

9  $\frac{39}{2163}$

*Д-р техн. наук В. И. ПРОСВИРИН*

*Канд. техн. наук И. Ф. ЗУДИН*

# ТВЕРДОЕ АЛИТИРОВАНИЕ





44-97/100

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Предисловие	1
I. Различные способы алитирования	2
1. Калоризация стали	2
2. Алитирование стали (европейский метод)	2
3. Алитирование по способу Мекера	2
4. Алитирование в расплавленном алюминии	3
5. Газовое алитирование по способу Мартина	3
6. Плакировка стали алюминием	3
7. Покрытие алюминием по способу Шоопа	3
8. Электрическое покрытие в расплавленных солях	4
9. Цементация пастой или обмазка изделия алюминиевой пудрой, связанной органическим материалом	4
II. Характеристика алитирующих твердых смесей	5
1. Ослабление активности смеси при длительном алитировании	6
2. Алитирование чугуна	7
3. Стоимость процесса алитирования в различных твердых смесях	9
III. Практические приемы алитирования	9
1. Подготовка и упаковка изделий для алитирования	9
2. Изготовление алитированных железных электронагревателей	10
3. Алитирование пароперегревательных и обдувочных труб	16
4. Алитирование чугунных колосников	20
5. Алитирование различных деталей	21
IV. Роль азота в процессе образования улучшенного алитированного слоя	23
Инструкция по алитированию стальных и чугунных изделий	23

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Окисление металлов при их нагреве принесит промышленности убытки уже с давних времен, но значение окисления в достаточной мере могло быть учтено только с развитием техники. Эти потери металлов от окисления при высоких температурах были особенно велики до освоения специальных жаростойких сталей и сплавов. С развитием техники применения высоких температур особую остроту получил вопрос о предохранении деталей, механизмов и отдельных агрегатов от окисления при изготовлении их из хромистых, хромоникелевых и других сплавов. Однако сплавы эти весьма дороги. Поэтому часто прибегают к получению у обыкновенной стали поверхностного жаростойкого слоя. Для этой цели используют алюминий, которым насыщают поверхностный слой изделий (железных, стальных и чугунных). В США этот способ называется «калоризация», в Европе и у нас — «алитирование».

Особенный интерес представляет алитирование железа, стали и чугуна как наиболее распространенных материалов для различных конструкций. Алитированное железо относительно дешево, так что на некоторых электростанциях даже обычные колосники подвергают процессу алитирования. Как показывают опыты, такие колосники при температуре до 800°C служат в несколько раз дольше обычных. Особенно эффективным оказался процесс алитирования в применении его для топливников газогенераторных автомашин, пиролизных и нитроцементационных реторт, коллекторов, труб для экономайзеров, труб для крекинг-процесса и обдувочных цементационных ящиков, разливочных ковшей и оболочек для электротиглей.

Согласно производственным данным и исследованиям, стойкость алитированных изделий (ящики, чехлы для термодар, печная арматура, тигли для ванн и т. п.) по сравнению со стойкостью неалитированных изделий во время работы при высоких температурах изменяется следующим образом:

при работе до 800°	стойкость повышается в 20—15 раз
» » до 900°	» » » 10—7 раз
» » до 950°	» » » 5 раз

В последнее время в результате работ ЦНИИТМАШ и Академии наук у нас получил распространение способ алитирования или хромоалитирования проволоки. Алитированная железная проволока применяется для бытовых нагревательных приборов и различных лабораторных и промышленных печей, где требуется температура порядка 600—800°.



2017071066





## I. РАЗЛИЧНЫЕ СПОСОБЫ АЛИТИРОВАНИЯ (по данным литературы)

### 1. Калоризация стали

При процессе калоризации очищенные изделия помещаются в жароупорную реторту с соответствующей смесью и нагреваются в течение нескольких часов в атмосфере азота или водорода или другого газа, предохраняющего смесь и изделия от окисления. Наиболее широко применяемая для стали смесь имеет следующий состав: 49% Al (порошок или пудра), 49%  $Al_2O_3$  и 2%  $NH_4Cl$ .

Стальные изделия обычно помещаются во вращающуюся реторту печи, в которую засыпается активная цементующая смесь.

Значение в этой смеси составных ее частей следующее. Алюминиевая пудра или порошок являются основной частью как источник питания стали алюминием. Глинозем служит для предохранения от спекания и сплавления частиц алюминиевого порошка или пудры. Хлористый аммоний вытесняет воздух из реторты и создает неокислительную атмосферу, а также обеспечивает образование  $AlCl_3$ , который диссоциируя, способствует образованию обменных реакций с выделением активного алюминия. Процесс ведется при температуре 900—960°. В зависимости от назначения алитированных изделий, глубину алитирования доводят от 0,1 до 1 мм.

### 2. Алитирование стали (европейский метод)

Алитирование стали близко к процессу калоризации, но ведется, согласно некоторым литературным данным, при более высокой температуре (1050—1080°), с выдержкой изделий после прогрева их в стационарных шамотовых ретортных трубах от 6 до 15 часов. При этом алюминий диффундирует в металл соответственно выдержке на глубину от 0,6 до 1,65 мм и концентрация его у поверхности достигает примерно 25% Al. Смесь состоит из 35—50% Al в виде пудры и из 65—50% обожженной белой порошкообразной глины. При повторном использовании к смеси после отсева и дробления ее добавляют 5—10% алюминиевой пудры. Хлористый аммоний в смесь не вводится. При этом процессе не требуется азота или водорода для поддержания неокислительной атмосферы.

### 3. Алитирование по способу Мекера

При этом способе алитирования не требуется водорода и, кроме того, дорогостоящий алюминиевый порошок или пудра заменяются порошком Fe-Al сплава (с содержанием 40—50% Fe), с добавкой 0,5%  $NH_4Cl$ .

Очищенные стальные изделия упаковываются плотно с этой смесью в железный или жароупорный ящик и нагреваются в пламенной печи до 900—1000°. Алюминий диффундирует в металл и, кроме того, тонким слоем наплавляется на поверхности изделий. При дальнейшем отжиге изделий они теряют свой белый блеск, принимая матовосерый или кирпичный цвет.

Процесс алитирования изучался Вер и Агеевым (Институт металлов). На основании проделанных экспериментов по сравнению различных методов алитирования авторы пришли к следующим выводам. Состав смеси, дающей наилучшие результаты в отношении глубины алитирования, следующий: 49% порошка сплава Fe-Al + 49%  $Al_2O_3$  + 2%  $NH_4Cl$ . Наилучшая температура алитирования лежит в пределах 900—1000°. Выдержка при алитировании должна применяться в течение 4—25 часов, в зависимости от требований к жаростойкости стали.

### 4. Алитирование в расплавленном алюминии

При этом способе цементация стальных изделий производится в ваннах с расплавленным сплавом Al-Fe («dipprocess» — процесс погружения). Сущность этого процесса, введенного Дентсайзенем в США, заключается в выдержке стальных изделий в ванне с расплавленным алюминием, насыщенным железом.

Одним из недостатков процесса погружения по сравнению с калоризацией является то, что нельзя избежать образования на поверхности изделий хрупкого соединения  $FeAl_3$ , которое разлагается лишь путем последующего длительного отжига. Другим недостатком является малая устойчивость стальных тиглей, в которых расплавляют алюминий.

### 5. Газовое алитирование по способу Мартина

Этот способ заключается в цементации изделий летучей солью алюминия  $AlCl_3$ . Устройство для цементации состоит из реторты, один конец которой нагревается до 600°. Здесь помещается смесь состава: 45% чистого алюминия в пудре или в порошке, 45%  $Al_2O_3$  и 10%  $NH_4Cl$ . Другой конец реторты нагревается до 900—1000°; в этом конце реторты помещаются цементуемые стальные изделия. Через реторту циркулирует водород вместе с парами  $AlCl_3$  в направлении от смеси к изделиям. При этом процессе протекает реакция:  $Fe + AlCl_3 \rightarrow FeCl_3 + Al$ , с последующей диффузией алюминия в железо и удалением  $FeCl_3$  в газообразном состоянии.

### 6. Плакировка стали алюминием

В последнее время в заграничной практике получило широкое распространение алитированное железо из феррана (железа, покрытого алюминием способом плакировки). Сущность процесса состоит в том, что листы железа, покрытые алюминием в виде пакетов, прокатываются на стане, в результате чего обеспечивается приставание алюминия к железу. Последующий же обжиг приводит к углубленной диффузии алюминия в железо. Существуют два способа плакировки — горячий и холодный. Первый способ производится при температурах 420—450°, второй — при комнатной температуре. Горячий процесс плакировки более удобен, так как требует меньшего давления в прокатных валках. Алюминий при температуре от 500 до 600° образует хрупкое соединение  $FeAl_3$ . Процесс плакировки применяется для полосовой и листовой малоуглеродистой стали.

