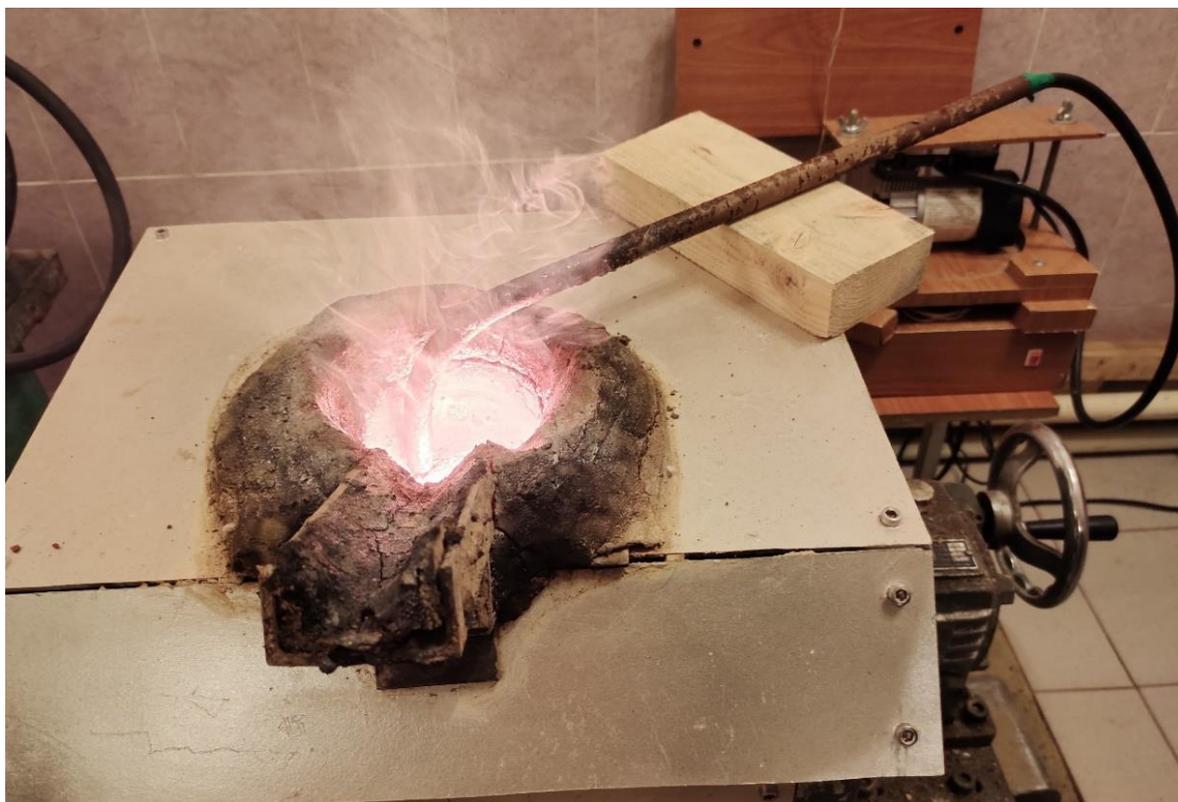


Рисунок 2 – Процесс продувки

Таблица 1 – Упрощенный паспорт окислительной плавки №1 (№63)

время	мощность, кВт	температура охлаждающей воды, °С	примечание
14-35	–	–	Загрузка, масса шихты – 2,33 кг
14-40	2,5	15,0	Пуск печи
14-50	17,8 ↑	15,5	Увеличение мощности
15-10	18,0	31,0	Расплавление металла
15-15	15,2 ↓	32,7	Полное расплавление металла, снижение нагрузки
15-20	13,8	33,3	Начало продувки расплава воздухом
15-28	–	–	Окончание продувки
15-30	13,9	35,3	–
15-40	14,2	38,1	Легирование медной проволокой
15-50	14,2	40,2	Раскисление металла алюминием
15-55	–	–	Выпуск металла

Примечание: ↑, ↓ – означают увеличение или уменьшение подводимой в печь мощности

Продолжительность продувки составила 8 минут, что объясняется нагревом самого компрессора до температуры ~ 45 °С. По ходу продувки измеряли также и

температуру металлической трубки. Температура трубки, помещенной в тигель, составила ~ 1000 °С; температура трубки в месте подсоединения воздушного шланга ~ 40 °С.

Химический анализ шихтовых материалов, полученного металла, а также угары элементов, представлены в таблице 2. Химический анализ проводили в лаборатории техникума на атомно-эмиссионном спектрометре «Искролайн-100».

