

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
(национальный исследовательский университет)»  
Филиал в г. Златоусте  
Факультет «Техники и технологии»  
Кафедра «Техника и технологии производства материалов»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой  
проф., д.т.н. И.В. Чуманов

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 г

Совершенствование технологии производства стали марки 03Н17К10В10МТ-ВД в  
условиях ООО «ЗМЗ»

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ

22.03.02.2021.308.00.00 ПЗ ВКР

Технический контролер  
\_\_\_\_\_ доц., к.т.н. А.В. Рябов  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 г.

Руководитель проекта  
\_\_\_\_\_ доц., к.т.н. А.В. Рябов  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 г.

Автор проекта  
студент группы ФТТ-534  
\_\_\_\_\_ Н.С. Капустина  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 г.

Нормоконтролер  
\_\_\_\_\_ инженер В.В. Седухин  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 г.

220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
		Капустина Н.С		
		Рябов А.В.		
	1.			
		Седухин В.В.		
		Чуманов И.В.		
«Златоуст, 2021» Совершенствование технологии производства стали марки 03Н17К10В10МТ-ВД в условиях ООО ЗМЗ»			Лит.	Лист
			6	64
ФГАОУ ВО «ЮУрГУ» (НИУ) Кафедра ТиТПМ				

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
1 ОСОБЕННОСТИ СТАЛИ МАРКИ 03Н17К10В10МТ-ВД	9
1.1 Назначение и химический состав стали марки 03Н17К10В10МТ-ВД	9
1.2 Технические требования	10
1.3 Правила приемки и методы испытаний	11
2 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ВЫПЛАВКИ В УСЛОВИЯХ ЭСПЦ-3 ООО «ЗМЗ»	13
2.1 Общие положения выплавки	13
2.2 Требования к электродуговой печи	13
2.3 Очистка и заправка печи	14
2.4 Расчет шихтовых материалов на плавку	15
2.5 Завалка шихтовых материалов в печь	15
2.6 Плавление	16
2.7 Окислительный период	17
2.8 Порядок введения раскислителей и легирующих	18
3 ТЕХНОЛОГИЯ ВЫПЛАВКИ В ОТКРЫТОЙ ИНДУКЦИОННОЙ ПЕЧИ	21
4 ТЕХНОЛОГИЯ ВАКУУМНО - ДУГОВОГО ПЕРЕПЛАВА	30
4.1 Подготовка вакуумной дуговой печи к плавке	30
4.2 Вакуумный дуговой переплав	32
4.3 Расчет технологических параметров печи	36
4.4 Расчет материального баланса при вакуумно-дуговом переплаве	41
5 ОПИСАНИЕ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ЦЕХА № 3 ООО «ЗМЗ»	43
6 СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ. ОСОБЕННОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ВЫПЛАВКИ СТАЛИ МАРКИ 03Н17К10В10МТ-ВД В УСЛОВИЯХ ЭСПЦ № 3 ООО «ЗМЗ»	48
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	57
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	58

						Лист
					220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР	7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## ВВЕДЕНИЕ

Металлургия - область науки или отрасль промышленности, охватывающая различные процессы получения металлов из руд и других материалов, а также процессы, способствующие улучшению свойств металлов и сплавов. Металлы являются основой экономики страны.

Развитие машиностроения, всемирное форсирование производства автоматических линий и машин, средств автоматики, телемеханики и электроники, точных приборов являются одной из главных задач народного хозяйства. Успешное решение этих задач требует постоянного улучшения технологических и служебных свойств сталей существующих марок и создания новых с повышенными характеристиками прочностных, пластических и специальных свойств.

Огромное количество стальных конструкций ежегодно приходят в негодность в связи с воздействием на них агрессивных сред. Производство нержавеющей стали, в свете этого, является важной подотраслью сталеплавильного производства, так как в современных условиях требуются всё более и более длительные сроки службы металлических агрегатов и конструкций. Для снижения их разрушения под действием внешней среды применяются различные коррозионностойкие стали, среди которых группа низкоуглеродистых высокохромистых нержавеющей сталей занимает особое место: они применяются для изготовления сварных конструкций и узлов, работающих в условиях действия кислот при достаточно высоких температурах (до 90 °С). В настоящее время широкое применение находят коррозионностойкие высокопрочные стали мартенситного класса – они используются преимущественно в химической и нефтеперерабатывающей промышленности [1].

Целью данной выпускной квалификационной работы является совершенствование технологии производства стали.

Для достижения данной цели необходимо разработать технологию производства стали марки 03Н17К10В10МТ-ВД.

					220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

# 1 ОСОБЕННОСТИ СТАЛИ МАРКИ 03Н17К10В10МТ-ВД

## 1.1 Назначение и химический состав стали марки 03Н17К10В10МТ-ВД

Сталь 03Н17К10В10МТ-ВД мартенситностареющая, коррозионностойкая, жаропрочная сталь. Применяется для изготовления трубной заготовки, бесшовных труб, деталей специальной техники, оборудования и деталей нефтегазовой, химической и аэрокосмической промышленности.

Химический состав стали марки 03Н17К10В10МТ-ВД должен быть в соответствии с таблицей 1.1.

Таблица 1.1 - Химический состав стали марки 03Н17К10В10МТ-ВД (ТУ14-1-4862-90)

В процентах												
C	Si	Cr	Mn	S	P	Ni	Al	Ti	Mo	W	Co	N
н.б.	н.б.	н.б.	н.б.	н.б.	н.б.	16,0	н.б.	0,65	0,90	9,00	9,50	н.б.
0,03	0,15	0,50	0,10	0,010	0,010	17,20	0,20	0,85	1,50	10,50	11,00	0,005

В таблице 1.1 содержание азота указано после вакуумно-дугового переплава. Допускаются отклонения от норм химического состава: по никелю +0,3 %, по титану  $\pm 0,05$  %, по азоту  $\pm 0,005$  % в исходном металле, по кремнию и марганцу при условии, что их сумма будет не более 0,25 %, по сере и фосфору при условии, что их сумма будет не более 0,020 %. В сталь вводится на 0,03 % по расчету ферросилиций или металлический лантан и химическим анализом в готовой стали не определяются.

Макроструктура металла не должна иметь следов усадочной раковины, подсадочной рыхлости, пузырей, трещин, инородных неметаллических включений, корочки, расслоений, видимых без применения увеличительных приборов. Нормы допустимых пределов макроструктуры - центральная пористость, точечная неоднородность, общая и краевая пятнистость, ликвация и ликвационный квадрат не

должны превышать первого балла по ГОСТ 10243-75, послойная кристаллизация и светлый контур браковочными признаками не являются. Загрязненность заготовки стали неметаллическими включениями должна быть не более 1,5 балла по каждому виду неметаллических включений по ГОСТ 1778-70. Допускаются выпадки по каждому виду включений до 2,5 баллов на двух шлифах из шести. При наличии осободисперсных включений нитридов и карбонитридов, не соответствующих по своим размерам фотоэталонам метода «Ш» по ГОСТ 1778-70, загрязненность стали такими включениями не должна превышать предельно допустимых фотоэталонов. Заготовки подвергаются 100% ультразвуковому контролю.

## 1.2 Технические требования

- 1) Химический состав стали должен удовлетворять требованиям таблица 1.1.;
- 2) Прутки поставляются без термической обработки;
- 3) Макроструктура стали не должна иметь усадочной раковины и подсадочной рыхлости, пузырей, трещин, шлаковых включений, корочки расслоений, видимых невооруженным глазом. Нормы допустимых дефектов макроструктуры – центральная пористость, точечная неоднородность, общая и краевая пятнистая ликвация и ликвационный квадрат не должны превышать первого балла ГОСТ 10243-75.
- 4) Величина действительного зерна должна быть не крупнее 5 номера шкалы ГОСТ 5639-82. В поверхностной зоне прутка на глубине не более 10 мм допускается наличие зерен не крупнее 2 номера шкалы ГОСТ 5639-82.
- 5) Загрязненность стали неметаллическими включениями должна быть не более 1,0 балла по каждому виду неметаллических включений ГОСТ 1778-70. Допускаются отдельные выпадки по каждому виду включений до 1,5 балла, а по сульфидам до 2 балла, но не более чем на двух образцах из шести.
- 6) На поверхности прутков не допускаются надрывы и трещины, местные дефекты должны быть удалены.

					220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

7) На поверхности обточенных прутков не допускаются дефекты металлургического происхождения (закаты, плены, волосовины, рванины, трещины). Допускаются дефекты механического происхождения (риски, царапины, вмятины, отпечатки), не выводящие обточенные прутки за пределы минусового допуска.

8) Металл после вакуумно-дугового переплава подвергается 100 % ультразвуковому контролю на заводе – потребителе. При обнаружении дефектов металлургического происхождения дефектные заготовки предъявляются поставщику и возвращаются для замены.

9) Допускается поставка прутков нарезанными на прессе или абразивной резкой. Смятые под прессом концы браковочным признаком не являются. При этом удаления для удаления у потребителя концов прутков, смятых на прессе, предусматривается припуск по длине от 60 до 150 мм на длину прутка.

### 1.3 Правила приемки и методы испытаний

1) Продукция принимается партиями, состоящими из стали одной плавки, одного вида изготовления, одного размера и одного режима термической обработки.

2) Для проверки качества стали от партии отбирают:

а) для испытания на растяжение и определение ударной вязкости – по одному образцу от двух прутков для каждого вида испытаний;

б) для определения величины действительного зерна – по одному образцу от двух прутков;

в) для контроля на загрязненность неметаллическими включениями – по шесть образцов от разных прутков;

г) для контроля макроструктуры – два образца от двух прутков.

Допускается контроль макроструктуры проводить на двух пробах А и Н одного слитка от плавки в передельной заготовке.

- испытание на растяжение проводят по ГОСТ 1497-84 на двух коротких образцах тип II, номер 8 с рабочей длиной 20 мм.

										Лист
										11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР					

- испытание на ударную вязкость проводят на двух образцах по ГОСТ 9454-78, тип I, вид У.

- контроль на величину зерна проводят в поперечном сечении прутка методом визуального сравнения видимых под микроскопом зерен с эталоном шкал ГОСТ 5639-82 на образцах, вырезанных для контроля неметаллических включений.

Площадь сечения шлифа (сектора) на образце должна быть не менее 1,5 см<sup>2</sup>.

- при ультразвуковом контроле браковочным признаком является наличие дефекта, сигнал от которого превышает эхо-сигнал от контрольного отражается в виде сверления с плоским дном диаметром до 2,5 мм.

- при получении неудовлетворительных результатов контроля механических свойств на подобранном изготовителем режиме старения испытания проводятся на удвоенном количестве образцов, изготовленных из тех же прутков и состаренных по тому же режиму.