### 7. Покрытие алюминием по способу Шоопа

Покрытие поверхности стальных изделий распыленным алюминием по способу Шоопа на толщину 0,25—0,5 мм с нанесением затем слоя жидкого стекла и последующим отжигом при 950—1000°, создающим диффузию алюминия в железо, оказывается в ряде случаев менее эффективным, чем калоризация и алитирование. При этом способе частицы расплавленного Al при распылении успевают покрыться тонким слоем окиси алюминия, вследствие чего затрудняется процесс диффузии алюминия при отжиге. Кроме того, нанесенный слой алюминия является достаточно пористым, и кислород может проникать к внутренним частям



изделия. Поэтому защищенные этим способом стальные изделия обладают достаточной жароупорностью лишь при температурах до 800°. Практикуемое в последнее время покрытие шоопированной поверхности до отжига изделий слоем жидкого стекла препятствует в известной степени прониканию кислорода к поверхности изделий, в связи с чем жароупорность их повышается до 850°.

### 8. Электролитическое покрытие в расплавленных солях

Покрытие металлических изделий производится в расплавленной смеси, состоящей из трех частей по весу  $AlCl_3$  и одной части  $NaCl$  или двух частей  $AlCl_3$  и двух частей  $NaCl$ , при температуре 200—250°. При этом применяется постоянный ток до 1 а/дм<sup>2</sup>; анодом служит алюминиевая ванна, катодом — железное изделие.

### 9. Цементация пастой или обмазка изделия алюминиевой пудрой, связанной органическим материалом

Этот способ мало разработан и требует экспериментальной проверки. Защитное действие таких покрытий начинает ослабевать уже с 600°. Литературные данные о приведенных в первом разделе различных способах алитирования являются недостаточными для реализации этих способов в производственных условиях; кроме того, осуществление этих способов связано с рядом трудностей. Это объясняется также отсутствием подробного описания технологии процесса алитирования.

Способ калоризации (США) имеет тот недостаток, что активная смесь состоит из чистого алюминиевого порошка или пудры,  $NH_4Cl$  с применением водорода. Применение дорогостоящего чистого алюминия и водорода несколько ограничивает широкое распространение этого процесса.

При сравнении способов калоризации и алитирования можно отметить некоторое упрощение в технологии второго способа путем исключения из смеси  $NH_4Cl$  и водорода. Но применение алюминия в порошке или пудре делает этот процесс дорогостоящим.

По способу Мекера применяется  $FeAl$  сплав, выплавляемый на чистом алюминии с добавкой  $NH_4Cl$ ; при этом технология упаковки более проста, чем при калоризации. Однако практических данных в литературе по этому процессу крайне недостаточно.

Газообразное и электролитическое алитирование и обмазка пастой требуют дополнительных исследований и в практике еще не применяются.

Процесс алитирования в расплавленном чистом алюминии, разработанный Дентсайзенем в 1913 г. и значительно доработанный и углубленный исследователем Ф. Г. Никоновым (ЦНИИТМАШ), позволяет применять более дешевый сплав  $Al-Fe$  (с содержанием 92—96%  $Al$  и 6—8%  $Fe$ ). Однако, несмотря на то, что этот способ является более простым и экономичным, он все же не имеет широкого промышленного распространения из-за: а) наличия хрупкой составляющей диффузионного слоя; б) местного налипания алюминия на поверхности обрабатываемых изделий; в) неравномерности насыщения по глубине слоя; г) небольшой стойкости рабочих ванн, приводящей к производственным авариям.

Анализ и экспериментальная проверка всех существующих способов алитирования показали, что наиболее жизненным, практически приемлемым в производственных условиях каждого завода является способ твердого алитирования с применением порошков сплава  $Fe-Al$ .

Когда в ЦНИИТМАШ были поставлены первые опыты в этом направлении, то оказалось, что для практической реализации требуется проведение предварительных исследований.

Наряду с проведением широкого исследования процесса алитирования был поставлен ряд производственно-технических задач, сводящихся к следующему:

- 1) замена дорогостоящего чистого алюминия;
- 2) сокращение до минимума содержания нашатыря ( $NH_4Cl$ );
- 3) устранение применения в качестве инертных газов водорода, аргона и т. п.

## II. ХАРАКТЕРИСТИКА АЛИТИРУЮЩИХ ТВЕРДЫХ СМЕСЕЙ

Практическая проверка большого количества смесей для алитирования показала, что они дают различные результаты в отношении глубины алитированного слоя, внешнего вида образцов после алитирования и степени окисления этих образцов.

Таблица 1

№№ смесей	Состав	Количество по весу в %
1	Сплав $Fe-Al$ (43% $Fe$ )	99,5
	$NH_4Cl$	0,5
2	Сплав $Fe-Al-Cu$ (с содержанием 43% $Fe$ ; 3,6% $Cu$ )	99,5
	$NH_4Cl$	0,5
3	Сплав $Fe-Al$	49
	Каолиновая глина	49
	$NH_4Cl$	2
4	Сплав $Fe-Al-Cu$	49
	Каолиновая глина	49
	$NH_4Cl$	2
5	Порошок алюминия	49
	глинозема	49
	$NH_4Cl$ (технический)	2
6	Порошок алюминия	49
	шамота	49
	$NH_4Cl$	2
7	Порошок алюминия	49
	Кварцевый песок	49
	$NH_4Cl$	2
8	Порошок алюминия	40
	Кварцевый песок	58
	$NH_4Cl$	2
9	Порошок алюминия	30
	Кварцевый песок	68
	$NH_4Cl$	2
10	Сплав $Fe-Al-Cu$	49
	Порошок-минутник	49
	$NH_4Cl$	2
11	Сплав $Fe-Al-Cu$	60
	Порошок шамота	38
	$NH_4Cl$	2
12	Сплав $Fe-Al-Cu$	60
	Кварцевый песок	38
	$NH_4Cl$	2
13	Сплав $Fe-Al-Cu$	49
	Кварцевый песок	49
	$NH_4Cl$	2



Для удобства оценки все смеси по их качеству (см. состав в табл. 1) можно разбить на три группы.

Сравнительная качественная их оценка в отношении скорости алитирования, внешнего вида и окисляемости выражена на табл. 2.

Таблица 2

Характеристика алитирующих смесей по глубине цементации и степени устойчивости образцов против окисления при нагреве

по качеству	по глубине алитирования при процессах 1050°—3 часа	Группа смеси			
		по внешнему виду образцов, алитированных при 1050°—3 час. после нагрева в течение 10 час. при		по окислению образцов, алитированных при 1050° 3 час., определяемому по привесу их после нагрева в теч. 10 ч. при	
		1050°	1200°	1050°	1200°
Первая	V, II, I	II, VII, XI	II, VII	II, VII, XI, I, VIII	II, VII, VIII
Вторая	X, III, IV, VIII, IX	I, III		V, III, IV	XII, X
Третья	VI, VII, XI, XII		XII, X	XII, XI,	III, VI

Согласно этим данным, наиболее рентабельными смесями, учитывая и экономический фактор, является II, XI и VII смеси.

Первые две весьма дешевы и сообщают образцам достаточную устойчивость против окисления при 1050°; смесь VII—близкая им по стоимости, сообщает еще большую устойчивость образцам против окисления даже при 1200°. Дорогая смесь V не имеет преимуществ перед смесями VII, XI и II в отношении сообщения образцам жароупорности и слабее их по глубине диффузии алюминия. Первое место по глубине диффузии занимает самая дорогая смесь V; по жароупорности она близко подходит к смесям II и XI. Применять ее поэтому нерационально.

### 1. Ослабление активности смеси при длительном алитировании

Наблюдения показали, что при значительной длительности процесса алитирования происходит некоторое ослабление активности сплава, видимо, за счет некоторого его окисления.

Повторное использование сплава показало непрерывное уменьшение общей глубины диффузии алюминия и некоторое снижение концентрации Al в поверхностном слое. Многократное же использование сплава является одним из условий успешного внедрения этого процесса. Поэтому было доказано, что добавка в отработанный сплав при каждом процессе алитирования свежего сплава порядка 10% стабилизирует активность смеси. Хотя в этом случае и наблюдается ослабление смеси, и главным образом в отношении уменьшения общего слоя диффузии, однако практически активность смеси остается вполне удовлетворительной. Это видно по данным табл. 3, где приводится и общая глубина диффузии Al при алитировании в течение 5 час. при 1050° в смеси 99,5% сплава Fe-Al-Si и 0,5% NH<sub>4</sub>Cl.

При проведении опытов со сплавами, проработавшими около 200 час., во всех случаях добавка 10% свежего сплава повышала активность и позволяла использовать его для практических целей.

