

Б $\frac{62-5}{377}$

П. П. Городнов

Повышение
ЖАРОСТОЙКОСТИ
СТАЛЬНЫХ
ИЗДЕЛИЙ
методом
АЛИТИРОВАНИЯ

М А Ш Г И З

П. Т. ГОРОДНОВ

Канд. техн. наук

Б $\frac{62-5}{377}$

ПОВЫШЕНИЕ
ЖАРОСТОЙКОСТИ
СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ
МЕТОДОМ АЛИТИРОВАНИЯ

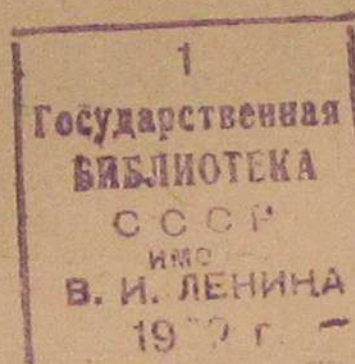


ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Москва 1962

В книге освещены прогрессивные способы алитирования и даны рекомендации по применению технологических процессов и организации участков по алитированию на заводах.

Книга предназначена для инженерно-технических работников, технологов и мастеров, занимающихся повышением жаростойкости металлов.



Рецензент канд. техн. наук И. С. Козловский

Редактор канд. техн. наук Н. Н. Качанов

Редакция литературы по холодной обработке металлов и станкостроению
Зав. редакцией инж. В. В. РЖАВИНСКИЙ

ВВЕДЕНИЕ

Повышение жаростойкости деталей, работающих при высоких температурах, а также различной стальной тары, предназначенной для термической обработки деталей, имеет важное значение.

Вследствие интенсивного износа таких деталей ежегодные потери металла составляют десятки тысяч тонн.

Известны два пути повышения жаростойкости стальных деталей: применение жаростойких сталей и нанесение защитных покрытий на детали из малоуглеродистой и жаростойкой стали. Наиболее эффективным следует считать второй путь.

Существует несколько способов защитного покрытия деталей металлами, главным образом, алюминием. Однако большинство способов имеет серьезные недостатки, мешающие широкому внедрению алитирования в промышленности.

В результате проведенного в научно-исследовательском институте технологии автомобильной промышленности НИИТавтопром исследования разработан прогрессивный технологический процесс алитирования, заключающийся в том, что алюминий наносится на деталь способом распыления, после чего слой алюминия покрывается жаростойкой предохранительной обмазкой, которая защищает его во время диффузионного отжига от окисления и стекания.

Испытание в производственных условиях процесса алитирования показало, что срок службы деталей из малоуглеродистой стали увеличивается в зависимости от температуры в 5—15 раз, а из жаростойких сталей при температуре 1150° — более чем в 10 раз.

1. ЖЕЛЕЗО И АЛЮМИНИЙ И ИХ СВОЙСТВА

Железо широко применяется как в технически чистом виде, так и в сплавах с другими элементами.

Известны четыре аллотропические модификации железа: α -модификация, устойчивая до температуры 768° , β -модификация, устойчивая в интервале температур $768-910^\circ$, γ -модификация, устойчивая в интервале температур $910-1390^\circ$, и δ -модификация, устойчивая в интервале температур $1390-1535^\circ$.

Железо обладает большим сродством к кислороду и потому легко окисляется, образуя с кислородом ряд окислов — закись железа или вюстит FeO , окись железа или гематит Fe_2O_3 и закись-окись железа или магнетит Fe_3O_4 .

Во влажном воздухе железо быстро ржавеет (окисляется).

При нагревании железа в атмосфере воздуха до температуры выше $140-150^\circ$ оно также быстро окисляется.

Алюминий в свободном виде был выделен датским физиком Эрстедом в 1825 г. Применяться в технике алюминий стал примерно 50—60 лет назад. Технически чистый алюминий (99,2%) плавится при температуре 658° .

Алюминий обладает большим сродством к кислороду, чем железо и многие другие элементы. Поэтому он восстанавливает большинство металлов из их окислов. Алюминий весьма легко окисляется на воздухе даже при обыкновенной температуре. Образующаяся на поверхности алюминия пленка окислов Al_2O_3 имеет высокую плотность, вследствие чего проникновение через нее атомов кислорода при нормальной и высоких температурах становится практически невозможным. По этой причине дальнейшее окисление алюминия (после образования первичной пленки окислов) прекращается. Тонкая пленка окислов предохраняет алюминий от распространения коррозии в глубь металла. Этим и объясняется высокая коррозионная стойкость алюминия и многих его сплавов при нормальной и повышенной температурах в атмосфере воздуха, печных газов, во влажной атмосфере морского воздуха, в водопроводной воде и т. д.

П. Д. Данков [1] установил, что за семь дней пребывания алюминия на воздухе при нормальной температуре на нем образуется пленка окислов толщиной 50—100 Å. При дальнейшем хранении толщина пленки практически не увеличивается. При нагреве алю-

миния до температуры плавления толщина образующейся пленки окислов не превышает 0,0002 мм (2000 Å).

В 30 годах нашего столетия исследователи установили, что жаростойкость чистого железа, углеродистых, хромистых и хромоникелевых сталей на железной основе резко возрастает при добавке к ним до 10% Al.

Так например, в 1932 г. было установлено, что добавка в технически чистое железо 2% Al существенно повышает его окалиностойкость [2]. Окалиностойкость железного сплава с 8% Al такая же, как и у сплава, состоящего из 80% Ni и 20% Cr.

В табл. 1 приводятся данные об относительной окалиностойкости бинарных железоалюминиевых сплавов при различных температурах, которые свидетельствуют о высокой жаростойкости железоалюминиевых сплавов [3].

Таблица 1

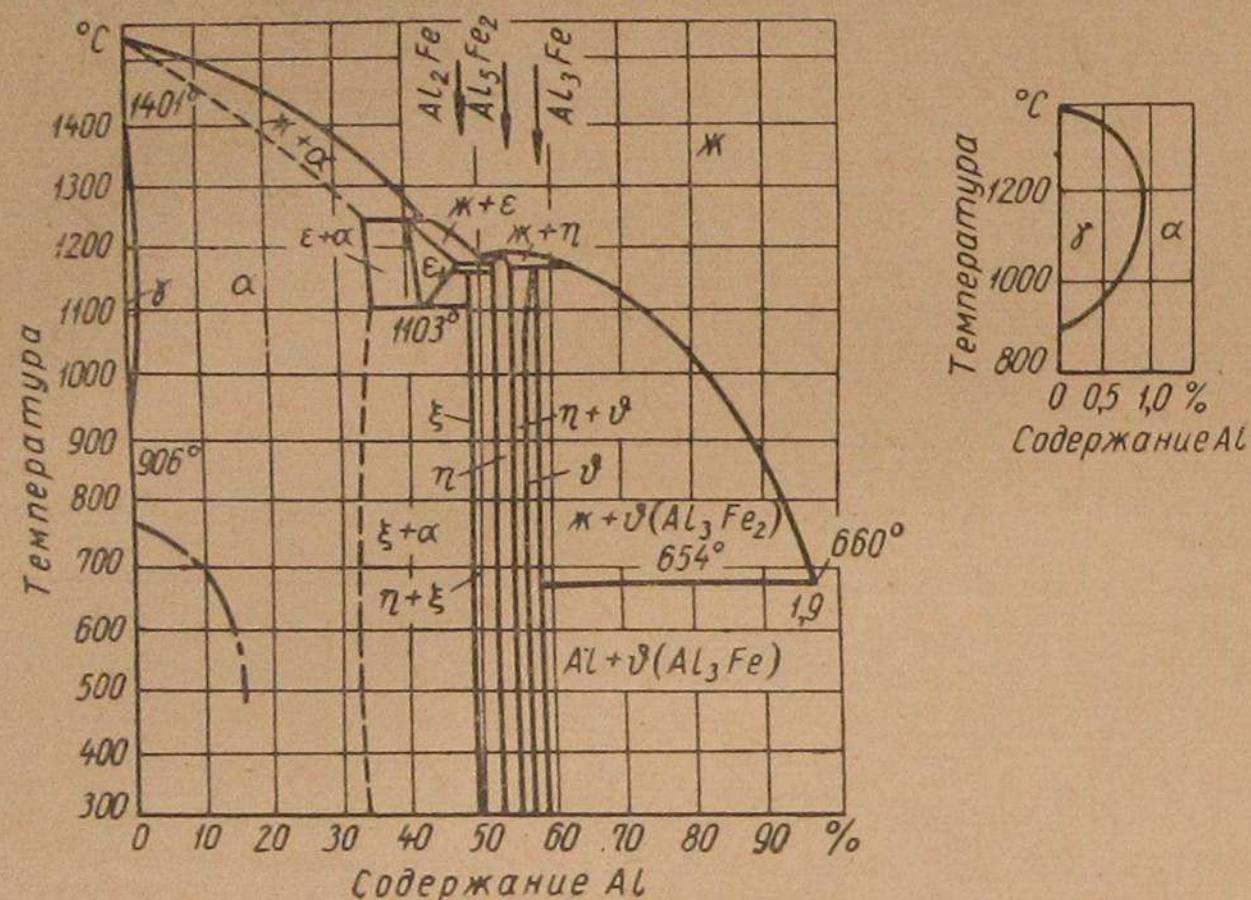
Содержание элементов в сплаве в %			Относительные потери на образование окалины в г/дм ² при температуре						
C	Al	Si	900° за 50 час.	1000° за 50 час.	1100° за 75 час.	1100° за 50 час.	1200° за 50 час.	1250° за 25 час.	1300° за 25 час.
0,06	3,01	0,16	$\frac{133}{397^*}$	$\frac{150}{241^*}$	946	344	—	—	—
0,05	4,95	0,10	$\frac{20}{54}$	$\frac{122}{152}$	626	257	—	—	—
0,04	5,84	0,16	$\frac{1,3}{3}$	$\frac{36,5}{18,4}$	20,7	140	—	—	—
0,03	7,33	0,14	—	—	—	$\frac{120}{152^*}$	—	—	—
0,08	8,75	0,13	$\frac{1,1}{1,5}$	$\frac{1,5}{3,2}$	3,2	$\frac{14}{8}$	2,1	—	—
0,04	10,30	0,23	$\frac{1,5}{1,0}$	$\frac{1,0}{1,1}$	1,4	$\frac{6,4}{2,3}$	1,0	6	21
0,10	11,16	0,11	—	—	1,1	$\frac{2,2}{1,2}$	—	—	1,4
0,06	13,07	0,17	$\frac{1}{1}$	$\frac{1,4}{1,1}$	1	$\frac{1,8}{1,3}$	1,3	1	1
0,04	15,02	0,13	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{1}$	1	$\frac{1}{1}$	1,2	1	1

* Числа, стоящие в знаменателе, — результат контрольных испытаний.

Упомянутые выше работы, а также ряд других работ, послужили толчком к широким исследованиям различных сплавов, содержащих алюминий в качестве обязательной добавки.

В настоящее время алюминий является обязательным компонентом всех наиболее широко известных жаростойких сплавов.

Диаграмма состояния сплавов системы железо — алюминий представлена на фиг. 1. Как видно из диаграммы, железо и алюминий при содержании последнего до 36% (при 1103°) образуют



Фиг. 1. Диаграмма состояния сплавов системы железо-алюминий.

непрерывный ряд твердых растворов алюминия в решетке α-железа, с замкнутой γ-областью при содержании 1,0—1,2% алюминия.

При содержании алюминия от 36 до 58% в сплаве появляются интерметаллические соединения, которые образуют ряд промежуточных областей. При более высоком содержании алюминия находится двухфазная область существования алюминия и интерметаллического соединения Al_3Fe .

Сплавы железа с алюминием при содержании последнего более 36% в технике практического применения не нашли.

Многочисленными исследованиями показано, что железные сплавы, содержащие до 5% Al, обладают высокой пластичностью и могут обрабатываться давлением как в горячем, так и в холодном состоянии; сплавы с содержанием алюминия от 5 до 16% при нормальной температуре хрупки и потому должны обрабатываться давлением только в нагретом состоянии, сплавы, содержащие алюминия от 16 до 36%, хрупки как при нормальной температуре, так и при высокой и потому они должны обрабатываться только резанием.

Широкое применение в технике нашли также тройные железо-хром-алюминиевые сплавы.

Наиболее полное исследование жаростойкости железо-хром-алюминиевых сплавов было проведено И. И. Корниловым [4], который показал, что оба элемента (хром и алюминий) повышают устойчивость железа против окалинообразования. Однако положительное влияние алюминия проявляется более заметно, чем положительное влияние хрома. Например, окалинотстойкость железо-хром-алюминиевого сплава, содержащего 50% Cr и 5% Al, в два раза ниже, чем окалинотстойкость такого же сплава, но содержащего 10% Cr и 10% Al.

И. И. Корнилов установил, что в тройных сплавах, так же как и бинарных, жаростойкость определяется преимущественным окислением алюминия. Им же установлено отрицательное влияние углерода, присутствующего в сплаве, на жаростойкость. С увеличением содержания в сплаве углерода с 0,03 до 0,60% жаростойкость сплава при температуре 1200° уменьшается более чем в три раза.

Из сказанного следует, что свойства (жаростойкость, пластичность, хрупкость, обрабатываемость) железо-алюминиевых и железо-хром-алюминиевых сплавов определяется их составом и, главным образом, содержанием алюминия.

II. МЕТОДЫ АЛИТИРОВАНИЯ

АЛИТИРОВАНИЕ В ПОРОШКООБРАЗНЫХ СМЕСЯХ

Под алитированием понимается процесс поверхностного насыщения стальных и чугунных изделий алюминием для повышения их жаростойкости.

Алитирование в порошкообразных смесях известно с 1915 г., когда в США был взят патент на этот метод, называвшийся «калоризацией» [5].

В СССР первые работы по применению этого метода были проведены в 1927—1928 гг.

Существует много разновидностей методов алитирования, различающихся лишь деталями практического осуществления.

При алитировании в порошкообразных смесях изделия укладываются в специальные ящики, засыпаются алюминийсодержащим порошком, плотно упаковываются и подвергаются нагреву при 900—1150° в течение 20—100 час. В качестве алюминийсодержащей смеси применяется либо смесь порошка алюминия с глиноземом (для предотвращения сплавления между собой частиц алюминия) и графитом, либо смесь порошкообразного железоалюминиевого сплава (ферроалюминия) с инертными веществами (каолин, глинозем, магнезит и т. п.). Для интенсификации процесса насыщения в алюминийсодержащую смесь добавляют 0,5—2% хлористого аммония NH_4Cl [6] или соляной кислоты HCl .

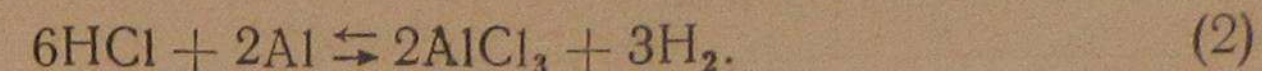
Насыщение стали алюминием по данному методу состоит из следующих процессов: образования активной газовой среды, содержащей хлорид алюминия; взаимодействия хлорида алюминия с поверхностью изделия; диссоциации хлорида алюминия с выделением атомарного алюминия, поглощения поверхностью изделия атомов алюминия и диффузии атомов алюминия в глубь алитированного изделия.

При высокой температуре, хлористый аммоний, входящий в состав смеси, диссоциирует, превращаясь в аммиак и хлористый водород по реакции

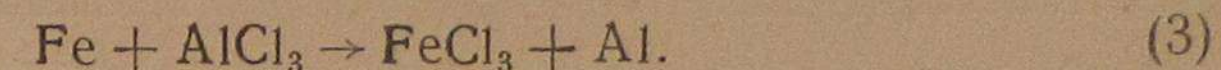


Хлористый водород HCl , находящийся при температуре алитирования в парообразном состоянии, взаимодействует с алюминием,

входящим в состав алитировочной смеси, с образованием хлорида алюминия по реакции



Хлорид алюминия AlCl_3 , находясь в контакте с поверхностью алитированного изделия, взаимодействует с ним по реакции:



Образующиеся по реакции (3) атомы алюминия поглощаются поверхностью изделия и диффундируют в изделие. Освободившийся хлор вновь взаимодействует с алюминием, образуя хлорид алюминия.

Аммиак, образовавшийся по реакции (1), распадается на азот и водород по реакции



Азот и водород, образовавшиеся при распаде аммиака, предохраняют изделие от окисления.

Алитированные по этому способу топливники газогенераторных тракторов и автомобилей показали высокую жаростойкость [7].

В ЦНИИТМАШе [8] проводилось алитирование изделий из малоуглеродистой стали (сталь 20, 30) и чугуна в смеси следующего состава: 37—47% Fe, 2—4% Si, остальное алюминий и небольшое количество марганца и кремния и 0,5—2% NH_4Cl . В качестве алюминийсодержащего вещества применялся ферроалюминий.

В общем случае технологический процесс твердого алитирования состоит из следующих основных этапов: выплавка сплава и приготовление порошка, подготовка изделий (поверхности) для алитирования, укладка в тару (ящики) изделий и их упаковка, нагрев и выдержка при заданной температуре (собственно алитирование), диффузионный отжиг и контроль качества.

Металлографические исследования диффузионного слоя, полученного при твердом алитировании малоуглеродистой стали при 950—1000° в течение 3—6 час., показали, что слой насыщения представляет собой твердый раствор алюминия в α -железе [8]. Этот слой граничит с переходной зоной, непосредственно примыкающей к сердцевине изделия, имеющей структуру, обычную для перегретого состояния.

Содержание алюминия в α -фазе после алитирования может колебаться в пределах 20—36%. После диффузионного отжига содержание алюминия снижается до 15—20% вследствие диффузии его в глубь металла.

Глубина слоя и содержание алюминия в диффузионном слое зависят от температуры и длительности алитирования, от температуры и длительности отжига, от качества подготовки поверхности изделия, от состава и активности алитировочной смеси.

Влияние температуры алитирования (выдержка постоянная и равная 4 час.) на глубину алитирования может быть выражено следующими данными:

Температура алитирования в °С	900	950	1000	1100	1200
Глубина диффузионного слоя в мм	0,18	0,24	0,4	0,7	1,06

При увеличении выдержки более 4 час. глубина слоя возрастает, но одновременно с этим происходит уменьшение содержания алюминия в наружных слоях вследствие диффузии его в глубь металла.

Установлено, что достаточно высокая жаростойкость стальных алитированных изделий обеспечивается лишь при условии, что содержание алюминия в поверхностном слое будет не менее 12%.

При содержании алюминия менее 12% жаростойкость алитированного слоя ослабевает.

Очевидно, жаростойкость алитированных изделий зависит от условий (температуры, длительности) диффузионного отжига.

При повышении температуры алитирования до некоторой температуры скорость притока атомов на поверхность изделия увеличивается более интенсивно, чем скорость диффузии их (атомов) в глубь железа (стали), вследствие чего содержание алюминия в поверхностном слое изделия растет. При дальнейшем повышении температуры и продолжительности диффузионного отжига глубина насыщенного слоя увеличивается за счет ускорения диффузии атомов алюминия, вследствие чего снижается содержание алюминия в поверхностном слое изделия, т. е. происходит выравнивание содержания алюминия по глубине слоя.

Данные о влиянии температуры диффузионного отжига на глубину алитированного слоя и на жаростойкость стального изделия (0,20—0,30% С) приведены в табл. 2.

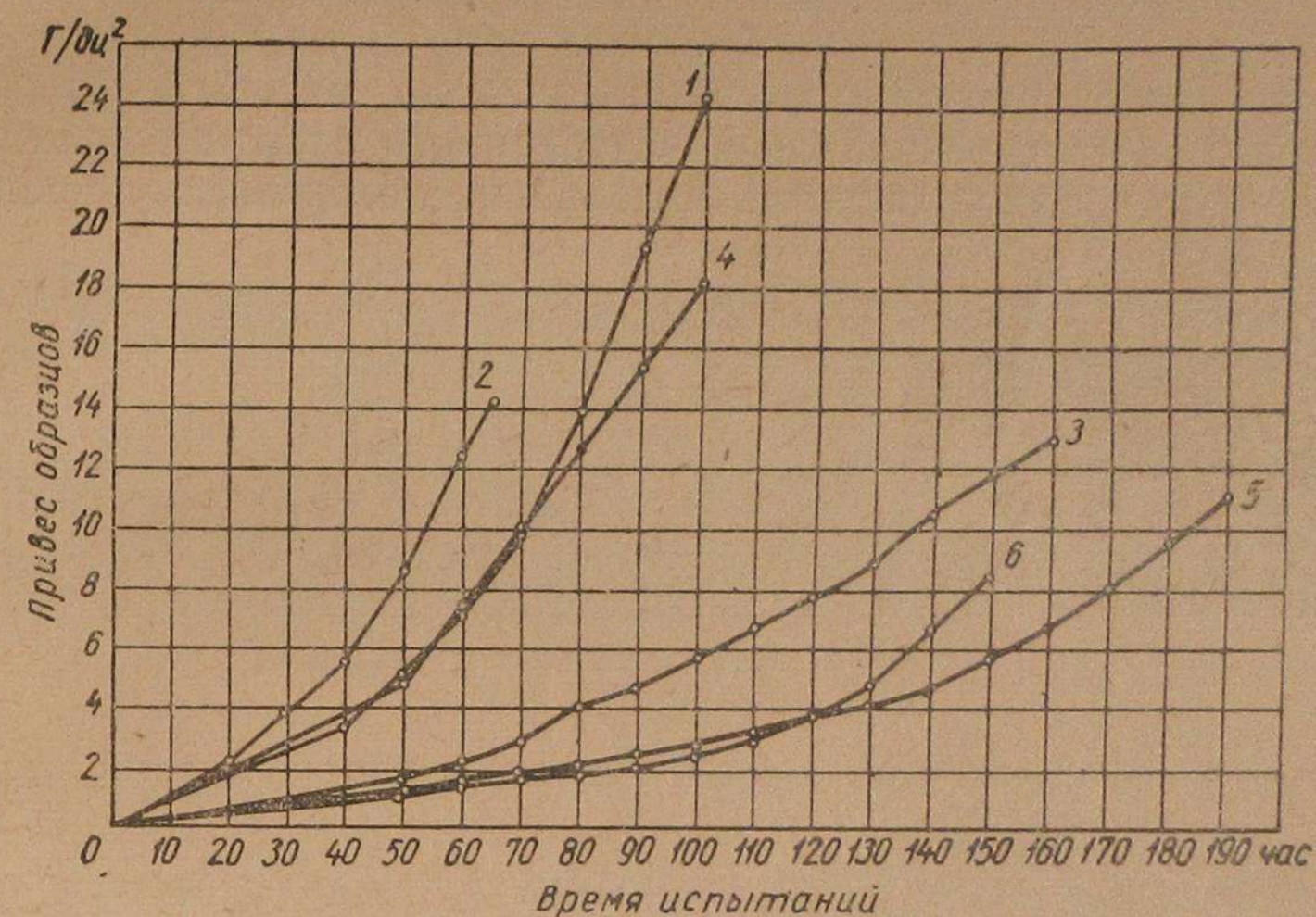
Таблица 2

Температура диффузионного отжига в °С при выдержке в течение 4 час.	Глубина диффузионного слоя (после отжига) в мм	Результаты испытания на жаростойкость при 1000° в окислительной атмосфере	
		Время до появления окисления в час.	Глубина диффузионного слоя после испытания в мм
900	0,11	22	0,22
950	0,16	48	0,41
1000	0,26	66	0,56
1050	0,47	117	0,82

Из таблицы видно, что с повышением температуры отжига растет глубина диффузионного слоя и что с увеличением глубины алитированного слоя возрастает жаростойкость.

Для увеличения глубины алитированного слоя в отдельных случаях применяют дополнительный отжиг при более высокой температуре.

Результаты сравнительных испытаний алитированных образцов из стали марки 20 на жаростойкость приведены на графике



Фиг. 2. Жаростойкость алитированных образцов (алитирование проводилось в порошке 98% ферроалюминия и 2% NH_4Cl); длительность алитирования 4 часа:

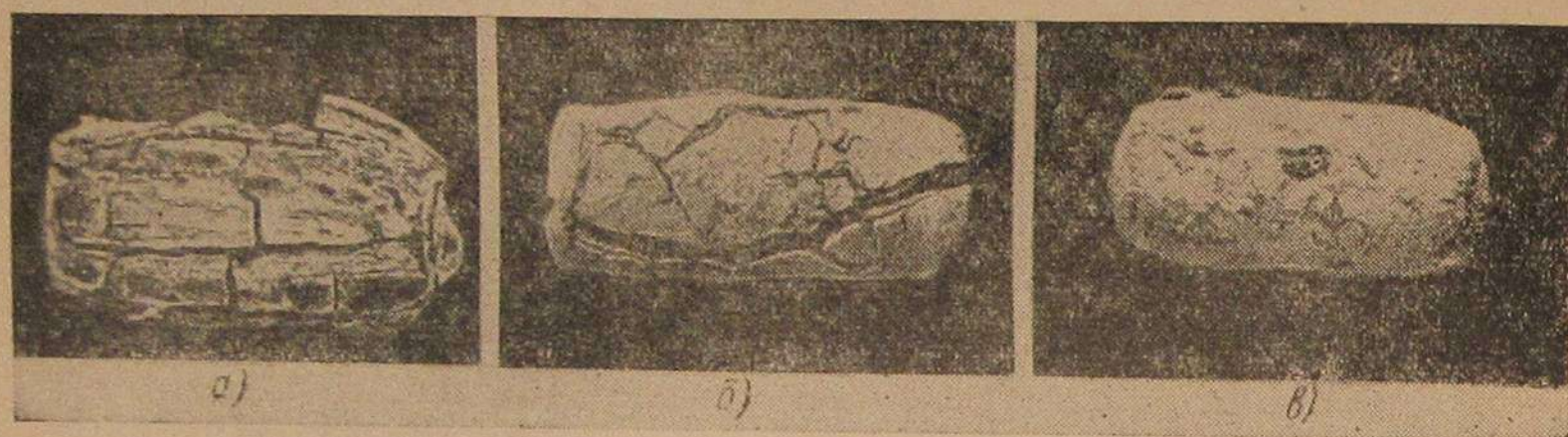
1 — алитирование при 900°, без диффузионного отжига (глубина слоя 0,18 мм), 2 — алитирование при 900°, диффузионный отжиг при 1200° в течение 4 час. (глубина слоя 0,7 мм), 3 — алитирование при 900°, диффузионный отжиг при 950° в течение 4 час. (глубина слоя 0,28 мм), 4 — алитирование при 1200°, диффузионный отжиг при 1200° в течение 4 час. (глубина слоя 1,8 мм), 5 — алитирование при 1000° без отжига (глубина слоя 0,30 мм), 6 — алитирование при 1000°, диффузионный отжиг при 1000° в течение 4 час. (глубина слоя 0,5 мм).

фиг. 2. Алитирование проводилось в порошке, состоящем из 98% ферроалюминия и 2% NH_4Cl . Длительность алитирования 4 час. Из графика видно, что наибольшей жаростойкостью обладают образцы, алитированные при 1000° (кривые 5 и 6). Чем больше глубина диффузионного слоя, тем выше жаростойкость.

После испытаний на жаростойкость образец с малой глубиной диффузионного слоя имеет внешний вид, приведенный на фиг. 3, а. Вся поверхность образца покрыта окалиной, образование которой начинается одновременно по всей поверхности. При большей глубине диффузионного слоя (1,5—2,0 мм) образцы также обладают низкой жаростойкостью (фиг. 2, кривая 4). Это объясняется тем, что при нагреве образца диффузионный слой растрескивается и

дальнейшее окисление под слоем разрушает основной металл, обладающий низкой жаростойкостью. Внешний вид образца с глубиной диффузионного слоя 2,0 мм после испытания на жаростойкость показан на фиг. 3, б. Вдоль образца идет глубокая и широкая трещина.