Результаты испытаний при повторном контроле являются окончательными.

Партия металла, не выдержавшая испытания у потребителя, возвращается изготовителю для выявления причин несоответствия требованиям ТУ и проведения мероприятий по их устранению. Допускается корректировка режимов старения для повторной поставки партии металла потребителю. При невозможности устранения несоответствия требованиям ТУ партия бракуется. Маркировка, упаковка, транспортирование и хранение в соответствии с ГОСТ 7566-81. По согласованию сторон маркировка наносится на боковой поверхности каждого прутка, на расстоянии не более 100 мм от конца, а место клеймения обводится краской. Обточенные прутки клеймятся на торце на 8-10 прутках от каждой связки.

Условное обозначение марки стали: ЭП836-ВД.

					220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

## 2 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ВЫПЛАВКИ В УСЛОВИЯХ ЭСПЦ-3 ООО «ЗМЗ»

Выплавку данной марки стали производим методом переплава легированных отходов с окислением газообразным кислородом.

Схема выплавки ОДП-5 т - ОИП-1,2 т×2 - разливка сверху с защитой струи аргоном–ВДП

### 2.1 Общие положения выплавки

Химический состав стали 03Н17К10В10МТ-ВД должен быть в соответствии с ТУ14-1-4862-90.

Выплавка исходного металла должна производиться методом переплава легированных отходов с окислением кислородом в электродуговой печи номинальной емкостью 5 тонн.

### 2.2 Требования к электродуговой печи

Выплавка должна производиться в печи с хорошим или удовлетворительным состоянием подины, откосов, стен, свода, желоба, выпускного отверстия, охлаждающей арматуры, механического и электрического оборудования.

Требования к металлу перед выпуском в ковш должны удовлетворять следующим требованиям:

- металл выплавляемой марки стали по химическому составу доведен в печи, за исключением случаев, когда доводка химического состава производится в ковше;
- температура металла в печи соответствует установленным пределам для данной марки стали (1570...1616°C);
- металл, налитый в стаканчик, перед выпуском дает усадку;
- степень раскисленности шлака соответствует установленным визуальным признакам, а его жидкоподвижность обеспечивает сход вместе с металлом, за ис-

					220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13



ключением случаев, когда по технологии выпуск или начало выпуска металла должны производиться без шлака.

### 2.3 Очистка и заправка печи

После выпуска металла в ковш необходимо сразу же произвести очистку откосов при помощи баклуш (гребков по необходимости), после чего приступить к заправке откосов и подины заправочными материалами.

Заправка откосов и подины не очищенных от остатков шлака и металла запрещается.

В качестве заправочных материалов следует применять периклазовый (магнетитовый) порошок, фракцией 5 мм; обожженный доломит – до 10 мм, хромопериклазовую крупку («половь») – до 10 мм, получаемую в результате дробления и помола отходов хромитопериклазового кирпича.

Заправку печи следует производить:

- периклазовым порошком – для выплавки различных марок стали и сплавов, методом выплавки.

- хромитопериклазовой крупкой в смеси с периклазовым порошком в соотношении 1:1-1:3, в данном случае содержание «половья» допускается больше (в зависимости от содержания хрома в стали).

При значительных повреждениях откосов допускается их заправка смесью периклазового порошка и жидкого стекла в соотношении 10:1.

При значительных повреждениях подины, слой заправки следует закрыть слоем извести.

После заправки печи необходимо осмотреть состояние выпускного отверстия и желоба и принять меры к приведению их в надлежащее состояние, а также осмотреть состояние стен, свода и, при необходимости, в дальнейшем произвести их ремонт [2].

					220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

## 2.4 Расчет шихтовых материалов на плавку

Перед завалкой шихты в печь, мастер по плавке обязан записать химический состав ферросплавов, шихты, номера вагонов или автомобилей с шихтой, номера корзин, произвести в плавильной карте расчет элементов, вносимых составляющими металлошихты.

Расчетное содержание углерода в металле перед продувкой кислородом должно быть в пределах 0,50...0,80 %.

Содержание в металлошихте элементов, не удаляемых в процессе выплавки металла, не должно превышать значений заданного химического состава.

При расчете мастер должен знать химический состав шихтовых материалов и руководствоваться следующими требованиями (переплав кислородом):

- масса металлошихты, которая будет присаживаться в металл после продувки кислородом, должна определяться из расчета 50...200 кг/т шихты в завалке.

Перед завалкой производится осмотр электродов. Электроды должны быть без нищельных гнезд и трещин.

## 2.5 Завалка шихтовых материалов в печь

Перед началом завалки сталевар обязан принять от бригадира (мастера) шихтового пролета точное количество и местонахождение корзины с шихтой и короба с ферросплавами, предназначенными для завалки и ведения плавки, записать их количество (номер корзины) в плавильную карту.

Сталевары обязаны перед завалкой ознакомиться с состоянием погрузки шихты в корзину, не допускается наличие выступающих за ее края концов и свешивание стружки. При опускании корзины в печь необходимо следить, чтобы корзина не раскачивалась и не задевала стенки печи. Затвор печи следует открывать на высоте ее нижней части не более 0,5 м от подины.

Углеродосодержащие добавки следует присаживать на подину печи в «колодцы» по электроды в первой половине плавления.

					220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

После завалки шихты песочный затвор должен быть очищен от стружки и мусора и плотно перекрывать зазор между сводом и верхом печи.

Присадку шлакообразующих в завалку следует производить после завалки первой порции мелкой шихты, причем часть смеси (не более 1/3) дается на подину печи перед завалкой, а оставшаяся смесь присаживается в первые 20-30 минут плавления в «колодцы».

## 2.6 Плавление

После завалки шихты перед включением печи сталевар совместно с дежурным персоналом службы механика и электрика обязан осмотреть и проверить исправность систем водяного охлаждения, отводов газа из печи, механического и электрического оборудования и произвести опрессовку водоохлаждаемой арматуры, о чем делается соответствующая отметка в плавильной карте.

Перед включением печи необходимо проверить состояние (наличие сколов, трещин, качество ниппельных гнезд) и длину электродов. Электроды должны быть без видимых повреждений, а их длина обеспечивать проведение всей плавки без наращивания. При необходимости замену электродов или их наращивание следует производить перед включением печи после завалки шихты или в начале периода плавления.

Включение печи на плавках «переплавом с кислородом» особенно низкоуглеродистой стали при наличии трещин и сколов на конце хотя бы одного электрода, ниппеля или ниппельного гнезда не допускается.

Плавление шихтовых материалов следует производить на максимальной мощности трансформатора.

Выпускное отверстие печи должно быть заделано в первые 20 минут плавления.

Порог завалочного окна следует заправлять в первой половине плавления, при этом высота заправочных материалов должна обеспечивать уровень жидкого ме-

					220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

талла и шлака не выше нижнего уровня выпускного отверстия при нормальном положении печи.

В процессе плавления шихты и ферросплавы следует периодически стаскивать с откосов в жидкий металл или в середину ванны, поднимая электроды, когда эта операция грозит их поломкой.

Перемешивание жидкого металла следует производить ошлакованными гребенками после стаскивания кусков шихты и погружения их в металл в следующей последовательности: в начале шлак разгоняется гребком в ту или другую сторону (как правило от первого электрода ко второму) и после образования на нем пленки шлака, гребок с силой погружается на возможно большую глубину в направлении от завалочного окна к заднему откосу и обратно.

Допускается применять газообразный кислород при давлении не более 8 кгс/см<sup>2</sup> после расплавления не менее 80 % шихты (определяется визуально мастером и сталеваром) в течении 10...15 минут при включенной печи.

После расплавления шихты и перемешивания металла не меньше чем двумя гребками следует отобрать пробу на химический анализ.

В случае низкого содержания углерода по расплавлении следует снять шлак, произвести науглероживание металла и после наведения шлака отобрать повторную пробу на углерод.

Периодом плавления считается время от момента включения печи после завалки шихты до момента получения содержания углерода 0,50...0,80 % и, при необходимости, других элементов, удовлетворяющих требованиям проведения следующего периода плавки, и начала подачи кислорода в металл.

## 2.7 Окислительный период

Продувку металла кислородом следует начинать при содержании углерода по расплавлении шихты, обеспечивающим его окисление за время продувки в пределах 0,25 %. Давление кислорода во время продувки металла должно быть не менее 7 кгс/см<sup>2</sup>. Вторую пробу на химический анализ следует отбирать во время

					220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

продувки сразу после появления пламени в печи. Продувка прекращается по достижении содержания углерода не более 0,03 %, что обеспечивает проведение легирования, и получения заданного химического состава стали. Отбор проб металла после продувки кислородом следует производить сразу по окончании продувки.

После продувки и отбора проб, в металл вводится на рукоятке кусковой алюминий из расчета 1 кг/т. Затем присаживается шихта выплавляемой или близких по химическому составу марок стали до 20 кг/т, затем феррохром, известь 10...20 кг/т и раскислители из расчета: до 10 кг/т кускового 45 % ферросилиция (ферросиликохрома ФСХ40) или до 5 кг/т порошка 65...75 % ферросилиция и 1...2 кг/т порошка алюминия. Все раскислители должны присаживаться в смеси с известью в соотношении 1:1. После расплавления раскислительных смесей окислительный шлак полностью снимается и наводится известково-глиноземистый.

## 2.8 Порядок введения раскислителей и легирующих

### Кремний

Легирование предварительно раскисленного металла, дающего усадку, осуществляем ферросилицием. Кусковой ферросилиций 3 класса крупности присаживается в ковш, через 5 минут необходимо тщательное перемешивание металла. Порошок ферросилиция присаживается вдуванием в печь-ковш в конце восстановительного периода для более полного раскисления шлака и корректировки состава металла.

### Марганец

Легирование расплава можно производить кусковым ферромарганцем, присаживая его в восстановительный период на дно ковша при выпуске нераскисленного металла из печи. Крупность кусков не более 60 мм.

### Никель, кобальт

					220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

Закись никеля дается в завалку совместно с необходимым дополнительным количеством кокса или электродной крупки.

Для корректировки химического состава должен применяться катодный листовой и спеченный никель.

Основное количество кобальта даётся в завалку, как и отходы никеля или в конце плавления.

При окончательной корректировке химического состава по никелю или кобальту не более чем на 0,50 % металл следует выпускать из печи не раньше, чем через 10 минут, при корректировке более 0,50 % - не раньше, чем через 20 минут после присадки легирующих.

#### Вольфрам

При корректировке химического состава по вольфраму не более чем на 0,20 % металл следует выпускать из печи не раньше, чем через 20 минут, при больших добавках – не раньше, чем через 30 минут после присадки ферровольфрама или вольфрама металлического. Перемешивание металла после корректирующей присадки вольфрам содержащих ферросплавов должно производиться с интервалом 5 минут не менее чем двумя гребками.