Таблица 3

Состав смеси	Сколько раз смесь употребляется для алитирования	Общая глубина диффузии алюминия в мм
Новый сплав . . . . .	1	0,4
Старый сплав +10% нового сплава	2	0,23
То же +10% нового сплава . . . .	3	0,3
То же +10% нового сплава . . . .	4	0,3
То же +10% нового сплава . . . .	5	0,3
То же +10% нового сплава . . . .	6	0,3
То же +10% нового сплава . . . .	7	0,28

### 2. Алитирование чугуна

Защита чугуновых изделий от окисления не менее необходима, чем защита стальных изделий. Экспериментально доказано, что при правильном выборе диффузионной смеси и оптимальном режиме алитирования можно получить весьма значительную жаростойкость алитированного чугуна. Серый чугун, содержащий свободный графит, представляет менее благоприятную среду для диффузии алюминия, вследствие чего требуется более длительное алитирование и более высокая температура процесса, чем для стали.

Проверка различных смесей при алитировании чугуна показала, что наиболее целесообразно применять смеси I и II как наиболее активные; III—IV менее активные смеси. Глубина диффузии алюминия при применении I или II смеси составляет в среднем за 2 часа 0,08 мм при 975° и 0,15 мм при 1050°. Для смесей III и IV эти значения будут соответственно 0,07 и 0,12 мм.

После отжига при 1050° в продолжение 5 часов алитированный диффузионный слой увеличивается при применении I и II смеси с 0,08 мм до 0,25 мм и с 0,15 мм до 0,35 мм; при применении же смесей III и IV—с 0,07 до 0,09 и с 0,12 до 0,20 мм.

При нагреве алитированных (975°, 6 час.) образцов чугуна при 1050° в течение 6 часов в окислительной атмосфере (свободный нагрев в электропечи) изменение их веса в результате окисления выражалось в величинах, приведенных в табл. 4.

Таблица 4

Смесь	Относительный привес в г/м <sup>2</sup> /час алитированных образцов после 5 час. нагрева при температурах		
	850°	920°	1000°
Неалитирован. . . . .	56	64	164
I—II . . . . .	3—5	8—10	18—25
III—IV . . . . .	до 8—10	15—20	25—40

Привес за счет поглощаемого кислорода позволяет считать, что жаростойкость алитированного чугуна можно повысить до 10 раз.



## Ориентировочная стоимость алитирования 192 кг изделий типа чугуных колосников

Статья расхода	Стоимость алитирования (руб. коп.) в смесях					
	V	I	VI	VII	II	XI
Стоимость и амортизация железных ящиков при сроке службы 180 час. . . . .	53—76	53—76	53—76	53—76	53—76	53—76
Ремонты и амортизация (за 5 лет) печи стоимостью 4000 руб. Работа 265 суток . . . . .	4—00	4—00	4—00	4—00	4—00	4—00
Стоимость светильного газа для нагрева при алитировании за сутки 751 кг изделий, ящиков и смеси . . . . .	37—18	37—18	37—18	37—18	37—18	37—18
Подготовка поверхности изделий для алитирования путем обдувки песком . . . . .	22—05	22—05	22—05	22—05	22—05	22—05
Стоимость активной смеси (расход в сутки) . . . . .	710—00	333—63	334—04	290—00	213—00	211—20
Зарплата и цеховые расходы в сутки . . . . .	105—00	105—00	105—00	105—00	105—00	105—00
Стоимость отжига 192 кг алитированных изделий (включая статьи расходов 1, 2, 3, 5, 6) . . . . .	122—60	122—60	122—60	122—60	122—60	122—60
Полная цеховая стоимость алитирования и отжига 192 кг изделий . . . . .	1044—59	681—22	678—63	634—59	557—59	555—79
Стоимость алитирования и отжига 1 т изделий . . . . .	5440—00	3550—00	3585—00	3300—00	2900—00	2895—00

## 3. Стоимость процесса алитирования в различных твердых смесях

Эти данные составлены по ориентировочному подсчету стоимости алитирования разными смесями партии чугуных колосников, алитированных по 192 кг в партии в 12 ящиках, в двух садках в печь. Колосники упаковывались в герметические железные ящики со смесью, нагревались в газовой печи до 980—1000°C с выдержкой 6 час. и затем отжигались в нейтральной упаковке при 900° с выдержкой в течение 3 час. При каждой операции алитирования печь была занята 12 час. (охлаждение в печи до 400—500°) и при отжиге — 8 час. В железный ящик размерами 360 × 300 × 180 мм, весивший 26,6 кг, упаковывались 8 колосников весом по 2 кг. Вес смеси в ящике составлял 20 кг, причем смесь применялась 6 раз, получая каждый раз свежую добавку (15—20% добавки при смесях I и II и 20—25% при остальных смесях).

Данные, приведенные в табл. 5, показывают, что процесс алитирования сильно удорожается при применении смесей V, VI и VII и максимально удешевляется при применении смесей XI и II. Смесь I приближается к дорогостоящим. При правильной организации и технологии массового производства стоимость алитирования должна значительно снизиться.

## III. ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИМЕРЫ АЛИТИРОВАНИЯ

## 1. Подготовка и упаковка изделий для алитирования

Как средство защиты от окисления алитирование может применяться для самых разнообразных случаев. Большой практический опыт термической лаборатории ЦНИИТМАШ по этому процессу позволяет рекомендовать его как проверенный в технологическом отношении и в отношении жаростойкости в эксплуатационных условиях. Наряду с существованием различных приемов алитирования ниже описан для иллюстрации только процесс алитирования в твердых смесях, как наиболее простой.

Подготовка изделий перед алитированием. Поверхность изделий должна быть тщательно очищена от окалины, ржавчины, грязи, жира и т. п.

Проверка показала, что чистота поверхности оказывает большое влияние на скорость диффузии алюминия. Рекомендуется производить очистку пескоструем или химическим травлением.

Ящики или реторты для алитирования. Выбор основных очертаний цементационного ящика определяет в значительной степени качество алитирования. Несоответствие размеров ящиков изделиям может привести к различной толщине диффузионного слоя алюминия. Надо избегать применения слишком широких ящиков, в которых имеет место большое отставание температуры центра от края. Не следует применять глубокие ящики, так как это затрудняет упаковку изделий. Ящики надо по возможности делать в соответствии с конфигурацией изделий.

Эти мероприятия уменьшают расход сплава и позволяют получать алитированные изделия с более постоянными и однородными свойствами.

Упаковка изделий в ящик. Тщательная упаковка является основой хорошей работы и хороших результатов алитирования. Способ упаковки должен обеспечить равномерный нагрев и равномерное алитирование всех изделий в ящике.

Упаковка должна производиться сообразно с формой изделий. Тяжелые изделия правильной формы не требуют такой тщательной упаковки, как изделия сложной формы. Упаковка последних должна быть индивидуальной. Например, длинные изделия (трубы и т. п.) следует упаковывать вертикально, так, чтобы они удерживались в своем положении



диффузионной смесью при ее засыпке, что в значительной степени устраняет прогиб их при процессе алитирования. В случае цементации болтов, спиралей и стержней рекомендуется располагать их в два, три и более рядов.

Первая стадия упаковки заключается в покрытии дна ящика равномерным слоем смеси толщиной 20—40 мм, затем укладываются подлежащие алитированию изделия. Изделия не должны касаться стенок ящика, они должны отстоять от них на расстоянии 15—35 мм, а одно от другого — на расстоянии 10—20 мм. Это расстояние зависит от размеров изделия и требуемой толщины алитированного слоя. Чем толще слой и больше изделие, тем больше эти расстояния. Недостаток диффузионной смеси сыпавая в ящике может быть причиной неравномерной глубины алитирования.

После того, как первый ряд изделий уложен, его покрывают слоем смеси, слегка утрамбовывая. За первым рядом изделий таким же способом укладывают следующие и т. д.

Верхний ряд изделий должен быть засыпан слоем смеси толщиной не менее 40—80 мм. Затем на этот слой смеси накладывают асбестовый или железный лист толщиной 1 мм и поверх него насыпают слой в 30—40 мм чугунных стружек или смесь древесного угля с песком.

После такой подготовки ящика его закрывают железной крышкой или листовым асбестом, а углы и все зазоры тщательно промазывают глиной или огнеупорной глиной. После этого ящик подсушивается и готов для нагрева.

## 2. Изготовление алитированных железных электронагревателей

Экспериментальная проверка показала возможность получения алитированной железной проволоки, пригодной в качестве электросопротивления для нагревательных приборов, печей и др.

Обычно считали, что алитированное железо и сталь страдают большой хрупкостью и поверхностной пористостью и поэтому к применению процесса алитирования для получения электронагревателей относились отрицательно.

Алитирование порошкообразной смесью показало, что при соответствующем составе смеси, а также соответствующей температуре процесса можно получить очень гладкую и плотную алитированную поверхность, достаточно вязкую и жаростойкую. Так как в настоящее время приобретение никромовой и даже фехральной проволоки для электрических печей связано с ограничениями, то задача успешного разрешения вопроса о получении заменителей явилась весьма актуальной.