У образцов с глубиной диффузионного слоя 0,6—0,8 мм окисление образца начинается по всей поверхности. При этом растрескивание диффузионного слоя наступает через значительно больший промежуток времени после начала нагрева, чем у образцов глубиной слоя 1,5—2,0 мм. Внешний вид таких образцов после испытания на жаростойкость приводится на фиг. 3, в. Аналогичный характер растрескивания диффузионного слоя наблюдается и на поверхности алитированных изделий после их эксплуатации.



Фиг. 3. Внешний вид алитированных образцов после испытания на жаростойкость.

В работе [22] было исследовано влияние алитирования на жаростойкость лопаток газовых турбин, изготовленных из аустенитной стали. Алитирование лопаток, изготовленных из стали марок ЭИ434, ЭИ395 и ЭИ417, проводилось в смеси, состоящей из 60% порошкообразного алюминия, инертной массы и 1% NH_4Cl . Лопатки, изготовленные из стали марок ЭИ61 и ЭИ673, алитировались в смеси, состоящей из алюминия, металлического хрома (в разных количествах) и 1% NH_4Cl .

Алитированные лопатки подвергались диффузионному отжигу при температуре 1050° в течение 6 и 8 час.

Алитирование лопаток в смеси, состоящей только из алюминия, инертной массы и 1% NH_4Cl , повысило жаростойкость лопаток в 2—3 раза, а во втором случае в 3—4 раза.

Практика показывает, что наибольшей жаростойкостью обладает алитированный слой, содержание алюминия в котором достигает 32—33%.

На основании литературных данных и результатов собственных исследований можно рекомендовать следующие условия алитирования: алитирующая смесь — 98% порошка железоалюминиевого сплава; 2% хлористого аммония; температура алитирования 980—1050°, выдержка после прогрева ящика 8—12 час.

При применении каолина в качестве инертной массы, когда вместо железоалюминиевого используется алюминиевый порошок,

необходимо стремиться к тому, чтобы общее содержание алюминия в алитирующей смеси было не менее 38—40%. Если содержание алюминия в смеси будет ниже, то образующийся при алитировании диффузионный слой будет обеднен по содержанию алюминия и его жаростойкость будет понижена.

Данные о сравнительной жаростойкости некоторых сталей, испытанных при различных условиях, приводятся в табл. 3 [5].

Таблица 3

Состав испытанной стали в %				Условия испытания					
				Нагрев в течение 1000 час. в атмосфере печи при температуре		Нагрев при 650° в течение 24 час. в атмосфере сернистого водорода			
				595°С	650°С	Увеличение веса образцов в мг/см ²			
С	Мп	Cr	Прочие элементы	не алитированных	алитированных	не алитированных	алитированных	не алитированных	алитированных
0,08—0,18	—	18	8 Ni	—	—	1,1	0,6	36,5	0,1
0,08—0,18	0,30—0,60	5	1 W	—	—	17,5	1,0	175,6	0,5
0,08—0,18	0,30—0,60	5	0,50 Mo	16,6	—	36,6	0,8	172,8	1,3
0,08—0,18	0,30—0,60	5	—	—	—	39,5	0,6	183,4	0,5
0,08—0,18	0,30—0,60	—	1 Mo	35,3	—	83,6	1,0	—	—
0,08—0,18	0,30—0,60	—	1,5 Mo	35,4	1,3	—	—	—	—
0,08—0,18	0,30—0,60	2	0,5 Mo	21,4	—	—	—	124,3	0,5
0,08—0,18	0,30—0,60	1,25	0,5 Mo	19,9	1,5	—	—	101,3	0,7
0,08—0,18	0,30—0,60	1,75	0,5 Mo	37,2	—	—	—	—	—
0,08—0,18	0,30—0,60	—	0,5 Si	41,0	4,3	—	—	173,5	0,6
0,08—0,18	0,30—0,60	—	0,5 Mo	—	—	—	—	109,0	0,3

Из таблицы следует, что алитирование является весьма эффективным способом повышения жаростойкости стали. Оно особенно эффективно повышает жаростойкость стали при воздействии высокой температуры и сернистого водорода.

Качество алитированного слоя и, следовательно, его жаростойкость существенно зависят от тщательности подготовки поверхности изделия для алитирования и от тщательности проведения других подготовительных операций.

С поверхности алитируемых деталей должны быть удалены грязь, окалина, масло, смазка, ржавчина и т. п. Очистка поверхности может быть осуществлена травлением в кислотах, пескоструйной очисткой или дробеструйной обработкой. После травления детали должны быть тщательно промыты в горячей и холодной (проточной) воде.

Удаление жировых пятен, остатков смазки и т. д. производится путем промывки деталей в горячей воде, горячих содо-

вых растворах или с помощью растворителей (бензин, бензол и т. п.).

Перед укладкой в ящики для алитирования детали должны быть тщательно просушены.

Применяемые для алитирования ящики (короба) обычно изготавливаются из жаростойкой стали. На дно ящика перед укладкой деталей насыпается слой алитирующей смеси толщиной не менее 25—30 мм.

Изделия укладываются так, чтобы расстояния между ними и стенками ящика было не менее 25—30 мм. Алитирующая смесь должна быть одинаково равномерно и плотно утрамбована. Над поверхностью алитируемых деталей также должен быть насыпан слой алитирующей смеси толщиной не менее 25—30 мм.

Герметичность упаковки алитируемых деталей обеспечивается применением двойных крышек, которые обмазываются глиной. Перед посадкой ящиков в печь глина должна быть просушена на воздухе.

Загрузка ящиков в печь обычно производится при температуре 500—700°. Время прогрева ящиков и подъема температуры от температуры посадки до температуры насыщения (980—1050°) определяется термической мощностью печи, размерами ящика и количеством алитируемых деталей.

Ящики с алитируемыми деталями охлаждаются (после выдержки) вместе с печью до 600—700° и затем охлаждаются на воздухе.

Распаковка ящиков должна производиться после их охлаждения не менее чем до 300—400°, так как распаковка при более высоких температурах нежелательна из-за окисления смеси и загрязнения атмосферы цеха газами, выделяющимися из алитирующей смеси.

После распаковки алитированные детали подвергаются диффузионному отжигу при температуре 980—1050°. Упаковка деталей не применяется. Длительность отжига определяется глубиной диффузионного слоя, который необходимо получить на деталях, и количеством алитируемых деталей, одновременно загружаемых для отжига.

Качество алитированного слоя проверяется внешним осмотром, послойным химическим (или спектральным) анализом (определяется содержание алюминия в слое) и металлографическим анализом (однородность и глубина слоя). Для определения химического состава и глубины слоя применяются образцы-свидетели, помещаемые в ящики одновременно с алитируемыми деталями.

Алитирование в порошкообразных смесях имеет следующие недостатки: большой и нерациональный расход железоалюминиевого сплава, значительную длительность, большую трудоемкость и трудность регулирования процесса, необходимость удаления паров кислоты, аммиака.

АЛИТИРОВАНИЕ В РАСПЛАВЛЕННОМ АЛЮМИНИИ

Сущность этого способа заключается в следующем: алитируемая деталь погружается в расплавленный алюминий (в котором растворено 6—8% Fe) при температуре 700—800° и выдерживается в течение 45—90 мин., после чего следует диффузионный отжиг при 900—1150°.

Глубина диффузионного слоя, получающегося по этому методу, колеблется в пределах 0,2—0,35 мм.

Жидкостное алитирование было подробно изучено Ф. Г. Никоновым [9].

Для обеспечения успешного алитирования в расплавленном алюминии необходимо правильно подготовить поверхность детали и не допускать образования на поверхности расплавленной ванны пленки окислов.

Проверка этого способа алитирования, проведенная на камерах газификации газогенераторного трактора ГБ-58 на Волгоградском тракторном заводе показала, что он не обеспечивает достаточную жаростойкость.

Метод жидкостного алитирования имеет следующие недостатки: необходима более тщательная подготовка поверхности детали; перенасыщение поверхности детали алюминием, имеющее место при этом методе, вызывает хрупкость алитированного слоя, низкую стойкость стальных тиглей, в которых плавится алюминий, неизбежное растворение в жидком алюминии стальных деталей, погружаемых в него, и обильное налипание алюминия на поверхность деталей.

Указанные недостатки и сравнительно невысокая жаростойкость алитированных деталей привели к тому, что рассматриваемый метод в нашей стране не нашел широкого применения в промышленности; этот метод применяется главным образом для алитирования чехлов термопар и кокилей, применяемых при литье цветных металлов.

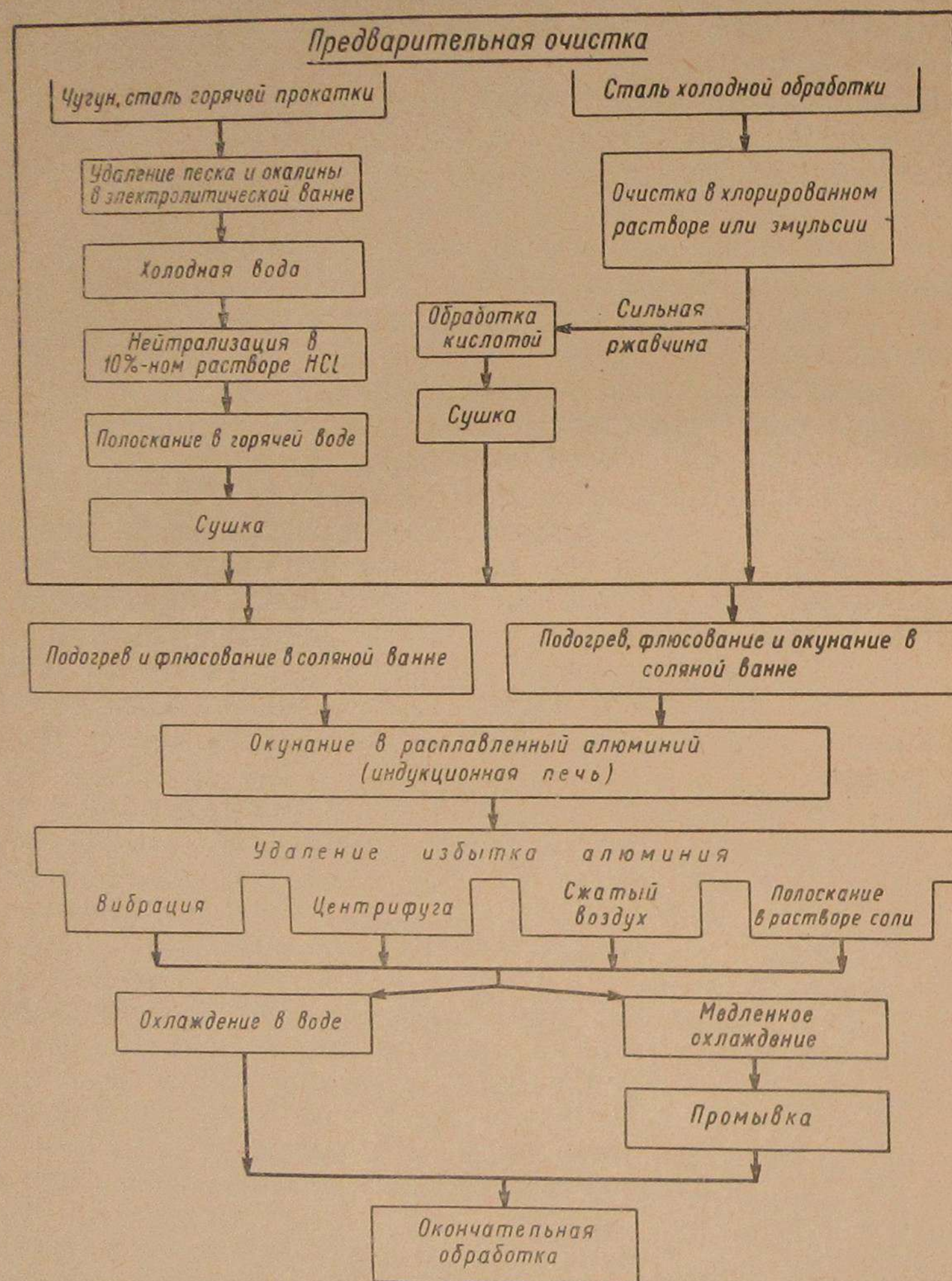
За границей, особенно в США, рассматриваемый метод нашел промышленное применение под названием «Алдип». Исследовательская лаборатория фирмы Дженерал Моторс [10] осуществляет нанесение алюминия на деталь также способом окунания последнего в расплавленный алюминий, но с применением специальных флюсов. Схема технологического процесса алитирования по методу «Алдип» приведена на фиг. 4.

Предварительная очистка стали осуществляется различными способами. Выбор этих способов в основном зависит от чистоты поверхности и материала детали, подвергаемой алитированию.

Сварные конструкции подвергаются пескоструйной обработке. Относительно чистые детали подвергаются только обезжириванию, после чего покрываются алюминием без дополнительной подготовки поверхности. Детали, сильно прокорродировавшие, обязательно протравливаются кислотой. Поверхностная пленка окислов, образующаяся после предварительного травления, раство-

ряется в подогретом флюсе и потому не оказывает отрицательного влияния на процесс алитирования.

Подогрев и флюсование стальных деталей производятся в ванне при 700—720°.

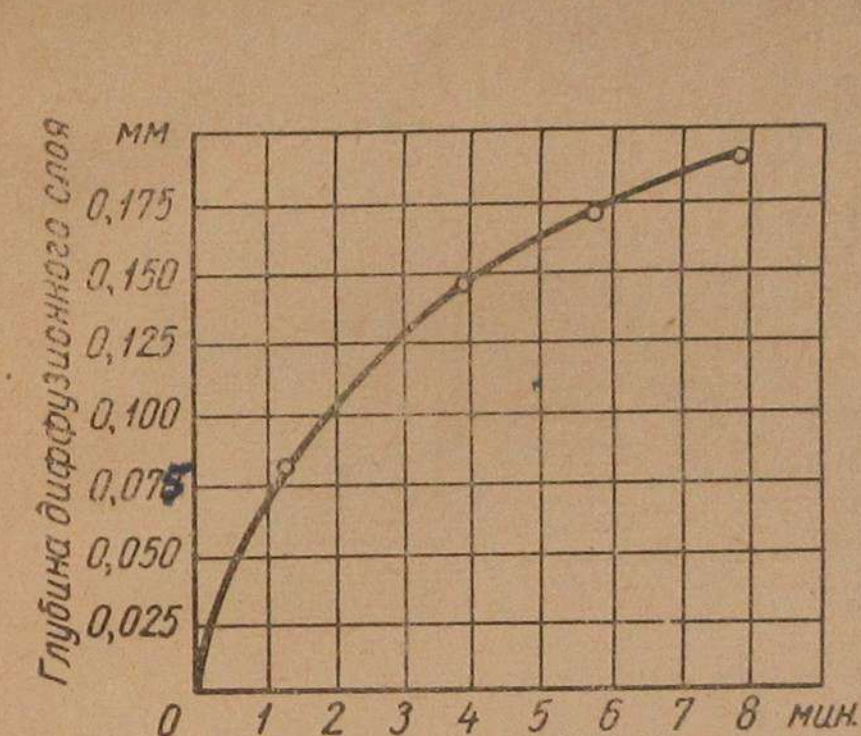


Фиг. 4. Схема алитирования по методу «Алдип».

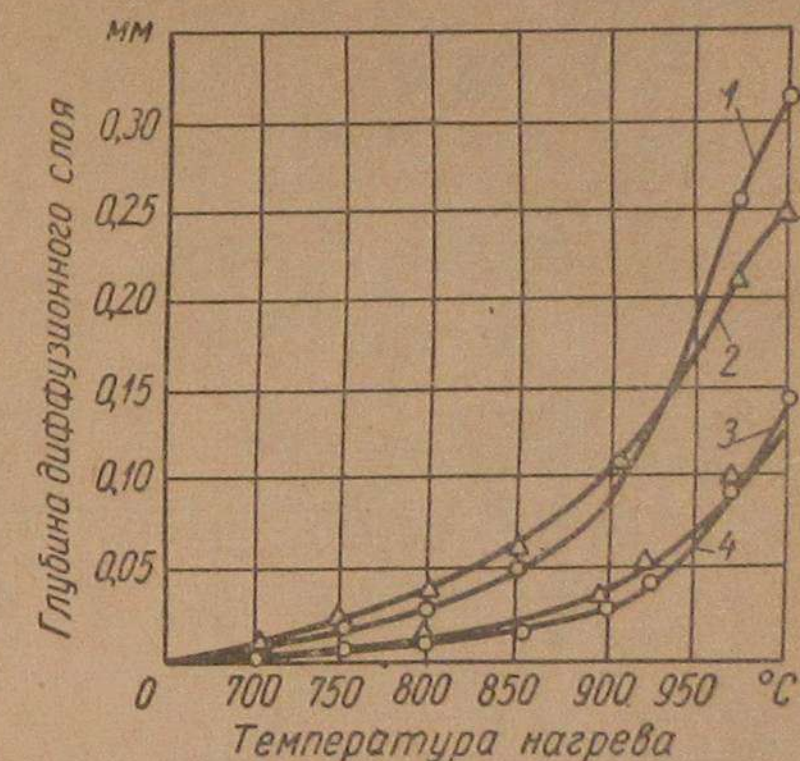
На поверхности деталей после окунания остается «лишний» алюминий, который удаляется различными способами. Наиболее удобным считается нагрев в соляных ваннах с последующим обдуванием горячим воздухом.

Однородность покрытия и глубина диффузионного слоя алюминия зависят от качества подготовки поверхности, продолжительности окунания, равномерности нанесения алюминия, состава алюминия, температуры и времени диффузионного отжига.

Зависимость глубины диффузионного слоя от времени пребывания в расплавленном алюминии приводится на фиг. 5. Из графика видно, что с увеличением времени пребывания детали в расплавленном алюминии глубина диффузионного слоя возрастает. Изменение глубины диффузионного слоя от температуры и времени пребывания деталей в расплавленном алюминии приводится на фиг. 6. С повышением температуры и времени пребывания в ванне глубина диффузионного слоя возрастает.



Фиг. 5. Зависимость глубины диффузионного слоя от времени алитирования (температура алитирования 850°, материал — сталь Ст. 10).



Фиг. 6. Зависимость глубины диффузионного слоя от температуры алитирования (материал — сталь Ст. 10): 1, 2 — длительность нагрева 4 час., 3, 4 — длительность нагрева 1 час.

Фирма Дженерал Моторс применяла этот способ алитирования для повышения жаростойкости впускных и выпускных клапанов автомобильных двигателей.

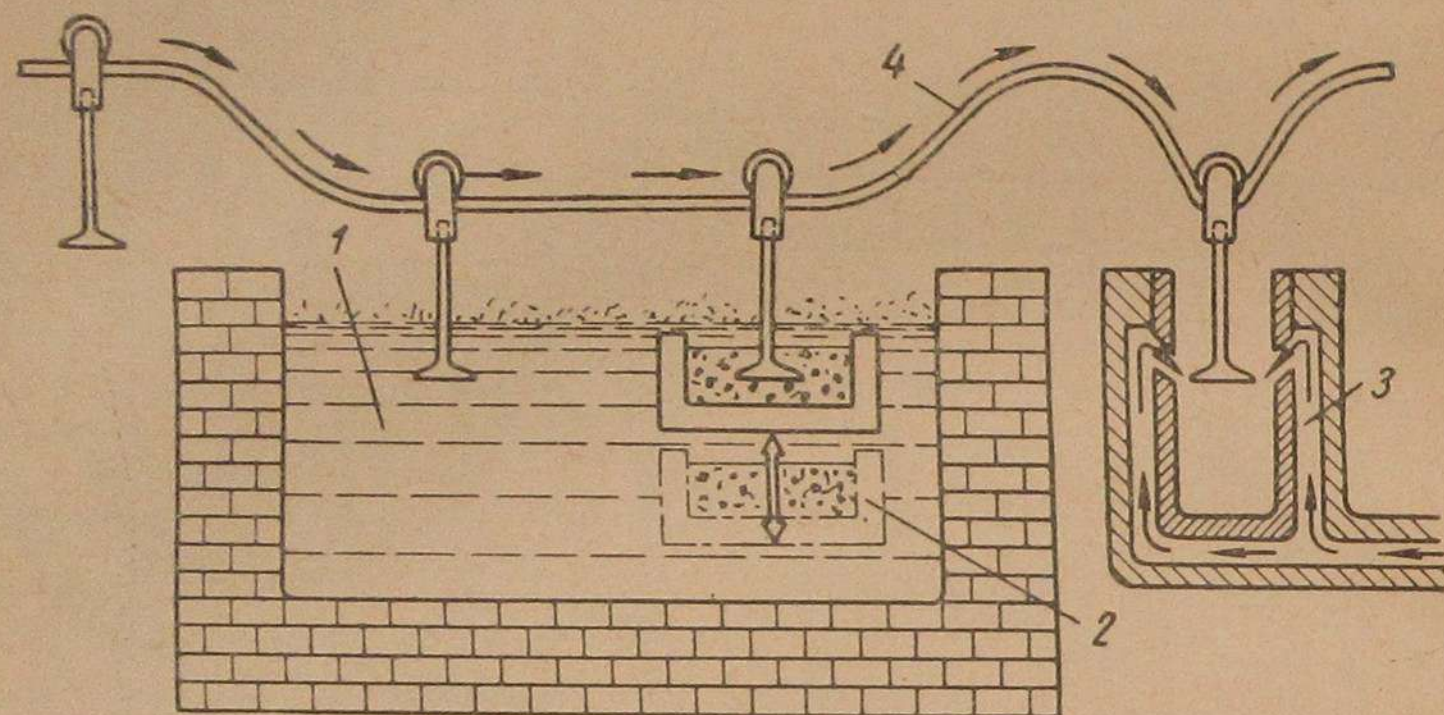
Процесс «Алдип» обеспечивает получение гладкого тонкого покрытия алюминием без искривления стержня клапана. Клапаны подвергаются покрытию алюминием после окончательной обработки седел и шлифования стержня.

Процесс алитирования, применявшийся на заводе фирмы Понтиак, состоит в окунании головки клапана на глубину 25 мм сначала в ванну с флюсующей солью, а затем в расплавленный алюминий; клапан обдувается сжатым воздухом для удаления излишка расплавленного алюминия с седла клапана.

Процесс алитирования клапанов, применяемый фирмой Понтиак состоит из следующих операций:

1. Обезжиривание клапанов нагретым паром и укрепление их в зажимах.

2. Установка зажимов на конвейер.
3. Погружение головок клапанов в расплавленный сплав (температура 718°). Состав сплава: 40% хлористого натрия, 40% хлористого калия, 10% алюминия — натрия фтористого и 10% фтористого алюминия.
4. Выдержка клапанов в сплаве в течение 3 мин.
5. Подача клапанов к тиглю с алюминием (фиг. 7).
6. Погружение головок в расплавленный алюминий на 5 сек.
7. Извлечение клапанов из ванны и подача их в воздухоудку.
8. Обдувка сжатым воздухом для удаления излишков алюминия.



Фиг. 7. Принципиальная схема установки для алитирования по методу «Алпид»:

1 — жидкая флюсующая соль, 2 — тигель с расплавленным алюминием, 3 — обдувка клапана подогретым воздухом, 4 — конвейер подачи клапанов.

Испытания клапанов двигателей некоторых конструкций в лаборатории и в производственных условиях показали, что обработка по способу «Алпид» увеличивает срок службы клапанов на 100%.

Рассмотренный метод алитирования имеет ряд серьезных недостатков: значительный (более 10%) брак алитированных деталей из-за неровной толщины нанесенного слоя алюминия, чрезвычайно высокую стоимость устройства алюминиевых ванн, трудность алитирования крупных и сложных по форме деталей.

Алитирование стальных деталей методом «Алпид» дает возможность во многих случаях заменить дорогостоящие специальные стали и сплавы. Например, теплообменники танков в США, детали патрубков дизельных двигателей, ранее изготовлявшиеся из нержавеющей стали, сейчас производятся из углеродистой стали с последующим алитированием. Это позволило на каждой трубке сэкономить до 1 кг никеля и до 1,8 кг хрома.

При алитировании методом погружения в расплавленный алюминий необходимо учитывать, что присутствующие в ванне при-

меси или специальные добавки могут оказать существенное влияние как на глубину, так и на внешний вид алитированного слоя.

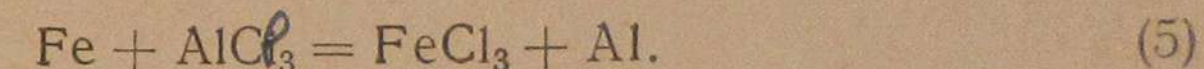
Сведения о влиянии присутствующих в расплавленном алюминии элементов на глубину алитированного слоя приводятся в табл. 4, а на внешний вид — в табл. 5 [5].

Как видно из табл. 4, в подавляющем большинстве случаев примеси, которые могут присутствовать в ванне расплавленного алюминия, уменьшают среднюю толщину алитированного слоя.

ГАЗОВОЕ АЛИТИРОВАНИЕ

В одном конце горизонтально расположенной реторты помещается алитирующая смесь, состоящая из 45% порошка алюминия, 45% порошка окиси алюминия Al_2O_3 и 10% хлористого аммония; этот конец реторты нагревается до $580-600^{\circ}$; в другом конце реторты, нагреваемом до температуры $900-1000^{\circ}$, помещаются алитируемые детали. Через реторту, в направлении от алитирующей смеси к деталям, непрерывным потоком пропускается водород.

При контакте хлоридов алюминия с деталями на поверхности последних протекает следующая обменная реакция



Выделяющийся алюминий поглощается поверхностью деталей, а затем диффундирует в сталь, а хлорид железа удаляется из реторты вместе с водородом.

Применение водорода в качестве средства переноса хлоридов алюминия к деталям сопряжено с опасностью взрыва, так как водород в смеси с воздухом образует взрывоопасную смесь. По этой причине газовое алитирование с использованием водорода промышленного применения не получило.

Метод газового алитирования был усовершенствован В. И. Просвириным и И. Ф. Зудиным [8] и А. Н. Минкевичем [11].

По этому варианту вместо смеси, состоящей из алюминия, окиси алюминия и хлористого аммония, применяется ферроалюминий, куски которого помещаются с одной стороны реторты, а детали — с другой. Вместо водорода через реторту с небольшой скоростью пропускается либо хлор, либо хлористый водород, при взаимодействии которых с алюминием образуется хлористый алюминий, омывающий поверхность алитируемых деталей.

При алитировании по этому варианту при 1000° в течение 2 час. образуется алитированный слой глубиной 0,15 мм, а при 1050° — 0,20 мм.

Однако, несмотря на усовершенствование, этот метод все же сложен и потому не нашел пока широкого применения в промышленности.

