

5. Медведев П.Н. Анализ пространственного распределения трещин в жаропрочном никелевом сплаве, изготовленном по технологии СЛС / П.Н. Медведев, А.И. Гуляев // *Авиационные материалы и технологии*. – 2020. – № 1. – С. 12–18.
6. Влияние параметров процесса селективного лазерного сплавления на структуру алюминиевого сплава системы Al-Si-Mg / Н.В. Дынин, А.В. Заводов, М.С. Оглодков [и др.] // *Труды ВИАМ*. – 2017. – № 10. – С. 3–14.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПЛАВКИ СТАЛЬНЫХ ОТЛИВОК СОВРЕМЕННЫМИ МЕТОДАМИ

*Н.М. Саидмахаматов¹, доц., Д.В. Валув^{3а}, к.т.н., доц., К.Х. Абдуллаев² доц.,
Н.Х. Таджиев², ст. преподаватель*

*¹Ташкентский государственный технический университет
700095, Узбекистан, г. Ташкент, ул. Университетская, 2*

*²Наманганский инженерно-строительный институт
160100, Узбекистан, Наманганская область, г. Наманган, ул. Ислама Каримова, 12*

³Юргинский технологический институт (филиал)

*Национального исследовательского Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл. – Кузбасс, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

E-mail : ^avaluev@tpi.ru

Аннотация: В этой статье описываются результаты исследования четырёх образцов с введением различного количества алюминиевого сплава в расплав при плавке стали. Основной задачей является повышение жидкотекучести стали и, наряду с этим, Fe восстановлен из FeO. А также, в целях уменьшения неметаллических включений и газовых раковин в стали, после плавки в электродуговой печи произведена внепечная обработка расплава. В итоге уменьшены вредные элементы в стали. А также произведена плавка стали без неметаллических включений и газовых раковин.

Ключевые слова: сталь, железо, неметалл, шихта, электродуговая печь, газовая раковина, ковш, футеровка.

Annotation: The main goal is to increase this fluidity and balance with Fe reduced from FeO. As well as cases of detection of non-metallic inclusions and gas shells in steel, after melting in an electric arc furnace, out-of-furnace processing of the melt was carried out. Harmful elements have been significantly reduced. And also produced floating steel without non-metallic inclusions and gas shells.

Keywords: steel, iron, non-metal, charge, electric arc furnace, gas shell, ladle, lining.

Введение

В истории металлургии железа, при производстве черных металлов и повышения их качества есть три основных достижения [1]. Если первое это изобретение печи для извлечения железа из руды и его термической обработки в давние времена, то вторым считается освоенная в средние века переработка железа и чугуна, которая связана с массовым производством литой стали в середине XIX века [2].

Для производства различных деталей, оружия, инструментов и машин сталь должна обладать требуемой прочностью и твёрдостью. Поэтому для производства стали требовалась постоянная рабочая сила.

К середине XIX века в связи с развитием по всему миру отраслей промышленности и транспорта резко возросла потребность в стали. Сталь необходимо было производить в больших количествах и ассортименте. Но даже при достаточном производстве надо было решить вопрос дороговизны стали. Удешевление изделия из стали ковкой мягкого железа, ручной и механической обработкой не представлялось возможным.

В связи с возрастающей потребностью, лучшие инженеры – металлурги и учёные того времени занялись этой проблемой. Среди них самую лучшую идею решения проблемы предложил английский учёный и изобретатель Генри Бессемер. По его идее самый приемлемый путь для получения дешёвой стали – это получение жидкого металла с требуемыми свойствами для изготовления изделия или детали, с последующей заливкой в специальные формы нужной конфигурации. Но для внедрения этого метода и получения дешёвой стали потребовались десятки лет и труды многих специалистов металлургов. При внедрении идеи Г. Бессемера были сделаны ещё несколько важных изобретений и все они заняли достойное место в истории металлургии [3].

Методы исследования

В настоящее время получило распространение производство стали и ферросплавов отвечающих мировым стандартам. В Узметкомбинате запущена электродуговая печь DSP – 100 – UM3 отвечающая мировым требованиям. Производительность печи составляет 900–950 тысяч тонн жидкого металла в год. До запуска печи осмотрены состояние футеровки печи и дуги. При повреждённой футеровке, за счет температуры и давления при расплавлении металла футеровка может разрушиться и металл выйдет наружу [4].

Хорошее состояние дуги обеспечивает хороший контакт с шихтой и её расплавление [5]. Сначала в печь загрузили мелкий, а затем крупный металлолом, передельный чугун, известняк. В таблице 1 показан химический состав образцов для плавки.