Установление режима алитирования железной проволоки. Для алитирования железной проволоки были выбраны две смеси:

- 1) 99,5% сплава Fe-Al-Cu + 0,5%  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ;
- 2) 70% сплава Fe-Al-Cu + 28%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  + 2%  $\text{NH}_4\text{Cl}$ .

Первую смесь рекомендуется применять для проволоки до 1 мм, вторую смесь — для более толстой проволоки.

Однако при отсутствии  $\text{Al}_2\text{O}_3$  можно применять первую смесь для алитирования проволоки любой толщины.

Для установления минимальной глубины диффузии, обеспечивающей при нагреве отсутствие окалины, был проведен целый ряд экспериментов по алитированию проволоки толщиной 0,5; 1,2; 2 и 5 мм при температуре 800, 850, 900, 950° различной продолжительности. После алитирования была измерена глубина диффузии и проведен окислительный отжиг при 800° в течение 24 час. Это позволило наметить предварительные режимы обработки железной проволоки.

Результаты этих испытаний приведены в табл. 6 и 7.

Режим алитирования образцов в сплаве 99,5% Fe-Al-Cu + 0,5% $\text{NH}_4\text{Cl}$		Глубина слоя в мм	Состояние поверхности после окислительного отжига
t° C	часы		
800	1	0	Сильно окислилась (окал. черная)
800	3	0,01	То же
800	5	0,02	Местное окисление незначительное
850	1	0,06	Окислилась
850	3	0,08	Поверхность приобрела серый цвет
850	5	0,10	Поверхность светлая
900	1	0,10	То же
900	3	0,12	То же
900	5	0,15	То же
950	1	0,15	Поверхность серая (окисления нет)
950	3	0,20	То же
950	5	0,22	То же

Таблица 7

Режим алитирования образцов в сплаве смеси 70% Fe-Al-Cu + 28% $\text{Al}_2\text{O}_3$ + 2% $\text{NH}_4\text{Cl}$		Глубина слоя в мм	Состояние поверхности после окислительного отжига
t° C	часы		
800	1	0	Сильно окислилась
800	3	0	То же
800	5	0,03	То же
850	1	0,01	Поверхность серая
850	3	0,04	То же
850	5	0,08	Поверхность светлая
900	1	0,11	То же
900	3	0,12	То же
900	5	0,14	То же
950	1	0,12	Поверхность серая
950	3	0,18	То же
950	5	0,20	То же

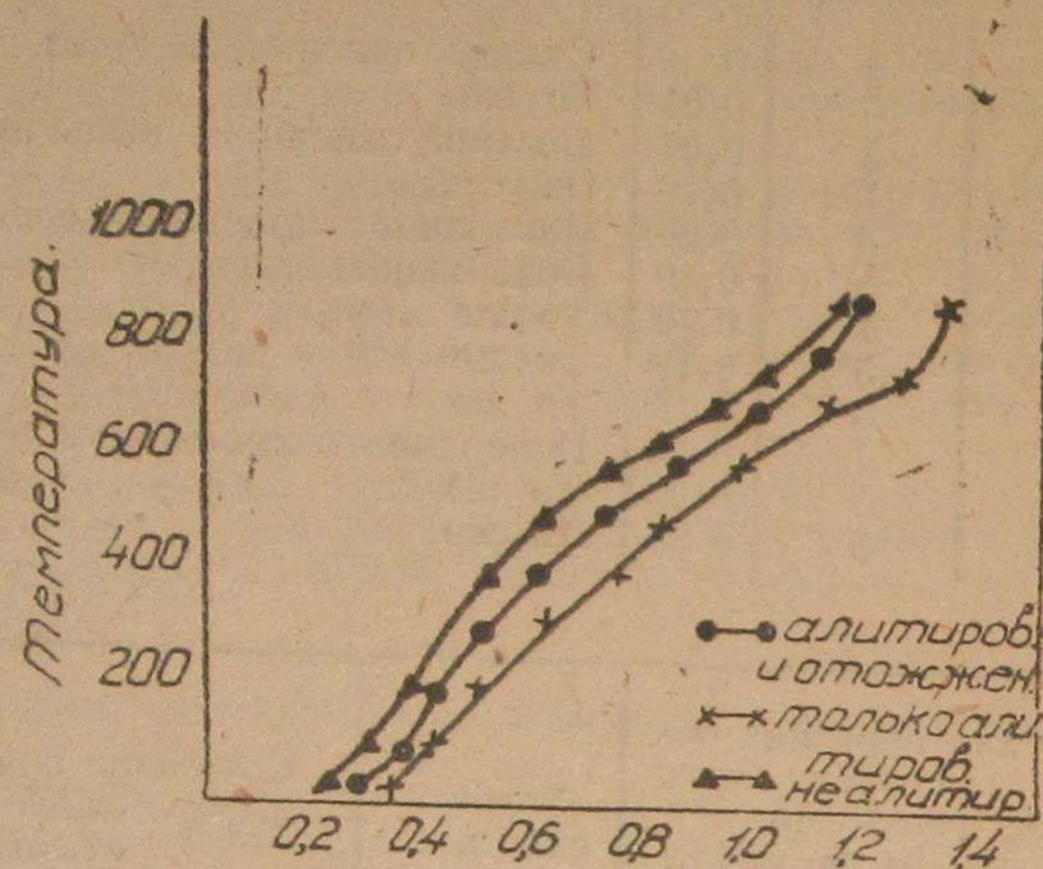
По степени жаростойкости поверхности алитирование при 800° даже длительностью в 5 час. дает неудовлетворительные результаты. Алитирование при 850° вполне надежные результаты показывает только после трехчасовой выдержки.

Поверхность спирали (диаметром 0,5 мм), выдержавшей испытание длительностью около 1000 час. при температуре 600—750°, имела слабое окисление. В большинстве случаев спирали перегорают не от общего окисления поверхности, а от наличия местных дефектов, к которым относятся главным образом точечные места, недостаточно насыщенные алюминием. Чем чище подготовлена поверхность проволоки перед алитированием, тем равномернее идет диффузия алюминия, тем длительнее работа спиралей.



Электросопротивление алитированной проволоки. При наличии большой глубины диффузионного слоя алюминия электросопротивление железной проволоки возрастает в значительной степени.

Изменение значения  $\rho$  (удельное электросопротивление) от температуры в железной проволоке диаметром 0,5 мм, подвергнутой алитированию, и в той же алитированной проволоке, но после отжига при 850° продолжительностью около 250 час., выражено кривыми, представленными на фиг. 1.



Фиг. 1

Удельное электросопротивление, измеренное в более тонкой алитированной проволоке (диаметром 0,35 мм), дало значение  $\rho$  для 20° 0,71 ома, для 850° 2,85 ома.

Зависимость удельного электросопротивления  $\rho$  алитированных спиралей разных сечений от температуры и времени выдержки при алитировании представлена в табл. 8.

Таблица 8

Зависимость удельного электросопротивления ( $\rho$ ) алитированных спиралей разных сечений от температуры и времени выдержки при алитировании

Сечение спиралей в мм	Температура алитирования								
	850°			900°			950°		
	1 час.	3 час.	5 час.	1 час.	3 час.	5 час.	1 час.	3 час.	5 час.
0,35	1,18	1,37	1,47	—	—	1,73	1,08	1,34	—
0,50	0,50	0,54	0,60	0,60	0,60	0,60	0,52	0,80	—
0,70	0,25	0,25	0,27	0,23	0,25	0,29	0,25	0,31	0,34
1,2	0,10	0,11	0,11	0,10	0,11	0,12	0,11	0,13	0,183
2,0	0,02	0,03	0,025	0,023	0,025	0,021	0,048	0,048	—

Технология алитирования спиралей из железной проволоки по способу ЦНИИТМАШ. Для изготовления железных алитированных спиралей в качестве электронагревателей может быть применен технологический процесс, состоящий из следующих основных этапов:

- подготовка исходных материалов;
- выплавка сплава и приготовление смеси для алитирования;
- упаковка спиралей;
- процесс алитирования;
- контроль качества алитирования.

**Подготовка исходных материалов.** В качестве исходного материала как заменителя фехрала или частично нихрома употребляется железная проволока с содержанием углерода не более 0,25%. Исходное состояние проволоки имеет большое значение. На проволоке не должно быть ржавчины и других загрязнений. Ржавая проволока неоднородна по толщине, что вызывает неравномерность алитирования и сказывается в дальнейшем на сроке службы спиралей. Для лабораторных нагревательных приборов (плитки, сушильные шкафы и др.) применяется железная проволока диаметром 0,35—0,7 мм. Наилучшие результаты дают спирали из проволоки диаметром 0,5 мм. Предварительно производится заготовка, т. е. разрезка проволоки на куски соответствующей длины. Полученные заготовки тщательно зачищаются наждачной бумагой до навивки спирали или уже в спиралях проходят химическую очистку, путем травления для удаления окислов, жирных пятен и других загрязнений и потом уже подвергаются алитированию.