Таблица 4

Элемент, присутствующий в расплавленном алюминии	Концентрация элемента в ванне в %	Изменение средней толщины алитированного слоя в %*	Микротвердость алитированного слоя по Кнупу**	Элемент, присутствующий в расплавленном алюминии	Концентрация элемента в ванне в %	Изменение средней толщины алитированного слоя в %	Микротвердость алитированного слоя по Кнупу
Al (99,86%)	—	Эталонный слой	900	Ge	0,3	— 4	—
0,04% Sb	0,08	— 6	—		0,7	+ 2	—
	0,2	— 16	—	Pb	1,4	— 16	982
	0,4	— 8	—		0,06	— 10	—
	0,6	— 19	—		0,1	— 10	902
	0,8	— 20	—		0,5	— 8	—
	1,1	— 23	845		1,0	— 8	—
	1,5	— 26	807	Mg	0,9	— 18	—
Be	0,05	— 35	996		1,2	— 8	—
	0,1	— 50	770		4,4	— 18	—
	0,3	— 71	715		8,7	— 24	965
	0,4	— 75	518	Mn	0,8	0	—
	0,5	— 77	372		1,6	— 16	703
	0,6	— 83	310	Ni	2,0	— 18	682
	0,7	— 82	482		4,0	— 2	—
	0,8	— 80	495		6,0	— 11	—
	0,9	— 82	560		8,0	— 13	—
	1,0	— 76	684	Si	0,75	— 42	792
	1,4	— 78	556		1,5	— 58	792
	1,7	— 80	583		2,25	— 68	742
	2,0	— 82	934		3,0	— 69	661
Bi	0,07	— 14	—		3,75	— 72	339
	0,1	— 8	—		6,0	— 75	340
	0,7	— 12	—	Sn	1,0	+ 10	—
	2,4	— 12	—		2,5	0	—
Cd	0,5	— 4	—		5,0	0	—
	0,97	0	—		10,0	+ 4	—
	2,0	— 2	918		15,0	— 1	—
	5,0	— 6	—		20,0	— 12	891
Ca	0,9	— 14	—	Ti	0,1	— 10	830
	1,7	— 14	805	V	0,1	+ 2	—
	3,1	0	—		0,15	+ 2	—
	6,2	+ 20	—		0,3	— 4	784
Cr	0,2	— 12	949	Zn	1,2	— 11	682
	0,5	— 6	—		2,3	+ 5	—
Co	0,3	+ 7	—		3,5	— 5	—
	0,7	+ 8	—		4,6	+ 5	—
	1,0	— 22	1035		5,8	+ 6	836
Cu	1,8	— 25	672		11,5	+ 2	—
	6,4	— 34	807				
	15,4	— 50	807				
	27,2	— 66	859				

* Плюс означает увеличение, а минус уменьшение средней толщины алитированного слоя сравнению с эталонным, полученным в ванне, состоящей из 99,86% Al.

** Число твердости по Кнупу получено при нагрузке 25 г.

Таблица 5

Элементы, присутствующие в расплавленном алюминии	Концентрация элемента в ванне в %	Вид поверхности алюминиевого покрытия	Элементы, присутствующие в расплавленном алюминии	Концентрация элемента в ванне в %	Вид поверхности алюминиевого покрытия
Алюминий (99, 86%)	—	Гладкая, зернистая, блестящая	Хром	0,2	Гладкая, зернистая, блестящая
Сурьма	0,08	Гладкая, блестящая		0,5	Слегка шероховатая, блестящая
	0,2	То же	Кобальт	0,3	Гладкая, блестящая
	0,4	"		0,7	Слегка шероховатая, блестящая
	0,6	"		1,0	Шероховатая, блестящая
	0,8	"	Медь	1,8	Гладкая, зернистая, темно-серая
	1,1	"		6,4	Гладкая, зернистая, седовато-серая
	1,5	"		15,4	Шероховатая, блестящая, светло-серая
Бериллий	0,05	Гладкая, блестящая		27,2	То же
	0,10	То же	Германий	0,3	Гладкая, блестящая, светло-серая
	0,30	"		0,7	То же
	0,40	"		1,4	"
	0,50	"	Свинец	0,06	Гладкая, зернистая, блестящая
	0,60	"		0,10	То же
	0,70	Слегка шероховатая, блестящая		0,50	"
	0,80	Шероховатая, блестящая		1,00	"
	0,90	То же	Висмут	0,07	Гладкая, зернистая, темно-серая
	1,00	"		0,10	То же
	1,40	"		0,70	"
	1,70	"		2,40	"
	2,0	"	Кадмий	0,50	Гладкая, зернистая, блестящая
Висмут	0,07	Гладкая, зернистая, темно-серая		0,97	То же
	0,10	То же		2,00	"
	0,70	"		5,00	"
	2,40	"	Кальций	0,9	Гладкая, зернистая, темно-серая
Кадмий	0,50	Гладкая, зернистая, блестящая		1,7	Гладкая, темно-серая
	0,97	То же		3,1	Слегка шероховатая, блестящая, светло-серая
	2,00	"		6,2	То же
	5,00	"	Марганец	0,6	Гладкая, зернистая, блестящая
				1,6	Шероховатая, зернистая, блестящая
			Никель	2,0	Шероховатая, блестящая
				4,0	То же
				6,0	"
				8,0	"

Продолжение табл. 5

Элементы, присутствующие в расплавленном алюминии	Концентрация элемента в ванне в %	Вид поверхности алюминиевого покрытия	Элементы, присутствующие в расплавленном алюминии	Концентрация элемента в ванне в %	Вид поверхности алюминиевого покрытия
Кремний	0,75	Гладкая, блестящая, светло-серая	Титан	0,1	Гладкая, блестящая
	1,50	Гладкая, блестящая, серая	Ванадий	0,1	Гладкая, зернистая, блестящая
	2,25	То же		0,15	То же
	3,0	"		0,3	"
	3,75	"			
	6,00	—			
Олово	1,00	Гладкая, зернистая, блестящая	Цинк	1,2	Гладкая, блестящая
	2,50	То же		2,3	То же
	5,00	"		3,5	"
	10,00	"		4,6	"
	15,00	"		5,8	"
	20,00	"		11,5	"

Общими недостатками всех разновидностей метода газового алитирования, кроме отмеченного выше, являются: трудность получения равномерной толщины алитированного слоя, трудность алитирования деталей сложной формы и плохая воспроизводимость получаемых результатов.

ГАЛЬВАНИЧЕСКОЕ АЛИТИРОВАНИЕ

Существует несколько способов гальванического алитирования деталей из стали. По способу, предложенному В. А. Плотниковым, Н. Н. Грацианским и К. П. Маковцом [12], алитирование производится следующим образом: смесь солей, состоящая из 25% (молекулярных) хлоридов алюминия $AlCl_3$ и 75% (молекулярных) хлористого натрия, расплавляется в футерованном шамотным кирпичом стальном тигле и нагревается до 700—800°. На дно тигля помещают расплавленный алюминий, служащий анодом, к которому подается постоянный ток специальной изолированной шиной. Детали, предназначенные для алитирования, включаются в цепь в качестве катода. Как показало исследование [12], за 4 часа (температура ванны 800°; плотность тока 0,5 а/дм²) на поверхности алитируемой детали образуется алитированный слой глубиной до 1,5 мм.

Для уменьшения хрупкости алитированного слоя детали подвергаются диффузионному отжигу, способствующему также увеличению глубины алитированного слоя.

В работе [13] показано, что алитирование может быть осуществлено в ванне, состоящей из смеси 80% хлористого алюминия $AlCl_3$ и 20% хлористого натрия при температуре 940°.

Качество алитированного слоя зависит от режима электролиза. Удовлетворительное качество слоя получается при напряжении на вание около 0,2 в на 1 см расстояния между анодом и катодом и при плотности тока 1,6 а/дм² площади поверхности детали.

При более низких плотностях тока получается слой, плохо сцепленный с деталью; если же применять более высокие плотности тока, получаемое покрытие имеет дендритное строение, обладающее вследствие этого плохой макроструктурой.

Чтобы избежать вредного воздействия влаги атмосферы на хлористый алюминий, последний должен располагаться под слоем хлористого натрия. Для уменьшения испарения солей зеркало ванны покрывается слоем графита.

Детали, подлежащие алитированию, должны быть предварительно протравлены в растворе соляной кислоты, промыты в воде и насухо протерты. При плотности тока 1,94 а/дм² из электролита осаждается 0,3 г/а-ч, что соответствует образованию алитированного слоя толщиной 0,01 мм за 0,5 часа. Выход по току при этом составляет около 80%.

Перемешивание электролита в ванне позволяет повысить плотность тока и ускорить процесс осаждения.

Метод гальванического алитирования имеет следующие недостатки:

а) получаемые на деталях сложной формы покрытия неравномерны по толщине. В углублениях и отверстиях, имеющих на деталях, алитированный слой вообще может не образоваться. Для борьбы с этим необходимо применять дополнительные аноды, что усложняет технологию;

б) обильное дымообразование, вызывающее необходимость сооружения специальной вентиляции;

в) необходимость применения индивидуальной подвески алитируемых деталей, что также усложняет технологию алитирования.

По указанным причинам гальванический метод алитирования не получил пока широкого промышленного применения.

АЛИТИРОВАНИЕ ПЛАКИРОВАНИЕМ

Алюминиевая полоса в холодном состоянии прокатывается до толщины 0,2 мм и затем отжигается. Поверхность стальной полосы, подлежащей алитированию, обрабатывается стальными щетками, делающими поверхность стальной ленты шероховатой. Помещенную между двумя алюминиевыми полосами стальную полосу прокатывают с высоким натяжением без подогрева. В результате работы деформации, имеющей место при прокатке, прокатываемая полоса нагревается до 150—200°, Плакированную

полосу сматывают с натяжением в рулоны, а затем прокатывают до требуемой толщины на обычном стане. Окончательно прокатанную плакированную полосу подвергают отжигу при 535—550° в течение 10—15 час. Установленную температуру выдерживают в пределах $\pm 5^\circ$.

Исследование Кука и Леви [5] показало, что прочность сцепления зависит от давления прессования и температуры отжига.

Плакированная сталь применяется для изготовления деталей, работающих в сильно корродирующих средах.

АЛИТИРОВАНИЕ ЗАЛИВКОЙ АЛЮМИНИЯ ПО ГОТОВОЙ ДЕТАЛИ

Поверхность стальной детали, подлежащей алитированию, готовится (протравливается, промывается и т. п.), а затем покрывается алюминием или его сплавом. Подготовленная таким образом деталь заливается в специальной форме алюминием или сплавом на его основе. Этот способ, получивший название «аль-фин», применяется в США [5]. Преимущество такого покрытия состоит в высоком сопротивлении коррозии при высоких температурах, в высокой теплопроводности слоя и в прочности железного сплава.

Высокая теплопроводность, полученная по этому способу покрытия, в ряде случаев совершенно необходима. Например, для нормальной работы и достаточной длительности службы таких деталей как клапаны, поршни и цилиндры авиационных двигателей, необходимо обеспечить хороший отвод тепла в атмосферу, что достигается алитированием методом «аль-фин».

Хорошая отдача тепла в атмосферу обеспечивается не только высокой теплопроводностью алюминия, но и прочным сцеплением его со стальной основой. Как показали исследования [14], сцепление алюминия со сталью получается настолько прочным, что слой алюминия не отслаивается даже при длительных усталостных испытаниях. При этом отрицательного влияния данного метода алитирования на усталостную прочность не было обнаружено. В этой же работе было показано, что изготовленные по процессу «аль-фин» подшипники обладают более высокими эксплуатационными показателями. По мнению исследователей [14], подшипники, изготовленные процессом «аль-фин», имеют следующие преимущества: более высокую коррозионную стойкость, низкий коэффициент трения, не нужно иметь изнашиваемый слой другого металла для заливки подшипника, высокую допускаемую нагрузку и усталостную прочность.

Толщина алюминиевого покрытия на стали ограничивается весьма существенной разницей их коэффициентов линейного расширения. В интервале температур 20—100° чистый алюминий имеет коэффициент расширения $7,4 \cdot 10^{-6}$, а среднеуглеродистая

сталь $3,5 \cdot 10^{-6}$, т. е. более, чем в два раза меньший [5]. По данным [15], литой алюминий (99,95%) имеет коэффициент линейного расширения, изменяющийся в зависимости от температуры следующим образом:

Температура в °С .	20—100	100—200	200—300	300—400	400—500	500—600
Коэффициент линейного расширения 10^{-6} . . .	23,8	25,5	27,5	29,5	31,5	33,5

Различие коэффициентов линейного расширения между применяемыми на практике сортами алюминия и стали весьма значительно. По этой причине при нанесении на стальную деталь алюминиевого слоя большой толщины при нагреве могут возникнуть большие напряжения и, как следствие этого, коробление, что необходимо учитывать при конструировании детали.

К недостаткам рассмотренного метода алитирования необходимо отнести сложность практического осуществления и большую трудоемкость. Данный метод в нашей промышленности не применяется.

АЛИТИРОВАНИЕ СПОСОБОМ РАСПЫЛЕНИЯ АЛЮМИНИЯ

Расплавленный алюминий под действием струи сжатого воздуха распыляется и наносится на алитируемую поверхность детали.

Напыление производится с помощью электрических, газовых или плазменных горелок. В зависимости от конструкции распылителя применяется либо алюминиевая проволока, либо алюминиевый порошок. Распылители, в которых применяется проволока, используются наиболее часто. Проволока в таком распылителе подается в кислородно-ацетиленовое или кислородно-водородное пламя с помощью воздушной турбинки с регулируемым числом оборотов.

Давление воздуха, применяемого для распыления, находится в пределах 4—6 ат. В металлизаторе порошок алюминия поступает в пламя под всасывающим действием сопла металлизатора.

Алитирование распылением производится за несколько проходов, так как за один проход наносится слой незначительной толщины (около 0,06—0,07 мм). Число проходов определяется требуемой общей толщиной слоя.

По мнению А. Ф. Троицкого [16], сцепление напыленного алюминия с поверхностью алитируемой детали обусловлено эффектом заклинивания напыленных частиц в неровностях металлизированной поверхности. Эта точка зрения, по нашему мнению, наиболее надежно подтверждена экспериментально. Например, при металлизации по этому способу наиболее прочное сцепление наблюдается в том случае, когда металлизированная поверхность пред-

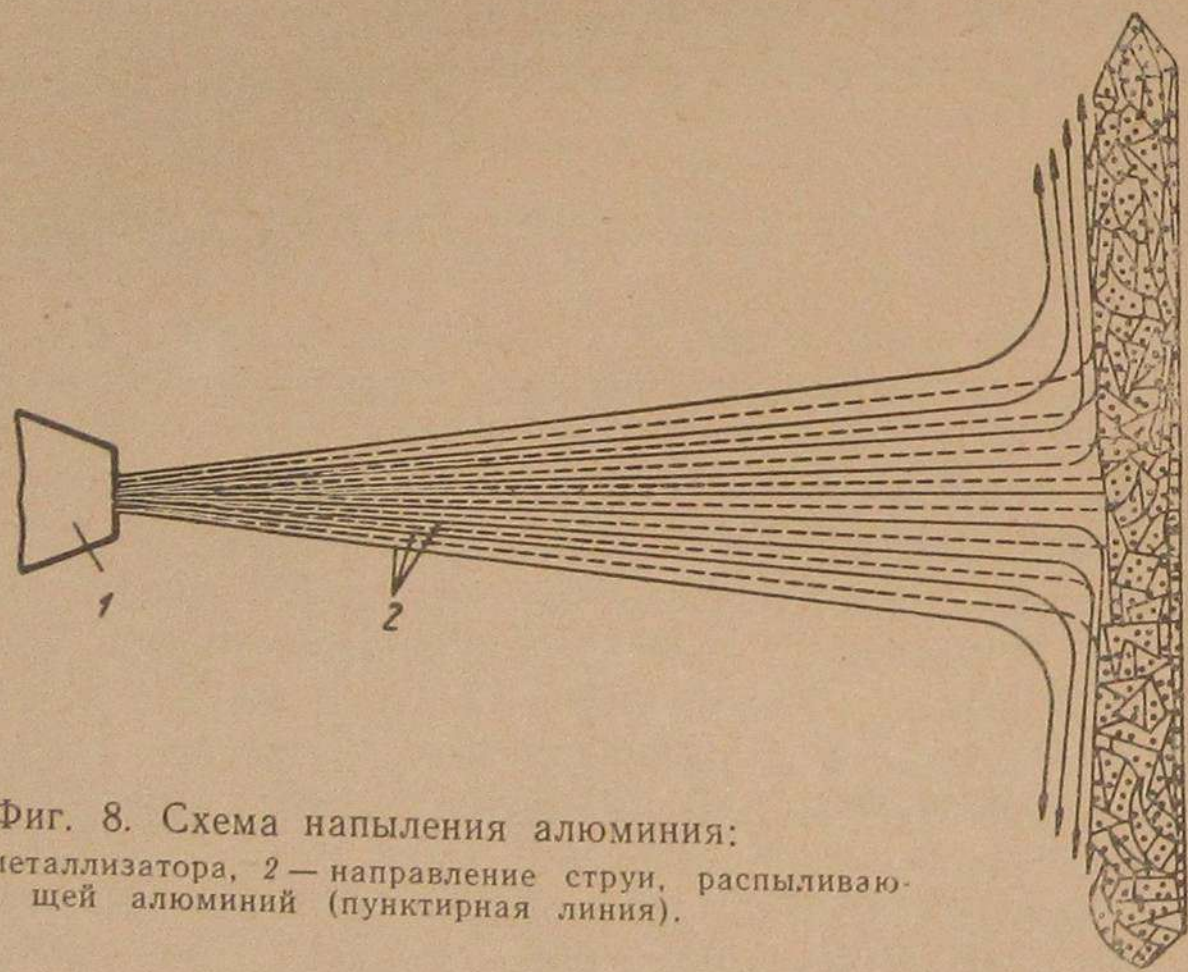
варительно подвергнута дробеструйной или пескоструйной обработке.

В пользу этой же точки зрения говорят отпечатки микро-рельефа поверхности, которые были неоднократно обнаружены на внутренней стороне напыленного слоя, снятого с детали.

Шероховатая поверхность детали исключает возможность скольжения напыляемых частиц алюминия, ударившихся о поверхность детали, и тем самым способствует мгновенной остановке частиц, в результате чего весь запас их кинетической энергии расходуется на нагрев.

Частицы, остывшие во время полета в струе воздуха (или газов), вновь нагреваясь, становятся весьма пластичными и потому хорошо заполняют микронеровности поверхности, т. е. хорошо с ней сцепляются.

Механизм образования напыленного слоя может быть представлен следующим образом: воздушная струя (фиг. 8) газового



Фиг. 8. Схема напыления алюминия:

1 — сопло металлатора, 2 — направление струи, распыляющей алюминий (пунктирная линия).

аппарата, увлекаая за собой распыленный металл, перемещает его со скоростью 120—150 м/сек. Встречаясь с поверхностью металлизируемой детали, частицы алюминия ударяются о нее, нагреваются, становясь пластичными и расплющиваются. Деформируясь при ударе, металлические частицы заклиниваются в неровностях поверхности, образуя первый слой. При последующих проходах частицы, ударяясь о ранее нанесенные, вклиниваются между ними и образуют сплошной слой покрытия.

Металлографические исследования показали, что в напыленном слое имеются поры, а сами частицы сильно деформированы (фиг. 9).

Сила сцепления напыленного алюминия с основным металлом при напылении с помощью электрического аппарата больше, чем

при напылении с помощью газового аппарата. Однако абсолютные величины прочности сцепления в обоих случаях малы. Например, сила сцепления Р слоя, нанесенного с помощью электрического аппарата (давление воздуха 5,5—6,0 ат), 64,8 кг/см², а при газовом напылении (давление воздуха 2,5 ат) — 23,7 кг/см².

Для увеличения прочности сцепления напыленного слоя с основным металлизированные детали подвергаются диффузионному отжигу.

Изучение способов алитирования деталей позволяет сделать следующие выводы:

1. Наиболее распространенным в настоящее время способом является алитирование в ферроалюминиевом порошке (твердое алитирование). Применение этого способа обеспечивает повышение жаростойкости в 3—5 раз в зависимости от температуры, при которой работает деталь. Недостатками этого способа являются: большая длительность процесса равная 80—100 час., сложная технология, большой расход ферроалюминиевого порошка и необходимость применения жаростойких ящиков.

2. Жидкостное алитирование, простое по технологии, не нашло пока широкого применения в промышленности из-за следующих недостатков: разъедания тиглей расплавленным алюминием, необходимости тщательной очистки поверхности деталей, окисления, расплавления и стекания незащищенного алюминия при диффузионном отжиге и, как следствие этого неравномерной глубины алитирования поверхности детали.

3. Алитирование распылением алюминия имеет также ряд существенных недостатков:

а) напыленный слой алюминия имеет с основным металлом только механическое сцепление;

б) данный способ пригоден для деталей, которые работают только при температуре 400—500°;

в) при последующем диффузионном отжиге напыленный алюминий сильно окисляется, расплавляется и стекает, поэтому не обеспечивается получение равномерного диффузионного слоя;

г) предложенные ранее покрытия для защиты напыленного алюминия от окисления, состоящие из жидкого стекла или кварцевого песка, не обеспечивают получение качественного диффузионного слоя;



Фиг. 9. Микроструктура напыленного слоя алюминия. $\times 200$.

д) напыленный алюминий имеет большое количество пор, которые допускают проникновение кислорода к основному металлу, вследствие чего окисление и разрушение детали идет под напыленным слоем алюминия.

Наряду с отмеченными недостатками этот способ алитирования обладает весьма существенными преимуществами, к которым следует в первую очередь отнести: весьма высокие производительность и экономичность, простоту применяемого оборудования и технологического процесса, возможность напыления многослойного слоя, состоящего из различных металлов.

Указанные преимущества позволяют отнести описанный процесс к наиболее перспективному и наиболее приемлемому в промышленности.

III. МЕТОДЫ ПОДГОТОВКИ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ АЛИТИРОВАНИЯ

Для того чтобы на детали получить алитированный слой, отвечающий всем служебным требованиям (плотность, прочное сцепление с основным металлом, достаточно высокое содержание алюминия, определенная глубина, равномерность и др.), поверхность алитируемой детали должна быть соответствующим образом подготовлена.

Подготовка поверхности является операцией, которая наряду с другими определяет качество алитированного слоя и, следовательно, его свойства. Поэтому подготовка поверхности детали для алитирования должна проводиться со всей возможной тщательностью.

Существует несколько методов подготовки деталей для алитирования.

ХИМИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА

Поверхность алитируемых деталей травится в растворах кислот с последующей нейтрализацией, промывкой в воде и просушкой. На практике находят применение растворы серной или соляной кислот. Промывка производится в горячей ($t=60\div 70^\circ$), а затем в проточной холодной воде.

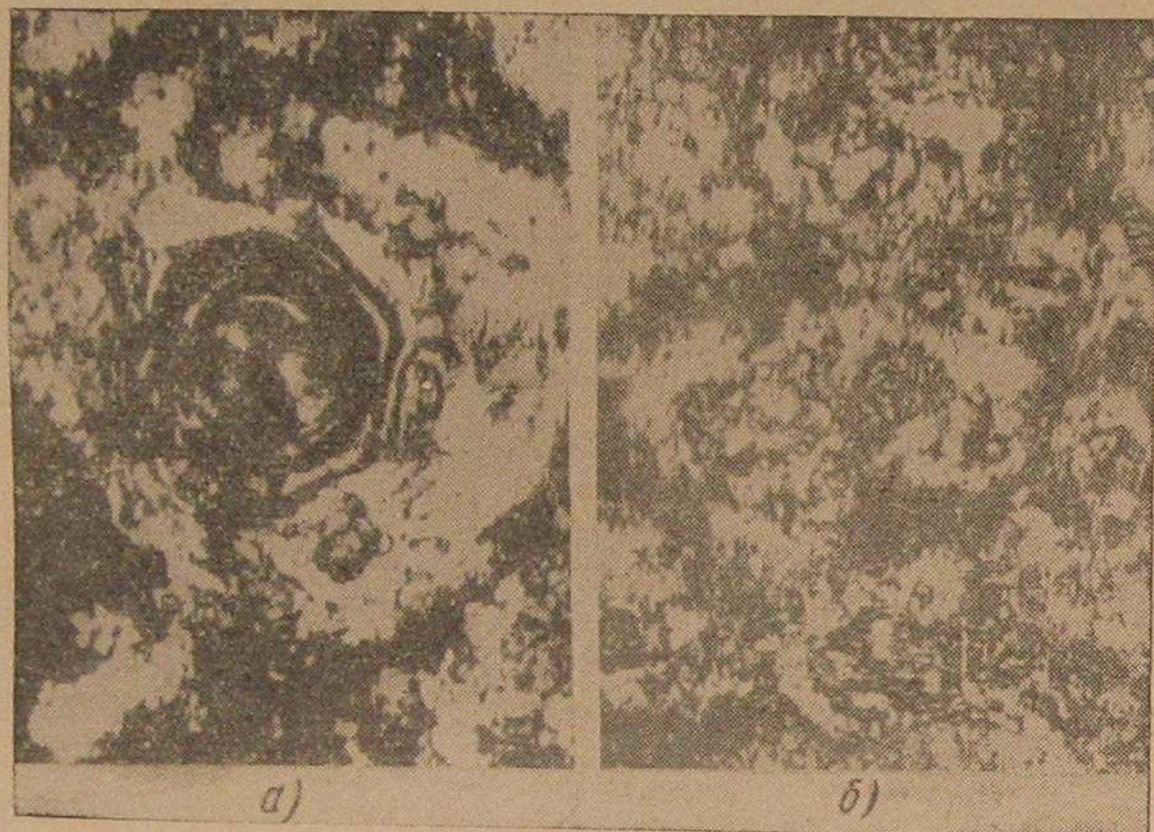
Химическая подготовка поверхности применяется при алитировании в порошкообразных смесях, в расплавленном алюминии, при газовом и гальваническом алитировании, при алитировании плакированием, при алитировании заливкой алюминия по готовой детали и при алитировании способом распыления. При алитировании плакированием химическая подготовка предшествует обработке стальными щетками. При алитировании распылением алюминия травленая поверхность дополнительно обрабатывается на дробеструйном или пескоструйном аппарате.

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА

Пучок электродов, изготовленных частично из нихрома, а частично из высокоуглеродистой стали, включенной в электрическую цепь, передвигается по поверхности детали (вручную или механически) [17].

При передвижении пучка возникают электрические дуги между электродами пучка и поверхностью детали. Вследствие этого на поверхности детали появляются мелкие капли наплавленного металла и кратеры, образующие в совокупности неровности поверхности.

При применении переменного тока количество кратеров меньше, расстояние между ними больше, а капли наплавленного металла крупнее и более окисленные, чем в случае применения



Фиг. 10. Вид поверхности анизируемой детали ($\times 18$), прошедшей электрическую подготовку:
а — на переменном токе, б — на постоянном токе.

постоянного тока (фиг. 10). Количество электродов в пучке зависит от тока: при переменном токе 25—45, при постоянном 7—10. В первом случае применяется проволока диаметром 1—1,5 мм, а во втором диаметром 5—8 мм.

После электрической подготовки поверхность дополнительно обрабатывается либо стальными щетками, либо дробью на дробеструйной установке.

Электрический способ подготовки поверхности применяется при анировании способом распыления алюминия.

ОБРАБОТКА СТАЛЬНЫМИ ЩЕТКАМИ

Вращающиеся с большой скоростью стальные щетки удаляют с поверхности детали грязь, окалину, ржавчину и т. п. На поверхности детали появляются мелкие риски. Этот способ применяется при анировании плакированием или распылением.

ПЕСКОСТРУЙНАЯ ПОДГОТОВКА

Поверхность детали обрабатывается на специальных аппаратах потоком песка, подаваемого струей сжатого воздуха. С поверхности анируемой детали удаляется окалина, ржавчина, грязь и

создается шероховатость. Качество пескоструйной подготовки поверхности зависит, главным образом, от давления сжатого воздуха и расстояния между соплом и поверхностью детали.

Как видно из табл. 6, с повышением давления воздуха шероховатость поверхности увеличивается¹.

Таблица 6

Зависимость шероховатости $H_{\max}$ от давления воздуха [18]

Давление сжатого воздуха в ат	$H_{\max}$ в мк		Примечание
	Сталь	Чугун	
1,0	8,62	12,25	Обработку производили пескоструйным аппаратом (нагнетательного типа) Режим обработки: расстояние от сопла до детали 100 мм; диаметр сопла 10 мм; песок кварцевый горный 0,5 мм; угол наклона 90°; очищаемый металл — сталь марки 40 и чугун СЧ 18-36
2,0	11,62	14,25	
3,0	12,62	17,87	
4,0	14,50	23,00	
6,0	15,75	25,00	

Зависимость шероховатости от расстояния между соплом и поверхностью детали приведена в табл. 7. Из таблицы видно, что с увеличением расстояния между соплом и поверхностью детали шероховатость сначала возрастает, а затем убывает.