#### Молибден

Ферромolibден, отходы металлического молибдена, металлический молибден должны присаживаться в жидкий металл в конце плавления при всех методах выплавки.

При корректировке химического состава не более чем на 0,20 % молибдена металл следует выпускать из печи не раньше, чем через 20 минут, при больших добавках – не раньше, чем через 30 минут после присадки ферромolibдена или молибдена металлического.

Перемешивание металла после корректирующей присадки должно производиться с интервалом 5 минут не менее чем двумя гребками.

#### Алюминий

					220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

Для предварительного и окончательного раскисления применяется кусковой первичный или вторичный алюминий, который присаживается закрепленным на рукоятках в металл в печи или в ковше. Требования к закреплению кусков алюминия на рукоятках и порядку присадки в печи, при этом масса куска на одной рукоятке должна быть не более 5 кг.

Глубина погружения алюминия в металл в ковше должна быть не менее 0,5 м.

Как окончательный раскислитель и регулятор величины зерна в металле алюминий вводится:

- в металл в печи – за 2-3 минуты до выпуска в ковш;
- в металл в ковше – сразу после выпуска металла в ковш.

В случае продувки металла в ковше инертным газом алюминий должен быть введен в металл на 1-3 минуты до конца продувки.

Порошок алюминия применяется для раскисления металла через шлак, как правило, в смеси с известью и концентратом плавикошпатовым.

Вводимый в жидкий металл кусок алюминия должен крепиться через сквозное отверстие в куске или путем запрессовки под молотом таким образом, чтобы исключить всплывание куска на поверхность шлака после его введения в металл.

#### Титан

Легирование стали титаном производят в печи или в ковше. Для легирования в печи должны использоваться титан металлический или его отходы.

Температура металла перед присадкой титансодержащих материалов должна быть 1570-1590 °С – при присадке материалов на шлак и 1600-1620 °С – при присадке материалов на поверхность металла.

					220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

### 3 ТЕХНОЛОГИЯ ВЫПЛАВКИ В ОТКРЫТОЙ ИНДУКЦИОННОЙ ПЕЧИ

Для изготовления основных тиглей индукционных печей применяются следующие материалы: магнезит плавленный, электрокорунд белый или нормальный, плавиковый шпат или концентрат плавикового шпата с содержанием  $\text{CaF}_2$  не менее 92 %, жидкое стекло, бакелитовый лак, тальк. Для изготовления кислых тиглей применяются следующие материалы: кварцевый песок, кварцит светлый молотый, маршалит, пылевидный кварц, борная кислота.

Все материалы, применяемые для изготовления тиглей, после осмотра, если требуется, подвергаются дроблению, помолу, магнитной сепарации, влажные материалы подвергаются сушке. При необходимости производится промывка загрязненных материалов.

Огнеупорные материалы должны храниться в закрытых закромах, исключающих возможность загрязнения, увлажнения, перепутывания.

При получении плавленного магнезита и кварцита в виде глыбы они подвергаются дроблению на щековой дробилке или вручную, после чего размалываются на бегунах или в вальцах.

Полученный порошок рассеивается на фракции через сита с ячейками 4 мм, 3 мм, 2 мм, 1 мм. Фракция более 4 мм подвергается повторному помолу и севу.

Каждая фракция порошков хранится в отдельном закроме. Смешение порошков разных фракций производится перед набивкой тиглей в соответствующей пропорции. Разрешается в футеровочной смеси иметь до 10 % плавленного магнезита с размером зерен 4...5 мм. Для набивки тиглей индукционных печей применяются только порошки 1 и 2 сорта.

Смесь для обмазки воротника и славного носка основных печей составляется из магнезии фракции менее 1 мм и жидкого стекла.

					220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21



Смесь для обмазки воротника и сливного носка основных печей составляется из песка или мелкой фракции кварцита и увлажняется жидким стеклом.

Смешение сухих компонентов в количестве 200...300 кг на один замес производится в механическом смесителе в течении 20 минут.

Подготовленная для набивки сухая смесь хранится в закрытой таре.

Увлажнение смеси для обмазки воротника и сливного носка производится до такой степени, чтобы при сжатии ее рукой в комок она сохраняла форму и рассыпалась после легкого нажатия.

Перед набивкой проверяется исправность индуктора под давлением 8...12 атм, проверяется крепление индуктора. После очистки и обдувки индуктора повреждение места обмазки подмазываются изолирующие массой.

Витки нового индуктора перед набивкой смазываются изолирующей массой, составленной из талька, затворенного на бакелитовом лаке со спиртом или жидком стекле. Масса доводится до тестообразной консистенции и наносится на витки индуктора слоем толщиной не более 10 мм, после чего производится сушка до полного высыхания и подмазка образовавшихся трещин.

Набивка дна тигля производится слоями толщиной 60...100 мм. Масса плотно утрамбовывается пневмомолотком с круглым плоским бойком диаметром 150...180 мм. Уплотнение считается достаточным, если щуп диаметром 5 мм внедряется в набивку на глубину не более 8 мм.

Перед засыпкой очередной порции смеси с набитого слоя снимают крупные зерна порошка и производят взрыхление острым штырем на глубину 5...10 мм. Набивка дна производится до уровня нижнего витка индуктора. Общая толщина дна 170...200 мм.

По окончании набивки последнего слоя на дно тигля устанавливается железный шаблон строго по центру индуктора. Внутрь шаблона устанавливается груз массой 200...300 кг. Шаблон должен иметь несколько отверстий на боковой поверхности диаметром 2...3 мм.

					220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

После установки шаблона слой дна между шаблоном и индуктором взрыхляется на глубину 5...10 мм, насыпается масса и начинается набивка откосов. Толщина каждого слоя при набивке откосов должна быть не более 40 мм.

Набивка производится пневмомолотком с сегментным бойком.

Перед засыпкой новой порции массы набитый слой взрыхляется на глубину 5...10 мм.

После набивки откосов набиваются стенки тигля слоями толщиной до 50 мм. Наиболее плотно набивается слой, прилегающий к шаблону. Толщина стенок тигля зависит от емкости тигля и соответственно установленного шаблона, находится в пределах 72...82 мм вверху тигля и 113...118 мм внизу тигля.

Во время набивки необходимо следить за равномерным распределением зерен в набивном слое. В случае скопления зерен крупной фракции их надо удалить.

Стенки набиваются до уровня верхнего витка индуктора.

После набивки стенок воротник выкладывается из хромомagneзитового или шамотового кирпича, или заливается раствором на огнеупорном цементе.

Сушка тигля производится нагретым воздухом не менее 2 часов.

После установки каркаса с новым тиглем в печь производится проверка работы системы охлаждения и механизма наклона.

Сушка тигля под током производится при мощности 30 кВт в течение 15 минут. Во время сушки шаблон не должен нагреваться до красного каления.

По окончании сушки в тигель загружает шихта и производится подъем мощности по следующему режиму: 30 кВт – выдержка 15 минут, 50 кВт – 30 минут, 75 кВт – 30 минут, 110 кВт – 30 минут, 125 кВт – 30 минут, 150 кВт – 30 минут, затем мощность доводится до 200...300 кВт, которая поддерживается до расплавления металла. Уровень жидкого металла должен быть на высоте верхнего витка индуктора. Общая продолжительность обжиговой плавки 8...12 часов.

Расплавленный металл нагревается до 1590...1650 °С и выпускается из печи. После обжиговой плавки должна быть проведена закрепительная плавка. Продолжительность закрепительной плавки должна быть до 4 часов. Температура ме-

					220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

талла – 1590...1650 °С. После выпуска каждой плавки тигель и носок должны очищаться от остатков шлака и металла. При необходимости производится подмазка поврежденной футеровки огнеупорной массой, затворенной жидким стеклом. Повреждения на дне тигля подбиваются массой, употребляемой для набивки тигля.

Выплавку сплава в индукционных печах следует производить следующими методами: а) сплавлением чистых материалов; б) переплавом легированных отходов.

Масса отходов выплавляемой марки и близких ей по химическому составу должна быть не более 70 %, в том числе масса стружки – не более 20 % от массы завалки.

Для выплавки сплава используются открытые индукционные печи типа ИСТ-1 с тиглем емкостью 1 т.

Для наведения шлака в индукционной печи должна применяться специально подготовленная смесь шлакообразующих материалов.

Шлаковая смесь изготавливается партиями массой до 50 кг из извести, плавикошпатовых материалов (флюоритов) и магнезитового порошка в соотношении 3:1:1. Допускается замена плавикошпатовых материалов флюсами АНФ-6, АНФ-1

Известь должна применяться свежееобожженная без посторонних примесей, хранящаяся в цехе не более 24 часов. Разложившуюся известь применять запрещается.

Известь и плавиковый шпат подвергаются для подготовки смеси дроблению и просеиванию через сито с отверстиями 4 мм.

Перед приготовлением шлаковой смеси магнезитовый порошок и дробленный плавиковый шпат должны просушиваться на горне или в нагревательной печи не менее 40 минут.

Срок хранения шлаковой смеси – не более 1 суток, а с постоянным подогревом – до окончания кампании по тиглю.

					220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

Молотовые раскислители (ферросилиций, алюминиевый порошок, силико-кальций, боркальк) употребляемые на плавку, должны быть сухими.

Подготовка боркалька производится в следующем порядке: обожженная известь гасится в воде до получения сметанообразной массы; в полученную сметанообразную массу засыпается алюминиевый порошок в соотношении по массе 1:2. Полученная смесь перемешивается до получения однородного состава; полученная масса прокаливается в печи или на горне в течение не менее 2-х часов, затем дробится и просеивается на сите с ячейками 4 мм.

Все шихтовые материалы должны быть с известным химическим составом и храниться по группам в соответствующих закромах. Применение отходов с неизвестным химическим составом для индукционной плавки не допускается. Такие отходы рекомендуется переделывать (переплавлять) на ПШБ для последующей маркировки и использования.

Стружка должна храниться в закромах или коробках помарочно.

Шихтовые материалы и ферросплавы, употребляемые на плавку, должны соответствовать требованиям государственных стандартов предприятия, технических условий, технологических инструкций.

Для плавки может применяться только никель марок Н-1у.

Хранение и расход боркалька следует производить только в подогретом виде.

Перед завалкой шихты в печь мастер по плавке обязан произвести расчет в плавильной карте. Расчет шихты производится на содержание углерода, хрома, никеля, кремния и других элементов в зависимости от химического состава заданной марки сплава с целью принятия необходимых мер (присадки в завалку или плавление ферросплавов), обеспечивающих нормальное содержание элементов в металле после расплавления шихты и присадок, проведение следующего периода плавки (рафинировки) и попадание в заданный химический состав.