Таблица 1

Химический состав образцов для загрузки в печь DSP – 100 – UM3

Марка	Элементы, %						
	C	Si	Mn	Al	Cu	P	S
Образец 1	0,14-0,22	0,05-0,15	0,30-0,60	0,3-0,5	0,30-0,32	0,003-0,005	0,04-0,05
Образец 2	0,14-0,22	0,05-0,15	0,30-0,60	0,8-1,0	0,30-0,32	0,003-0,005	0,04-0,05
Образец 3	0,14-0,22	0,05-0,15	0,30-0,60	1,3-1,5	0,30-0,32	0,003-0,005	0,04-0,05
Образец 4	0,14-0,22	0,05-0,15	0,30-0,60	1,8-2,0	0,30-0,32	0,003-0,005	0,04-0,05

Электрическая дуга образуется при соединении с электрической цепью электродов и опускании их на металлическую составляющую шихты. За счет высокой температуры вокруг электрической дуги за короткое время происходит расплавление шихтовых материалов. При расплавлении шихтовых материалов за счет кислорода атмосферы печи и железной руды происходит окисление Fe. Образовавшийся FeO и кислород выделяющийся при расплавлении металла в ванне печи окисляют Si, P, Mn и частично C. Образовавшиеся оксиды (SiO₂, P₂O₅, FeO и MnO) соединившись между собой и с CaO образовали основной шлак. В образовавшемся шлаке 40 – 50 % CaO, 15–20 % FeO [6].

Известно, что при высокой температуре из фосфорного соединения железа (FeO)₃ P₂O₅ в шлаке фосфор восстанавливается за счет углерода и может перейти в ванну. Для предотвращения этого необходимо выпускать из печи шлак до высоких температур или вводить в печь известняк для сохранения стабильного соединения в шлаке.

При этом переход в шлак P и S протекал как в мартеновской печи. По приближению к требуемому составу стали, первичный шлак скачали и для начала второго важного этапа ввели некоторое количество железной руды для бурного окисления углерода.

При этом выделяющийся газ CO перемешивает жидкий металл и очищает его от неметаллических включений и газов. При анализе взятого из ванны образца содержание фосфора и углерода было выше требуемого. Поэтому выпустили вторичный шлак и ввели некоторое количество железной руды и известняка.

Для ускорения плавки по бокам печи установили пять газовых горелок, через которые в расплав подавался газ с давлением 0,8 МПа (рис. 1).

В результате, процесс плавки шихты ускорился и возросла производительность труда.

После выпуска вторичного, а при необходимости третичного шлака содержание фосфора в металле снизилось до 0,01 %.

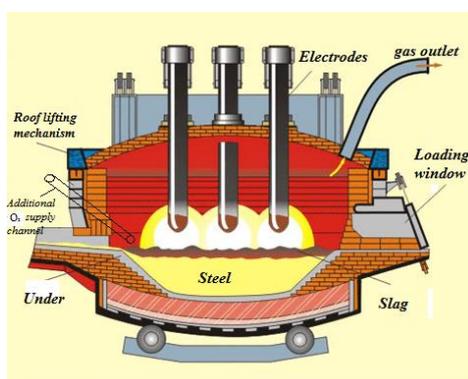


Рис. 1. Общий вид электродуговой печи

Для частичного науглероживания металла в ванну ввели известное количество электродного боя или кокса, а иногда, чистый чугун обработанный древесным углём. Закрыв на несколько минут окна печи довели содержание углерода до требуемого.

Для удаления из сплава неметаллических включений и газов применили несколько методов.

Первый метод. Технология очистки жидкой стали методом обработки синтетическим шлаком. При этом химическом методе сплав очищается от неметаллических включений на 50–70 %.

Для этого расплавленный в электропечи синтетический шлак (55 % CaO, 40 % Al₂O₃ и в малом количестве SiO₂, MnO, FeO) вводится в печь в количестве 3–5 % исходя от веса сплава. При этом методе сплав вступив в реакцию с синтетическим шлаком очищается от неметаллических включений и газов. Качественный сплав залили в литейные формы.

Второй метод. Это метод обработки стали в вакуум камере (рис. 3). Известно, что с падением давления металла в ковше, растворение O₂, H₂, N₂ и других газов уменьшается. В результате выделяющиеся газы влечут с собой неметаллические включения.

Для очистки металла от неметаллических включений и газов в камере создали разрежение 0,267–0,667 кПа, потом ввели ковш с металлом и выдержали 10–15 минут. Выделяющиеся газовые пузырьки повлекли за собой неметаллические включения. В результате содержание в металле неметаллических включений уменьшилось в 2–3 раза, а газов в 3–5 раза.