Таблица 7

Зависимость шероховатости $H_{\max}$ от расстояния между соплом и поверхностью детали при давлении воздуха 6 ат [18]

Расстояние между соплом и поверхностью детали в мм	$H_{\max}$ в мк	
	Сталь	Чугун
50	8,37	23,50
100	15,75	25,00
150	14,37	23,37
200	14,12	23,00
250	13,50	19,37
300	11,50	19,62

Пескоструйная подготовка поверхности деталей для анирования находит в промышленности наиболее широкое применение при анировании методом распыления алюминия.

¹ Шероховатость характеризуется максимальной глубиной вмятин, наносимых зернами песка (дробинками) при обработке.

Рассмотренный способ подготовки поверхности имеет следующие недостатки: а) при обработке деталей образуется большое количество пыли, ухудшающей условия труда и вызывающей необходимость сооружения специальных устройств по очистке атмосферы; б) низкая долговечность песка. После двух-трехкратного применения песок становится непригодным для дальнейшего употребления вследствие чрезмерного измельчения.

ДРОБЕСТРУЙНАЯ ПОДГОТОВКА

Дробеструйная подготовка производится на специальных дробеструйных аппаратах.

По сравнению с пескоструйными установками, обычно применяемыми для подготовки металлических поверхностей, упомянутые установки имеют следующие преимущества: дробеструйные аппараты не требуют заключения их в специальные камеры, отпадает необходимость в обеспечении рабочих защитными скафандрами.

При очистке деталей дробеструйные установки не загрязняют воздух абразивной пылью. Дробь может быть использована 25—30 раз, т. е. ее долговечность во много раз больше, чем долговечность песка. Применение установки позволяет значительно улучшить и оздоровить условия работы по очистке деталей и повысить производительность труда.

Подготовленная на дробеструйном аппарате поверхность детали обеспечивает более прочное сцепление напыленного слоя с деталью.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ ПОДОГРЕВ ДЕТАЛЕЙ

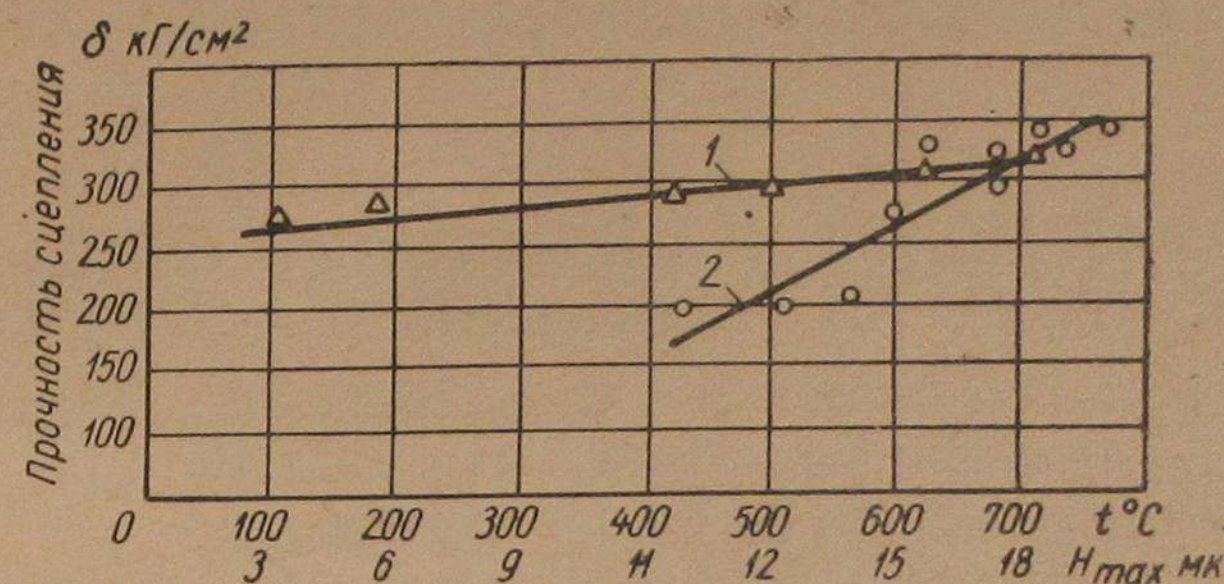
В работах [18], [19] показано, что предварительный подогрев поверхности альтируемых деталей токами высокой частоты или пламенными многосопловыми горелками повышает прочность сцепления напыленного алюминия с основным металлом.

На фиг. 11 приведены результаты исследования прочности сцепления напыленного алюминия с основным металлом (сталью) в зависимости от температуры подогрева и качества пескоструйной обработки, характеризуемой максимальной высотой неровностей. Из графика видно, что с повышением температуры предварительного подогрева от 100 до 700° прочность сцепления возрастает от 260 до 325 кг/см². С увеличением степени неровности поверхности, возникающей при пескоструйной подготовке в пределах от 11 до 20 мк, прочность сцепления возрастает от 160 до 350 кг/см². Предварительный подогрев до температуры от 100 до 700° обеспечивает получение такой же прочности сцепления, как и дробеструйная подготовка, при которой $H_{\max} = 15 \div 20$ мк.

Как видно из табл. 8, предварительный подогрев поверхности альтируемой детали обеспечивает получение диффузионного слоя

такой же глубины, что и при пескоструйной или дробеструйной подготовке.

Из таблицы следует, что при травлении и электрическом способах подготовки поверхности получается диффузионный слой наименьшей глубины.



Фиг. 11. Зависимость прочности сцепления напыленного алюминия с основным металлом от температуры предварительного подогрева и качества пескоструйной обработки:

1 — предварительный подогрев детали, 2 — пескоструйная подготовка поверхности.

Таблица 8

Зависимость глубины диффузионного слоя от способа подготовки поверхности

Способ подготовки поверхности	Глубина диффузионного слоя* в мм
Травление в 10%-ной H_2SO_4	0,12—0,18
Пескоструйный	0,2—0,22
Дробеструйный	0,2—0,23
Электрический	0,1—0,12
Предварительный подогрев до 700°С	0,2—0,23

* Режим диффузионного отжига: $t = 950^\circ$, выдержка 4 час.

Выбор способа подготовки поверхности детали для альтирования должен производиться с учетом конструкции детали, ее размеров и сложности, программы и состояния поверхности.

IV. РАЗРАБОТКА РАЦИОНАЛЬНОГО СПОСОБА АЛИТИРОВАНИЯ РАСПЫЛЕНИЕМ АЛЮМИНИЯ

Целью настоящей работы являлось определение оптимальных условий алитирования и разработка эффективного метода защиты напыленного алюминия от окисления и стекания.

В качестве объектов для исследования были приняты опоки точного литья, муфели для светлого отжига ленты, крупногабаритные горшки для отжига колец, горшки, применяемые для отжига деталей из ковкого чугуна, впускные клапаны автомобилей, вихревые вставки, арматура нагревательных печей и камеры газификации газогенераторных тракторов и автомобилей.

Выбор для экспериментов указанных выше объектов обусловлен тем, что все они работают в условиях действия высоких температур (табл. 9) и агрессивной среды, способствующей сильному окислению и сокращающих вследствие этого срок их службы.

Таблица 9

Наименование объекта	Температура, при которой работает объект в °С	Марка стали, из которой изготовлен объект
Опоки для точного литья	920—950	20 и Х23Н13
Муфели для светлого отжига ленты	820—900	ЭЯ2П
Горшки для отжига деталей из ковкого чугуна	1050—1150	ЭЯ2П и Х23Н13
Крупногабаритные горшки	950—980	35
Впускные клапаны автомобильных двигателей	800—850	Х9С2; ЭИ992; 40Х
Камеры газификации тракторов	800—850	35
Камеры газификации автомобиля	950—1050	55Л
Горловина трактора	950—1000	55Л
Горловина автомобиля	1000—1050	55Л
Муфели для спекания металлических порошков	1200	Х20Н30

Необходимо также отметить, что тяжелые условия работы характеризуются не только действием высоких температур и агрессивной среды, но также неравномерным нагревом и частой сменой нагрева охлаждением.

Неравномерный нагрев и смена нагрева охлаждением способствуют образованию напряжений и трещин и отслаиванию уже образовавшегося слоя окалины, что в свою очередь приводит к более интенсивному окислению металла.

ВЫБОР МАТЕРИАЛА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Подбор металла для изготовления некоторых деталей газогенераторных установок автомобилей и тракторов (камер газификации, горловин, решетки и др.), работающих при температуре 800—1050°, до настоящего времени ни в Советском Союзе, ни за границей в полной мере не решен.

Существует точка зрения, согласно которой для алитирования следует применять малоуглеродистую литую сталь, а также малоуглеродистый стальной прокат. Это вызвано тем, что при повышенном содержании углерода в стали глубина диффузионного слоя уменьшается.

Однако необходимо отметить следующее: отливки сложных конфигураций из малоуглеродистой стали имеют большое количество дефектов (поры, раковины, рыхлоты). Брак литья по этим дефектам в отдельных случаях составляет 50%, а иногда даже и больше. При алитировании деталей в ферроалюминиевом порошке считалось нежелательным или даже недопустимым наличие упомянутых дефектов.

Учитывая, что при металлизации поверхности мелкие поры, раковины и рыхлоты могут оказаться полностью забитыми распыленным алюминием и эти дефекты будут способствовать в определенной мере более глубокому проникновению алюминия в металл было признано целесообразным опробование алитирования

Таблица 10

Характеристика металла	Содержание элементов в %						
	C	Mn	Si	Cr	S	P	Ni
Литая сталь 20Л, ГОСТ 977-58	0,28	0,67	0,37	0,2	0,032	0,038	—
Литая сталь 55Л, ГОСТ 977-58	0,55	0,65	0,33	—	0,025	0,03	—
Прокат Сталь 20, ГОСТ 1050-60	0,24	0,25	0,14	—	0,015	0,045	—
Чугун СЧ 18—36, ГОСТ 1412-54	3,09	0,93	2,10	0,16	0,16	0,11	—
Хромистая литая сталь 4Х13, ГОСТ 5632-51	0,39	0,44	0,54	12—14	0,03	0,035	0,6
Жаростойкая сталь Х23Н13, ГОСТ 5632-51	0,097	≤2,5	1,0	20,32	—	—	12—15
Хромоникелевая сталь 2Х18Н9 (ЭЛ2П), ГОСТ, 5632-51	0,15—0,25	2,0	≤0,8	17,0—20,0	0,030	0,035	8,0—11,0

на образцах с некоторыми литейными поверхностными дефектами. Это положение еще более оправдывается тем, что, как правило, алитированные детали не являются силовыми, несут относительно малую нагрузку и от них требуется, главным образом, только повышенная жаростойкость.

Исследование алитирования проводилось на образцах и деталях, химический состав стали которых приведен в табл. 10.

Из указанных материалов изготавливали образцы следующих размеров: из малоуглеродистого проката плоские сварные, $50 \times 30 \times 9$ мм; из малоуглеродистой литой стали плоские $50 \times 30 \times 9$ мм; из малоуглеродистого проката плоские, $50 \times 30 \times 9$ мм; из серого чугуна плоские, $50 \times 30 \times 9$ мм; из хромистой литой стали плоские, $50 \times 20 \times 9$ мм; из жаростойкой стали плоские, $50 \times 30 \times 9$ мм; из малоуглеродистой стали для послойного анализа круглые диаметром 20 и длиной 70 мм. Опытные детали отливались из малоуглеродистой и хромистой сталей.

МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ И КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ ЖАРОСТОЙКОСТИ

Жаростойкость алитированных образцов определяется обычно по сроку службы их при постоянной температуре в определенной среде.

Многие исследователи проводили испытания алитированных образцов при постоянной температуре 1000° .

Поскольку газогенераторные установки тракторов и автомобилей работают при переменной температуре, колеблющейся от -50 до $+1000^\circ$, то очевидно, что подобная методика в данном случае не применима.

При постоянной высокой температуре защитная оксидная пленка на алюминиевом слое сохраняется лучше, чем при переменном нагреве и охлаждении, когда она быстро растрескивается, что способствует проникновению кислорода к основному металлу.

При разработке методики испытаний алитированных образцов на жаростойкость мы исходили из положения, что условия испытаний образцов должны быть максимально приближены к условиям действительной службы газогенераторных установок тракторов и автомобилей при их эксплуатации.

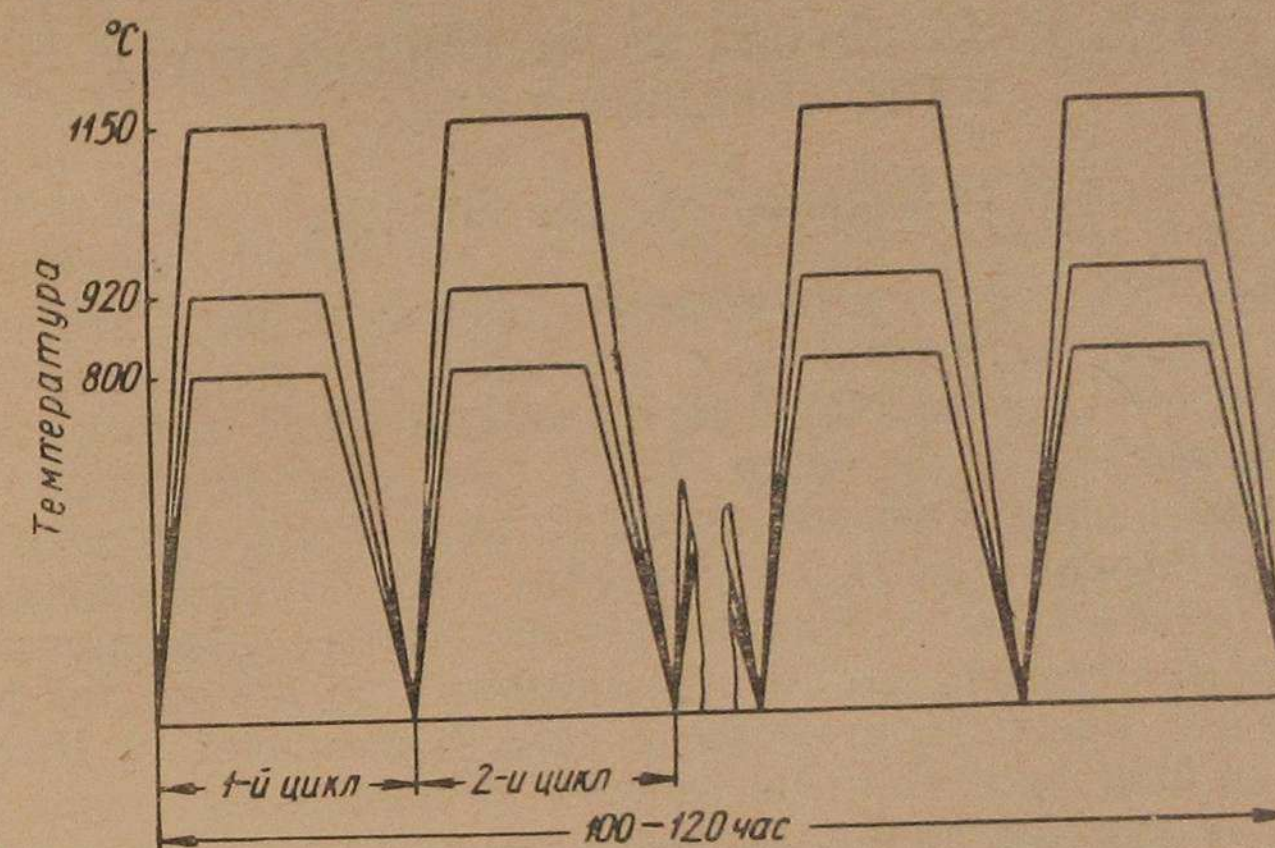
Как уже указывалось (табл. 9), стенки камеры газификации и газогенераторного трактора работают при температуре $800-850^\circ$, горловина при $950-1000^\circ$, температура стенок вкладышей камеры горения газогенераторных автомобилей $1000-1050^\circ$.

Температура поверхности стенок упомянутых деталей при розжиге газогенераторной установки претерпевает резкие изменения. Это оказывает отрицательное влияние на стойкость алитированного слоя, так как коэффициенты линейного расширения малоуглеродистой стали самой камеры и алитированного слоя различны.

Исходя из условий эксплуатации газогенераторных установок, в работе была принята следующая методика испытаний образцов на жаростойкость:

циклический нагрев образцов в электропечи с окислительной атмосферой по следующей схеме (фиг. 12).

Образцы первой партии нагревались до температуры 800° , при которой они выдерживались в течение 3 час., после чего охлаждались и выдерживались на воздухе в течение 2 час. Затем образцы вновь загружались в печь, и весь цикл повторялся заново и так несколько раз.



Фиг. 12. Схема режимов испытаний образцов на жаростойкость

Образцы второй и третьей партий подвергались аналогичным испытаниям, однако температура нагрева для этих образцов была принята равной соответственно 920 и 1150° .

Общая длительность всех циклов нагрева и охлаждения во всех экспериментах была принята равной $100-120$ час.

В качестве критерия жаростойкости образцов принят их привес, т. е. количество кислорода, соединившегося с металлом испытанных образцов в процессе нагрева, выдержки и охлаждения, отнесенный к площади поверхности (образцов до испытания) и единице времени испытания.

Определение привеса образцов проводилось следующим образом: алитированные образцы после диффузионного отжига тщательно очищали от обмазки, взвешивали (с точностью до $0,01$ г), затем производился замер площади поверхности образцов (с точностью до $0,01$ мм²). Подготовленные таким образом образцы укладывались в фарфоровые чашечки, которые ставили на поддоны электропечи и подвергались циклическому нагреву. После испытаний образцы вновь взвешивались с той же точностью.

Количество кислорода, соединившегося с металлом образцов, при всех прочих равных условиях находится в зависимости от площади поверхности образцов. Привес образцов относился к первоначальной площади их поверхности и к единице времени. Полученная таким образом величина и была принята, как уже отмечено, за относительную жаростойкость образцов, выраженную в граммах на квадратный дециметр в час.

Принятая методика испытаний алитированных образцов отличается от существующих тем, что применен циклический нагрев, позволяющий сократить общую продолжительность испытания.

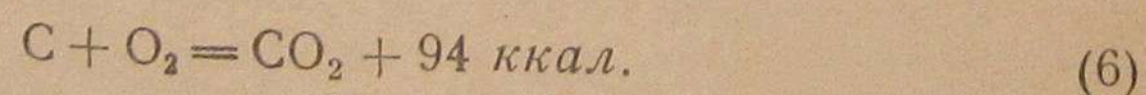
РАЗРАБОТКА СПОСОБА УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА АЛИТИРОВАННОГО СЛОЯ

1. Изыскание состава обмазки

Как уже отмечалось, алитирование методом распыления имеет ряд недостатков, затрудняющих возможность получения качественного алитированного слоя. Напыленный слой алюминия, имеющий температуру плавления 658° , при обычно применяемых температурах диффузионного отжига находится в расплавленном состоянии и потому стекает, вследствие чего глубина диффузионного слоя весьма непостоянна. Кроме того, напыленный слой обычно весьма порист, и потому алюминий во время диффузионного отжига в обычной атмосфере сильно окисляется. Диффузия алюминия в основной металл резко уменьшается, существенно уменьшается глубина алитированного слоя.

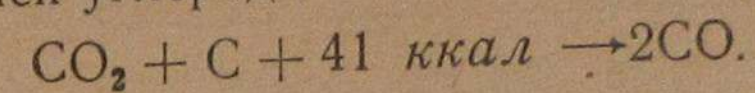
Очевидно, что наиболее простым способом устранения отмеченных недостатков может явиться способ, заключающийся в создании на поверхности алитированной детали прочной и достаточно плотной оболочки. Опыт показывает, что наиболее простым методом создания таких оболочек является метод нанесения специальной жаростойкой обмазки, например, способом окунания, как это делается при литье по выплавляемым моделям. Но в этом случае становится неизбежным применение влажных обмазок, вследствие чего обмазка должна иметь определенную пористость, через которую будет удаляться влага при сушке. Поскольку через поры при диффузионном отжиге неизбежно проникновение кислорода к поверхности детали, то, следовательно, окисление алюминия также неизбежно. Для того чтобы воспрепятствовать этому явлению, в состав обмазки необходимо ввести графит (углерод), который, сгорая при диффузионном отжиге, будет предотвращать окисление алитированного слоя.

При нагреве углерод легко окисляется кислородом воздуха с выделением большого количества тепла по реакции



Образовавшаяся углекислота, взаимодействуя с нагретым до

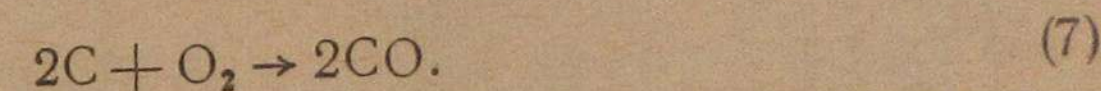
высокой температуры (температура отжига) углеродом, восстанавливается до окиси углерода



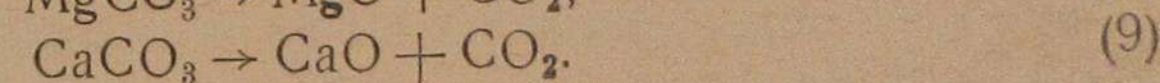
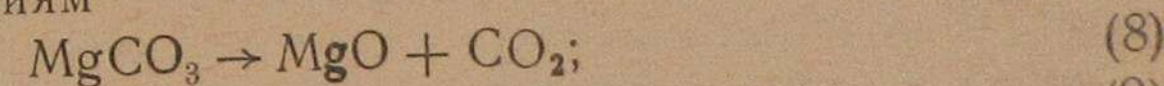
Окись углерода, характеризующаяся восстановительными свойствами [21], при высоких температурах восстанавливает до металла многие их окислы.

Приток кислорода в толщу обмазки при отжиге зависит от ее пористости. Поэтому, регулируя соотношение между пористостью с одной стороны и количеством графита в обмазке — с другой, можно создать такие условия, при которых в пространстве между обмазкой и алитированной поверхностью создается только восстановительная атмосфера, которая и предохраняет напыленный алюминий от окисления.

Можно создать и такие условия, при которых реакция (6) не будет получать развития. Это возможно, очевидно, при недостатке кислорода. В этом случае в обмазке будет протекать следующая реакция:



В составе компонентов, входящих в обмазку, всегда присутствуют CaCO_3 , MgCO_3 , FeO , Fe_2O_3 , Na_2O и др. При действии высокой температуры CaCO_3 , MgCO_3 разлагаются с образованием углекислоты по реакциям



Углекислота, а также пары воды окисляют алюминий и потому они должны быть либо нейтрализованы, либо удалены в атмосферу. Поэтому обмазка должна иметь всегда определенную пористость. Определенная пористость обмазки необходима потому, что в случае ее отсутствия (или в случае крайне слабого развития) образовавшиеся газы могут разрушить обмазку (корку). CaCO_3 , MgCO_3 , Fe_2O_3 , K_2O_3 , Na_2O , играя роль флюсов, вызывают частичное оплавление кристаллов кварца и, заполняя поры, способствуют уменьшению пористости.

Подбирая различное соотношение компонентов, входящих в состав обмазки, можно создать такие условия, при которых процесс окисления напыленного алюминия не будет иметь места. В результате экспериментального исследования для детального изучения были отобраны четыре состава обмазок, указанных в табл. 11.

Жидкое стекло по ГОСТ 962-41, представляющее собой силикат натрия (или силикат калия), обычно в своем составе содержит до 33% Na_2O и SiO_2 до 60% воды и до 10% щелочи. В результате воздействия высокой температуры (при сушке) жидкое стекло высыхает и образует корку.

Входящий в состав обмазок кварцевый песок является наполнителем, образующим огнеупорный скелет корки и обеспечивающий определенную пористость.

Таблица 11

№ об-мазок	Содержание компонентов в %					Замес компонентов
	Жидкое стекло	Огнеупорная глина	Кварцевый песок	Графит	Хлористый аммоний	
1	100*	—	—	—	—	—
2	—	20	30	50	—	На воде
3	—	20	30	50	—	На жидком стекле
4	—	20	30	48	2	То же

* Для сравнения было проведено два эксперимента, в которых обмазка целиком состояла из жидкого стекла. В первом случае диффузионный отжиг проводился в атмосфере воздуха, а во втором — в защитной атмосфере (водород).

Огнеупорная глина является компонентом, склеивающим частицы песка и, следовательно, обеспечивающим прочность образующейся при отжиге корки.

Хлористый аммоний, введенный в обмазку № 4, предназначен для облегчения процесса диффузии алюминия в сталь. При высокой температуре хлористый аммоний диссоциирует с образованием хлористого водорода и хлоридов алюминия. Хлориды алюминия при температуре диффузионного отжига диссоциируют, а образовавшийся в результате этого алюминий, находясь в атомарном состоянии, обладает высокой активностью и диффундирует в глубь металла.

Обмазки № 2 и 3 показали практически одинаковые результаты. Однако корка, образующаяся при применении обмазки № 3, обладает несколько более высокой прочностью.

Для того чтобы выяснить, как влияют указанные выше обмазки на качество напыленного слоя алюминия, как они защищают его от окисления и стекания во время диффузионного отжига, а также выяснить глубину диффузии алюминия, были проведены эксперименты.

Специальные образцы были подвергнуты пескоструйной обработке на аппарате нагнетательного типа.

На подготовленную поверхность был нанесен алюминий при помощи электрометаллизатора марки ЭМ-6 по следующему режиму: сила тока 100 а, напряжение 25 в, давление воздуха 4—5 ат, толщина напыленного слоя алюминия 0,9—1,0 мм.

На напыленный слой алюминия наносилась обмазка при помощи кисти; толщина слоя обмазки 0,5—0,8 мм. После этого образцы подвергались диффузионному многоступенчатому отжигу в электропечах с окислительной атмосферой и в печах с защитной атмосферой (водород) по следующему режиму: предварительная подсушка при температуре 100° в течение 1 часа, подсушка обмазки при температуре 400° в течение 1 часа, нагрев до 980°, выдержка 3 часа, охлаждение вместе с печью до 400°. Дальнейшее оконча-

тельное охлаждение на воздухе. Такой ступенчатый отжиг позволил избежать вспучивания обмазки. Часть образцов была испытана без обмазки.

При указанных условиях испытания у образцов без обмазки напыленный алюминий полностью окислился и отстал от основ-



Фиг. 13. Внешний вид алитированных образцов с различными покрытиями после диффузионного отжига:

а — покрытие из жидкого стекла (обмазка № 1), б — то же покрытие, но отжиг проводился в атмосфере водорода, в — покрытие обмазкой № 4.

ного металла, поэтому дальнейшие эксперименты с такими образцами не производились.

Обмазка № 1, состоящая только из жидкого стекла, не дала положительных результатов, так как напыленный слой алюминия после диффузионного отжига оказался состоящим только из окиси алюминия Al_2O_3 . Глубина диффузионного слоя была около 0,01 мм, а местами диффузионный слой даже отсутствовал, вследствие чего образцы сильно окислились (фиг. 13, а).

Во время предварительной просушки и при диффузионном отжиге указанные для обмазки № 2 компоненты спекались и образовали корку, которая являлась защитой напыленного алюминия от

окисления и стекания во время диффузионного отжига. Графит при температуре отжига большей частью выгорал с образованием защитной атмосферы. Эта обмазка предохраняла напыленный алюминий от окисления и стекания, что способствовало более глубокой и равномерной диффузии алюминия в основной металл. Глубина диффузионного слоя находилась в пределах 0,15—0,4 мм. После диффузионного отжига и остывания спекшаяся корка растрескивалась и легко отставала от напыленного алюминия, обнажая чистую поверхность напыленного слоя алюминия.