Проволока завивается в цилиндрические спирали такого сечения, которое дает возможность разместить ее в канавке керамических плиток и др. Навивка спиралей может производиться в ручную в тисках или в специальном приспособлении и в массовом количестве на токарном станке.

**Выплавка сплава и приготовление смеси.** Основной диффузионной смесью для алитирования нагревательных элементов (резисторов) является сплав железа с алюминием. Рекомендуется для алитирования сплав, получаемый из отходов вторичного алюминия или дюралюминия, следующего состава: 37—44% Fe, 2—4% Cu, остальное Al.

Можно применять более дорогой ферроалюминиевый сплав состава 34—47% Fe, остальное алюминий.

Сплав можно приготовить в любой сталеплавильной печи из отходов железа и алюминия. Сплав измельчается в порошок в шаровой мельнице. Состав смеси следующий: 10% свежего сплава Fe-Al-Cu, 89% отработанного сплава и 0,5—1% NH<sub>4</sub>Cl (нашатыря). Смесь тщательно перемешивается перед упаковкой. Следует избегать загрязнения сплава окислами или песком.

**Упаковка спиралей (фиг. 2).** Для упаковки спиралей применяются обычные цементационные ящики или трубы. Зарядка (упаковка) ящиков осуществляется следующим образом. Предварительно спирали подвергаются растяжке на 60—40% первоначальной длины. Каркас с набором спиралей или же каждая спираль в отдельности помещаются в герметически закрывающийся железный ящик, наполненный активной смесью.

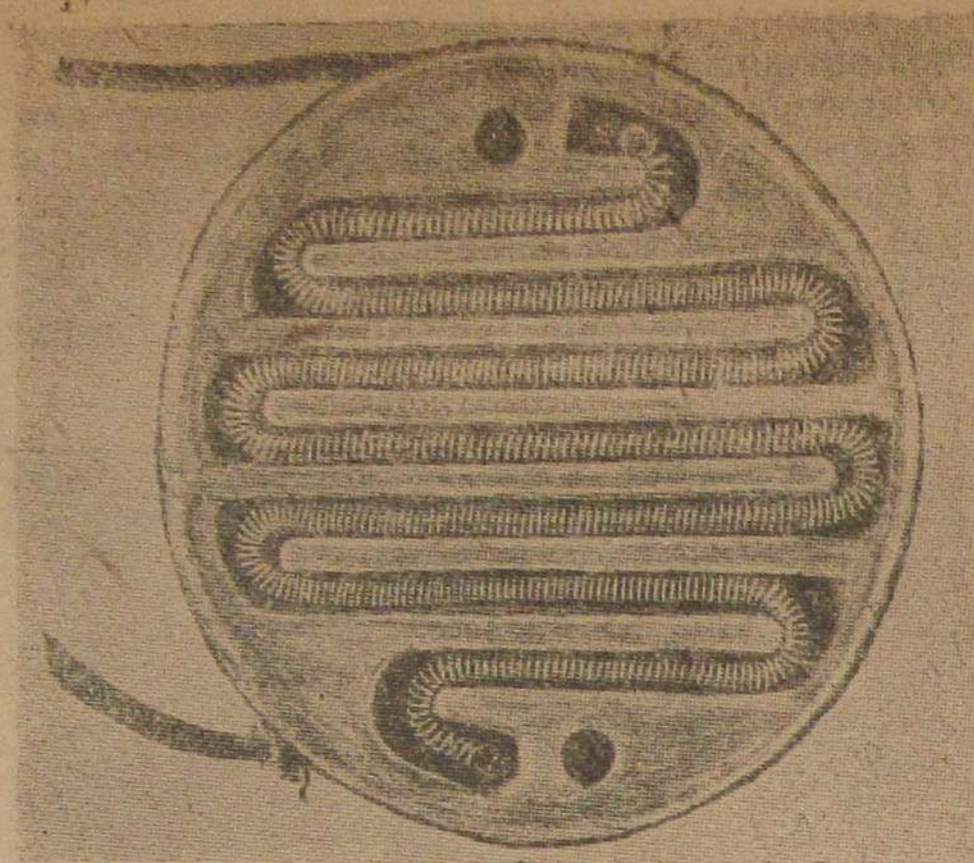
Первая стадия упаковки заключается в покрытии дна ящика, равномерным слоем толщиной 20—15 мм, затем укладываются подлежащие алитированию спирали. Спираль не должна касаться стенок ящика, а должна отстоять от них на расстоянии 10—15 мм и друг от друга на расстоянии 8—12 мм.

Эти расстояния зависят от размеров спиралей и требуемой толщины алитированного слоя. Чем толще слой и больше сечение, тем больше









Фиг. 4

Размер алитированных нагревательных элементов (резистров): диаметр 1,2 мм, длина 33 м.

Резистры были изготовлены из железной проволоки, подвергнутой алитированию при  $900^{\circ}$  в течение двух часов в смеси состава: 90% пассивированного сплава Fe-Al-Cu, 9,5% свежего сплава Fe-Al-Cu, 0,5%  $\text{NH}_4\text{Cl}$ .

Печь испытывалась около 1700 часов при температуре  $500-600^{\circ}$  для отпуска быстрорежущей стали и вполне пригодна к дальнейшему ее использованию.

#### Б. Муфельная электропечь для отпуска мелкого инструмента (Фиг. 7).

Размеры рабочей камеры:  $260 \times 85 \times 72$  мм.

Напряжение 120 в.

Температура рабочей зоны печи от  $300$  до  $500^{\circ}$ .

Размеры проволоки алитированной спирали нагревательных элементов: диаметр 1,2 мм, длина — 20 м. Печь испытывалась в течение около 1000 часов и продолжала работать.

#### В. Установка для подогрева головок рельс при стыковой сварке

Основная мощность нагревателя 6 квт.

Напряжение 65 в.

Номинальный ток 130 а.

Поверхностная нагрузка спиралей  $2 \text{ вт/см}^2$ .

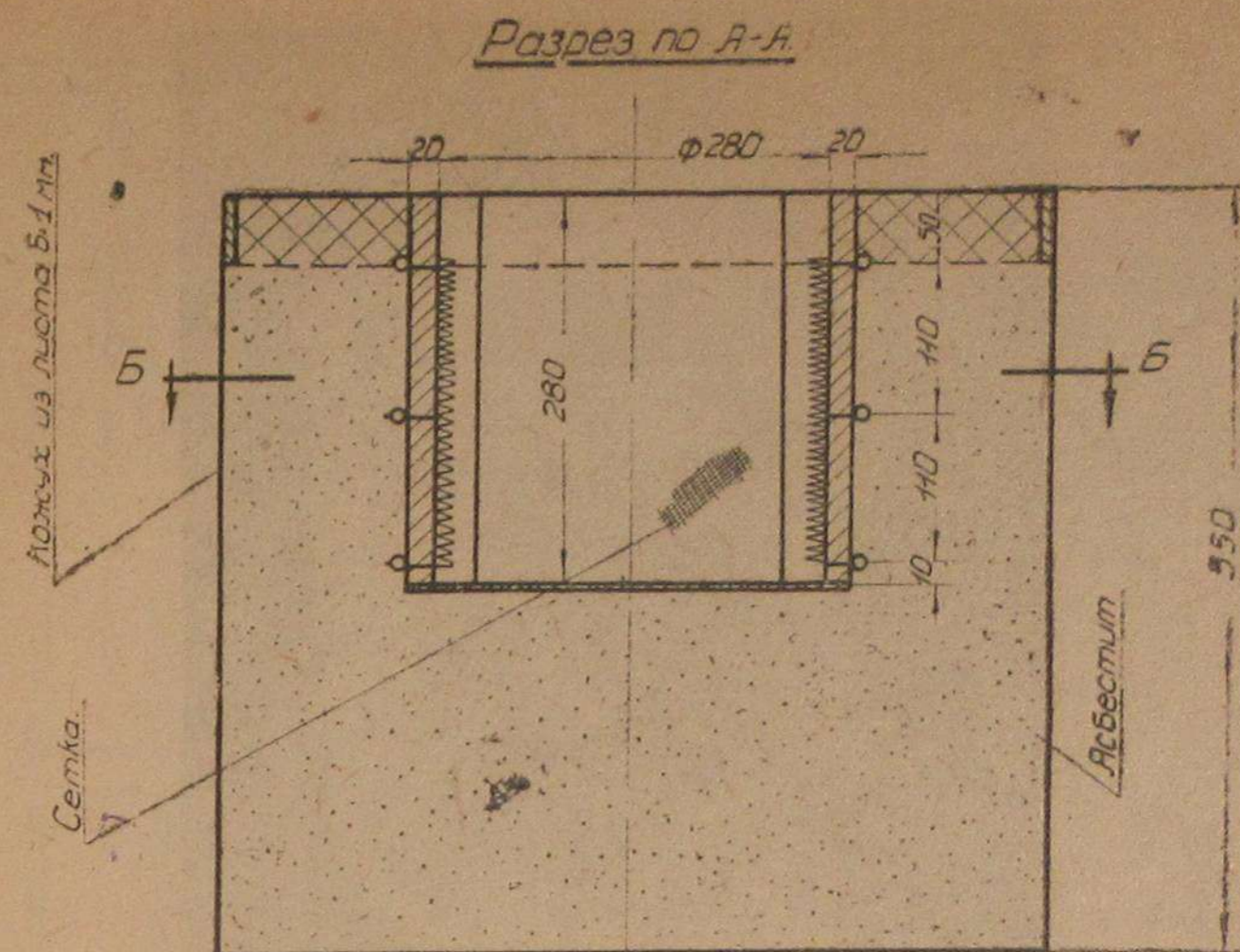
Температура нагреваемых изделий  $350^{\circ}$ .