При расчете шихты мастер должен знать состав составляющих шихты и ферросплавов. При выплавке в качестве шихты используется: ферросилиций с содер-

					220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

жанием кремния 75 % и более, силикокальций, отходы выплавляемого сплава в количестве до 70 %.

Шихтовка плавки ведется из расчета минимального количества добавок легирующих элементов в рафинировку (кроме титана). В завалку даётся отходы, никель.

Загружать материалы в тигель следует, как можно, плотнее. На дно укладывается часть мелкой шихты. Наиболее тугоплавкие ферросплавы и легирующие размещаются по стенкам в нижней трети высоты тигля. Крупные куски шихты укладываются в вертикальном положении.

Масса садки печи должна обеспечивать уровень жидкого металла и шлака при нормальном положении печи не выше места стыка тигля с воротником.

По окончании завалки печь включается на максимальную мощность.

Плавление проводится на максимальной мощности. В период плавления производится систематическое осаживание шихты ломиком для предупреждения заклинивания кусков шихты и образования мостов из металла. По мере подплавления шихты производится подвалка оставшейся части шихтовых материалов.

После расплавления шихты отбирается проба для определения химического состава. Перед взятием пробы металл перемешивается гребком.

Продолжительность плавления должна быть не более 2,5 часов.

Во время плавления шихты присаживается шлаковая смесь из извести 6,5 кг/т, плавикового шпата (флюоритового концентрата) 1,5 кг/т и магнезитового порошка 2,0 кг/т. Основная часть шлаковой смеси (50...60 %) присаживается после полного расплавления шихты при температуре 1480...1500 °С.

После расплавления шихты металл нагревается до температуры 1750...1780 °С. При этих температурах металл выдерживается в течение 10...20 минут.

После выдержки металл охлаждается до температуры 1490...1510 °С. Охлаждение производится путем многократного погружения в металл на 5...10 секунд, никелевых стержней Ø120...200 мм. Допускается производить охлаждение расплава, выплавленной в режиме ПТВО, в количестве 50...200 кг/т. Применение для

					220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

охлаждения расплава влажных, промасленных и покрытых ржавчиной болванок запрещается.

После получения требуемой температуры добавляется порция шлака и порошкообразных.

Наведение рафинировочного шлака, раскисление его половиной порции порошкообразных раскислителей и доведение металла до заданного химического состава производства в процессе нагрева или выдержки металла при температурах нагрева. Добавка кусковых раскислителей производится в конце выдержки.

После снятия плавильного шлака дается шлаковая смесь из расчета 1...1,5 % от массы садки.

После наведения шлака производится раскисление порошковыми раскислителями (ферросилиций, алюминиевый порошок, силикокальций, боркальк). Перемешивание шлака после дачи раскислителей производится не ранее чем через 3 минуты. Обработка шлака порошковыми раскислителями должна заканчиваться за 5 минут до выпуска.

Присадка кусковых раскислителей и легирующих производится после получения жидкоподвижного, раскисленного (посветлевшего) шлака и выдержки металла под этим шлаком до 10 минут. После присадки раскислителей и легирующих производится и перемешивание металла гребком (для усвоения добавок).

Время присадки шлаковой смеси является началом восстановительного периода. Шлак в восстановительный период раскисляется порошком силикокальция в количестве 3 кг/т.

Продолжительность рафинировки должна быть не более 30 минут.

Ферросилиций кусковой для раскисления присаживается после посветления шлака, для легирования не позже чем за 10 минут до выпуска.

Алюминий первичный для раскисления вводится за 1...2 минуты до выпуска.

Металл выпускается в предварительно подогретый ковш вместе со шлаком. Внепечная дегазация (в ковше) продувкой аргоном производится в течение 1...3

					220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

минут. После окончания продувки металл выдерживается в ковше в течение не менее 3-х минут.

### 3.1 Выпуск металла

Выпуск производится в подогретый ковш. Выпуск металла производится со шлаком. Шлак должен покрывать всю поверхность металла в ковше. Температура металла в ковше должна быть 1530-1570 °С.

Металл в ковше продувается аргоном не менее 3 минут.

Температура металла в ковше должна быть:

- до продувки аргоном – 1550-1570 °С;
- после продувки аргоном – 1530-1550 °С.

### 3.2 Разливка стали

Разливку стали проводим в сквозные уширенные кверху изложницы через сталеразливочный канал с диаметром в ковшевом стакане 90 мм, в плитах 70 мм, в стакане – коллектора 40 мм.

При разливке металл в прибыли, после наполнения ее не менее чем на 2/3 высоты, утепляется люнкеритом. Расход люнкерита 2 кг/т.

Ковш с металлом должен устанавливаться над центральной таким образом, чтобы отверстия стакана ковша и воронки центральной находились на одной вертикальной прямой.

Струя металла в течение разливки должна быть ровной, не разбрызгивающейся, непрерывной и нарастающей, обеспечивающей спокойную поверхность поднимающегося металла. Для предотвращения образования плен в нижней части слитка отверстие стакана ковша плавно открывают на 1/3...1/2 толщины струи и такой струей наполняют изложницы в течение 10...20 секунд. Затем скорость разливки постепенно увеличивают, приоткрывают «контрольную» изложницу и на-

					220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

полнение регулируют по виду «зеркал» поднимающегося металла в «контрольной» изложнице.

Продолжительность наполнения изложниц и прибыльных надставок должна регламентироваться температурой металла, маркой стали. Конструкционные марки стали следует разливать с «чистым зеркалом», с половины высоты изложницы допускается лёгкая плёнка. Продолжительность наполнения металлом прибыльной надставки должна составлять не менее 50 % времени наполнения изложницы.

Во время разливки стали «контрольная» изложница должна быть приоткрыта, остальные закрыты листами жести. При отсутствии тонкой рамки допускается в «контрольную» изложницу бросать щепки.

					220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29



## 4 ТЕХНОЛОГИЯ ВАКУУМНО - ДУГОВОГО ПЕРЕПЛАВА

### 4.1 Подготовка вакуумной дуговой печи к плавке

Перед плавкой шток печи должен быть очищен от конденсата и корольков металла, оставшихся от предыдущей плавки.

Поддон и стенки кристаллизатора должны быть очищены от конденсата, оставшейся от предыдущей плавки короны и корольков металла.

При использовании кристаллизатора с новой нарезкой рекомендуется протереть стенки кристаллизатора 2...5 % раствором вакуумного масла в бензине.

При использовании флюса перед засыпкой в дозатор из него магнитом должны быть удалены корольки металла. При отмагничивании слоя флюса не должен превышать 10 мм.

Вакуумно-дуговой переплав может производиться с применением затравочной шайбы и без нее.

При ВДП с затравочной шайбой, она укладывается на середину поддона.

При ВДП без затравочной шайбы рекомендуется на поддон и торец электрода нанести тонкий слой пересыщенного водного раствора поваренной соли.

На поддон по периметру укладывается резиновое уплотнение и устанавливается кристаллизатор.

В кристаллизатор на поддон опускают электрод, и поддон с кристаллизатором закатывают под печь.

Верхний торец электрода с помощью специального устройства прикрепляют к штоку, затем центруют его по отношению к стенкам кристаллизатора. При этом зазор между боковой поверхностью электрода и стенкой кристаллизатора должен быть не менее 15 мм для кристаллизаторов диаметром 160...400 мм и не менее 25 мм для кристаллизаторов профилиразмером от 500 мм.

После центровки электрода поддон с кристаллизатором поднимают до вакуумной камеры и кристаллизатор через резиновое уплотнение присоединяют к камере печи.

					220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

Через люк вакуумной камеры производится окончательная центровка электрода, и люк печи закрывается.

При необходимости микрошлакового рафинирования при ВДП, в дозатор засыпают флюс и крышку дозатора закрывают.

Давление воды, поступающей для охлаждения основных элементов печи, должно поддерживаться в пределах 1,5...3,0 кгс/см и температура воды на входе не должна превышать 30 °С.

После герметизации печи, открываются затворы вакуумных насосов, и производится откачка воздуха из печи.

Остаточное давление в камере печи после откачки должно быть 9...10 мм.рт.ст.

Герметичность печи определяется величиной натекания воздуха в камеру печи.

Измерение натекания воздуха в камеру печи производится после 40 минутной (полной) или 20 минутной (сокращенной) откачки воздуха из печи при закрытом затворе вакуумных насосов и остаточном давлении в камере печи не выше 5...10 мм.рт.ст.

Расчет натекания производится по формуле:

$$H = V \cdot \frac{P_k - P_0}{T}, \quad (1)$$

где H - величина общего натекания (л мкм/с),

V- объём камеры печи (л),

P<sub>0</sub>, P<sub>к</sub> - остаточное давление в камере печи, соответственно, в начале и в конце измерения (мм.рт.ст.),

T - продолжительность измерения натекания (с).

Измерение натекания в камеру печи рекомендуется замерять в течение 5 минут.

Перед включением печи натекание не должно превышать значений таблицы.

					220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

Если при сокращенной откачке установленная норма натекания не достигается, должна производиться полная откачка воздуха из печи.

После ремонтов печи, связанных с ревизией элементов вакуумной системы, на первых трех плавках должна производиться проверка натекания через 40 минут откачки.

#### 4.2 Вакуумный дуговой переплав

##### Начальный период ВДП

Начальный период ВДП с использованием затравочной шайбы начинается с постепенного (в течение 2...5 минут) повышения силы тока до значений в 1,2...1,5 раза - для литых электродов, в том числе с МПНЛЗ, превышающих значения основного режима переплава. Напряжение на дуге - не менее 26 В.

Этот режим удерживается 30...60 минут - для кристаллизаторов большого профилеразмера. После образования жидкого металла по всему периметру кристаллизатора, сила тока постепенно (в течение 5 минут) снижается до значений основного режима переплава.

По окончании прогрева сила тока в течение одной минуты увеличивается до значений в 1,3-2 раза превышающих значения основного режима переплава.

После образования жидкого металла по всему периметру кристаллизатора такой электрический режим удерживается еще 5...10 минут. Напряжение на дуге не менее 26 В. Затем постепенно (в течение 5...10 минут) сила тока снижается до значений основного режима переплава.

##### Основной период переплава

Основным показателем нормального проведения ВДП является скорость наплавления слитка, определяются делением массы слитка (кг) на продолжительность плавки (мин) без учета времени прогрева торца электрода в начальный период и времени выведения усадочной раковины в конце переплава.

Скорости наплавления слитка должна быть 5,6...6,2 кг/мин, сила тока – 8,5...9,5 кА, напряжение на дуге – 25,0...27,0 В. После подсчета скорости наплавления

					220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

ления первого слитка, при переплаве последующих слитков этой же плавки допускается изменение электрического режима переплава с целью корректировки скорости наплавления и длины дугового промежутка (до 20 мм).