Недостаток обмазки № 2 заключается в том, что компоненты обмазки ложились неровным слоем на образцы. Для устранения этого недостатка в обмазку № 3 вместо воды ввели жидкое стекло как связующее, а для ускорения процесса диффузии в обмазку № 4 ввели дополнительно 2% хлористого аммония.

Обмазки № 3 и 4 при нанесении их на образцы хорошо при- ставали к поверхности, ложились ровным слоем толщиной 0,8—1,0 мм. Во время предварительной просушки покрытых образцов, а также во время диффузионного отжига в электропечи проис- ходило спекание компонентов — кварцевого песка, огнеупорной глины и жидкого стекла, вследствие чего образовалась прочная плотная корка толщиной 0,6—0,7 мм, надежно защищающая на- пыленный слой.

Из данных, приведенных в табл. 12, видно, что графит выго- рел (вместо 50% осталось 0,4—0,5%). При охлаждении обмазки № 3 и 4, так же как и обмазка № 2, растрескивались и легко отставали, обнажая чистую напыленную поверхность алюминия темно-синего цвета.

В табл. 13 приведен химический состав напыленного алюминия после диффузионного отжига.

Из табл. 13 видно, что напыленный слой алюминия, покрытый обмазкой № 4, после диффузионного отжига, имеет 82% Al, а обмазками № 2 или 3 — 70—72%, т. е. на 10% Al меньше. Срав- нительные данные показали, что обмазки № 2, 3 и 4 надежно защищают напыленный слой алюминия от окисления во время диффузионного отжига. Жаростойкие обмазки № 2, 3 и 4 полно- стью устраняют необходимость применения для отжига печей с защитной атмосферой.

Глубина диффузионного слоя образцов, покрытых указанными обмазками, после отжига в электропечи и с защитной атмосферой приводится в табл. 14 и на фиг. 14.

Наблюдения за диффузионными слоями, полученными с об- мазками № 1, 2, 3 и 4, показали следующее.

Обмазка № 1 обеспечивает получение алитированного слоя очень небольшой глубины, вследствие чего жаростойкость таких деталей мала. Обмазка № 1, но с применением защитной атмо- сферы, обеспечивает получение слоя достаточной глубины и сооб- щает высокую жаростойкость алитированным деталям, однако, как уже отмечалось, при нанесении эта обмазка ложится неравномер-

Таблица 12

№ обмазок	Химический состав обмазок после диффузионного отжига в %			
	C	Al ₂ O ₃	Si	Fe ₂ O ₃
2	0,4	88,0	8,4	3,2
3	0,5	80,5	15,2	3,8

Таблица 13

Химический состав в % напыленного слоя алюминия после диффузионного отжига

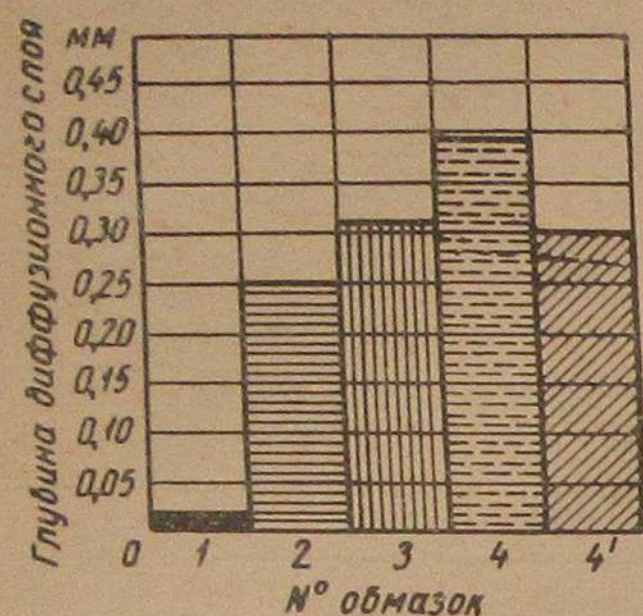
Компоненты	Номера образцов				Без образки, отжиг в печи с защитной атмосферой (водород)
	1	2	3	4	
	отжиг в электропечи с окислительной атмосферой				
Al	50,0	70,0	72,0	82,0	81,0
Al ₂ O ₃	40,0	18,0	17,0	12,0	13,0
Fe ₂ O ₃	3,0	2,5	2,3	2,6	2,6
MnO	0,1	0,2	0,08	0,2	0,2
MgO	3,4	3,5	3,2	1,0	1,0
CuO	3,5	5,8	5,42	2,2	2,2

Таблица 14

Зависимость глубины алитированного слоя от состава защитных обмазок

№ обмазок	Режим диффузионного отжига		Толщина напылен. слоя в мм	Глубина диф- фузионного слоя в мм	Отжиг в электропечи
	температура нагрева в °C	продолжитель- ность нагрева в час			
1	920	3	1,0	0,009—0,01	С окислительной средой
2	920	3	1,0	0,23 —0,35	
3	920	3	1,0	0,25 —0,4	
4	920	3	1,0	0,3 —0,45	С защитной средой (во- дород)
4'	920	3	1,0	0,24—0,30	

ными слоями. Обмазки № 2 и 3 обеспечивают получение алитированного слоя достаточно большой глубины, сообщая деталям высокую жаростойкость, и, что особенно важно отметить, полностью устраняют применение защитной атмосферы при диффузионном отжиге. Обмазка № 4 обеспечивает получение алитированного



Фиг. 14. Влияние обмазок на глубину диффузионного слоя.

слоя несколько большей глубины, чем обмазки № 2 и 3; но ее недостатком является то, что присутствующий в составе хлористый аммоний разлагается при отжиге с образованием хлористого водорода, т. е. соляной кислоты, пары которой, выделяясь в атмосферу печи, разрушают нагревательные элементы печи и другую арматуру. Обмазки № 3 и 4, образующие плотные прочные корки, предотвращают стекание алюминия, способствуя получению равномерного диффузионного слоя. При наличии прочной корки плотность напыленного слоя, прочность его сцепления с основным металлом в процессе диффузионного отжига возрастают и образовавшаяся при отжиге плотная прочная корка при последующем за диффузионным отжигом охлаждении на воздухе растрескивается и легко отскакивает от детали.

2. Выбор метода распыления

Как уже отмечалось, алитирование методом распыления алюминия является наиболее перспективным методом. Поскольку разработка защитных обмазок, изложенная в предыдущем разделе, была осуществлена применительно к деталям, алитированным с помощью электродугового металлизатора марки ЭМ-6, представляло интерес проверить эффективность указанных обмазок при металлизации с помощью газового металлизатора марки ГИМ-1.

Для изучения влияния метода распыления на качество и свойства алитированного слоя были подготовлены и после алитирования испытаны специальные образцы размером $80 \times 30 \times 9$ мм, изготовленные из стали марок 20 и 30. При этом из стали 20 были изготовлены сварные образцы, а из стали 30 литые.

Подготовка сварных и литых образцов под металлизацию проводилась пескоструйной обработкой на аппарате инжекторного типа; давление воздуха 4,5—5,0 ат. Расстояние от сопла аппарата до поверхности образцов 150—200 мм, угол наклона 30—40°. Напыление алюминия производили электрометаллизатором марки ЭМ-6 и газовым марки ГИМ-1. Расстояние от сопла металлизатора до поверхности образцов колебалось в пределах 100—150 мм.

Применение сварных образцов преследовало выяснение возможности алитирования и повышения жаростойкости сварных деталей.

Толщина напыленного слоя алюминия на всех образцах находилась в пределах 0,8—1,0 мм.

Для защиты образцов применяли обмазку № 3 (табл. 11), нанося ее ручной кистью слоем 1,0—1,2 мм.

Диффузионный отжиг проводился в электрической печи с окислительной атмосферой и в печи с защитной атмосферой водорода по режиму, приведенному в табл. 15.

Таблица 15

Результаты испытания на жаростойкость алитированных образцов

Метод напыления	Режим диффузионного отжига		Средний привес в $\Gamma/\text{дм}^2$ час
	температура нагрева в $^{\circ}\text{C}$	время нагрева в час	
Металлизация газовым аппаратом	980	4	0,016
То же	980	5	0,015
То же	980	6	0,015
Неалитированные образцы	—	—	0,110
Электрометаллизация	980	4	0,012
То же	980	5	0,009
То же	980	6	0,007

Примечание. Приведены средние данные из пяти образцов по каждому опыту. Условия испытания — переменный нагрев в течение 100 час. при 800° .

Все образцы испытывали на жаростойкость согласно изложенной ранее методике.

Из табл. 15 видно, что образцы, алитированные с помощью газового металлизатора и образцы, алитированные с помощью электродугового металлизатора, имеют соответственно в 7—8 и 10—14 раз более высокую жаростойкость, чем образцы не алитированные. Образцы, алитированные с помощью электродугового металлизатора, имеют более высокую жаростойкость, чем образцы алитированные с помощью газового металлизатора.

Повышенная жаростойкость образцов, алитированных с помощью электродугового металлизатора, по нашему мнению, может быть объяснена следующим образом.

Поскольку в процессе напыления частицы металла, имеющие достаточно высокую температуру, вступают в непосредственный контакт с воздухом, то, очевидно, можно предположить, что они окисляются. Более мелкие частицы имеют более развитую поверхность [21]. Поэтому процесс окисления, всегда начинающийся (для компактных веществ) с поверхности, у мелких частиц получает

большее развитие, чем у крупных. Опыты показывают, что при распылении газовым металлатором частицы распыленного алюминия получаются более мелкими (0,001—0,002 мм), чем при распылении электродуговым аппаратом (0,01—0,02 мм). Следовательно, напыленный с помощью газового металлатора слой более окислен, менее плотен и потому менее жаростоек, чем слой, полученный при помощи электрометаллизатора.

Проведенные исследования показали, что жаростойкость литых образцов из стали 20Л и 55Л такая же, как и жаростойкость образцов, изготовленных из проката стали марки 20. Поэтому дальнейшие эксперименты проводились на образцах, изготовленных из проката стали марки 20.

3. Влияние некоторых факторов на жаростойкость алитированного слоя

Влияние состава обмазок, условий отжига на содержание алюминия в диффузионном слое. Одной из важнейших характеристик, определяющих качество и свойства и прежде всего жаростойкость алитированного слоя, является содержание в нем алюминия и характер изменения его по глубине диффузионного слоя.

В работе было проведено изучение влияния состава обмазок и условий диффузионного отжига на указанные характеристики качества слоя.

Три серии образцов, изготовленных из стали марки 20, были алитированы распылением с помощью электрометаллизатора. Толщина слоя напыленного алюминия 0,9—1,0 мм. Алитированные образцы были покрыты обмазками № 1 (две серии образцов) и № 4 (одна серия образцов). Затем образцы подвергались диффузионному отжигу при температуре 920° в течение 120 час. Одна партия образцов, покрытая обмазкой № 1, отжигалась в защитной атмосфере (водород); другая партия таких же образцов вместе с образцами, покрытыми обмазкой № 4, отжигалась в окислительной атмосфере печи.

Подготовленные таким образом образцы были подвергнуты послойному химическому анализу для определения характера распределения алюминия по глубине диффузионного слоя. С каждого образца соответствующей серии стачивалась стружка через каждые 0,2 мм. На каждый опыт было использовано по пяти образцов.

Результаты определения содержания алюминия по глубине алитированного слоя приводятся в табл. 16 и на графике фиг. 15. В табл. 17 представлены результаты испытания на жаростойкость образцов, алитированных как указано выше.

Из данных, приведенных в табл. 16 и фиг. 15, следует что содержание алюминия в диффузионном слое определяется составом защитных обмазок и условиями диффузионного отжига. Обмазка из жидкого стекла (при отжиге в окислительной атмосфере) обес-

Таблица 16

Содержание алюминия в % по слоям диффузионного слоя

№ обмазок	1-й слой	2-й слой	3-й слой	4-й слой	5-й слой	6-й слой
1	40,0	35,0	30,0	20,0	10,0	Следы
1*	75,0	58,0	49,0	24,3	18,0	1,2
4	78,0	62,0	53,0	30,0	19,3	1,2

* Алитированные образцы, обмазанные жидким стеклом (обмазка № 1), были подвергнуты диффузионному отжигу в защитной атмосфере.

Таблица 17

№ обмазок	1	1	4
Условия диффузионного отжига	в защитной атмосфере	в окислительной атмосфере	
Привес образцов в г/дм ² за 105 час. при 920° в окислительной атмосфере	0,60	0,80	0,78
Примечание. Приводим средние данные по результатам испытания пяти образцов.			

печивает получение диффузионного слоя с наименьшим содержанием алюминия и, следовательно, с наиболее низкой жаростойкостью. Следует также отметить, что обмазка из жидкого стекла не устраняет полностью стекания жидкого алюминия и потому глубина слоя и содержание алюминия в нем неравномерны. Наиболее высокое содержание алюминия имеет слой на образцах, покрытых обмазкой № 4.

Сравнивая общую глубину диффузионных слоев, полученных на образцах с разной обмазкой (фиг. 15), нетрудно видеть, что глубина алитированного слоя во всех случаях почти одинакова (наибольшая разница примерно в 10—15%). Однако жаростойкость образцов, покрытых жидким стеклом, и образцов, покрытых обмазкой № 4, и отожженных в одинаковых условиях, различна. Образцы, покрытые жидким стеклом, показали жаростойкость, в 7,5 раза меньшую, чем образцы, покрытые обмазкой № 4.

Поскольку указанные образцы существенно различались между собой только содержанием алюминия в диффузионном слое, то, следовательно, можно сделать вывод о том, что содержание алюминия является наиболее важным фактором, определяющим жаростойкость алитированной детали.

Влияние толщины слоя напыленного алюминия и длительности отжига. Для изучения зависимости глубины диффузионного слоя от толщины слоя напыленного алюминия были проведены исследования на образцах, изготовленных из стали марки 20, покрытых обмазкой № 3 (табл. 11). Диффузионный отжиг проводился

при температуре 920°; длительность отжига 1 час.

Толщина напыленного слоя алюминия принималась равной 0,25; 0,50; 0,75 и 1,00 мм, расстояние от сопла металлатора 75, 100, 125 и 150 мм. Глубина диффузионного слоя определялась по микроструктуре металлографическим методом.

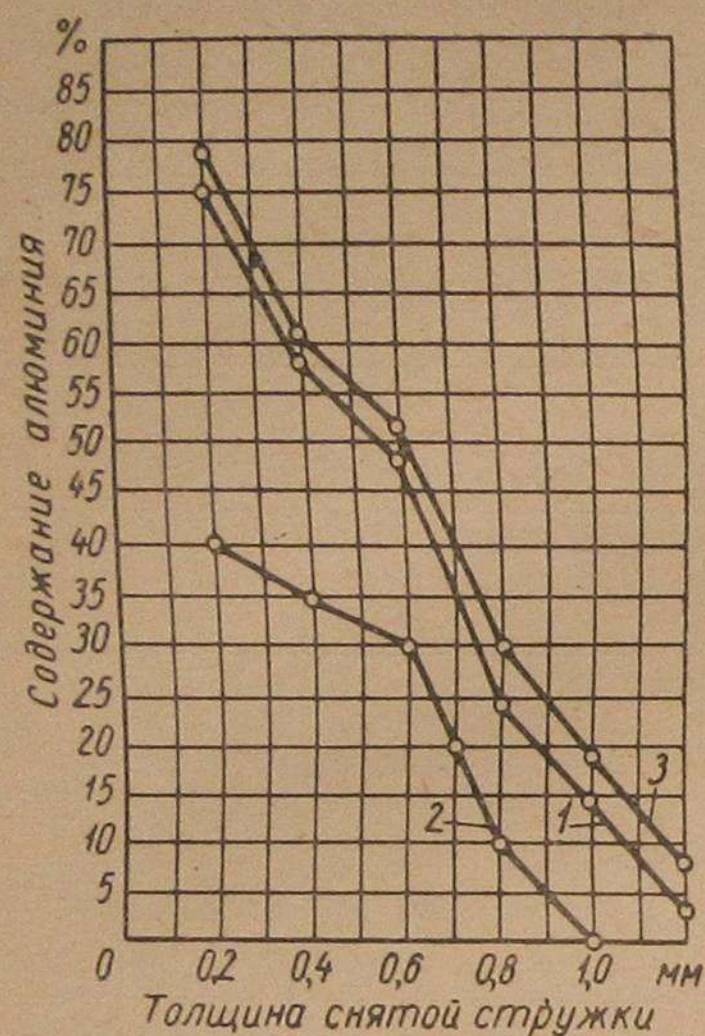
Результаты исследования представлены в табл. 18.

Как видно из таблицы, глубина диффузионного слоя при длительности диффузионного отжига в течение 1 часа практически не зависят от толщины напыленного слоя — во всех случаях глубина диффузионного слоя равна 0,06—0,09 мм.

В процессе диффузионного отжига имеет место интенсивный расход напыленного алюминия. Например, при отжиге в течение 1 часа толщина напыленного слоя уменьшилась на 20—30%. Учитывая, что максимальная глубина диффузионного слоя равна 0,09 мм, а наибольшее уменьшение толщины напыленного слоя за то же время 0,3 мм, можно сделать вывод о том, что на по-

верхности напыленного слоя протекали, по-видимому, какие-то дополнительные процессы с участием алюминия, что и вызвало его расход. Однако этот вопрос требует специального изучения.

Для выяснения зависимости глубины диффузионного слоя от продолжительности нагрева и толщины напыленного слоя алитированные образцы были подвергнуты переменному нагреву при 920° в течение 72 час. в электрической печи с окислительной атмосферой. Нагрев производился циклически: 3 часа нагрев и 2 часа охлаждение на воздухе. Результаты исследования влияния толщины напыленного слоя и длительности диффузионного отжига на глубину диффузии приводятся на фиг. 16.



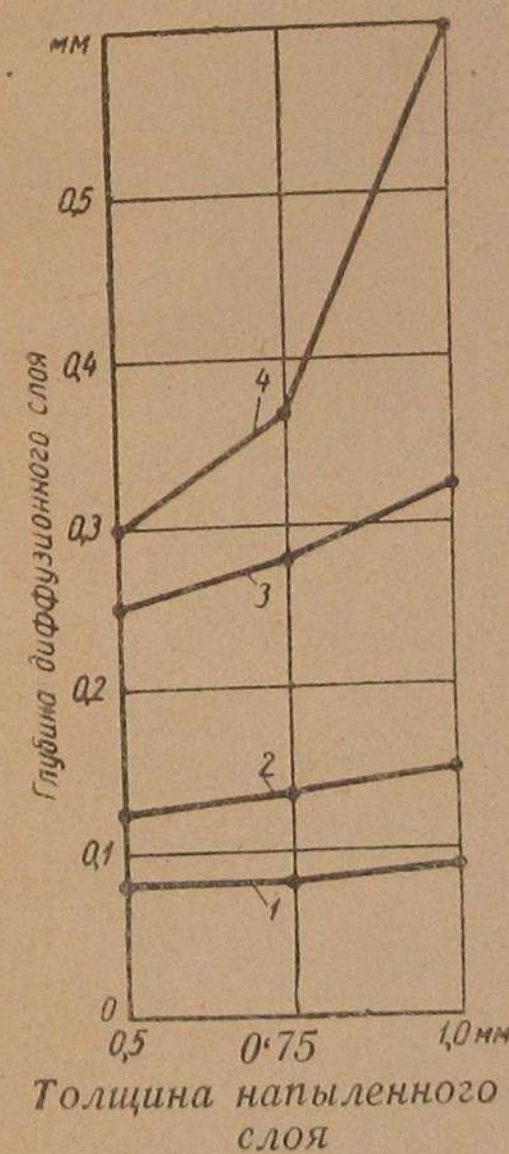
Фиг. 15. Зависимость содержания алюминия в алитированном слое от глубины, состава обмазки и условий диффузионного отжига:

1 — распределение алюминия по глубине слоя; обмазка — жидкое стекло, диффузионный отжиг в защитной атмосфере, 2 — то же, обмазка — жидкое стекло, диффузионный отжиг в окислительной атмосфере, 3 — то же, обмазка № 4, диффузионный отжиг в окислительной атмосфере.

Таблица 18

Расстояние от сопла металлатора до поверхности в мм	Исходная толщина напыленного слоя алюминия в мм	Толщина напыленного слоя после отжига в течение 1 часа в мм	Глубина диффузионного слоя в мм
75	0,25	0,20	0,06—0,07
100	0,25	0,20	0,06—0,08
125	0,25	0,20	0,07—0,08
150	0,25	0,20	0,07—0,08
75	0,50	0,36	0,07—0,09
100	0,50	0,36	0,07—0,09
150	0,50	0,37	0,07—0,09
75	0,75	0,57	0,07—0,09
100	0,75	0,55	0,07—0,09
150	0,75	0,56	0,07—0,09
100	1,00	0,70	0,07—0,09
150	1,00	0,70	0,09

Примечание. Приведены средние данные пяти образцов для каждой партии опытов.

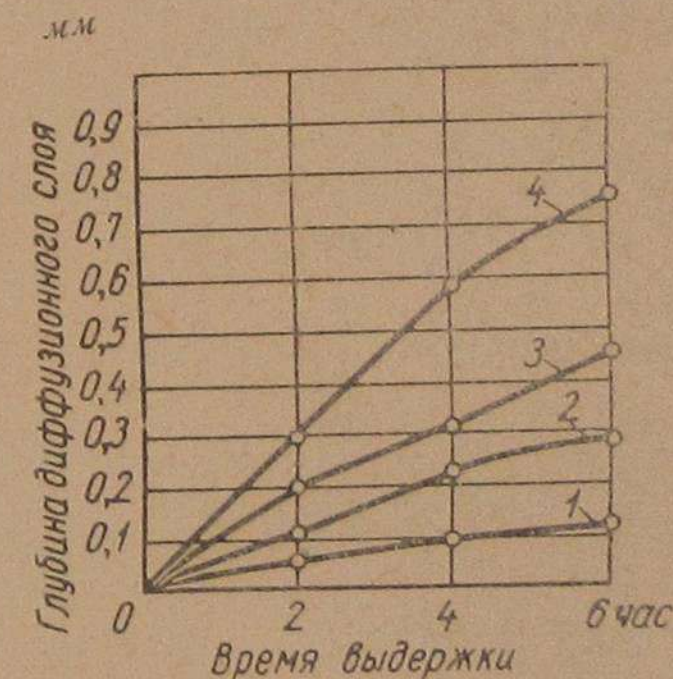


Фиг. 16. Зависимость глубины диффузионного слоя от толщины напыленного слоя и длительности диффузионного отжига:

1 — 1 час, 2 — 24 часа, 3 — 48 час., 4 — 72 час.

Толщина напыленного слоя оказывает влияние на глубину диффузионного слоя, при этом ее влияние с увеличением длительности диффузионного отжига все более возрастает.

Из сказанного следует, что из числа



Фиг. 17. Зависимость глубины диффузионного слоя от температуры нагрева и времени нагрева при толщине напыленного слоя в 1 мм. Отжиг:

1 — при 920°, 2 — при 1000°, 3 — при 1100°, 4 — при 1200°.

изученных наиболее приемлемой толщиной слоя напыленного алюминия является толщина 1,0—1,2 мм.

Влияние температуры диффузионного отжига. Одним из важнейших факторов, оказывающих влияние на формирование диффузионного слоя, является температура, при которой протекает процесс диффузии.

Поскольку процесс диффузии при наличии защитной обмазки протекает в своеобразных условиях, представляло интерес определить количественное влияние температуры на диффузию алюминия.

Для этой цели четыре серии образцов из стали марки 20 (по пяти образцов на каждый опыт) были подготовлены так же, как и в предыдущем случае, а затем подвергнуты диффузионному отжигу при 920, 1000, 1100 и 1200° и выдержках в течение 2, 4 и 6 час. Глубина диффузионного слоя определялась металлографически.

Результаты экспериментов представлены на графике фиг. 17.

Как видно из таблицы и графика, с увеличением температуры и длительности нагрева диффузионный слой возрастает. Однако влияние температуры сказывается более заметно, чем влияние длительности выдержки.

Данные о распределении алюминия в диффузионном слое, получаемом при указанных температурах после выдержки в течение 4 час., приводятся в табл. 19.

Таблица 19

Температура диффузионного отжига в °С	№ слоев*	Общая толщина снятого слоя в мм	Содержание алюминия в слое в %	Температура диффузионного отжига в °С	№ слоев*	Общая толщина снятого слоя в мм	Содержание алюминия в слое в %
920	1	0,2	88,0	1100	1	0,2	70,0
	2	0,4	75,0		2	0,4	54,0
	3	0,6	47,0		3	0,6	37,0
	4	0,8	42,0		4	0,8	25,5
	5	1,0	28,0		5	1,0	21,0
					6	1,2	16,0
1000	1	0,2	75,0	1200	1	0,2	54,0
	2	0,4	57,0		2	0,4	48,0
	3	0,6	42,5		3	0,6	36,0
	4	0,8	35,0		4	0,8	24,0
	5	1,0	24,0		5	1,0	19,0
					6	1,2	17,5
					7	1,4	10,0

* Толщина каждого слоя 0,2 мм

Из таблицы видно, что чем выше температура диффузионного отжига, тем больше глубина слоя и ниже содержание алюминия в поверхностном слое.

Как следует из данных, приведенных в табл. 20, жаростойкость алитированного слоя определяется не столько глубиной али-

Таблица 20

Условия алитирования		Привес образцов в г/дм² за 105 час. испытания при 920° в окислительной атмосфере
Температура диффузионного отжига в °С	Длительность отжига в часах	
920	4	0,94
1000	4	1,20
1100	4	1,32
1200	4	1,51

тированного слоя, сколько содержанием алюминия в диффузионном слое.

Наиболее высокой жаростойкостью обладает диффузионный слой, полученный при диффузионном отжиге при температуре 920°.

Из табл. 20 видно, что при принятых условиях эксперимента содержание алюминия в поверхностном слое может колебаться от 54 до 88%. Это значит, что в соответствии с диаграммой состояния системы Fe—Al (см. фиг. 1) слои, полученные при 920, 1000 и 1100° и имеющие содержание алюминия в поверхностном слое соответственно 88, 75 и 70%, при нагреве выше 660° будут состоять из двух фаз: из жидкой фазы (алюминия), твердой γ-фазы (Al₃Fe). Чем выше температура нагрева (при работе детали), тем меньше будет твердой фазы и тем больше будет в слое жидкой фазы.

При нагреве до высоких температур такой слой будет стекать, что приведет к перераспределению содержания алюминия в слое по поверхности детали и к местному снижению жаростойкости.

4. Экспериментальная проверка свойств алитированного слоя

Для экспериментальной проверки свойств алитированного слоя, полученного на образцах по принятой технологии, были проведены специальные опыты. С этой целью образцы были изготовлены из стали марок 20, 55Л, 5Х13, Х23Н13 и из чугуна марки СЧ 18-36.

Все образцы были покрыты слоем алюминия распылением с помощью электрометаллизатора. Толщина слоя напыленного алюминия во всех случаях была 1,0 мм.

Внешний осмотр показал, что образцы из малоуглеродистой стали имели ровный напыленный слой; на образцах из литой высокоуглеродистой стали поверхность напыленного слоя шероховатая (они и до напыления имели шероховатую поверхность); на образцах из серого чугуна поверхность неровная, местами образовались спай; образцы из жаростойкой хромистой стали имели хорошую ровную поверхность.

Диффузионный отжиг образцов проводился при температурах 920, 1000, 1100 и 1200° в течение 4 час.

Алитированные образцы из стали марок 20, 55Л, 4Х13 и чугуна испытывались на жаростойкость при 920°, при циклическом нагреве и охлаждении.