Алитированные спирали для этой установки были изготовлены из железной проволоки диаметром 0,7 мм, длиной 10 м (12 шт. с последовательным соединением). Спирали были подвергнуты алитированию в активной смеси состава: 89,5% отработанного сплава Fe-Al-Cu + 10% нового сплава + 0,5%  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . Условия алитирования: прогрев до  $900^{\circ}$  — 2 часа, выдержка при этой температуре — 2 часа с последующим медленным охлаждением до  $500^{\circ}$ .

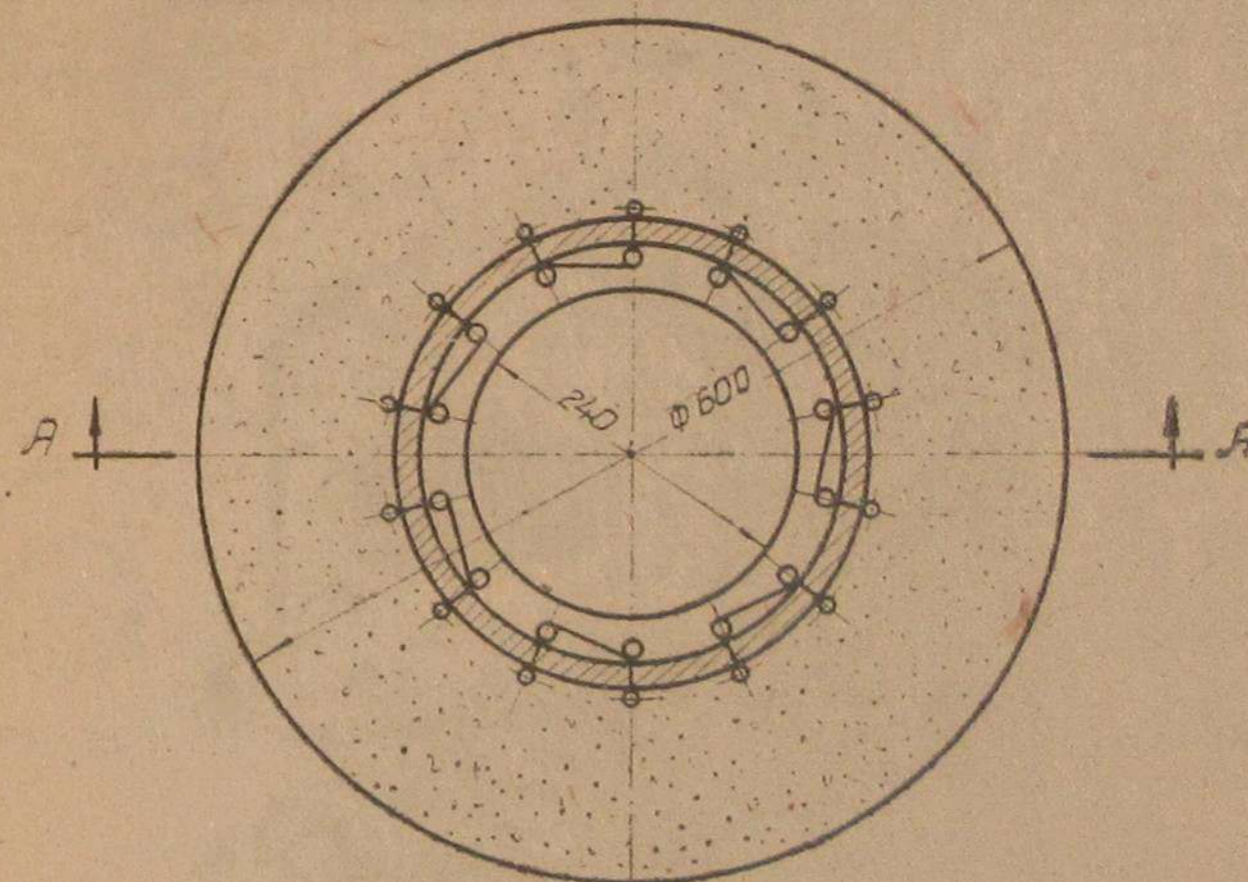
Все описанные печи смонтированы с расчетом включения в сеть без дополнительных реостатов.

#### 3. Алитирование пароперегревателей и обдувочных труб

Пароперегревательные и обдувочные трубы предназначались для модельной установки одной из электростанций СССР и технология алитирования была разработана по заданию ОРГРЭС.



Разрез по Б-Б



Фиг. 5

Трубы были цельнотянутые из углеродистой стали с содержанием 0,28% углерода, наружным диаметром 38 мм и стенками толщиной 3 мм. Длина их составляла 3 м.

Очистка труб. Трубы, подвергающиеся алитированию, проходят химическую очистку путем травления для удаления ржавчины, окалина и других загрязнений. Травление рекомендуется производить в 10—20-проц. водном растворе  $\text{HCl}$  или  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . При холодном травлении для-







торту. Концы реторты плотно закупориваются крышками или обмазкой из глины. Край трубы должен находиться от края реторты на расстоянии по крайней мере 150—200 мм и эта часть реторты должна также заполняться диффузионной смесью. В крышке реторты или где-либо у края трубы должно быть сделано отверстие диаметром 4—6 мм для выхода газов.

**Печь для алитирования.** Для алитирования этих труб была изготовлена весьма простая и удобная по конструкции печь с газовым нагревом. Камера нагрева имела размеры 400 × 600 × 400 мм и была снабжена с двух сторон 15 горелками. Свод печи состоял из секций и был съемный. Одновременно в печи помещались 3 реторты.

Чертеж печи представлен на фиг. 9.

**Процесс алитирования.** Смесь для алитирования состояла из 99,5% порошка сплава Fe-Al-Cu (42% Fe и 2,2% Cu) и 0,5%  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . Температурный режим процесса состоял из нагрева до 1000° в течение 2 час., выдержки при этой температуре 6 час. и медленного охлаждения с печью до 300—400°. По окончании процесса реторты выгружались из печи, охлаждались на воздухе, а затем распаковывались.

Последующий диффузионный отжиг труб не производился. Одновременно с трубами алитировался контрольный образец из того же металла. Алитированные трубы представлены на фиг. 10.



Фиг. 10

**Испытание на жаростойкость.** Образцы, отрезанные от трубы, были подвергнуты несколько раз нагреву в окислительной среде в газовой печи до 800—900°. Общая выдержка при максимальной температуре составила 200 час. Осмотр поверхности после испытания не обнаружил следов поверхностного разрушения и указывал на высокую жаростойкость труб. Эти трубы в количестве 5 штук были поставлены затем на испытание по назначению в естественных условиях. По прошествии месяца непрерывной работы котла был произведен осмотр труб. При осмотре пороков, относящихся к оценке жаростойкости, не было обнаружено.

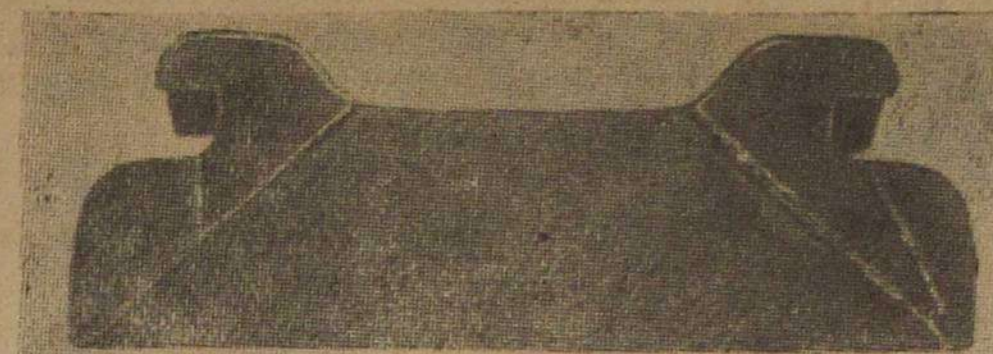
#### 4. Алитирование чугунных колосников

Эти колосники применялись в котлах с торфяными топками и служили звеньями непрерывной цепи, которая являлась одновременно транспортером торфа и подвижной колосниковой решеткой.