Электрический режим переплава должен поддерживаться автоматически регуляторами силы тока и напряжения.

По мере сплавления электрода допускается плавное снижение напряжения. Переплав литых электродов допускается проводить при выключенном блоке стабилизации напряжения.

В случае отсутствия контакта в цепи измерения напряжения дуги, допускается окончание переплава проводить по значениям напряжения на шинах.

При заданном электрическом режиме отклонения по току не должны превышать  $\pm 3\%$  от номинальных значений. Допускаются единичные мгновенные броски силы тока по ходу плавки.

Давление в камере печи при переплаве не должно превышать  $9 \cdot 10^{-3}$  мм.рт.ст. Допускаются кратковременные (до 30 секунд) повышения давления до  $9 \cdot 10^{-3}$  мм.рт.ст. во все периоды переплава для всех марок стали.

При переплаве допускается кратковременная (не более 60 секунд), ионизация, сопровождаются падением напряжения.

В случае отключения печи во время переплава по аварийным причинам, печь отключается.

Если переплав прервался не более чем на 5 минут, плавка может быть продолжена, а слиток может быть использован только для изготовления электродов для ВДП.

Если отключение печи произошло в начале переплава, допускается использовать этот электрод для следующего переплава.

Для разжижения твердых "шлаковин" и снижения величины "настыли" допускается при переплаве проводить присадки флюса (МШР - микрошлаковое рафинирование) массой 1,5...5 г/мин через дозатор, как в течение всей плавки, так и периодически.

					220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

Для устранения "настыли" на марках сталей, не склонных к развитию пятнистой неоднородности (например, 03-ВД), допускается использовать магнитное поле соленоида.

Для кристаллизаторов большего профилеразмера сила тока в соленоиде должна быть 200-500 мА. При использовании соленоида при переплаве допускается увеличение силы тока на 0,5 кА и напряжения дуги на 0,4 В.

Допускается проведение переплава в переменном физическом поле (ПФП). Для увеличения производительности печи переплав может проводиться с охлаждением слитка гелием, подаваемым в зазор между слитком и кристаллизатором. Гелий начинают подавать через 5...10 минут после выхода на основной режим переплава.

Давление гелия в зазоре повышается постепенно в течение 20...100 минут до рабочих значений, не превышающих 20 мм.рт.ст, и поддерживается автоматическим регулятором. Давление в камере печи должно быть не более  $2 \cdot 10^{-2}$  мм.рт.ст.

#### Выведение усадочной раковины

Выведение усадочной раковины рекомендуется начинать не позднее начала "забрасывания" дуги на электрододержатель, что определяется визуально на гляделках.

Выведение усадочной раковины производится при напряжении, не вызывающем наплавление металла. В случае выведения усадочной раковины менее необходимого времени считается, что переплав проведен без выведения усадочной раковины.

Допускается проведение периода выведения усадочной раковины в атмосфере аргона или в "застойном" вакууме (при закрытом затворе вакуумных насосов) на электрическом режиме, соответствующем режиму не вызывающему наплавлению металла.

#### Выдержка в кристаллизаторах и извлечение слитков из печи

После окончания переплава выплавленный слиток неподвижно выдерживается в кристаллизаторе в течение времени, не менее 40...60 минут.

					220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

После выдержки слитка в кристаллизаторе в течение установленного времени отключается подача воды для охлаждения кристаллизатора и поддона, кристаллизатор с поддоном опускается под печь и остаток («огарок») электрода удаляется из печи. Кристаллизатор с поддоном выкатывается из-под печи, слиток освобождается от кристаллизатора и извлекается из приемка.

На электроде с приваренным электрододержателем длина "огарка" должна быть не менее 20 мм, а на электроде с выточенной головкой - расстояние от оплавленного торца до начала конусной выточки должна быть не менее 10 мм.

После извлечения из кристаллизатора слитки маркируются на верхнем торце номером плавки, порядковый номер слитка и маркой стали.

Слитки, выявленные из одной исходной плавки, на установках одного типа, в кристаллизаторах одного профилеразмера, на электрических режимах для данной марки стали, допускается объединять под одним номером плавки.

#### Требования к слиткам ВДП

Длина и масса слитков данного профилеразмера кристаллизаторов, должна соответствовать: длина слитка – 1,2 м (в среднем), масса слитка максимум 1,2 т. На торце верхней части каждого слитка должен быть оттиск клейма: номера плавки, номера слитка, при этом верхней частью слитка считается та его часть, где располагаются усадочная раковина и "корона". При передаче в термо-зачистное отделение работники отдела технического контроля указывают глубину обдирки слитков и, при необходимости, величину дополнительной технологической обрезки. Во избежание перепутывания головной и донной части при ковке или прокатке, а также для соблюдения величины технологической обрезки на слитках, при обточке (обдирке) делаются две кольцевые выточки со стороны головной и одна – со стороны донной части слитка на расстоянии от торца, соответствующей величине технологической обрезки [18].

					220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

#### 4.3 Расчет технологических параметров печи

Размер слитка

а) диаметр

$$D_{сл} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot G_{сл}}{3 \cdot \pi \cdot \rho_M}} \quad (2)$$

$$D_{сл} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 1,0}{3 \cdot 3,14 \cdot 7,2}} = 0,40 \text{ м}$$

б) высота- для слитков, подвергаемых ковке и прессованию

$$\frac{H_{сл}}{D_{сл}} = 3, \quad (3)$$

отсюда  $H_{сл} = 3 \cdot 0,40 = 1,2 \text{ м}$

Диаметр и высота кристаллизатора.

$$D_{кр} = 1,02 \cdot D_{сл} \quad (4)$$

$$H_{кр} = H_{сл} + 150 \quad (5)$$

где 0,15мм– высота зоны сальникового уплотнения.

$D_{кр} = 1,02 \cdot 0,4 = 0,41 \text{ м}$  - принимаем равным 0,41 м

$H_{кр} = 1200 + 150 = 1350 \text{ мм}$

Размеры сплавляемой части электрода

$$D_{эл} = D_{кр} - (60...120) \quad (6)$$

(60...120мм) - величина зазора между электродом и кристаллизатором.

$D_{эл} = 410 - 100 = 310 \text{ мм}$

$$H_{эл} = \frac{4 \cdot G_{сл}}{\pi \cdot \rho_M \cdot D_{эл}^2} + 250 \quad (7)$$

Здесь 250 мм высота, необходимая для изготовления головки электрода

$$H_{эл} = \frac{4 \cdot 1,0}{3,14 \cdot 7,2 \cdot 0,31^2} + 0,25 = 2,09 \text{ м}$$

$$G_{эл} = \frac{\pi \cdot D_{эл}^2}{4} \cdot H_{эл} \cdot \rho_M \quad (8)$$

где,  $D_{сл}$  - средний, диаметр слитка;

$D_{кр}$  - диаметр кристаллизатора;

$D_{эл}$  - диаметр электрода;

$H_{сл}$  - высота слитка;

$H_{кр}$  - высота кристаллизатора;

$H_{эл}$  - высота электрода;

$G_{эл}$  - вес электрода;

$\rho_M$  - плотность металла.

Справочные данные при расчете электрических характеристик вакуумной дуговой печи.

Средняя удельная теплоемкость стали -  $C_p = 0,15$  ккал/(кг · °С)

Теплота плавления  $p = 57$  ккал/кг

Коэффициент  $f = 8,7 \cdot 10^6$  ккал · м<sup>3</sup>/кг

Степень черноты  $\epsilon_{ж} = 0,4$ .

$$G_{эл} = \frac{3,14 \cdot 0,31^2}{4} \cdot 2,09 \cdot 7,2 = 1,135 \text{ т}$$

Расчет полезной мощности, расходуемой на плавление электрода  $P_{пол}$

$$P_{пол} = 1,16 \cdot 10^{-3} \cdot G_{эл} \cdot [C_p \cdot (t_{тор} - t_0) + p] \quad (9)$$

Слой расплавленного металла на торце электрода составляет 1...2 мм, а его температура  $t_{тор} = 1720^\circ\text{C}$ ;  $t_0$  - температура окружающей среды равна  $20^\circ\text{C}$ .

$$P_{пол} = 1,16 \cdot 10^{-3} \cdot 520 \cdot [0,15 \cdot (1720 - 20) + 57] = 188,2 \text{ кВт}$$

Потери излучением с боковой поверхности электрода.

$$P_{изл} = 1,16 \cdot 10^{-3} \cdot \pi \cdot D_{эл}^3 \cdot \frac{f}{G_{эл}} \quad (10)$$

										Лист
										37
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР					



$$P_{изл} = 1,16 \cdot 10^{-3} \cdot 3,14^2 \cdot 0,31^3 \cdot \frac{8,7 \cdot 10^6}{520} = 5,70 \text{ кВт}$$

Тепловой поток с зеркала ванны на электрод

$$P_{з-эл} = 1,16 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_{эл}^2 \cdot \epsilon_{пр} \cdot \sigma_0 \cdot \left[ \left( \frac{T_{пов}}{100} \right)^4 - \left( \frac{T}{100} \right)^4 \right] \quad (11)$$

где  $\epsilon_{пр} = \frac{\epsilon_{ж}}{2 - \epsilon_{ж}} = \frac{0,4}{2 - 0,4} = 0,25$  - приведенная степень черноты.

$\sigma_0$  – постоянная Стефана-Больцмана и равна  $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$

Температуру поверхности ванны  $T_{пов}$  можно принять 1900-1950 °С.

$$P_{з-эл} = 1,16 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{3,14}{4} \cdot 0,31^2 \cdot 0,25 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot \left( \frac{2203}{100} \right)^4 = 0,40 \cdot 10^{-6} \text{ кВт}$$

Тепловой поток с незаэкранированной электродом части

$$P_{изл} = 1,16 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D_{кр}^2 - D_{эл}^2) \cdot \epsilon_{ж} \cdot \sigma_0 \cdot \left[ \left( \frac{T_{з.пов}}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{ст}}{100} \right)^4 \right] \quad (12)$$

где,  $T_{з.пов}$  - средняя температура поверхности ванны в зазоре между электродом и кристаллизатором;

$T_{ст}$  - температура тепловоспринимающей поверхности.

Ввиду малости членом  $\left( \frac{T_{ст}}{100} \right)^4$  при расчетах можно пренебречь.

$$P_{изл} = 1,16 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{3,14}{4} \cdot (0,75^2 - 0,65^2) \cdot 0,4 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot \left( \frac{2203}{100} \right)^4 = 0,68 \cdot 10^{-6} \text{ кВт}$$

Тепловые потери на испарение металла с поверхности

$$P_{исп} = d_1 \cdot D_{сл}^2 \cdot \left[ 1 - \left( \frac{D_{эл}}{D_{сл}} \right)^2 \right] \cdot \ell^{-0,2 \cdot \sqrt{p_r}} \quad (13)$$

где  $p_r$  - давление остаточных газов ( $1 \cdot 10^{-2} \dots 1 \cdot 10^{-3}$  мм.рт.ст.);

$d_1$  - для стали равно 432.