Нагрев проводился в окислительной атмосфере печи, охлаждение — на воздухе. Алитированные образцы из стали Х23Н13 испытывались на жаростойкость при 1150° в аналогичных условиях.

Одновременно с алитированными образцами испытанию на жаростойкость подвергались и неалитированные образцы, изготовленные из тех же сплавов. Алитированные образцы из жаростойкой стали Х23Н13 в процессе испытания на жаростойкость взвешивались через каждые 6 час., а образцы из стали марок 20, 55Л, 5Х13 и чугуна СЧ 18-36 — через 21 час.

Результаты испытания на жаростойкость образцов из стали марок 20 и 55Л приводятся в табл. 21.

Таблица 21

Температура диффузионного отжига в °С	Привес образцов в г/дм ² после испытания на жаростойкость в час.				
	21	42	63	84	105
Сталь марки 20					
920	0,25	0,48	0,72	0,90	1,1
1000	0,28	0,61	0,82	1,0	1,21
1100	0,43	0,70	0,90	1,18	1,27
1200	0,47	0,75	1,0	1,20	1,50
Сталь марки 55Л					
920	0,26	0,45	0,60	0,80	0,95
1000	0,30	0,49	0,68	0,84	1,05
1100	0,48	0,70	0,80	1,00	1,20
1200	0,80	1,00	1,15	1,33	1,51

Примечание. Приведены средние данные пяти образцов из каждой партии для каждого опыта.

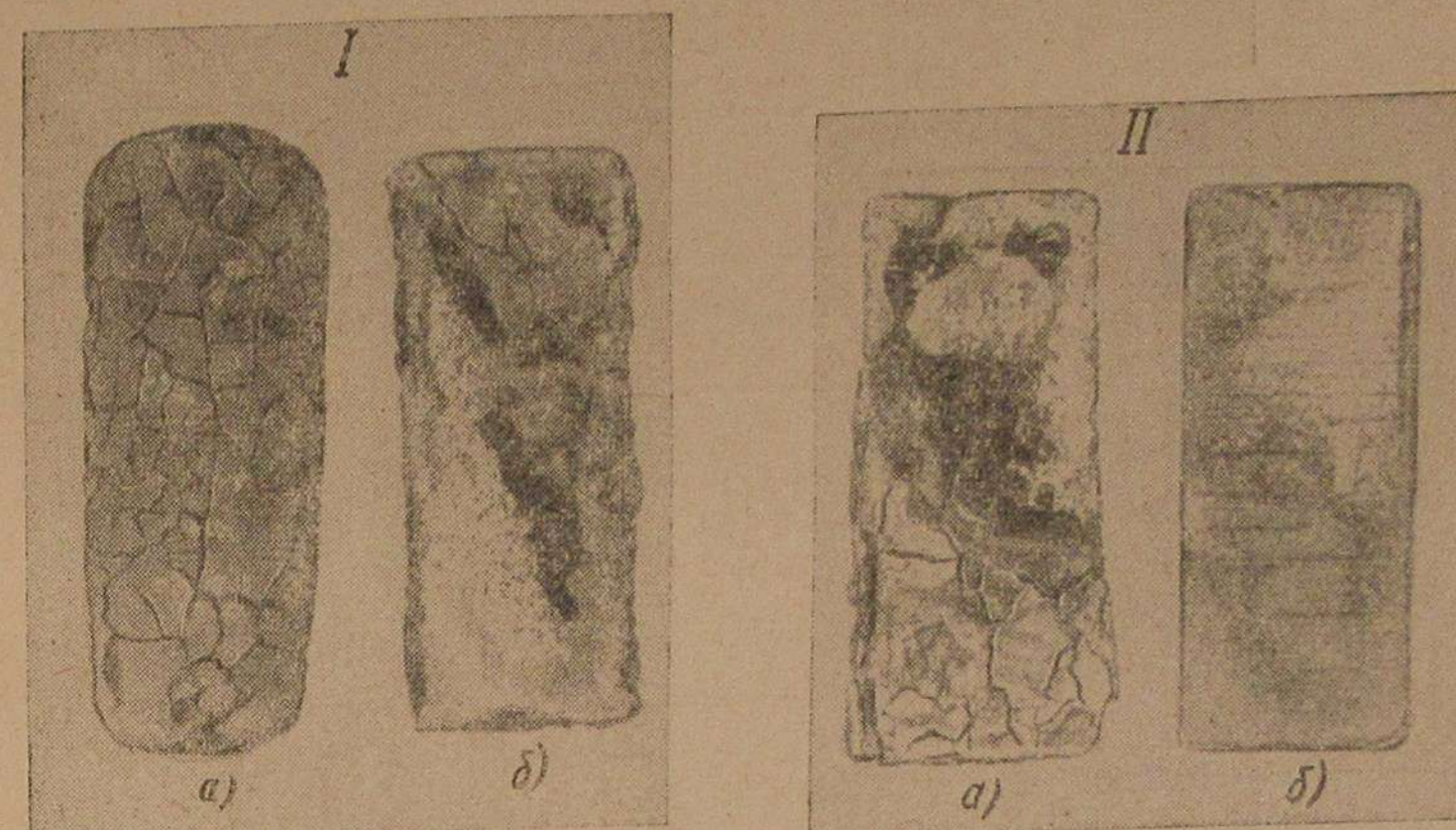
На фиг. 18 представлены фотографии внешнего вида образцов из стали марок 20 и 55Л, подвергнутых испытанию на жаростойкость.

Результаты испытания на жаростойкость образцов из хромистой стали 4Х13 и чугуна СЧ 18-36 приводятся в табл. 22.

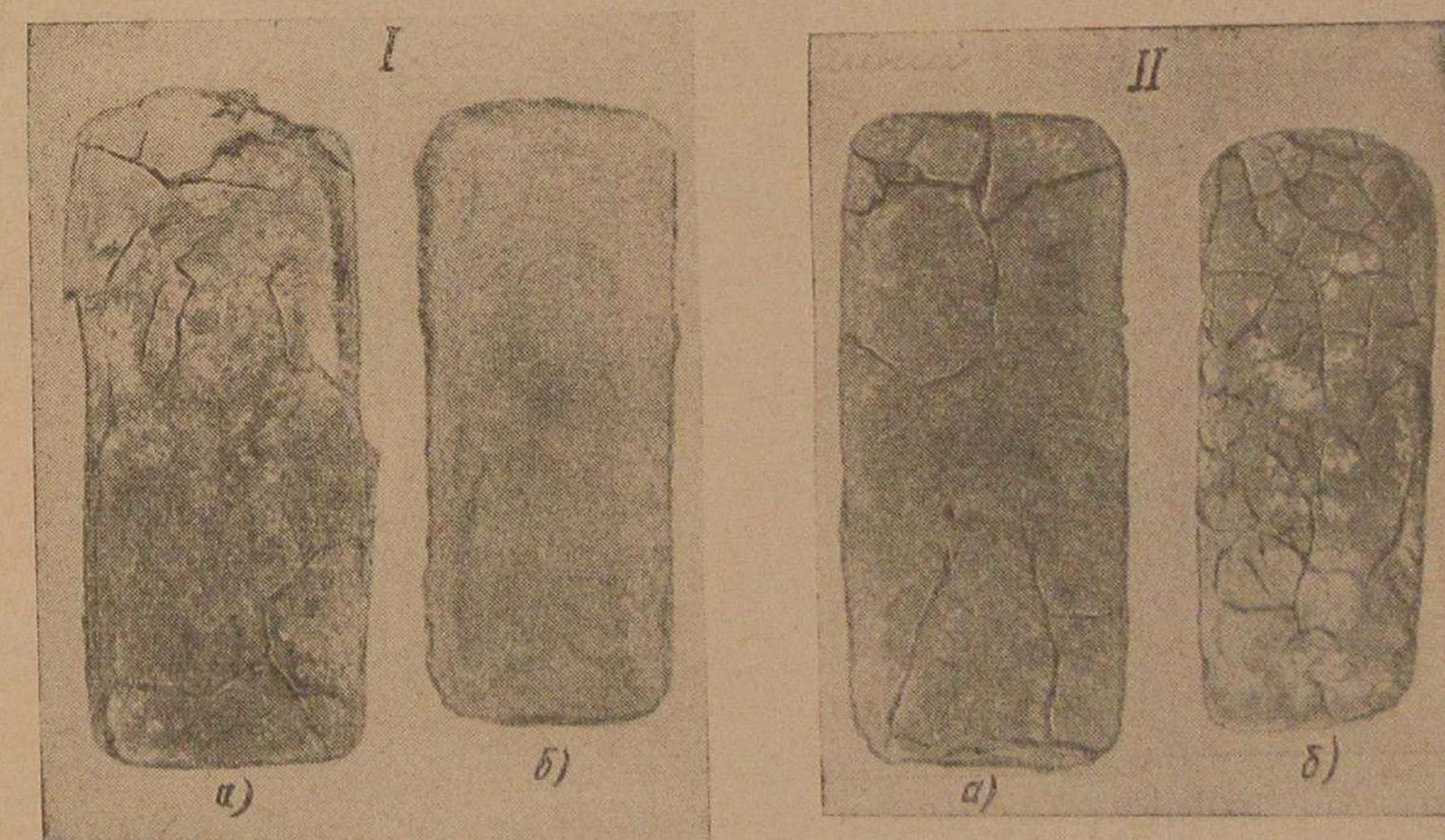
Внешний вид образцов из стали 4Х13 и чугуна СЧ 18-36 представлен на фиг. 19.

Данные о жаростойкости образцов, изготовленных из стали марки Х23Н13, приводятся на графике фиг. 20, а внешний вид образцов после испытания — на фиг. 21.

На графике фиг. 22 приводятся данные о жаростойкости алитированных (диффузионный отжиг при 920° в течение 6 час.) и



Фиг. 18. Внешний вид образцов из стали марок 20 (I) и 55Л (II) после испытания на жаростойкость в течение 18 час.:
а — образец неалитированный, б — образец алитированный.



Фиг. 19. Внешний вид образцов из стали марки 4Х13 (I) и из чугуна СЧ18-36 (II) после испытания на жаростойкость
а — образцы неалитированные, б — образцы алитированные.

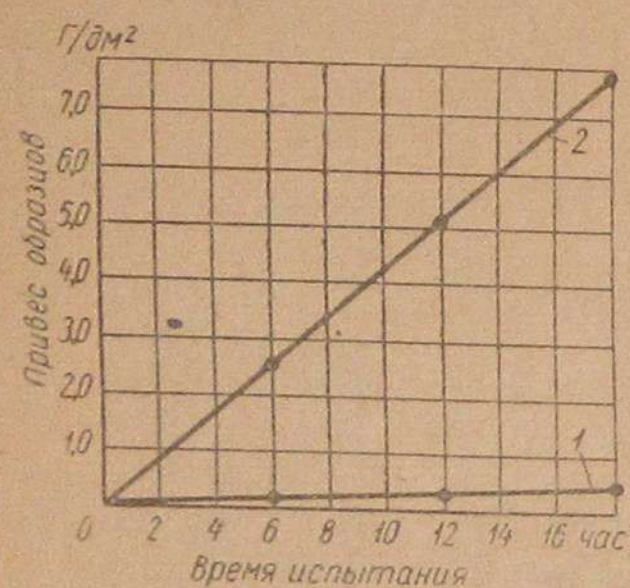
Таблица 22

Материал образцов	Температура диффузионного отжига в °С	Привес образцов в г/дм ² за время испытания в час.				
		21	42	63	84	105
4X13	920	0,23	0,37	0,49	0,64	0,80
СЧ 18-36	920	1,07	2,00	2,70	3,70	4,80

Примечание. Приведены средние данные пяти образцов для каждого опыта.

неалитированных образцов из стали марок 20, 55Л, 4X13 и чугуна СЧ 18-36.

Наиболее высокой жаростойкостью обладают алитированные образцы из стали марок 20 и 55Л, подвергнутые диффузионному отжигу при 920°. Это объясняется тем, что при указанном режиме отжига получается диффузионный слой, имеющий наиболее высокое содержание алюминия.



Фиг. 20. Жаростойкость образцов из стали марки X23H13: 1 — образцы алитированные, 2 — образцы неалитированные.

Диффузионные слои, полученные после отжига при 920 и 1000°, более эффективно защищают сталь 55Л, чем сталь 20. При дальнейшем повышении температуры отжига эффективность защиты меняется, алитированная сталь марки 20 становится более жаростойкой, чем сталь 55Л.

Все алитированные образцы из стали марок 20, 55Л, 4X13 после испытания на жаростойкость имеют удовлетворительное состояние поверхности (фиг. 18, I, б; II, б и фиг. 19, I, б).



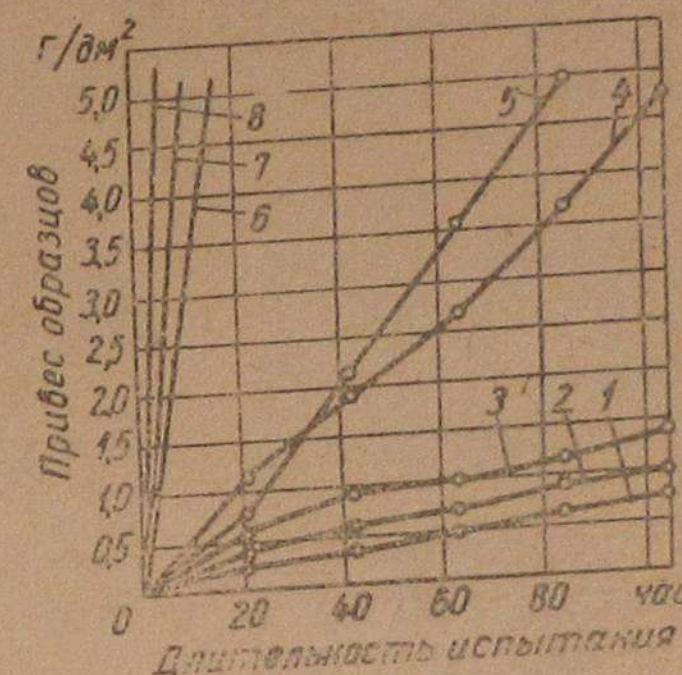
Фиг. 21. Внешний вид образцов из стали марки X23H13 после испытания на жаростойкость при 1150° в течение 18 час.: а — неалитированный образец, б — алитированный образец.

Весьма эффективное влияние алитирование оказывает на жаростойкость стали марки X23H13. В результате алитирования жаростойкость указанной стали при длительности испытания 18 час. возрастает примерно в 16 раз (фиг. 20). Алитированный образец из этой стали при испытании на жаростойкость в окислительной атмосфере при температуре 1150° в течение 27 час. сохранился достаточно хорошо, в то же время неалитированный образец полностью окислился (фиг. 21).

Как видно из графика фиг. 22, алитирование резко повышает жаростойкость стали и чугуна.

Так как алитирование в порошковой смеси находит широкое применение в промышленности, представляло интерес провести сравнительные испытания жаростойкости образцов, алитированных двумя методами.

Для этой цели одна партия образцов из стали марки 20 была алитирована напылением с применением обмазки № 4 и с последующим диффузионным отжигом в течение 4 час.; другая партия была алитирована в порошкообразной смеси. Результаты испытания приводятся в табл. 23.



Фиг. 22. Жаростойкость алитированных (кривые 1—4) и неалитированных (кривые 5, 6, 7, 8) сталей и чугуна: 1 и 5 — хромистая сталь 4X13, 2 и 6 — сталь 20, 3 и 7 — сталь 55Л, 4 и 8 — серый чугун СЧ 18-36.

Таблица 23

Способ алитирования	Привес в г/дм ² за время испытания в часах				
	21	42	63	84	105
Алитирование способом металлизации распылением алюминия; защитная обмазка № 4; отжиг при температуре 920° в течение 4 час.	0,2	0,4	0,6	0,9	1,1
Твердое алитирование в смеси, состоящей из 98% ферроалюминиевого порошка и 2% хлористого аммония; отжиг в течение 4 час. при 920°	0,5	0,7	1,3	1,5	2,2

Примечание. Приведены средние данные пяти образцов.

Испытания на жаростойкость проводились при температуре 920°. Жаростойкость образцов из стали марки 20, алитированных способом металлизации распылением, примерно в два раза выше

жаростойкости таких же образцов, но алитированных в порошковой смеси.

Пониженная жаростойкость образцов, алитированных в порошковой смеси, объясняется тем, что содержание алюминия в диффузионном слое, образующемся при таком алитировании, значительно ниже, чем содержание алюминия в диффузионном слое, получающемся при алитировании распылением алюминия с последующим диффузионным отжигом. Например, при алитировании методом распыления с последующим диффузионным отжигом содержание алюминия находится в пределах 78—90%, а при алитировании в порошковой смеси 45—55%.

МИКРОСТРУКТУРА И ТВЕРДОСТЬ АЛИТИРОВАННОГО СЛОЯ

Микроструктура алитированных слоев выявлялась травлением металлографических шлифов в 6%-ном спиртовом растворе азотной кислоты HNO_3 . Часть алитированного слоя, расположенная непосредственно под поверхностью, отличается хрупкостью. Поэтому при приготовлении шлифов следует принимать меры предосторожности, предотвращающие скалывание хрупкого слоя.

Фотографии микроструктуры алитированных слоев исследованных образцов приводятся на фиг. 23—26.

Общая глубина алитированного слоя стали марки 20 после отжига в течение 2 час. (фиг. 23, а) и 105 час. (фиг. 23, б) составляет соответственно около 0,2 и 0,7 мм. Слой состоит из двух зон: наружной, примыкающей к поверхности, и внутренней, граничащей с наружной зоной и основным металлом. Наружная зона отличается сильно развитой пористостью и наличием трещин, приводящих в отдельных случаях к полному скалыванию наружной зоны. Появление трещин и скалывание отдельных участков происходит из-за больших напряжений, возникающих в наружной зоне вследствие увеличения объема железа при насыщении его алюминием.

Внутренний слой имеет столбчатое строение. Однако границы зерен столбчатой формы выявляются примененным реактивом недостаточно четко.

Исходя из микроструктуры и учитывая результаты послойного химического анализа (табл. 19), структуру алитированного слоя после диффузионного отжига в течение 105 час. можно описать следующим образом.

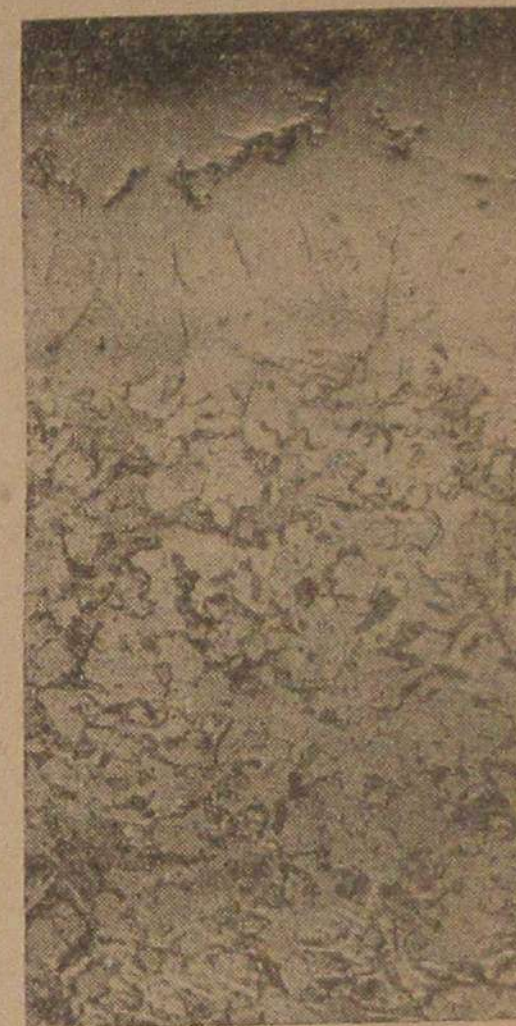
Наружная зона, содержащая более 60% Al, представляет собой сплав, состоящий из алюминия и Al_3Fe . Вследствие наличия пор в этой зоне присутствует также и окись алюминия Al_2O_3 , находящаяся на поверхности пор. Непосредственно к основному металлу примыкает зона α -твердого раствора и химические соединения железа с алюминием (Al_2Fe ; Al_5Fe_2 ; Al_3Fe). Примененная методика металлографического исследования не позволила выявить упомянутые химические соединения.

Структура алитированных слоев на образцах из стали марок 30 (фиг. 24) и 55Л (фиг. 25) аналогична структуре алитированного слоя стали марки 20 (фиг. 23).

Особенностью алитированных слоев на указанных сталях является отсутствие четко выраженной границы раздела между диффузионным слоем и основным металлом.



Фиг. 23. Микроструктура алитированного слоя стали марки 20 после диффузионного отжига при 920° в течение 2 час. (а) и 105 час. (б). $\times 100$.



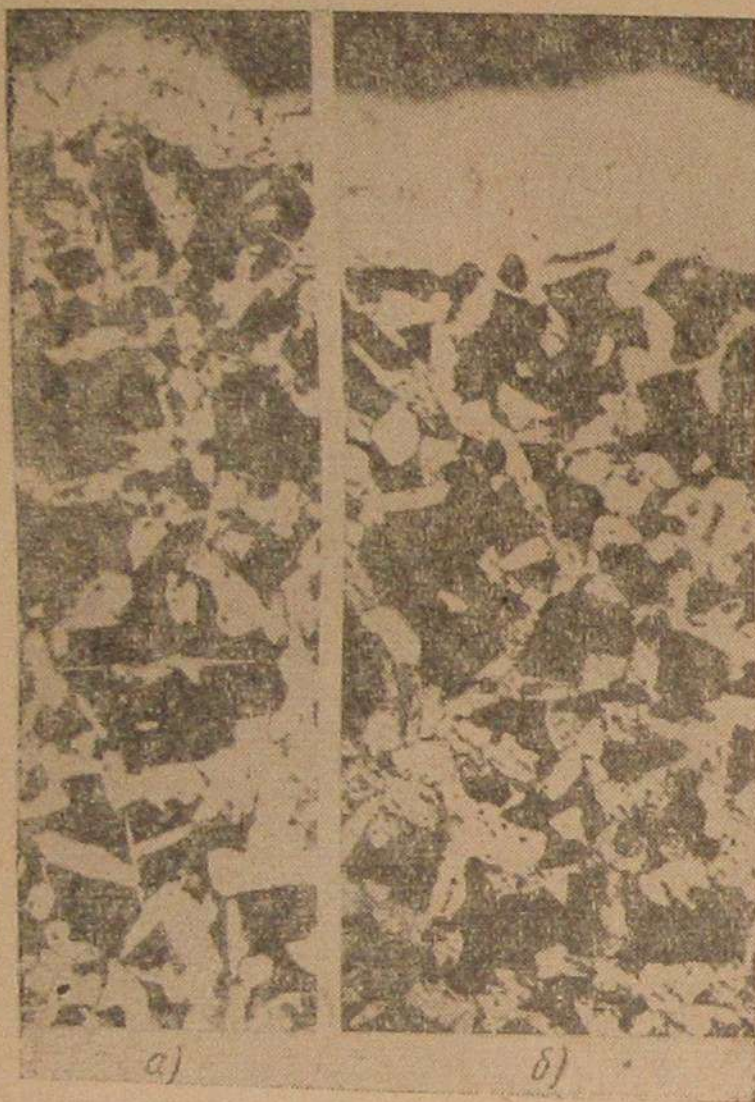
Фиг. 24. Микроструктура алитированного слоя стали марки 30 после диффузионного отжига при 920° в течение 84 час. $\times 100$.

Наружная зона диффузионного слоя стали 4Х13 также имеет поры и обладает хрупкостью, вызывающей откалывание наружной зоны. Фазовый состав алитированного слоя высокохромистой стали не изучался. Особенностью строения такого слоя является резко выраженная столбчатость и четко видимая граница раздела между диффузионным слоем и основным металлом (фиг. 26). Столбчатые зерна диффузионного слоя отличаются большой протяженностью и слабой травимостью границ.

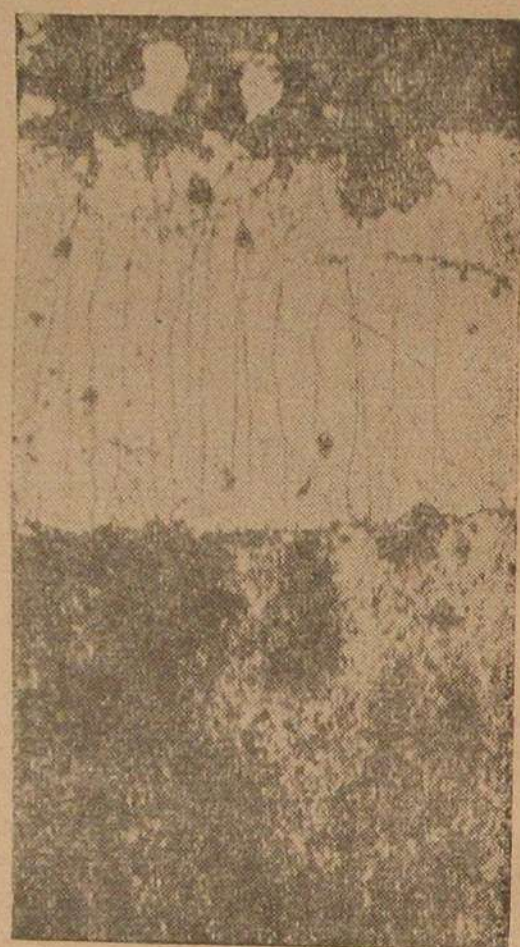
Исследование показало, что с увеличением содержания углерода в стали глубина диффузии алюминия в сталь уменьшается. Это объясняется тем, что углерод препятствует диффузии. Как показало исследование, на сером чугуна марки СЧ 18-36 диффузионный слой алюминия практически отсутствует.

Микротвердость наружной зоны алитированного слоя стали марок 20, 30 и 55Л *HD* 850—870, а стали марки 4Х13—*HD* 339—365; микротвердость внутренней зоны равна соответственно *HD* 530—540 и *HD* 226—284.

Пониженная твердость диффузионного слоя хромистой стали марки 4Х13 по сравнению с твердостью алитированного слоя стали марок 20, 30 и 55Л объясняется, по-видимому, тем, что при



Фиг. 25. Микроструктура алитированного слоя стали марки 55Л после диффузионного отжига при 920° в течение 2 час. (а) и 63 час. (б). $\times 100$.



Фиг. 26. Микроструктура алитированного слоя стали марки 4Х13 после диффузионного отжига при 920° в течение 63 час. $\times 100$.

алитировании высокохромистой стали алюминий диффундирует не в решетку γ -железа, а в решетку железохромистого сплава имеющей другие параметры.

На основании проведенной работы можно сделать следующие выводы.

1. Применение защитных обмазок № 3 и 4 при диффузионном отжиге алитированных слоев методом распыления существенно повышает жаростойкость алитированных деталей, обеспечивает получение алитированного слоя равномерного по глубине и исключает необходимость применения защитных атмосфер (при проведении диффузионного отжига).