Перед алитированием колосники тщательно очищались пескоструем. Упаковка в ящики производилась по 15 штук в вертикальном положении с просветами в 15—20 мм. Смесь для алитирования состояла из 98% сплава Fe-Al-Cu и 2%  $\text{NH}_4\text{Cl}$ .

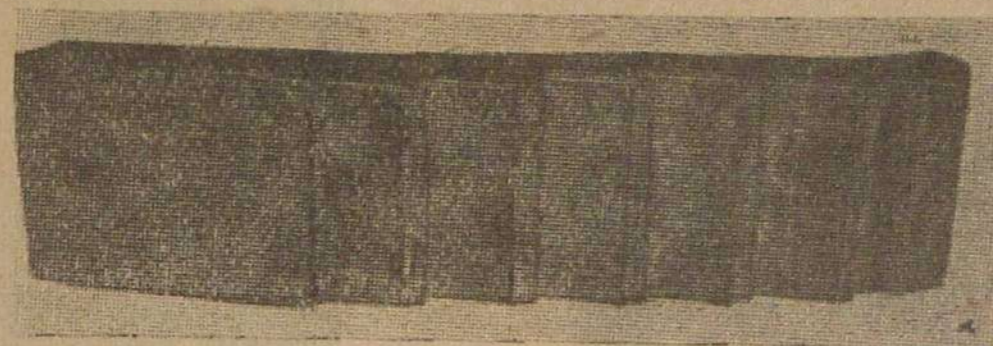
Алитирование проводилось в свежем сплаве, а также в сплавах с добавкой старого в отношениях 1:1, 1:2 и 1:3. Режим процесса был следующий: нагрев до 950—980° в продолжение 4 час., выдержка при этой же температуре 6 час. и медленное охлаждение, распаковка, отжиг при 900° в течение 3 час. В условиях эксплуатации колосники подвергаются попеременно нагреву и охлаждению в интервале 200—850°.

Для испытания было поставлено 250 колосников. Наблюдение за состоянием колосников производилось в течение около 6000 час. В то время как неалитированные колосники за это время показали местное окис-



Фиг. 11

ление и начали выходить из строя, все алитированные колосники имели хорошую неокисленную поверхность и ничем не отличались от исходного состояния (до испытания). Алитированные чугунные колосники показаны на фиг. 11 и 12.



Фиг. 12

#### 5. Алитирование различных деталей

а) По заказу одного завода была подвергнута алитированию железная реторта, предназначенная для нитроцементации инструмента из быстрорежущей стали. Размер реторты: диаметр 250 мм, высота 700 мм, толщина стенки 10 мм. Для алитирования применялась смесь: 99,5% Fe-Al-Cu (55% Al; 3,5% Cu) и 0,5%  $\text{NH}_4\text{Cl}$ .

Отработанной смеси было взято 75% и свежей 25%. Реторта алитировалась с упаковкой в ящик. Продолжительность алитирования составила 6 час. при 1050°. Диффузионный отжиг не применялся. На фиг. 13 представлена алитированная реторта.

б) При пиролизе керосина для получения цементационного газа применялись трубы-реторты из жароупорной стали.

Железные алитированные реторты не уступали ретортам из жароупорной стали и их жаростойкость при 850° была почти в 15—20 раз выше жаростойкости неалитированных реторт.

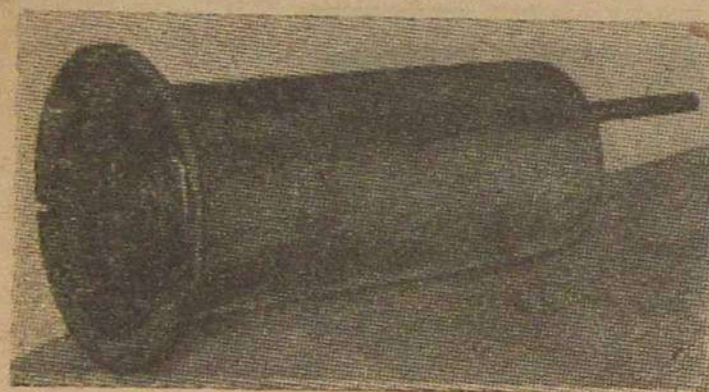
в) Были проведены опыты по алитированию оболочек для электротиглей, употребляемых для разлива силумина.

Опыты оказались удачными и показали возможность применения взамен оболочек из жароупорной стали («ЭЯ-1») оболочек железных алитированных. Алитированная оболочка меньше разъедалась силумином, чем железная, и была устойчивее в 5—10 раз. Толщина оболочки 2 мм. Алитирование проводилось при 1050—1000° в течение 3 час. в свежей смеси с содержанием 98% сплава Fe-Al-Cu и 2%  $\text{NH}_4\text{Cl}$ .

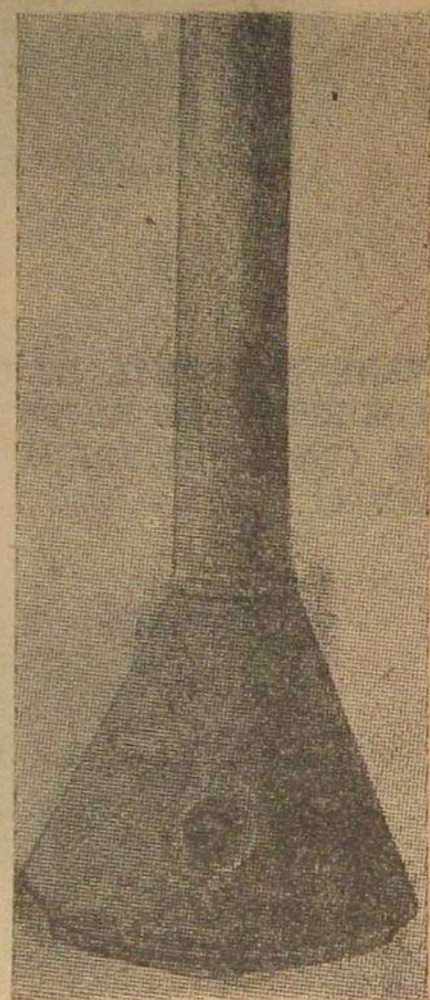
г) в целях экономии меди, применявшейся в газовых колонках для нагрева воды, по заказу одного из заводов местной промышленности



была разработана технология алитирования железных конусных трубок-колонок, которые раньше изготавливались из меди. Форма этих трубок приведена на фиг. 14. Эти трубки-колонок были изготовлены из тонкого листового железа (толщина листа 1 мм). Учитывая необходимость получения тонкого нехрупкого слоя, алитирование проводили в слабо активной смеси, состоявшей из 90 % отработанной и 10% свежей смеси при  $950^{\circ}$  в течение 1 часа без диффузионного отжига.

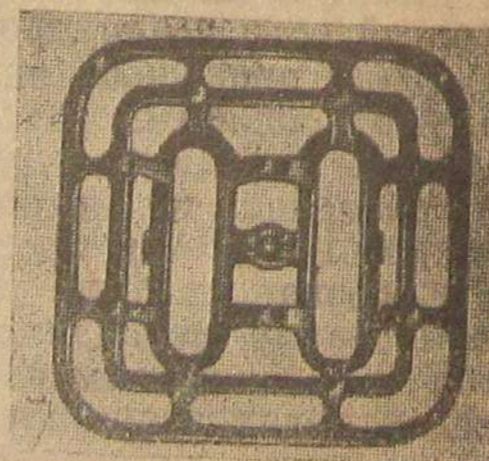
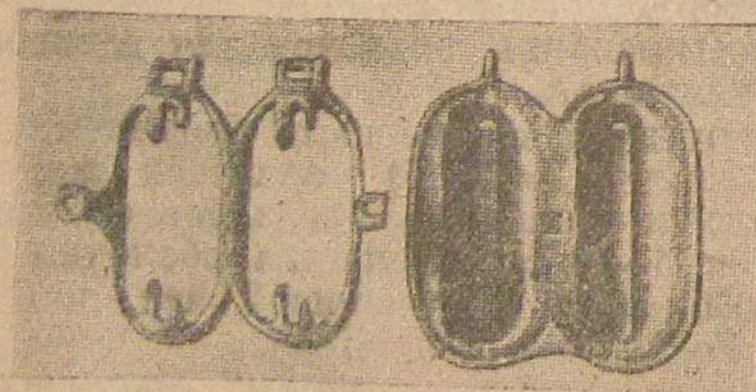
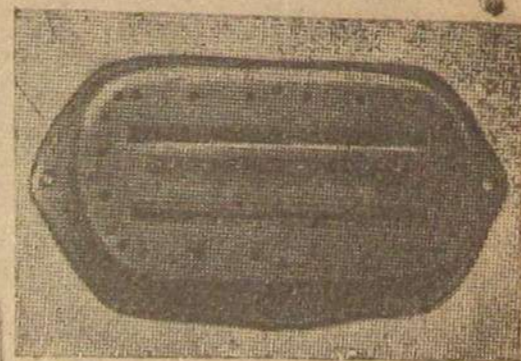


Фиг. 13



Фиг. 14

д) примусные горелки и детали керосинок (фиг. 15), изготовлявшиеся раньше из цветных металлов, были изготовлены из железа и подвергнуты алитированию.