										Лист
										38
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР					

В общем балансе потерь потери на испарение небольшие и часто при расчете мощности печи не учитываются.

$$P_{исп} = 432 \cdot 0,4^2 \cdot \left[ 1 - \left( \frac{0,31}{0,40} \right)^2 \right] \cdot \ell^{-0,2 \cdot \sqrt{0,0056}} = 27,20 \text{ кВт}$$

Теплоотвод от зеркала металла на слиток

$$P_{сл} = 1,16 \cdot 10^{-3} \cdot \varepsilon_{ж} \cdot \lambda \cdot \frac{t_{пов} - t_{пл}}{h} \cdot \frac{\pi \cdot D_{кр}^2}{4} \quad (14)$$

где  $\lambda$ - коэффициент теплопроводности (железо) 20 ккал/м · °С·ч

$\varepsilon$ - коэффициент, учитывающий долю конвективной теплопередачи (при плавке с соленоидом 5...10, без соленоида 1,2...1,5);

$h$  -глубина жидкой ванночки металла в кристаллизаторе =0,5  $D_{кр}$ =0,205 м;

$t_{пл}$ - температура плавления стали (сплава)°С.

Температуру плавления стали можно определить по уравнению

$$t_{пл} = 1812 - \sum k' \cdot C \quad (15)$$

где  $C$  - весовая концентрация элемента в стали, %

$k'$  - коэффициент понижения температуры (таблица 3).

Таблица 3 - Значения коэффициента понижения температуры

элемент	C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P
%	0,3	0,15	1,0	4,448	16,60	0,01	0,010
$k'$	84	13,5	4,9	1,4	3,5	34	34

$$t_{пл} = 1812 - (84 \cdot 0,3 + 13,5 \cdot 0,15 + 4,9 \cdot 1,0 + 1,4 \cdot 4,448 + 3,5 \cdot 16,6 + 34 \cdot 0,01 + 34 \cdot 0,01) = 1716 \text{ °С}$$

$$P_{сл} = 1,16 \cdot 10^{-3} \cdot 0,4 \cdot 20 \cdot \frac{1930 - 1716}{0,205} \cdot \frac{3,14 \cdot 0,41^2}{4} = 1,28 \text{ кВт}$$

Необходимая мощность на дуге

$$P_{д} = P_{пол} + P_{изл.эл} + P_{изл} - P_{исп} + P_{сл} - P_{3-э} \quad (16)$$

									Лист
									39
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР				

$$P_{\phi} = 188,2 + 5,7 + 0,00000068 - 27,2 + 1,28 - 0,0000004 = 167,98 \text{ кВт}$$

Ток дуги

$$I_{\text{д}} = \frac{D_{\text{кр}} \cdot 10^{(4+0,9 \cdot D_{\text{кр}})}}{k_{I_1} + k_{I_2} \cdot D_{\text{кр}}} + 980 \cdot D_{\text{кр}}^2 + 5850 \cdot D_{\text{кр}} - 1170 \quad (17)$$

где,  $D_{\text{кр}}$  - диаметр кристаллизатора, м;

$k_{I1}=1,85$ -коэффициент;

$k_{I2}=1,05$ -коэффициент;

$$I_{\phi} = \frac{0,41 \cdot 10^{(4+0,9 \cdot 0,41)}}{1,85 + 1,05 \cdot 0,41} + 980 \cdot 0,41^2 + 5850 \cdot 0,41 - 1170 = 5598,12 \text{ А} = 5,98 \text{ кА}$$

Напряжение на дуге

$$U_{\text{д}} = \alpha + \beta \cdot I_{\text{д}} \quad (18)$$

$$U_{\phi} = 19 + 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 5598,12 = 21,8 \text{ В}$$

В нормальном режиме падение напряжения в токоведущих частях

$$\Delta U_{\text{т}} = I_{\text{д}} \cdot R_{\text{т}} \quad (19)$$

где  $R_{\text{т}}$  - сопротивление токоведущих частей печи (штока, электрода, контактов) -  $6,65 \cdot 10^{-4}$  Ом.

$$\Delta U_{\text{т}} = 21,8 \cdot 6,65 \cdot 10^{-4} = 0,015 \text{ В}$$

Напряжение на печи

$$U_{\text{п}} = U_{\text{д}} + \Delta U_{\text{т}} \quad (20)$$

$$U_{\text{п}} = 21,8 + 0,015 = 21,815 \text{ В}$$

Мощность, потребляемая печью

$$P_{\text{печи}} = U_{\text{п}} \cdot I_{\text{д}} \quad (21)$$

$$P_{\text{печи}} = 21,8 \cdot 5,98 = 130,364 \text{ кВт}$$

									Лист
									40
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР				

#### 4.4 Расчет материального баланса при вакуумно-дуговом переплаве

Для расчёта материального баланса длина электрода, которая равна 2,09 м и массу электрода, которая равна 1135 кг.

Химический состав электрода, предназначенного для вакуумно-дугового переплава, представлен в таблице 4.

Таблица 4 - Химический состав электрода

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	W	Cu	Co	Ti	Fe	Всего
%	0,02	0,12	0,1	0,01	0,01	0,5	16,67	1,29	9,87	0,09	9,89	0,72	60,71	100
кг	0,23	1,36	1,14	0,11	0,11	5,68	189,20	14,64	112,02	1,02	112,25	8,17	689,06	1135

При вакуумно-дуговом переплаве большой угар у марганца (40...50 %), угар остальных элементов не значительный и им пренебрегаем [4].

Количество окислившегося элемента равно:

$$m_{[R]} = \frac{m_{эл} \cdot [R, \%] \cdot U_{зар, \%}}{100 \cdot 100} \quad (22)$$

$$m_{[Mn]} = \frac{1135 \cdot 0,1 \cdot 40}{100 \cdot 100} = 0,454 \text{ кг}$$

Необходимое количество кислорода:

Для окисления Mn

$$m_o = \frac{0,454 \cdot 71}{55} - 0,454 = 0,132 \text{ кг}$$

Тогда фактическая масса слитка:

$$m_c = m_{эл} - \sum m_i \quad (23)$$

$$m_c = 1135 - 0,454 = 1134,546$$

$$\% = \frac{m_c}{m_{эл}} \cdot 100 \quad (24)$$

$$\% = \frac{1134,546}{1135} \cdot 100 = 99,96 \%$$

					220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

Баланс металла, кг:

Приход	Расход
Масса оплавленной части электрода - 1135	1 Окислилось Mn – 0,454
1135	0,454

Таблица 5 - Химический состав слитка после ВДП

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	W	Cu	Co	Ti	Fe	Всего
кг	0,23	1,36	1,14	0,11	0,11	5,68	189,20	14,64	112,02	1,02	112,25	8,17	689,06	1135
%	0,02	0,12	0,1	0,01	0,01	0,5	16,67	1,29	9,87	0,09	9,89	0,72	60,71	100

## 5 ОПИСАНИЕ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ЦЕХА № 3 ООО «ЗМЗ»

Специфика цеха специальной электрометаллургии заключается в том, что данные подразделения представляют собой своеобразный мини-завод. Данные подразделения оснащены почти полным спектром агрегатов для производства специальной стали. Это и открытые дуговые печи, и индукционные печи, МНЛЗ или УПНРС (в зависимости от производительности цеха), электрошлаковые печи, вакуумно-дуговые печи. Кроме того, цех оснащается целым спектром дополнительного оборудования от зачистных станков до нагревательных печей.

Таблица 6 - Участок открытой индукционной печи и открытой дуговой печи

Наименование параметра	ОИП печи 39-40	ОДП печи 41-42	УПНРС №1-2
Источник питания	ППЧВ-500	ЭОМН1000/6	
Мощность источника питания	500кВт	4000кВА	
Первичное напряжение	6кВ	6кВ	
Пределы вторичного напряжения, В	2кВ	97,7-41,7	
Емкость, т	1 т	5 т	Электрод до 7,5 м, вес в зависимости от установленного кри- сталлизатора: Ø90 (мах 330 кг) Ø120 (мах 560 кг) Ø190 (мах 1600 кг) Ø300 (мах 4100 кг) Ø445 (мах 8600 кг)

			Ø530 (маx 12975 кг) кв.400 (маx 8920 кг)
Производительность 1 печи при существующем штате	80 т/месяц	400 т/месяц	

Изложницы:

кв. 570 (2,9т); кв.590 (3,7 т); 315×380 (1,15 т); Ø310 (1,02 т); Ø450 (1,0 т)

Таблица 7 – Участок электрошлакового переплава

Наименование параметра	(ОКБ-906А) печи 33-34	(ОКБ-905А) печи 35-38
Мощность трансформатора, КВА	1600	1000
Рабочий ток (максимальный), А	25000	15000
Пределы вторичного напряжения, В	116-30,7	93,7-41,7
Дискретность по напряжению, В	3	3
Число фаз, шт	1	1
Число тока, Гц	50	50
Основные параметры кристаллизаторов, мм (верхнее сечение×высота)	кв.590×2100 Ø630×2350 кв.390×2000 Ø500×2000	кв.390×2000 Ø390×1650 Ø340×1700 Ø300×2100
Максимальная масса наплавленного слитка, кг (соответственно профилю размеру кристаллизатора)	кв.590 (5 т) Ø630 (4,5 т) Ø500 (3 т) кв.390 (2,5 т)	кв.390 (2,5 т) Ø390 (1,2 т) Ø340 (1 т) Ø300 (1 т)

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР

Лист

44

Габариты электропечи, мм		
Длина	6500	
Ширина	6500	
Высота	11200	12000
Ход тележки, мм	3500	
Автоматические регуляторы	РБС, АСУ ТП печи 33	РБС (регулятор бесконтактный силовой)
Масса металлоконструкций, т	35,0	20,0
Производительность 1 печи	180 т/месяц	150 т/месяц

Наличие кристаллизаторов:

Ø300 мм – 2 шт; Ø340 мм – 3 шт; Ø390 мм – 3 шт; Ø630 мм – 1 шт; кв. 390 мм – 5 шт; кв. 590 мм – 1 шт + 1 шт укороченный

Краны:

номер 13 – электромостовой кран грузоподъемность 10 т;

номер 14 – литейный электромостовой кран Л-22,5/5-40 грузоподъемность – главного крюка 22,5 т, вспомогательного крюка 5 т

Таблица 8 – Участок вакуумно-дугового переплава

Наименование параметра	(ДСВ-3,2-Г1) печи 25-26	(ДСВ-6,3-Г6) печи 29-31
Источник питания	Тиристорный/диодный	Тиристорный/диодный
Мощность	12500А/75В	25000А/75В
Основные параметры кристаллизаторов, мм (верхнее сечение x высота)	Ø320×1900	Ø500×2900 Ø630×2900
	Ø380×1500	
	Ø400×1500	
	Ø400×1850	

					220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45



Максимальная масса наплавленного слитка, т (соответственно профилирующему кристаллизатору)	Ø320 (1 т) Ø380 (1 т) Ø400 (1,5 т)	Ø500 (3 т) Ø630 (6 т)
Автоматические регуляторы	АРВДП	АРВДП
Производительность 1 печи	83 т/месяц	166 т/месяц

Кристаллизаторы печей 25 - 26:

Ø320 мм – 2 шт + 1 шт (демонтирован кожух); Ø380 мм – 3 шт; Ø400 мм – 1 шт + 1 шт (демонтирован кожух).