2. Жаростойкость стали марок 20, 55Л и 4Х13 алитированных методом распыления с последующим диффузионным отжигом

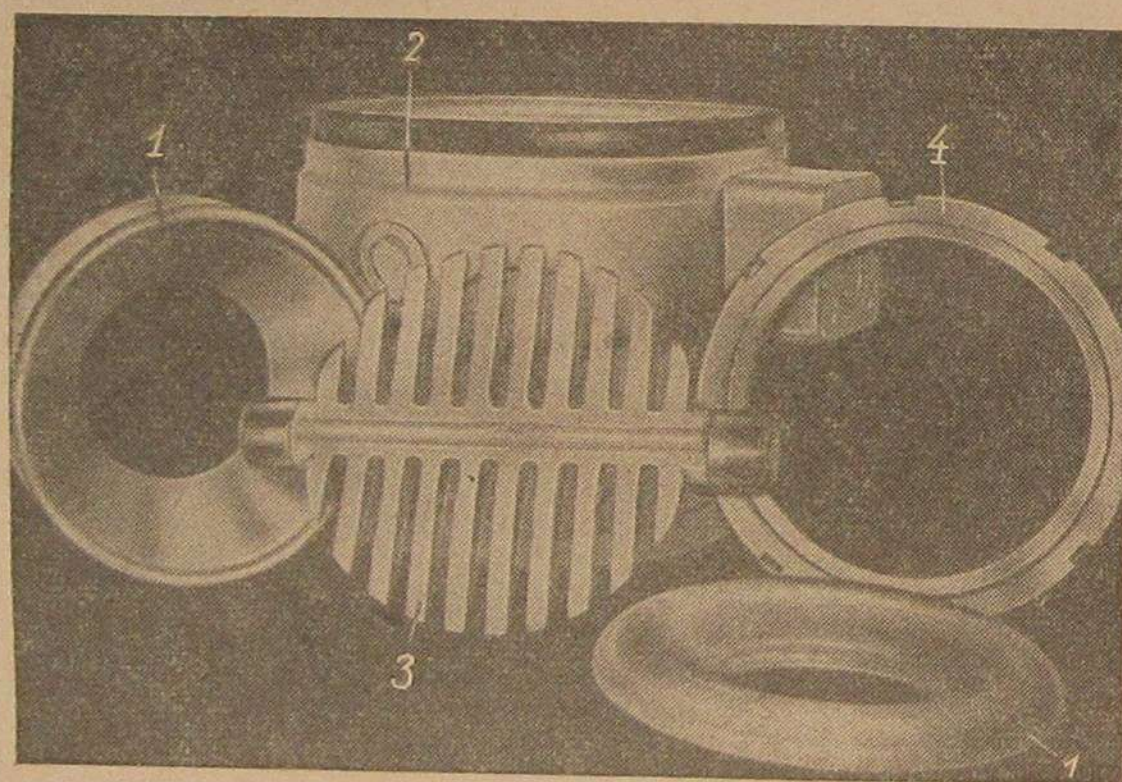
с применением обмазок № 3 или 4 примерно в два-три раза выше жаростойкости тех же сталей, алитированных в ферроалюминиевом порошке (твердое алитирование).

3. С увеличением температуры диффузионного отжига от 920 до 1200° глубина диффузионного слоя возрастает, максимальное содержание алюминия в слое и жаростойкость уменьшается.

4. Оптимальным режимом алитирования сталей марок 20, 55Л, 4Х13 и Х23Н13 и чугуна СЧ 18-36 является следующий режим: алитирование распылением с помощью электрометаллизатора (толщина слоя 1,0—1,2 мм); диффузионный отжиг при 920° в течение 4—6 час. с применением защитной обмазки № 3 или 4.

V. ВНЕДРЕНИЕ ПРОЦЕССА АЛИТИРОВАНИЯ В ПРОИЗВОДСТВО

Производственное опробование технологического процесса алитирования способом металлизации с применением защитных обмазок было проведено на деталях газогенераторных установок тракторов и автомобилей, наиболее сильно подверженных разрушительному действию высоких и переменных температур.



Фиг. 27. Общий вид алитированных деталей трактора ГБ-58 Волгоградского тракторного завода:

1 — камера газификации, 2 — горловина, 3 — решетка, 4 — кольцо.

В качестве объектов для испытания были выбраны: газогенераторная установка трактора марки ГБ-58 массового производства Волгоградского тракторного завода, газогенераторная установка автомобиля УралЗИС-352, газогенераторная установка трелевочного трактора марки Т-12 и, кроме того, алитированию подвергались, в порядке расширения области применения этого метода, тара (ящики), применяемая для термической обработки (отжига) и ряд специальных деталей.

Основными деталями, подвергающимися интенсивному разрушению, являются камеры газификации, горловины, опорные кольца и решетки (фиг. 27).

В последние годы была проделана большая работа по усовершенствованию конструкции газогенераторных установок автомобилей и тракторов, однако, несмотря на это, не было достигнуто существенного повышения жаростойкости деталей газогенераторных установок. Основным фактором, определяющим долговечность работы этих установок, является состав материала камер газификации и других деталей.

В иностранной промышленности для упомянутых деталей применяют жаростойкие сплавы и керамические эластичные облицовки.

Исследования НАМИ, НАТИ и Московского автомобильного завода имени Лихачева показали, что изготовленные из хромоникелевых и жаростойких сплавов камеры после 250 час. работы растрескиваются по сварным швам, по зонам термического влияния и по основному металлу.

Применение для изготовления камер газификации эластичной облицовки из керамических масс также не дало удовлетворительных результатов, так как облицовка дает трещины и отстает от основного металла.

Были изготовлены и испытаны экспериментальные камеры газификации из ковкого чугуна. После пробега автомобиля на расстояние 3500 км камеры газификации разрушились из-за трещин, появившихся в горловине. Вероятные причины образования трещин в отливке — местные литейные пороки и переменная температура. Поверхность стенок не была сильно окислена. Камеры газификации автомобиля, отлитые из углеродистой стали без применения жаростойкого покрытия, также не обеспечивают достаточно длительного срока работы газогенератора. Поверхность таких топливников быстро окисляется и стенки его прогорают через 5000—14 500 км пробега.

Из приведенных выше данных следует, что как в Советском Союзе, так и за рубежом, еще не найдено удовлетворительного решения задачи повышения жаростойкости деталей газогенераторных установок и других деталей, работающих при высокой температуре, и особенно при их переменном высоком нагреве.

Применение дорогостоящих жаростойких сталей, различных сплавов, а также алитирования в ферроалюминиевом порошке оказалось малоэффективным.

Для повышения жаростойкости упомянутых деталей газогенераторных установок и других деталей, работающих при высоких переменных температурах, было решено применить алитирование способом металлизации алюминием с использованием жаростойких обмазок с последующим диффузионным отжигом и совмещением отжига с производственными операциями. В качестве материала для изготовления деталей была выбрана малоуглеродистая сталь (литье и прокат).

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ НЕКОТОРЫХ АЛИТИРОВАННЫХ ДЕТАЛЕЙ

1. Испытания алитированных деталей газогенераторных установок трактора ГБ-58

По рекомендованному в предыдущей главе процессу алитирования в лаборатории сварки НИИТавтопром были алитированы детали газогенераторных установок трактора марки ГБ-58 (фиг. 27), камеры газификации, горловины, колосниковые решетки и опорное кольцо, которые прошли стендовые и полевые испытания в НАТИ в 1950—1954 гг.

Детали проработали в обычных условиях 750 час., после чего при осмотре было установлено, что сварные швы цилиндра и камеры с корпусом цилиндра находились в удовлетворительном состоянии, напыленный слой алюминия на швах с наружной стороны полностью сохранился. На камере газификации совершенно отсутствовала окалина как с наружной, так и с внутренней стороны (фиг. 28).

На опорном кольце заметного коробления обнаружено не было. На острых ребрах кольца образовалась окалина толщиной около 0,3 мм.

Остальные алитированные детали не

имели окалины и коробления и были вполне пригодны для дальнейшей работы. Хотя горловина камеры газификации до алитирования имела литейные дефекты — пористость, раковины и литейные «корки», — они однако, не повлияли отрицательно на жаростойкость. В то же время неалитированные камеры газификации того же трактора после 220 час. работы имели трещины с наружной и внутренней сторон камеры, а также слой окалины толщиной 2,0—2,5 мм, вследствие чего оказались негодными для дальнейшей работы (фиг. 29).

Неалитированные горловины из легированного чугуна проработали 75 час., а из серого чугуна — 50 час.

На Волгоградском тракторном заводе по указанному технологическому процессу были алитированы производственные детали газогенераторных установок трактора ГБ-58.

Все алитированные детали были поставлены на газогенераторные тракторы и переданы в государственную комиссию на испытание.

Испытания показали следующие результаты. Сменные горловины, камеры газификации и опорные кольца проработали 1000 час., предусмотренные техническими условиями, и были

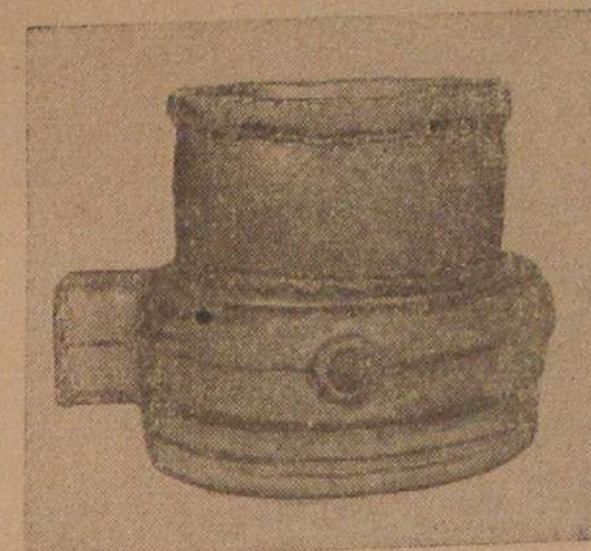


Фиг. 28. Внешний вид алитированной камеры газогенераторного трактора ГБ-58 после 750 час. работы.

пригодны для дальнейшей работы. У трактора, работающего на древесных чурках, алитированная решетка после 1000 час. работы находилась в удовлетворительном состоянии и была пригодна для дальнейшей эксплуатации. Неалитированные колосники газосторной решетки работали в одинаковых условиях и выходили из строя через 150—200 час. работы. Состояние же алитированных колосников после 1000 час. работы было вполне удовлетворительным.



Фиг. 29. Внешний вид неалитированной камеры газификации газогенераторного трактора после 220 час. работы.



Фиг. 30. Внешний вид алитированной камеры газификации трактора после 2250 час. работы.

После государственных зимних испытаний в условиях Волгоградской области опытные газогенераторные тракторы были направлены для продолжения испытания в машиноиспытательные станции Министерства сельского хозяйства.

Проведенные исследования показали, что в то время, как неалитированные камеры газификации тракторов работают 300—500 час., алитированные работают 2000—2250 час. до первого текущего ремонта (фиг. 30), а с применением повторного алитирования камеры газификации проработали 4000—5000 час. Следовательно, жаростойкость алитированных камер повысилась примерно в 10 раз.

2. Испытания алитированных деталей газогенераторных автомобилей УралЗИС-352

По изложенному ранее технологическому процессу алитирования на УралЗИС были алитированы 50 экспериментальных газогенераторных установок, которые испытывались в условиях завода. Из этой партии два газогенераторных автомобиля (№ 2270 и 2271) испытывали по методике НАМИ и НИИТавтопром в хозяйственных условиях Нарофоминского леспромхоза Московской области с августа 1954 по апрель 1956 г. Газогенераторный автомобиль № 2270 имел пробег 40 000 км, а газогенераторный автомобиль № 2271 — 41 500 км (около 2660 час. работы).

Внешний осмотр алитированных камер газификации и горловины показал, что с наружной стороны камеры окалины отсутствует (фиг. 31), с внутренней стороны имеется слой окалины толщиной 1,5—2,0 мм и незначительное коробление.

Так как камера газификации и горловина имеют по высоте различную температуру, образцы для металлографического исследования из камеры и горловины вырезались в разных местах по высоте.

Металлографическое исследование деталей автомобиля № 2270 показало, что на алитированных камерах газификации после 2665 час. работы сохранился алитированный слой глубиной 0,3—0,5 мм. На участках горловины, работающих при температуре 1000—1050°, отмечено полное или частичное разрушение алитированного слоя. В результате этого на поверхности образовалась сетка трещин и произошло разрушение диффузионного слоя и окисление основного металла на глубину до 3,0 мм. Окалина появляется после разрушения алитированного слоя.

Помимо перечисленных деталей, в лаборатории сварки НИИТавтопром

алитировали также камеры газификации и горловины из малоуглеродистой литой стали для трелевочного трактора марки КТ-12 Минского тракторного завода.

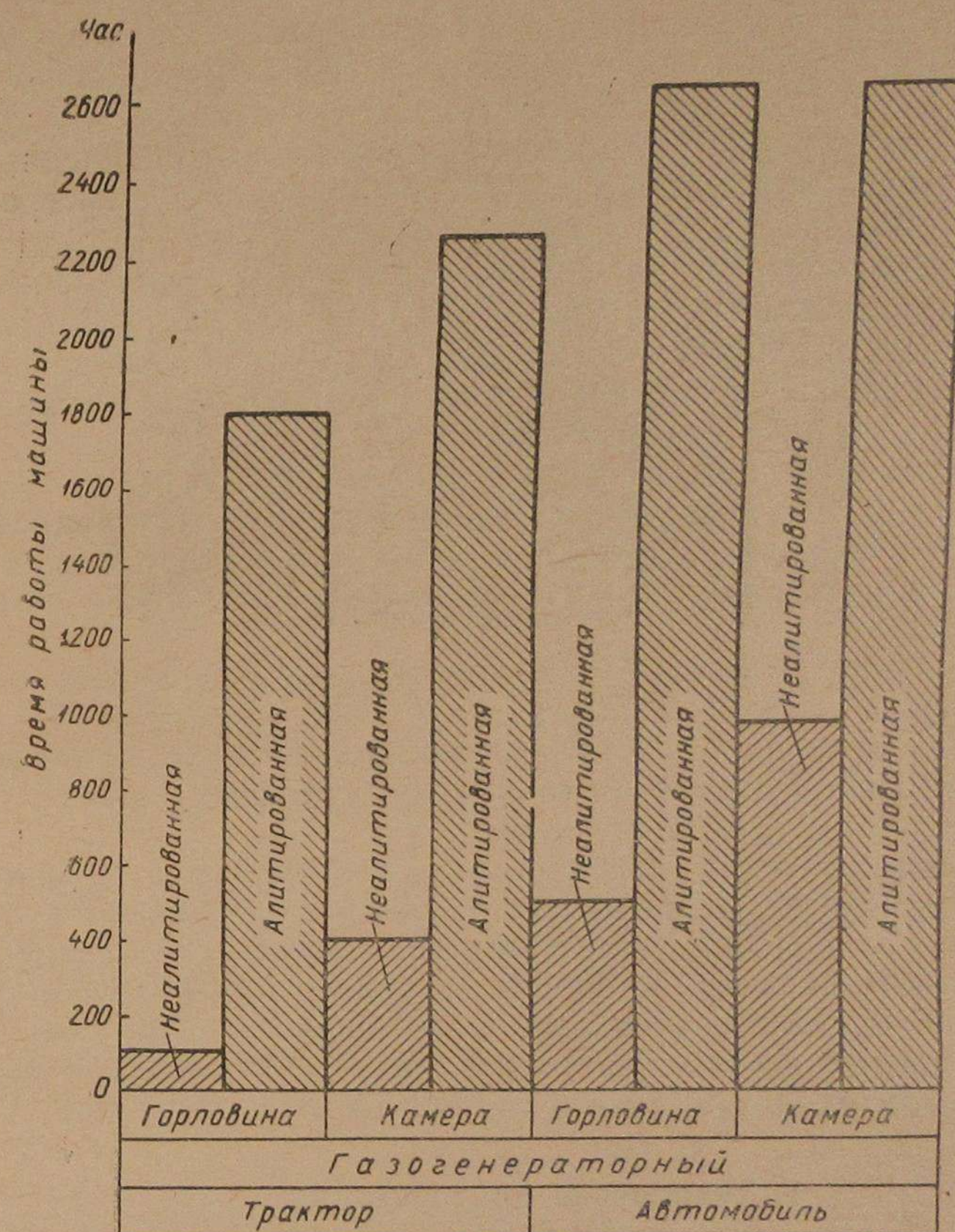
Камеры газификации и горловины были испытаны междуведомственной комиссией после 2000 час. работы, осмотрены и признаны годными для дальнейшей работы.

Результат эксплуатационных испытаний приведен на фиг. 32. Алитированные камеры и горловины газогенераторных тракторов проработали до полного износа 4000 и 5000 час., а неалитированные горловины работали не более 100 час. и камера — не более 420 час. Алитированные горловины и камеры газогенераторных автомобилей работали до первого ремонта 2665 рабочих часов, а неалитированные всего 300—500 час.

ТЕХНОЛОГИЯ АЛИТИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Результаты лабораторных опытов были положены в основу разработки рабочего технологического процесса алитирования для различных деталей, изготовленных из углеродистой и жаростойкой (прокатанной и литой) стали, опробованного в производственных условиях и внедренного на ряде заводов.

Основными операциями этого процесса являются подготовка поверхности деталей, нанесение слоя алюминия, контроль качества напыленного слоя, нанесение защитной обмазки, диффузионный отжиг, очистка от обмазки и контроль качества алитированного слоя.



Фиг. 32. Результат сравнительных испытаний алитированных и неалитированных деталей газогенераторных установок.

Подготовка поверхности деталей производится с целью удаления загрязнений. Весьма важно, чтобы способ очистки обеспечил в то же время получение шероховатости на поверхности детали, способствующей лучшему сцеплению наносимого слоя покрытия с основным металлом. Этому условию удовлетворяют пескоструйная и дробеметная очистки и предварительный подогрев деталей до температур 250—350°.

Покрытие детали алюминием производится на всю поверхность слоем толщиной 0,7—1,2 мм с помощью металлизационных аппаратов, описание которых приводится ниже. Режим напыления устанавливается для каждой детали отдельно.

Металлизацию деталей, имеющих форму тел вращения, целесообразно выполнять на приспособлениях типа токарных станков с закреплением металлизаторов на суппорте. Одновременно могут работать несколько металлизаторов. При правильной организации один рабочий может обслуживать несколько установок.

Для предохранения напыленного алюминия от окисления и стекания его во время диффузионного отжига рекомендуется применять обмазки № 3 и 4.

Нанесение обмазки на детали производится окунаем, но с предварительным подогревом обмазки до 100°. После этого детали предварительно просушиваются при температуре 80—100° в течение 1,0—3,5 часа в зависимости от размеров детали в конвейерных или в камерных печах.

Диффузионный отжиг должен производиться по режиму: посадка в печь при температуре 600—650°, подъем температуры в течение 1—2 час. до 920—950°, выдержка в течение 4—6 час., охлаждение с печью до температуры 600° и дальнейшее остывание на воздухе.

Диффузионный отжиг можно производить в любых печах с температурой не ниже 920°.

Очистка деталей от обмазки производится после диффузионного отжига на специальном станке или стальными щетками вручную в зависимости от программы.

Контроль качества алитирования производится внешним осмотром, проверкой глубины получаемого диффузионного слоя на нескольких выборочных от партии алитированных образцах (свидетелях) или деталях. Контроль глубины диффузионного слоя проводится металлографическим исследованием образцов (свидетелей), которые изготавливаются из той же стали и проходят все операции алитирования вместе с деталями.

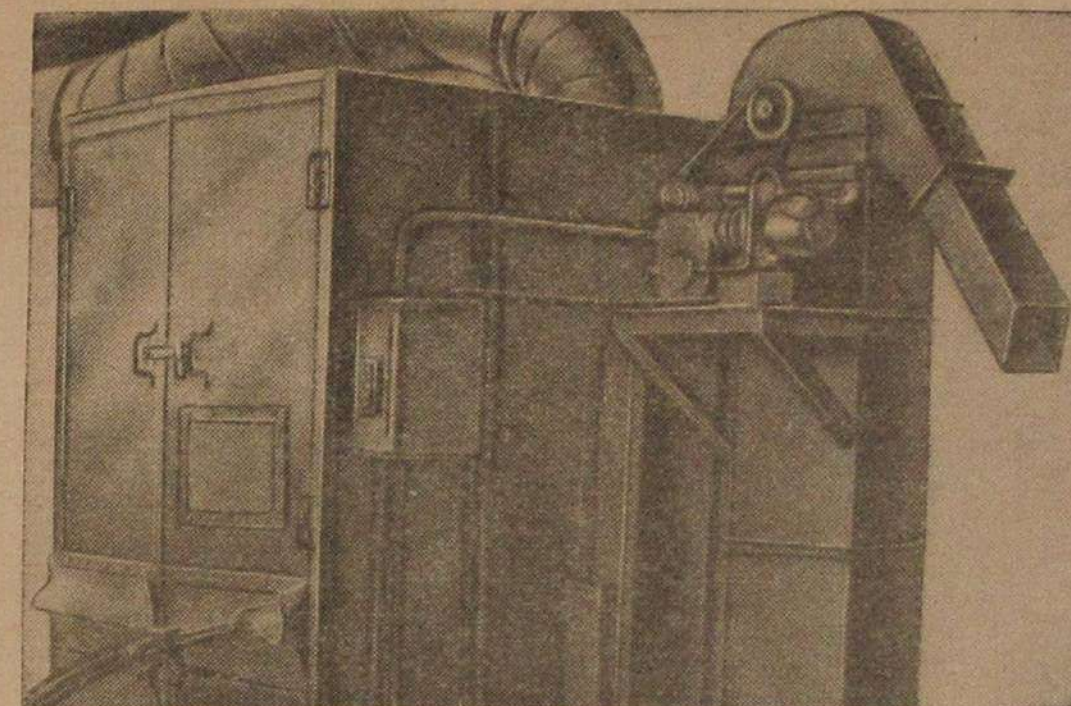
1. Технология алитирования цементационных горшков и ящиков

В термических цехах подшипниковых заводов расходуется большое количество горшков и цементационных ящиков для различных видов термической обработки деталей подшипников. На ИГПЗ горшки и ящики изготавливаются сварными, обычно, из малоуглеродистой прокатной стали и частично из нержавеющей стали.

В условиях действия высоких температур (950—980°) и окислительной среды цементационных и других печей металл ящиков и горшков интенсивно окисляется, вследствие чего значительно сокращается срок их службы и увеличивается их расход. Годовая

потребность завода в указанных деталях составляет более 200 т проката. Для сокращения расходов по изготовлению указанных деталей ИГПЗ в 1955 г. применил процесс алитирования способом металлизации. Алитирование проводилось в следующем порядке.

Первая операция — пескоструйная подготовка поверхности цементационных горшков (диаметр 2000, длина 2500 мм).



Фиг. 33. Механизированная камера для пескоструйной подготовки поверхности алитируемых деталей (ИГПЗ):

1 — корпус камеры, 2 — шланг, подающий песок, 3 — вытяжная вентиляция.

Горшок устанавливается в металлизационную камеру (фиг. 33), в которой производится автоматическая подготовка по следующему режиму:

Окружная скорость горшка в м/мин	25—30
Скорость продольного перемещения сопла в мм/об	5—6
Расстояние от сопла до поверхности изделия в мм	150—250
Давление сжатого воздуха в ат	5—6
Длительность подготовки поверхности в мин.	20—27

После пескоструйной подготовки горшки с помощью тельфера передаются в металлизационную камеру.

Вторая операция — металлизация цементационных горшков. Металлизация наружной поверхности горшка производилась двумя электрометаллизаторами типа ЭМ-6 в специальной механизированной камере (фиг. 34). Электрометаллизаторы работали одновременно.

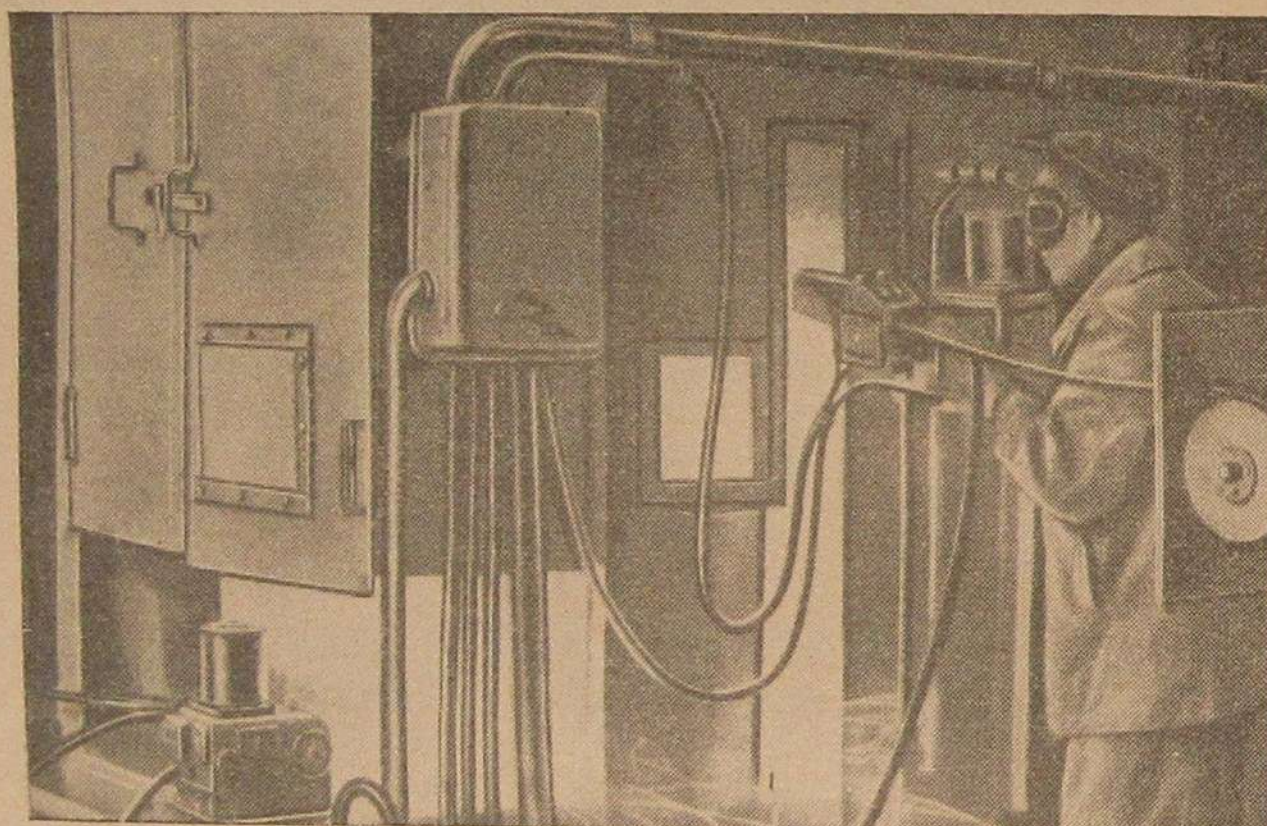
Один металлизатор установлен для нанесения алюминия на цилиндрическую поверхность горшков, а второй подвешен к тельферу для металлизации дна.

Режим металлизации:

Окружная скорость горшка в <i>мм/мин</i>	15—20
Скорость продольного перемещения электрометаллизационного аппарата в <i>мм/об</i>	15—20
Расстояние от сопла металлизатора до покрываемой поверхности в <i>мм</i>	100—150
Давление сжатого воздуха в <i>ат</i>	5—6
Рабочее напряжение в <i>в</i>	30—35
Сила тока в <i>а</i>	150—200
Диаметр алюминиевой проволоки (ГОСТ 3549-55) в <i>мм</i>	2,0

Третья операция — нанесение на поверхность изделия жаростойкой обмазки № 3.

Четвертая операция — предварительная сушка обмазки в сушильной камере электрической печи при температуре 80—100° в течение 2,5—3,0 час.



Фиг. 34. Металлизационная камера для алитирования крупногабаритных горшков (ІГПЗ):

1 — металлизатор ЭМ-6 № 1, 2 — металлизатор № 2.

Диффузионный отжиг как самостоятельная операция не применяется, а совмещается с технологическим процессом отжига колец.