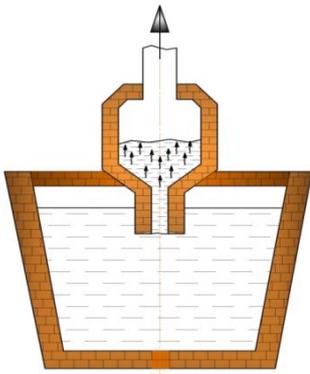


Рис. 2. Очистка сплава в вакуум камере

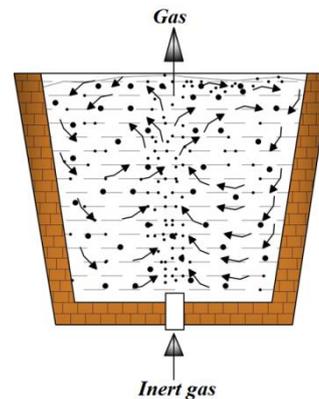
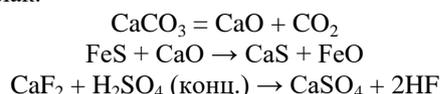


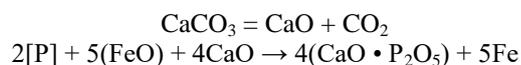
Рис. 3. Очистка сплава инертным газом

Третий метод. По этому методу через жидкий металл в ковше пропустили под небольшим давлением один из инертных газов (гелий, неон, аргон, криптон, ксенон, радон, оганессон) (рис.3). В результате хорошего перемешивания металла, он очистился от неметаллических включений и газов. При заливке стали в форму для предотвращения окисления хороший результат дает использование специального устройства заливки в газовом потоке.

Четвёртый метод. Это метод очистки сплава от вредного элемента серы. По этому методу жидкий металл загрузили в другую электропечь и нагрев до 1630–1650⁰ С ввели в печь известь (CaCO₃) и CaF₂. Выдержав 10–15 минут выпустили образовавшийся шлак.



Пятый метод. Это метод очистки сплава от вредного элемента фосфора. По этому методу жидкий металл загрузили в другую электропечь и нагрев до 1440–1450⁰ С ввели в печь известь (CaCO₃). Выдержав 8–10 минут выпустили образовавшийся шлак.



Используя вышеуказанные методы были получены качественные отливки.

Результаты

Контроль температуры плавки четырёх образцов производился термопарой «Positherm» и показал от 1582 до 1635 °С. Сплав после заливки в ковш очистили от шлака.

При плавке сплавов использовались вторичные шихтовые материалы. Обеспечено содержание в сплаве вредных элементов фосфора и серы в пределах 0,003–0,005 %.

Образцы из сплава залиты в литейную форму. Установлено, что скорость охлаждения в песчано-глинистой форме составляет 35–40 град/мин. Для определения механических свойств образцов формовочную смесь загрузили в специальные деревянные опоки и заформовали. Образец залитый этим литейным способом показан на рис.4.



Рис. 4. Образец залитый в песчано – глинистую форму



Рис. 5. Образцы для определения механических свойств низкоуглеродистых конструкционных сталей

После очистки образцов залитых в специальные деревянные опоки, они были пронумерованы. Каждый из образцов имеет разный химический состав рис.5.

Для определения химического состава образцов использованы сканирующий микроскоп SEM Zeiss EVO MA 10 и установка «СПЕКТРОЛАБ–10М».

Химический состав образцов был исследован в АО «УзМеткомбинат».

В первую очередь химический состав образцов исследован на установке спектрального анализа модели «СПЕКТРОЛАБ–10». Результаты показаны в таблице 2.

Таблица 1

Химический состав образцов

Марка	Элементы, %						
	C	Si	Mn	Al	Cu	P	S
Образец 1	0,21	0,11	0,58	0,4	0,32	0,004	0,05
Образец 2	0,20	0,12	0,55	1,0	0,30	0,005	0,04
Образец 3	0,19	0,14	0,54	1,3	0,31	0,005	0,04
Образец 4	0,22	0,15	0,50	1,8	0,30	0,003	0,05

Влияние на жидкотекучесть сплава образцов, введенного алюминиевого сплава проводилось в лаборатории кафедры «Литейные технологии». Результаты показаны на рис. 6.