Кристаллизаторы печей 29-31:

Ø500 мм – 3 шт; Ø630 мм – 1 шт

Краны:

номер 10 – электромостовой кран грузоподъемность 10 т;

номер 11 – электромостовой кран грузоподъемность 10 т

Таблица 9 – Участок термо-зачистного отделения

Оборудование	Производительность в мес-сяц, т	Емкость, т
Термическая печь номер 21	150	мах садка 50
Термическая печь номер 23	180	мах садка 55
Термическая печь номер 24	180	мах садка 55
Слиткообдирочный станок 1А 825	240	слитки Ø630
Слиткообдирочный станок РТ-340 номер 8	54	слитки Ø310-370
Слиткообдирочный станок РТ-340 номер 9	54	слитки Ø310-370

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР

Лист

46

Слиткообдирочный станок РТ-503 номер 1	168	слитки Ø500
Слиткообдирочный станок РТ-503 номер 2	168	слитки Ø500
Слиткообдирочный станок SDL-800	432	электроды кв.180- 530
Обдирочно-шлифовальный станок Ш7-36 номер 4	300	электроды кв.180- 300
Обдирочно-шлифовальный станок Ш7-39 номер 5	300	электроды кв.180- 400
Обдирочно-шлифовальный станок Ш7-36 номер 8	300	электроды кв.180- 300

Краны:

Холодный склад (электромостовой кран номер 27 грузоподъемность 10 т);

Участок чистки (электромостовой кран номер 26 грузоподъемность 10 т);

Основной участок (электромостовой кран номер 21, 23, 24 грузоподъемность 10 т);

Вспомогательный пролет (электромостовой кран номер 18 грузоподъемность 10 т).

					220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

## 6 СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ. ОСОБЕННОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ВЫПЛАВКИ СТАЛИ МАРКИ 03Н17К10В10МТ-ВД В УСЛОВИЯХ ЭСПЦ № 3 ООО «ЗМЗ»

Развитие авиации, космонавтики, ракетостроения - областей техники, где соотношение общей массы конструкции и полезной грузоподъемности приобретает решающее значение, - привело к созданию новых видов сталей и сплавов, на которых посредством легирования и соответствующей термической обработки можно достичь высокий уровень прочности ( $\sigma = 2000-2500 \text{ Н/мм}^2$ ) при хороших значениях пластичности и вязкости.

К середине 60-х годов XX века данную группу материалов, получивших наименование «стареющий мартенсит», начала выпускать промышленность в виде металлопродукции различного сортамента: толстый и тонкий лист, сортовые виды проката, поковки, ленту, трубу и другие.

В России стали этого типа известны под названием «мартенситно-стареющие стали». Благодаря усилиям специалистов ряда российских предприятий и организаций (ЦНИИЧМ им. И. П. Бардина, ВИАМ, ЦНИИМВ и др.) они хорошо изучены и их производство освоено отечественной промышленностью.

Мартенситно-стареющие стали содержат легирующие: никеля с добавками от 8 до 24 %, кобальта от 8 до 12 %, молибдена от 3 до 6 %, титана от 1 до 2 %, алюминия от 1 до 2 %) и другие.

Высокий уровень прочности, достигаемый в данном классе марок стали, обусловлен процессами старения в безуглеродистом мартенсите ( $<0,03 \% \text{ C}$ ), который в исходном, несостаренном, состоянии обладает высокой пластичностью и относительно малой прочностью. Упрочнение сталей осуществляется при старении и обусловлено процессами «предвыделения» и образования высокодисперсных интерметаллидных фаз типа  $\text{TiNi}$ ,  $\text{Ni}_3\text{Ti}$ ,  $\text{Ni}(\text{TiAl})$ ,  $\text{Ni}_3(\text{TiAl})$ ,  $\text{Fe}_2\text{Mo}$  и другие, когерентно связанных с матрицей.

					220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

Углерод для этих сталей является вредным элементом, так как при его наличии в стали вместо интерметаллидных фаз образуются карбиды, в том числе по границам зерен, что снижает пластичность и вязкость, а также уменьшает эффект интерметаллидного упрочнения.

Мартенситно-старяющие стали весьма технологичны в металлургическом и машиностроительном производстве. В закаленном состоянии мартенсит этих сталей пластичен и может подвергаться деформации, обработке режущим инструментом и другим операциям.

Исследованиями установлено, что оптимальное сочетание прочности, пластичности, вязкости имеют сложнелегированные стали, содержащие: никеля от 9 до 18 %, кобальта от 7 до 9 %, молибдена от 4 до 6 %, титана от 0,5 до 1,0 %. После нагрева в интервале 800 - 850°C и последующей закалки в сталях получают следующие механические свойства:  $\sigma_B = 1100-1200$  Н/мм<sup>2</sup>,  $\sigma_{0,2} = 950-1100$  Н/мм<sup>2</sup>,  $\delta_5 = 18-20$  %,  $\psi = 70-80$  %. Процесс старения при температуре 480 - 500°C повышает прочность до  $\sigma_{0,2} = 1800-2000$  Н/мм<sup>2</sup>,  $\sigma_{0,2} = 1900-2100$  Н/мм<sup>2</sup> при сохранении пластичности ( $\delta_5 = 8 - 12$  %,  $\psi = 40 - 60$  %). Кроме того, мартенситно-старяющие стали с повышенным содержанием никеля (21-23 %) обладают элинварными свойствами ( $TKЧ = \pm 10 \times 10^{-6} K^{-1}$ ). Такое сочетание свойств мартенситно - старяющих сталей позволило решить ряд сложных технических задач в авиации, ракетостроении, судостроении, криогенной технике и других отраслях.

ООО «Златоустовский металлургический завод» в рамках стратегии, направленной на увеличение доли производства дорогостоящих марок сталей, успешно провел опытную выплавку и прокат высоколегированной марки стали ЭП836-ВД для нужд военно-промышленного комплекса.

В процессе освоения технологии на предприятии ООО «Златоустовский металлургический завод» заменили вакуумно-индукционный переплав на вакуумно-дуговой переплав, прокатали опытную партию сложнодеформируемой стали на среднесортном стане «400», произвели окончательную механическую обработку в термокалибровочном цехе. В результате был получен сортовой прокат с профиле-

					220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

размером 41 мм в круглом сечении. Контрольные испытания и анализ качества подтвердили, что полученный металл соответствует требованиям технических условий и потребителя.

До недавнего времени ООО «Златоустовский металлургический завод» работал по следующей схеме: получал заготовку с челябинского филиала ОАО «Уральская кузница» (г. Чебаркуль Челябинская область), производил обработку металла давлением на имеющихся у предприятия мощностях и поставлял готовый прокат заказчику. Разработанная и внедренная технология выплавки стали ЭП836-ВД с дальнейшим переделом на предприятии существенно снизили конечную стоимость металлопродукции для потребителя.

#### 6.1 Выплавка металла в индукционной печи

Исходный для вакуумно-дугового переплава металл (плавки 802394 и 802395) выплавляли на индукционной печи методом переплава в соответствии с требованиями технологической инструкции ТИ 01-И-2007 (ООО «ЗМЗ»). Перед выпуском в печь присаживали алюминий кусковой и титан металлический.

Металл разливали в специальные изложницы под литые электроды (Ø 310 мм) сверху через воронку с защитой струи аргоном. Прибыльную часть слитков утепляли люнгеритом и термитом. При разливке было выявлено, что металла недостаточно. Прибыльные надставки заполнены на 1/3 и 2/3 соответственно. На слитках плавки 802394 и 802395 после торцовки осталась усадочная раковина сечением соответственно Ø 70 и 60 мм со шлаком внутри, который был удален.

После выдержки в изложницах в течение 2 часов электроды охлаждались на воздухе. Особенности выплавки и разливки представлены в таблице 10.

Переплав на вакуумных дуговых печах.

Электроды после сплошной зачистки были переплавлены на ВДП в кристаллизаторе Ø 380 мм.

					220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

В период разводки из электродов выделялся шлак. В течение всей плавки наблюдалась кратковременная ионизация, на поверхности ванны – жидкий шлак и мелкие твердые шлаковины. На плавке 601374 получили настыль до 15 мм.

Подготовку электродов к переплаву на ВДП производили в соответствии с требованиями технологической инструкции ТИ 01-ВД-2008 ООО «ЗМЗ». Электрический режим и параметры слитков вакуумно-дугового переплава приведены в таблице 11.

В дальнейшем слитки были отгружены в молотовый цех ООО «ЗМЗ»

Передел металла в молотовом цехе

Продолжительность нагрева слитков перед ковкой составила 25 часов 20 минут. Температура в камере выдачи – 1200 °С (по служебной записке – 1200 ± 20 °С).

Температура концаковки 1020 °С (по служебной записке – не менее 900 °С). Ковку слитков производили на заготовки кв. 200 мм за 4 выноса через промежуточный профилеразмер кв. 250 мм

Гомогенизирующий отжиг заготовки кв. 200 мм не проводили. Ковку заготовок кв. 200 мм на кв. 90 мм проводили с подогревом по схеме:

кв. 200 мм → кв. 140 мм → кв. 90 мм

Охлаждение металла проводили на воздухе. Зачистка заготовок кв. 200 и кв. 90 мм – сплошная шлифовка. Заготовки кв. 90 мм передали в прокатный цех № 1 на стан «400».

Передел металла в прокатном цехе № 1

Продолжительность нагрева заготовок перед прокаткой составила 4 часа. Температура нагрева в сварочной и томильной зонах печи составила 1150 – 1160 °С (по ТИ 1150 + 10/ – 20 °С), температура конца прокатки – 940 – 95 °С (по служебной записке 930 – 960 °С).