Таблица 2 – Результаты плавки №1 (№63)

Элементы	C	Si	Mn	Cr	S	P	Cu	Ti
Химический состав металлического лома в завалку, %	1,430	1,725	0,387	0,261	0,026	0,042	0,077	0,046
Химический состав полученного металла, %	0,513	1,406	0,334	0,260	0,026	0,040	0,314	0,017
Угар, %	64,13	18,49	13,70	0,38	0	4,76	–	63,04

Невысокий угар кремния объясняется незначительным количеством шлака в ванне печи, так как в завалку и по расплавлению шлаковую смесь в печь не давали; кроме того, футеровка лабораторной печи – нейтральная, шпинельная. Повышенный угар титана (63%), как и углерода (~64%) связан с высоким химическим сродством к кислороду.

По ходу плавки произвели легирование металла медной проволокой в количестве 5,64 грамм для получения $[Cu] = 0,31\%$. Медь является очень удобным легирующим элементом, т.к. по ходу окислительной плавки она не окисляется, и в отличие от других неокисляющихся элементов (Ni, Mo и Co) медь относительно недорога и, главное, доступна. Например, для легирования медью мы используем медную проволоку ($[Cu] = 99\%$).

Количество медной проволоки для легирования металла медью определили по формуле:

$$P_{\text{медная проволока}} = \frac{2,33 \cdot (0,31 - 0,077)}{99} = 0,00548 \text{ кг или } 5,48 \text{ грамм}$$

Металл, с повышенным содержанием меди, планируем использовать для проведения новых исследовательских проектов.

Вторая окислительная плавка в рамках проведения кампании была проведена 26 ноября 2021 года. В качестве шихтовых материалов использовали металлические отходы предыдущей плавки (№ 1(№63), химический состав которой приведен в таблицу 2. Упрощенный паспорт плавки №2 приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Упрощенный паспорт плавки №2 (№64)

время	мощность, кВт	температура охлаждающей воды, °С	примечание
14-25	3,3	–	Пуск печи
14-30	7,2 ↑	14,9	Увеличение мощности
14-35	17,3 ↑	15,0	Увеличение мощности
14-50	18,1	25,0	Температура металла 1350 °С
15-00	18,3	33,9	На подине жидкая фаза; осадил металл
15-15	12,6 ↓	36,9	Полное расплавление металла; начало продувки расплава воздухом
15-25	12,6	37,7	Окончание продувки
15-50	12,6	40,9	Легирование медной проволокой
16-10	12,6	42,9	Раскисление металла алюминием
16-15	–	–	Выпуск металла

Продолжительность продувки составила 10 минут. В течение продувки контролировали температуру как металлической трубки, так и самого компрессора, температура которого в конце продувки составила 53 °С.

Таблица 4 – Результаты плавки №2 (№64)

Элементы	C	Si	Mn	Cr	S	P	Cu	Ti
Химический состав металлического лома в завалку, %	0,513	1,406	0,334	0,260	0,026	0,040	0,314	0,017
Химический состав полученного металла, %	0,157	0,720	0,130	0,239	0,023	0,040	0,349	0,001
Угар, %	69,39	48,79	61,08	8,08	11,54	0	–	94,12

Анализируя вторую плавку можно отметить повышенный угар титана (~94%), углерода (~69%), марганца (~61%) и кремния (~49%).

По ходу плавки также произвели легирование металла медной проволокой в количестве 0,88 граммов для получения [Cu] = 0,35%.

Заключение

Выводы по работе:

- впервые в лаборатории техникума проведены две окислительные плавки с применением воздуха для окисления примесей;
- получены практические данные поведения элементов по ходу окислительного рафинирования металла;
- закреплены знания по легированию металла;
- проведение окислительной плавки с продувкой воздухом расплава в индукционной печи с нейтральной футеровкой приводит к существенному окислению не только углерода, но и других примесей;
- изменения футеровки тигля («разъедания» тигля, связанные с интенсивным перемешиванием во время продувки) не отмечено;
- работу по окислительному рафинированию следует продолжить для получения низкоуглеродистого сплава ($[C]$ не более 0,10%).

Список литературы

1. Ельсуков А.А. Выплавка стали в индукционной печи: лабораторные работы: методические указания, 2020 г. – 26 стр.;
2. Семин А.Е., Турсунов Н.К., Косырев К.Л. Инновационное производство высоколегированной стали и сплавов: теория и технология выплавки стали в индукционных печах: учебное пособие, М.:Изд. Дом НИТУ «МИСиС», 2017 г. – 166 стр.