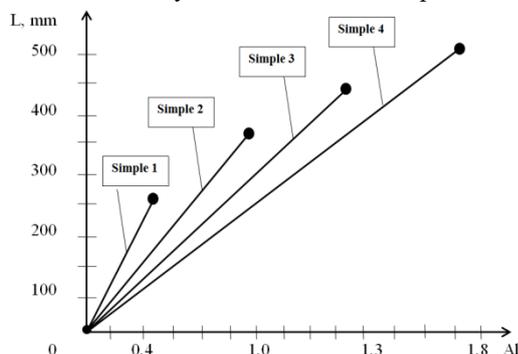


Рис. 6. Жидкотекучесть сплава образцов с введенным алюминиевым сплавом

Изучение микроструктуры и химический анализ образцов проводились на сканирующем электронном микроскопе (Carl Zeiss EVO–MA–10). Сканирующий электронный микроскоп в среде вакуума за счет электрического тока воздействует на электроны образца и путем обратного их собирания определяет содержание элементов. Чем ниже электронное число элементов в сплаве, тем больше неточности в их определении. Во время проведения химического анализа, при определении в стали содержания углерода произошла ошибка. Причиной этого является малое электронное число углерода.

Принцип работы сканирующего электронного микроскопа EVO–MA–10 основан на взаимодействии электронных лучей с поверхностью объекта. Электронные лучи с помощью микроскопа постоянно сканируют ту часть поверхности объекта, которая появилось в изображении. При взаимодействии электронного луча с поверхностью объекта одновременно появляются несколько ответных сигналов.

В зависимости от того, какой детектор сигнала включен, появляется искомое изображение. Микроскопы измеряют длину проекции геометрических расстояний в горизонтальной поверхности, т. е. определяет расстояние между плоско и горизонтально направленными соответствующими точками объекта.

Содержание растворенного водорода в образце определили методом вакуум экстракции. Этот метод основан на полном отделении газа из образца в условиях высокого вакуума и определении количества газа после экстракции.

При отделении растворённого газа из металла из-за температуры и давления термодинамический баланс в системе газ–металл сдвигается в сторону газовой фазы. Из образцов вырезали образцы диаметром 8 мм и длиной 20 мм и эти образцы поэтапно обрабатывали наждачной бумагой 500, 1000 и 2000 мкм.

Поверхность образцов полировали пастой карбида вольфрама (WC). После полирования образцы подвергли травлению согласно ГОСТ5639–82. В качестве реагентов использовали соляную (HCl) и пикриновую ($C_6H_2(NO_2)_3OH$) кислоты. Основная цель травления – разделение структуры образцов на фазы и исследование на микроскопе. В результате появилась возможность разделения на чёткие границы структуры стали. Металлографические исследования образцов проведены на сканирующем электронном микроскопе SEM Zeiss EVO MA с увеличением от x500 до 2000 раз в «Центре передовых технологий при министерстве инновационного развития».

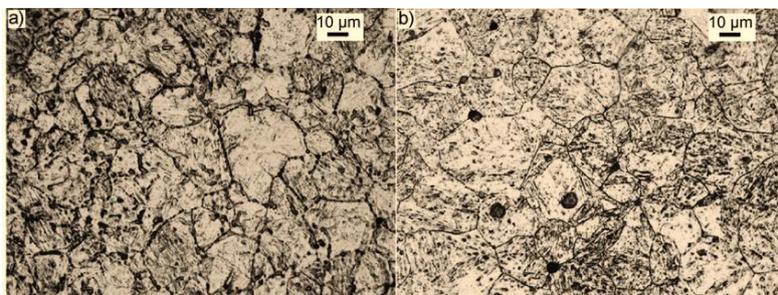


Рис. 6 (а): вид образца – 1, увеличенный x500 на электронном сканирующем микроскопе SEM Zeiss EVO MA 10

Рис. 6. (б): вид образца – 2, увеличенный x1000 на электронном сканирующем микроскопе SEM Zeiss EVO MA 10

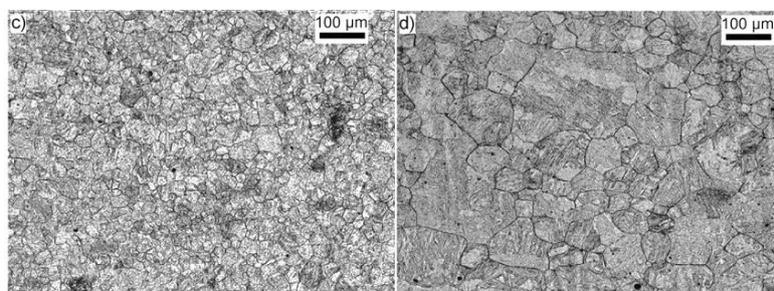


Рис. 7 (с): вид образца – 3, увеличенный x1500 на электронном сканирующем микроскопе SEM Zeiss EVO MA 10