					220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

Перед задачей раската в чистовую клеть его подстуживали до температуры  $950 \div 980$  °С.

После прокатки прутки подвергались закалке в механизированной ванне. Продолжительность нахождения раската на воздухе до начала заковки после выхода заготовки из 5-ой клетки составила 38 - 42 секунды. Продолжительность нахождения прутков в закалочной ванне 62 - 65 секунд.

Фактические профилеразмеры прутков после прокатки на стане «400»:

– плавка 601373:  $43,3 \div 43,1$  мм;

– плавка 601374:  $43,1 \div 42,95$  мм, овальность  $0,4 \div 0,5$  мм.

На 30 % прутков обеих плавки обнаружены раковины глубиной до 0,73 мм.

Обточку прутков проводили в термокалибровочном цехе на агрегате ВС-50 за два прохода по схеме:

$\varnothing 43$  мм  $\rightarrow$   $\varnothing 42$  мм  $\rightarrow$   $\varnothing 41$  мм

Контроль качества металла

Контроль металла проводили в соответствии с требованиями ТУ 14-1-4862-90. Результаты контроля качества металла приведены в таблицах 12 - 15.

При контроле макроструктуры передельной заготовки на плавке 601373 в пробе 1У дефект «шлак по сечению» объясняется тем, что исходного металла не хватило на заполнение прибыльной надставки, шлак остался в электроде, и, соответственно, в нижней части слитка вакуумно-дугового переплава.

По всем видам контроля металл соответствует требованиям ТУ 14-1-4862-90.

Потребителю отгружено 976 кг сортовых прутков  $\varnothing 41$  мм стали марки ЭП836-ВД.

6.2 Производство опытно-промышленной партии стали марки ЭП836-ВД. Выплавку исходного металла произвели по ТИ 30-Э-2017 комбинированным мето-

					220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

дом: смешением плавок из открытой дуговой печи (ОДП) и двух открытых индукционных печей (ОИП) в одном ковше.

В ОДП после снятия окислительного шлака в расплав ввели алюминий на 0,10 % и технический кальций на 0,04 % без учета угара. Перед выпуском металла по расчету присадили никель - магниевую лигатуру на 0,05 % магния и технический кальций на 0,06 %. Мишметалл не применяли.

В ОИП после полного расплавления вольфрама в каждую печь по расчету дали технический кальций на 0,05 % и никель - магниевую лигатуру на 0,05 % магния. После присадки дополнительно раскислили металл и шлак порошком алюминия, и затем дали титан. В ходе плавления титана продолжили раскисление алюминиевым порошком с расходом на плавку до 10 кг/т.

Температура стали в ковше перед разливкой была 1560-1590 °С.

Металл разлили с аргоном в изложницы Ø 310 мм по ТИ 02-1-Э-2010 и ТИ 02-2-Э-2010. Футеровка каркаса надставок выполнена теплоплитами. Уровень налива металла в надставках с вкладышами на 20 мм ниже верхнего торца. Длительность наполнения изложницы 70-110 секунд, надставок 60-100 секунд. Прибыль слитков утепляли. Продолжительность выдержки в изложницах ~ 1 час 30 минут.

Переплав на вакуумной дуговой печи

Литые электроды Ø 310 мм и ВДП в кристаллизаторе Ø 380 мм произвели в соответствии с требованиями технологической инструкции ТИ 01-ВД-2018 ООО «ЗМЗ».

В процессе переплава наблюдалась периодическая кратковременная ионизация, на поверхности ванны плена шлака.

При переплаве слитка 604642-6 через 1 час после включения печи произошло самопроизвольное отключение печи, в течении 1 минуты, печь снова включили.

Слитки ВДП Ø 380 мм были обточены на токарном станке до Ø 345 мм и отгружены в Молотовый цех ООО «ЗМЗ»

					220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53



Передел металла в молотовом цехе.

Передел слитков на кованные заготовки кв. 90 - 100 мм произвели по технологической инструкции ТИ 01-МП-2016. Нагрев слитков и заготовок перед ковкой произвели при температурах: для слитков ~1200 °С; для заготовок ~1170 °С. Температура концаковки: для слитков ~ 900 °С, для заготовок ~850°С. Охлаждение металла производили на воздухе.

Зачистку заготовок: кв. 170 мм производили выборочно по дефектам абразивными кругами с зерном F10 (200); кв. 90 - 100 мм методом сплошной шлифовки абразивными кругами с зерном F16 (125).

Для контроля на «макро» отобрали по одной пробе от передельных заготовок длиной 30 мм от штанг «А» и «У» одного слитка.

УЗК заготовок кв. 90 - 100 мм провели в соответствии с ГОСТ 21120, диаметр контрольного отражателя 2,5 мм, гр.1 качества.

Передел металла в прокатном цехе №1.

Нагрев заготовок кв.90 мм в сварочных и томильных зонах печи производили при температуре 1140 °С (по ТИ 1140+10/-20 °С). Темп выдачи заготовок из печи 25 шт/час (по ТИ н.б. 60 шт/час). Промежуточный шиббер был закрыт.

Разность показаний температуры дополнительных термопар, установленных в боковых стенках томильной зоны, не превышала 100 °С.

Перед прокаткой на стане 400 заготовки кв.90 мм нагревали в методической печи при температурах в томильной и сварочной зонах 1140 °С (ТИ: 1140+10/-20°С). Темп выдачи 25 шт/час. (ТИ: н.б. 60 шт/час). Температура поверхности раскатов перед их задачей в чистовую клеть 950-960 °С (ТИ: 940-970°С). Температура конца прокатки 950 °С (ТИ: 930-960 °С). После прокатки прутки подвергли закалке, при этом продолжительность нахождения их на воздухе до погружения в ванну (после деформационная пауза) была 43-45 секунд, при требовании не более 45 секунд. Продолжительность нахождения прутков в ванне 60-65 секунд (ТИ - н.м. 60 секунд).

					220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

Передел металла в термокалибровочном цехе.

Прутки обточили на бесцентрово-токарных механизированных станках по технологической инструкции ТИ 08-А-2015.

Для контроля качества металла от двух разных прутков отобрали 2 пробы длиной по 60 мм для определения величины зерна: 2 пробы длиной по 250 мм на механические свойства, 6 проб длиной по 30 мм от 6 разных прутков - на неметаллические включения.

Контроль качества металла.

В соответствии с требованиями ТУ 14-1-4862-90 металл проконтролирован на качество макроструктуры (таблица 7), содержание неметаллических включений, механические свойства (таблица 8), величину зерна.

Сквозной выход годного считаем от массы исходного металла до массы отгруженных сортовых прутков Ø 41 мм.

Выход годного опытной партии металла (выплавка исходного металла в ОДП).

В результате проведённой работы выход годного увеличился ~ на 10 %. Стандартный расчёт – от чёрного слитка ВДП до отгруженных сортовых прутков:

$$57,0 - 47,15 = \sim 10 \%$$

Расходный коэффициент уменьшился с 2531 до 2236 кг/т.

Выводы по главе:

Успешно проведена опытная и опытно-промышленная выплавка и прокат на сортавые прутки диаметром Ø 41 мм высоколегированной стали марки ЭП836-ВД для нужд военно-промышленного комплекса.

Контрольные испытания и анализ качества подтвердили, что полученный металл соответствует требованиям потребителя и технических условий.

					220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

Замена выплавки исходного металла в ОИП на выплавку в ОДП + ОИП позволило увеличить выход годного металла на 10 % или уменьшить расходный коэффициент на 295 кг/т.

					220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В данной выпускной квалификационной работе приведены особенности мартенситностареющей, коррозионностойкой, жаропрочной стали марки 03Н17К10В10МТ-ВД.

2. Разработана технология выплавки и разливки стали марки 03Н17К10В10МТ-ВД.

3. Рассчитан материальный баланс при вакуумно-дуговом переплаве.

4. В специальной части рассмотрены особенности внедрения технологии выплавки стали марки 03Н17К10В10МТ-ВД в условиях ЭСПЦ-3 ООО «ЗМЗ».

					220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Воскобойников В.Г., Кудрин В.А., Якушев А.М. Общая металлургия: Учебник для вузов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. –768 с.
2. Еднерал Ф.П. Электрометаллургия стали и ферросплавов. – М.:Металлургиздат, 1963. – 640 с.
3. Кудрин В.А. Теория и технология производства стали, учебник для вузов по специальности «Металлургия черных металлов» 2003. – 527 с.
4. Рябов А.В., Чуманов И.В. Расчеты материальных и энергетических балансов в сталеплавильных и внепечных агрегатах, учебное пособие 2018. – 216 с.
5. Рябов А.В., Ощепков Б.В. Электрометаллургия стали и ферросплавов, учебное пособие к курсовому проектированию 2003. – 63 с.
6. Рябов А.В., Чуманов И.В. Современные способы выплавки стали в дуговых печах, учебное пособие 2007. – 188 с.
7. Рябов А.В., Чуманов И.В. Расчет процессов электроплавки: учебное пособие. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005. – 175 с.
8. Чуманов И.В. Металловедение: лаб. практикум: учеб. пособие для вузов по направлению «Металлургия» / И.В. Чуманов, Д.А. Пятыгин; Юж. –Урал. гос. ун-т, Златоуст. фил., Каф.Общ. металлургия; ЮУрГУ. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2009. – 291 с.
9. Строганов А.Н., Рысс Н.А. Производство стали и ферросплавов. – М.:Металлургия, 1974. – 400 с.
10. Токовой О.К. Производство стали и сплавов. Учебное пособие. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – 77 с.
11. Поволоцкий Д.Я., Гудим Ю.А. Производство нержавеющей стали. – Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 1998. – 236 с.
12. Электрометаллургия стали и ферросплавов: Учебник для вузов. Поволоцкий Д.Я., Роцин В.Е., Мальков Н.В. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.:Металлургия, 1995. – 592 с.

					220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

13. Коррозионностойкие стали и сплавы. А.А. Бабаков. – М.: Металлургия, 1971. – 319 с.

14. Коррозионная стойкость нержавеющей сталей, сплавов и чистых металлов: справочник/Д.Г. Туфанов. – 5-е изд., доп. и перераб. – М.: Металлургия, 1990. – 320 с.

15. Жаропрочные стали и сплавы: справочник/С.Б. Масленков. М.: Металлургия, 1983. – 191 с.

16. Металлург: науч.-техн. и произв. журн. / ЗАО «Металлургиздат». – М.: Металлургия, 1993

17. Электрoметаллургия: науч.-техн. Журн. / Департамент экономики металлург. комплекса М-ва экономики Рос. Федерации. – М., 1999-

18. Вачугов Г.А. Специальные процессы электроплавки. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования – Челябинск, 1980. – 56 с.

					220302.2021.308.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59