Фиг. 15

После ряда испытаний остановились на следующем режиме алитирования:

1. Смесь сплава Fe-Al-Cu с добавкой 0,5%  $\text{NH}_4\text{Cl}$ .
2. Температура  $870-900^{\circ}$ . Продолжительность процесса 1 час.
3. Отношение отработанной смеси к свежей 9:1 и 4:1.

Указанный режим дает вязкий жаростойкий поверхностный слой металла.

е) В 1938 г. по запросу одного из заводов НКАП ЦНИИТМАШ предложил свой метод алитирования для железных коллекторов авиамоторов, взамен применявшихся тогда коллекторов из жароупорной стали марки ЭЯ-1.

Производственные испытания алитированных железных коллекторов показали весьма хорошие результаты и в настоящее время имеют повсеместное применение.

#### IV. РОЛЬ АЗОТА В ПРОЦЕССЕ ОБРАЗОВАНИЯ УЛУЧШЕННОГО АЛИТИРОВАННОГО СЛОЯ

Практика алитирования в порошках выработала условия введения в смесь порошков хлористого аммония.

Поставленные ЦНИИТМАШ опыты показали, что удовлетворительное качество алитированного слоя обеспечивается наличием азота, выделяющегося из хлористого аммония при его распаде в ящиках во время нагрева в процессе алитирования.

Азот, образующийся при нагреве, азотирует (нитрирует) поверхность сплавов железа. Жидкий алюминий не разъедает азотированную железную поверхность и диффундирует на меньшую глубину, чем в неазотированную поверхность, но зато образует хорошо пристающий к поверхности слой, а потому лучше защищающий поверхность от разрушения.

Следовательно, регулируя наличие азота в алитирующей среде, можно управлять процессом алитирования в направлении получения желательной защитной от окисления пленки.

Работы по выяснению этих условий ведутся.

#### ИНСТРУКЦИЯ

##### по алитированию стальных и чугунных изделий

Технологический процесс алитирования в основном состоит из следующих операций:

- 1) выплавки сплава и приготовления порошка;
- 2) подготовки изделий (пескоструйная очистка или травление);
- 3) упаковки изделий в ящик;
- 4) процесса алитирования;
- 5) диффузионного отжига.

##### 1. Выплавка Fe-Al и Fe-Al-Cu сплавов

1. Применяемый для алитирования сплав, получаемый из отходов дюрала, имеет следующий состав: 37-47% Fe, 2-4% Cu, остальное — алюминий с небольшими примесями Mn, Si и пр. В дюрале должен отсутствовать Zn. Помимо этого сплава может быть применен сплав из чистого Al и Fe.

2. Выплавка сплава Fe-Al-Cu и Fe-Al производится следующим образом. В сталеплавильную электропечь вначале загружаются обрезки или железный лом и расплавляются. Затем в расплавленную ванну добавляется чушковый Al или слитки отходов дюрала в требуемом по расчету количестве, с добавкой на угар 10-12% от расчетного веса. После расплавления добавок, наведения шлака и тщательного перемешивания сплав разливается в железные ящики, футерованные огнеупорным кир-



пичом. В литом состоянии сплав имеет излом светлосерого цвета с металлическим блеском. Сплав очень хрупкий и в холодном состоянии легко измельчается в порошок.

3. Измельчение сплава производится в шаровых мельницах. Средний поперечный размер зерен порошка сплава составляет около 0,5 мм.

4. В порошок добавляется 0,5—0,10% (по весу)  $\text{NH}_4\text{Cl}$  и смесь хорошо перемешивается.

5. При повторном использовании порошка добавляется 10—30% по весу свежего сплава и  $\text{NH}_4\text{Cl}$  в указанной пропорции.

## 2. Подготовка изделий к алитированию

1. Изделия, подлежащие алитированию, перед упаковкой в ящики очищаются путем обдувки кварцевым песком (пескоструйная очистка).

2. Поверхность, подлежащая алитированию, должна быть чистой, без ржавчины и других загрязнений.

3. Подлежащие алитированию изделия упаковываются в цементационный ящик, сваренный из листового железа толщиной 4—6 мм, с герметически закрывающейся крышкой.

4. На дно ящика насыпается слой порошка толщиной 30—40 мм и по верх изделий на 50—60 мм. Надо следить за тем, чтобы между изделиями был достаточный зазор — около 25—35 мм, в который насыпается алитирующий порошок.

5. Изделия загружаются в ящик рабочей поверхностью вниз.

6. Производится засыпка порошка слоями, каждый слой слегка утрамбовывается.

7. Поверхность порошка разравнивается, ящик покрывается железной крышкой без бортов и зазоры промазываются линитом (белая глина и тальк в отношении 3:1, замешанные до сметанообразного состояния в растворе жидкого стекла).

8. Крышка засыпается слоем чугушной стружки или песка до верхней крышки ящика (толщиной около 40—50 мм).

9. Ящик покрывается второй железной крышкой или же листовым асбестом и зазоры промазываются линитом. Верхняя крышка должна иметь отверстие (3—5 мм) для пропуска газа.

10. В каждый ящик загружаются образцы для проверки результатов процесса.

## 3. Процесс алитирования

1. После подготовки ящиков они загружаются в печь (с изделиями) таким образом, чтобы обеспечить наилучшее и всестороннее излучение на них тепла стенками печи и омовение их печными газами.

2. Подъем температуры в печи производится с нормальной скоростью в зависимости от размеров и типа печи.

3. При температуре около 150° производится выдержка около получаса для просушки и удаления влаги.

4. Температура печи постепенно повышается с таким расчетом, чтобы температура внутри ящиков достигла 975—1000°. При этой температуре изделия выдерживают 5—6 час., а возможно и более, в зависимости от заданной глубины алитирования.

5. По окончании выдержки прекращается топка печи и производится охлаждение печи вместе с изделиями до 500—400°.

6. При этой температуре ящики вынимаются из печи и производится разгрузка изделий при температуре около 100°.

7. Не допускается засорение ферроалюминиевого порошка песком, окатиной или глиной. Сплав употребляется только в сухом виде. При условии освежения старой смеси на 10—30% новой смесью через каждую

операцию в 8—12 час. использование отработанной смеси выгодно в течение процесса в первые 200 часов, т. е. на 16 операций и возможно даже более.

## 4. Диффузионный отжиг

1. Для ослабления хрупкости алитированного слоя необходимо произвести диффузионный отжиг.

2. Чугунные изделия требуют специальной упаковки. Упакованные в ящики и утрамбованные смесью песка с добавкой 10—15% сухого древесного угля изделия закрываются железной крышкой и зазоры промазываются линитом.

3. После такой подготовки ящики загружаются в печь для отжига.

4. Температура печи постепенно доводится до 900°. По достижении этой температуры производится выдержка в течение 3 час.

5. Выгрузка колосников производится при температуре ящиков не выше 500°.

6. Проверка результатов алитирования после диффузионного отжига производится по контрольным образцам, отожженным вместе с изделиями, по микроструктуре или же по их излому.

7. Глубина алитированного слоя непосредственно после алитирования может быть различной в пределах от 0,1 до 0,8 мм и более.

8. Не допускаются резкие перепады температур при нагревании и охлаждении; градиент перепада допускается в пределах 20—40°.

9. Загрузка на высокую температуру недопустима, так как алитирующая смесь спекается.

10. Алитированные изделия не должны подвергаться работе на истирание, вызывающей нарушение сплошности алитированного слоя и последующее активное окисление изделия.

11. При эксплуатации алитированные изделия не должны подвергаться ударам и толчкам, приводящим к повреждению алитированного слоя.

12. Алитированные изделия могут применяться при высоких температурах — 850—950°.

Редактор проф. докт. техн. наук К. Ф. Грачев

Гл. ред. инж. А. Н. Удальцов

Подп. к печати 24/IV—44 г. Зак. 187

Авт. л. — 1,98; уч. изд. л. — 2,16

Л52358. Тираж 4000 экз.

Типография Металлургиздата,

Москва, Цветной бульвар 30.