Рис. 7 (д): вид образца – 4, увеличенный x2000 на электронном сканирующем микроскопе SEM Zeiss EVO MA 10

Рисунок 7 (а) образец 1 – площадь 10 м² увеличение x500, структура феррит – перлит и немного аустенит. Рисунок 7 (б) образец 2 – площадь 10 м², увеличение x1000, структура крупнозернистый перлит – феррит и аустенит. Рисунок 7 (с) образец 3 – площадь 100 м², увеличение x1500, структура мелкозернистая феррит – перлит. Рисунок 7 (д) образец 4 – площадь 100 м², увеличение x2000, структура крупнозернистая, перлит – феррит.

Вывод

Обработка флюсами при плавке стали в электродуговой печи для улучшения качества позволила улучшить механические свойства сплава в 1,2–1,3 раза. Также достигнуто уменьшение содержания неметаллических включений и газовых раковин в сплаве путём внепечной обработки. Кроме этого, установка газовых горелок в боковые части электродуговой печи повысила КПД печи в 1,1–1,15 раза. Введение в четыре образца разного количества алюминиевого сплава увеличило жидкотекучесть металла. Достигнуто восстановление Fe из FeO.

Список использованных источников:

1. Nosir S. Development of Liquefaction Technology 280X29NL to Increase the Strength and Brittleness of Castings / S. Nosir, K. Bokhodir // Springer International Publishing. – 2022. – С. 105–115.
2. Development of 280X29Ni alloy liquefaction technology to increase the hardness and corrosion resistance of cast products / Nodir T. [et al.] // International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics. – 2021. – №. 10. – С. 154–159.
3. Lecomte – Beckers J. Current developments of alloyed steels for hot strip roughing mills: characterization of high-chromium steel and semi-high speed steel / J. Lecomte – Beckers, M. Sinnaeve, J.T. Tchuindjang // Iron and Steel Technology. – 2012.
4. Pellizzari M. Hot friction and wear behaviour of high speed steel and high chromium iron for rolls / M. Pellizzari, D. Cescato, M. G. De Flora //Wear. – 2009. – Т. 267. – №. 1–4. – С. 467–475.
5. Elevated temperature material properties of stainless steel alloys / L. Gardner [et al.] // Journal of Constructional Steel Research. – 2010. – Т. 66. – №. 5. – С. 634–647.
6. Development of Technology of Liquefaction of Steel Alloys in Electric Furnaces / B. Valida [et al.] // Spanish Journal of Innovation and Integrity. – 2022. – Т. 8. – 65–69.
7. Development of quality steel alloy liquidation technology / Nosir S. [et al.] // American Journal of Interdisciplinary Research and Development. – 2022. – Т. 7. – С. 74–83.

РАЗРАБОТКА МЕХАНОАКТИВАТОРА С ВРАЩЕНИЕМ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ВОКРУГ ТРЕХ ОСЕЙ

*А.В. Собачкин^{1,а}, к.т.н., ст. науч. сотр., А.Ю. Мясников^{1,2}, зав. лабораторией, Н.Г. Вергун¹, исследователь
¹Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова,
656038, г. Барнаул, пр. Ленина 46*

*²Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,
630128, г. Новосибирск, ул. Кутателадзе, 18
E-mail: ^аanicpt@rambler.ru*

Аннотация: В работе разработана компоновка трехмерной модели механоактиватора, позволяющего вращать барабаны вокруг трех осей одновременно. Механоактиватор состоит из 3 колец, соединенных между собой подшипниковыми узлами. Ко внутреннему кольцу присоединен держатель барабанов, внутри которого размещены барабаны с мелющими телами. Для обеспечения безопасности процесса работы механоактиватора система колец помещена в корпус. Основные конструктивные элементы механоактиватора выполнены из стали 10, которая обеспечивает конструктивную прочность. Барабаны и мелющие тела выполнены из шарикоподшипниковой стали ШХ-15 для того, чтобы снизить эффект отравления порошковой смеси. Масса механоактиватора составляет 79 кг.

Ключевые слова: механическая активация, порошковый материал, трехмерная модель, устройство-механоактиватор

Abstract: The paper has developed a layout of a three-dimensional model of a mechanical activator that allows rotating the drums around three axes simultaneously. The mechanical activator consists of 3 rings connected by bearing assemblies. A drum holder is attached to the inner ring, inside which drums with grinding bodies are placed. To ensure the safety of the operation of the mechanical activator, the ring system is placed in the housing. The main structural elements of the mechanical activator are made of steel 10, which provides structural strength.