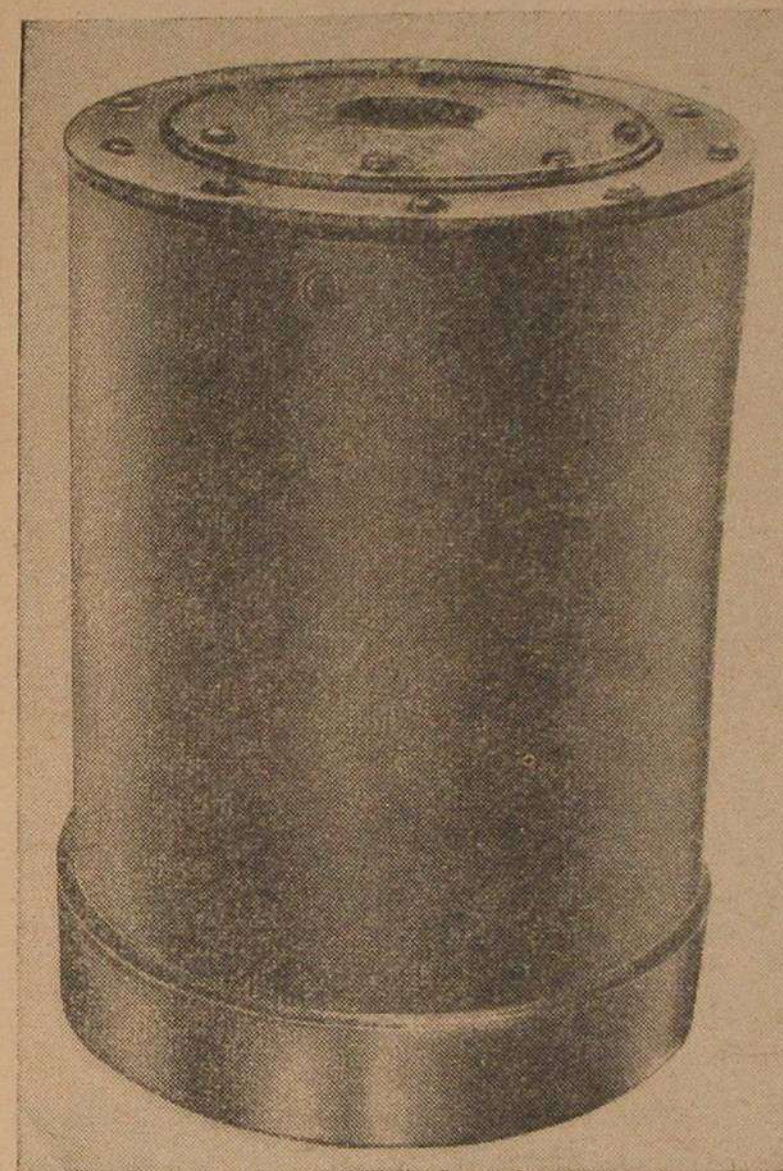
Алитированные горшки испытывались на жаростойкость в производственных условиях завода; для сравнения одновременно испытывались также неалитированные горшки.

Алитированные горшки после испытания их в течение 1000 час. при температуре 950—980° окалины не имели и были вполне пригодны для дальнейшей работы (фиг. 35).

Неалитированные горшки уже после 270 час. оказались совершенно непригодными для дальнейшей работы, так как поверхность их окислилась на глубину более 7 мм (фиг. 36).

Таким образом, алитирование повысило жаростойкость горшков более чем в 4 раза, что дало экономию только одной стали более 150 т в год.

На ІГПЗ было организовано специальное отделение для алитирования, схема планировки которого представлена на фиг. 37. Технологический процесс и оборудование для алитирования разрабатывались с учетом необходимой механизации операций с целью уменьшения трудоемкости.



Фиг. 35. Внешний вид алитированного цементационного горшка после испытания при 950—980° в течение 1000 час.



Фиг. 36. Внешний вид неалитированного цементационного горшка после работы в течение 270 час.

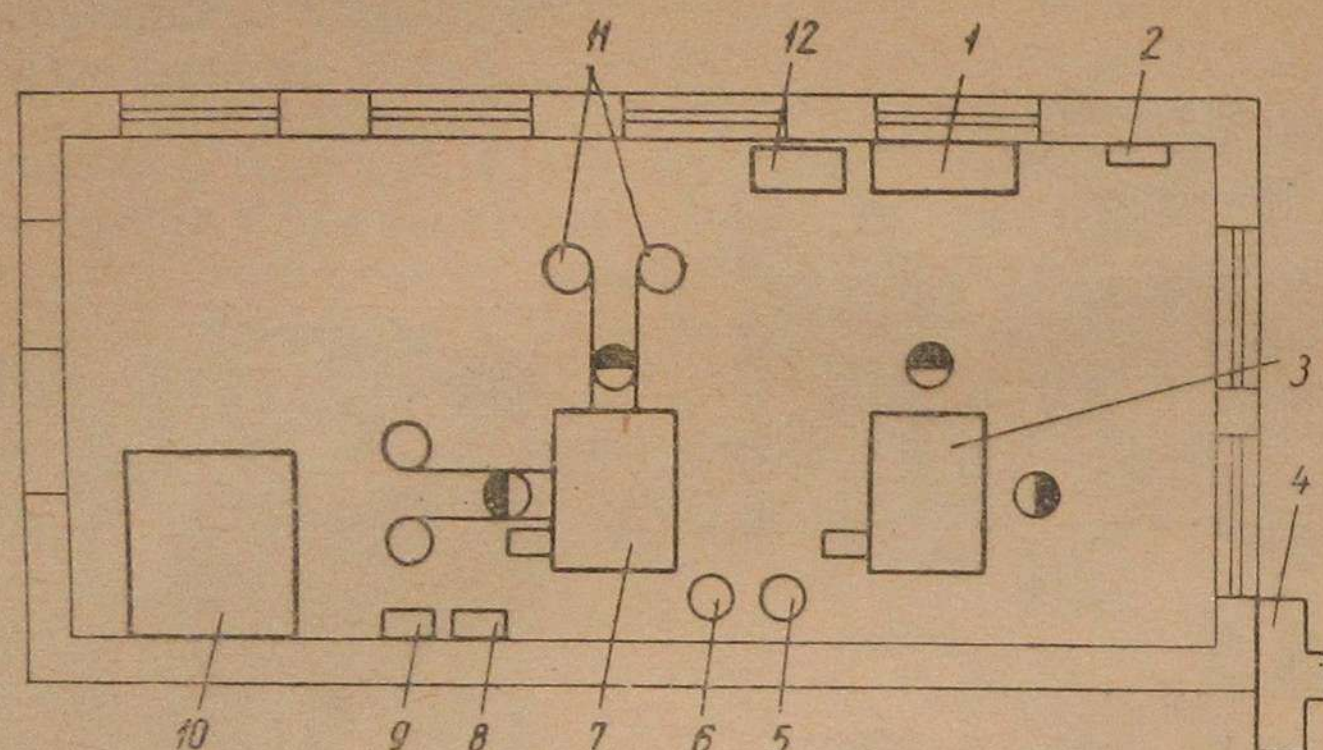
Были спроектированы и построены пескоструйная камера для механизированной подготовки деталей, камера для металлизации с механическим вращением круглых деталей и продольным перемещением металлизатора и камерная печь для предварительной сушки деталей, покрытых обмазкой. Участок алитирования работает с 1955 г. и обслуживается одним рабочим.

2. Технология алитирования деталей газогенераторных установок трактора ГБ-58

На основании положительных результатов эксплуатационных испытаний деталей газогенераторных тракторов на Волгоградском тракторном заводе был также организован участок алитиро-

вания различных деталей. Схема участка приведена на фиг. 38. Технологический процесс алитирования состоит из следующих операций.

Первая операция — пескоструйная подготовка поверхности алитируемых деталей в специальных пескоструйных камерах (с вращающимся полом) в течение 1,5—2,0 мин.



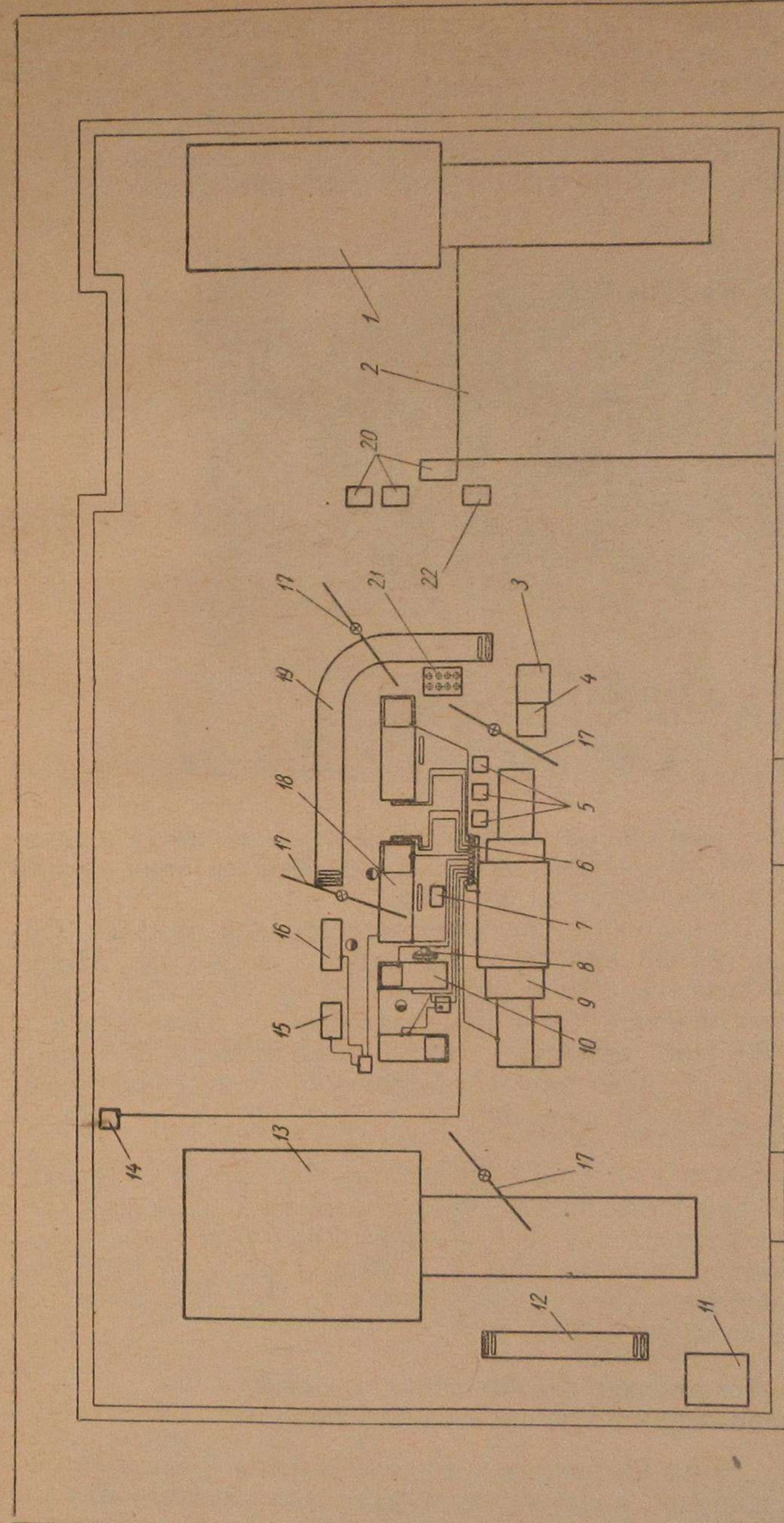
Фиг. 37. Схема планировки отделения алитирования цементационных горшков и других изделий в монтажном цехе 1ГПЗ:

1 — верстак, 2 — шкаф, 3 — пескоструйная камера, 4 — вентиляционная установка, 5 — масловодоотделитель, 6 — пескоструйный аппарат нагнетательного типа, 7 — металлизационная камера, 8 — сварочный аппарат, 9 — распределительный щиток, 10 — сушильная камера, 11 — катушки для металлизатора, 12 — станок для намотки проволоки.

Вторая операция — металлизация распылением алюминия. Эта операция производится на различных станках и приспособлениях. Так, например, напыление алюминия на цилиндрическую поверхность (внутреннюю и наружную) производится на специальном станке (фиг. 39), позволяющем алитировать сразу обе поверхности. Учитывая что внутренняя поверхность камеры работает при 950—1050°, а наружная при 700—750°, толщина наносимых слоев соответственно равна 1,0 и 0,5 мм.

Режим металлизации:

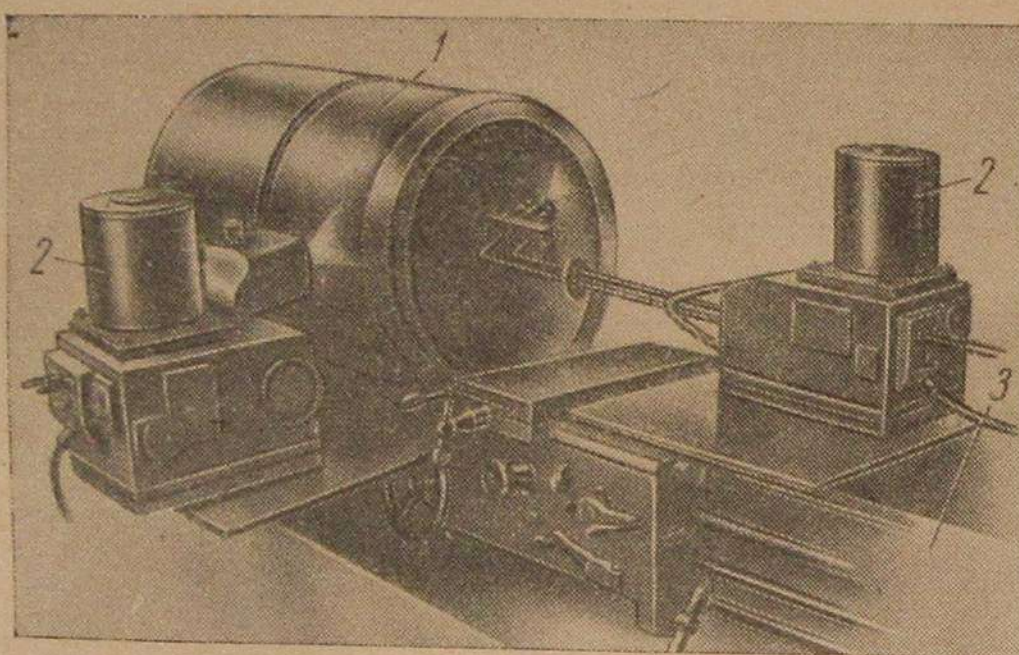
Окружная скорость камеры в м/мин	10—15
Скорость продольного передвижения электрометаллизаторов в мм/об	4,0—6,0
Расстояние от сопла металлизатора до покрываемой поверхности:	
с наружной стороны в мм	100—150
с внутренней стороны в мм	50—100
(по конструктивным соображениям)	
Давление сжатого воздуха в ат	5—6
Сила тока в а	175—290
Напряжение в в	25—30



Фиг. 38. Схема участка алитирования на Волгоградском тракторном заводе:

1 — печь с выдвижным подом, 2 — перегородка, 3 — ванна для обмазки, 4 — стол для деталей, покрытых обмазкой, 5 — сварочные трансформаторы, 6 и 7 — силовые щиты, 8 — зонт вентиляции, 9 — конвейерная печь для предварительной сушки, 10 — станок для металлизации головок, 11 — пылесборник, 12 — рольганг, 13 — печь с выдвижным подом, 14 — вентилятор, 15 — приспособление для металлизации колосниковой решетки, 16 — стол для ручной металлизации, 17 — электроподъемники, 18 — станок для металлизации камер, 19 — рольганг, 20 — пусковой пульт печи, 21 — масловодоотделитель, 22 — станок для намотки проволоки.

Вращение камеры (и других деталей) и продольное поступательное движение металлizationных аппаратов синхронизировано, поэтому один рабочий может обслуживать несколько рабочих мест. Механизация нанесения алюминия дала возможность увеличить в несколько раз производительность труда по сравнению с ручными немеханизированными операциями. Особенно важно то, что



Фиг. 39. Механизированное нанесение алюминия на внутреннюю и наружную поверхности камеры газификации газогенераторного трактора:

1 — альтируемая камера, 2 — металлizationные аппараты ЭМ-6, 3 — токарный станок.

получаемый при этом напыленный слой алюминия имеет одинаковую толщину по всей поверхности. После металлization детали по рольгангам направляются на обмазку.

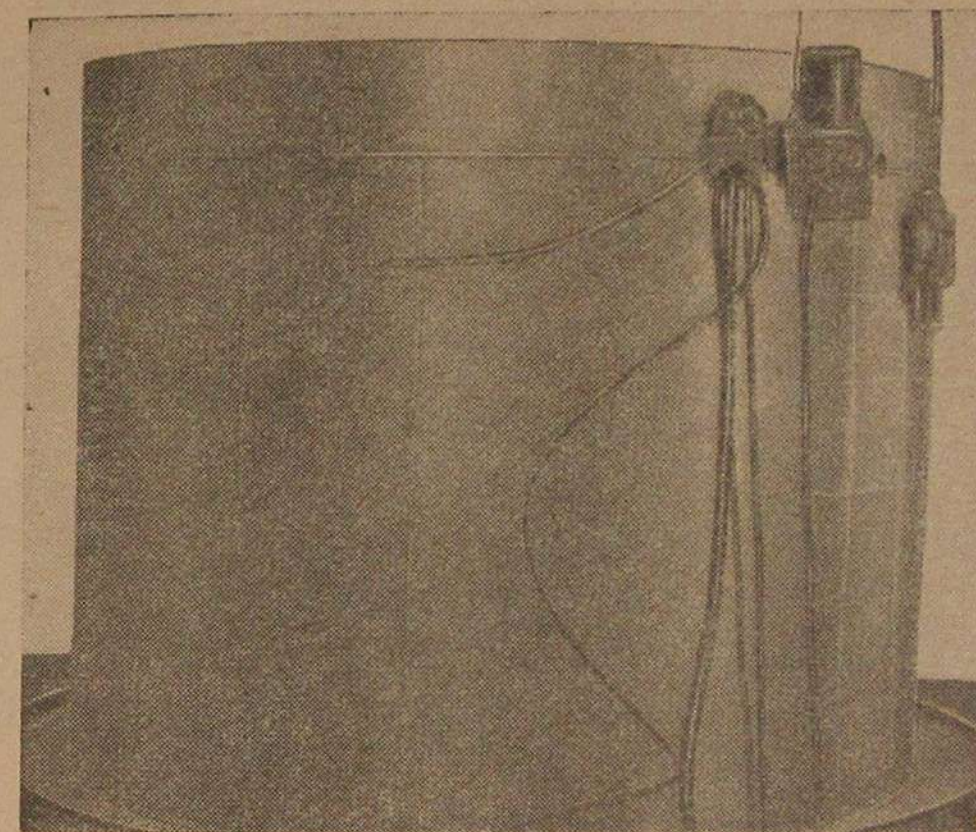
Третья операция — нанесение жаростойкой обмазки. Обмазка в данном случае наносится на камеру и другие детали тракторов на Волгоградском тракторном заводе способом окунания, т. е. детали опускаются в бак (дважды) с разведенной и подогретой до 80—100° обмазкой. После этого камера поступает на предварительную просушку в трехзонную конвейерную печь с температурой в первой зоне 30°, во второй 60°, а в третьей зоне 100°.

Четвертая операция — диффузионный отжиг в нефтяных печах с выдвижным подом. Режим отжига следующий: посадка в печь при температуре 600°, выдержка при этой температуре 30—35 мин., подъем температуры в течение 1 часа до 950°, выдержка 2,5—3,0 часа, охлаждение с печью до 600° и дальнейшее охлаждение на воздухе.

Технология альтирования деталей, работающих при высоких температурах

В настоящее время на ряде заводов отечественной промышленности находят широкое применение муфели для светлого отжига стальных деталей. В отдельных случаях муфели имеют большие

размеры (диаметр 3500 мм, высота более 3500 мм). Муфели работают при высокой температуре, достигающей 850—900°, и при воздействии окислительной атмосферы (с наружной поверхности). По этой причине муфели изготавливаются из жаростойкой стали. Стоимость такого муфеля составляет 13 000—15 000 руб. (в ценах до 1/1 1961 г.).



Фиг. 40. Муфель для печи отжига, подготовленный под металлization.

Однако, муфели, работающие на заводе «Красная Этна» при 800—850°, через 500—600 час. покрываются сеткой сквозных трещин и микротрещин. Вследствие этого при светлом отжиге ленты внутрь муфеля проникает воздух, что приводит к окислению поверхности светлой ленты. Брак ленты по этой причине составлял более 8%.

По рекомендованной технологии, муфели изготавливаются из стали марки 20 с последующим альтированием.

Технология альтирования состоит из следующих операций.

Первая операция — местный подогрев поверхности муфеля с помощью многосопловой горелки. Для удобства вся поверхность муфеля разбивается на прямоугольники (квадраты), облегчающие процесс нанесения алюминия (фиг. 40). Поверхность муфеля нагревается перед напылением до температуры 250—350°.

Подогрев поверхности муфеля введен взамен пескоструйной подготовки, которая вследствие больших размеров и веса муфелей трудноосуществима.

Вторая операция — металлization. Операция металлization может быть механизирована с помощью несложных приспособлений.

Третья операция — нанесение жаростойкой обмазки № 4. Обмазка может быть нанесена либо вручную с помощью кисти, либо механически с помощью пневматической воронки, описание которой дано ниже. Обмазка должна быть подогрета до температуры 80—100°.

Четвертая операция — диффузионный отжиг. Опыт завода «Красная Этна» показал, что операцию диффузионного отжига целесообразно совмещать с производственной операцией, т. е. с отжигом деталей (ленты, колец подшипников и т. д.).

Пятая операция — очистка муфеля от обмазки вручную или механически с помощью стальной щетки. Производственные испытания показали, что алитированные муфели, изготовленные из стали марки 20, имеют более высокую жаростойкость и, кроме того, они не склонны к образованию микротрещин, что в свою очередь понизило брак светлой ленты (по состоянию поверхности) на упомянутом заводе.

Из приводимого ниже технико-экономического расчета видно, что введение алитирования муфелей дало заводу «Красная Этна» значительный экономический эффект.

На годовую программу заводу требуется 100 муфелей, ранее изготавливавшихся из стали марки ЭЯ1Т. Вес каждого муфеля равен 1000 кг. Стоимость каждого муфеля по данным завода составляет 15 000 руб. (в ценах до 1/1 1961 г.).

Общая стоимость всех муфелей на годовую программу, следовательно, будет 1 500 000 руб. Для обеспечения годовой программы завода потребуется 112 муфелей, изготовленных из стали марки 20 или 30 с последующим двухкратным алитированием. Стоимость одного муфеля из стали 20 или 30, включая и затраты на двухкратное алитирование, составляет 2450 руб. Полная стоимость всех муфелей за год работы таким образом составляет 274 400 руб. Следовательно, годовая экономия от внедрения алитирования, позволившего применить дешевую сталь, составляет $1\,500\,000 - 274\,400 = 1\,225\,600$ руб. Из этой суммы нужно исключить амортизационные отчисления по оборудованию, применяемого для алитирования. Вся сумма амортизационных отчислений, включая и отчисления со стоимости здания алитировочного участка, составляет не более 10 000 руб. в год. Таким образом, чистая экономия от внедрения алитирования за 1 год составит 1 215 600 руб.

Расчеты показывают, что общая сумма капитальных затрат, которые необходимо произвести при организации участка алитирования на заводе «Красная Этна», составляет 125 000 руб.

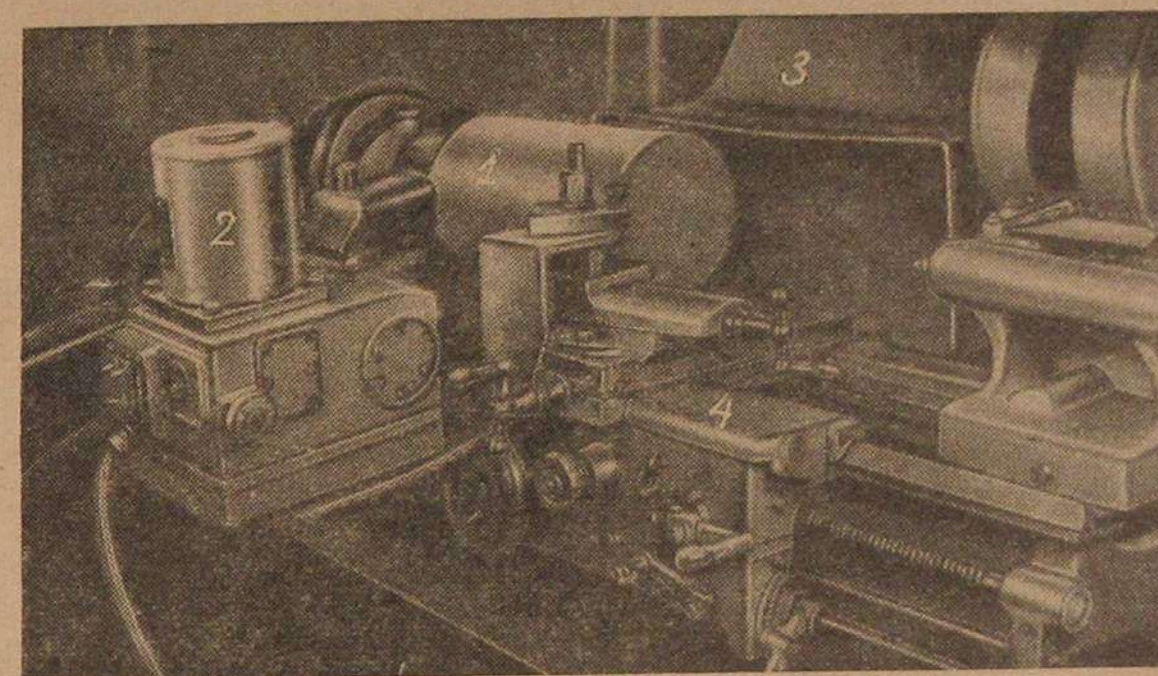
Отсюда срок окупаемости капитальных затрат будет равен:

$$\frac{125\,000}{1\,215\,600} = 0,10 \text{ года.}$$

Это означает, что менее чем через 1,5 мес. завод полностью окупит все затраты, понесенные им при организации участка для алитирования.

Для обжига форм литья по выплавляемым моделям, производимого при 900—950°, применяются специальные опоки, изготавливаемые из углеродистой или жаростойкой хромоникелевой стали.

Опоки из углеродистой стали работают при температуре 900—950° не более 75 час., полностью окисляясь за это время. Опоки, изготовленные из хромоникелевой жаростойкой стали хотя и меньше окисляются, но после работы в течение 300—350 час. растрескиваются и становятся не пригодными для дальнейшей



Фиг. 41. Общий вид установки для алитирования опок (Ногинский завод топливной аппаратуры):
1 — опока, 2 — металлатор ЭМ-6, 3 — вытяжной зонг, 4 — токарный станок.

эксплуатации. По этой причине было применено алитирование опок, изготовленных из стали марки 20. Подготовка поверхности опок под алитирование осуществлялась пескоструйной обработкой. Нанесение алюминия на внешнюю поверхность опоки производится с помощью электрометаллизатора, установленного на токарном станке (фиг. 41). Алюминий наносится только на наружную поверхность (толщина слоя 0,5—0,8 мм).

Обмазка № 4 наносится либо вручную кистью, либо с помощью пневматической воронки слоем толщиной 0,8—1,0 мм. Так же, как и в предыдущем случае, обмазка должна быть нагрета до 80—100°. Диффузионный отжиг совмещается с операцией обжига форм.

Сравнительные испытания показали, что алитированные опоки из стали марки 20 выдерживают не менее 600—700 час. работы, т. е. в два раза больше, чем опоки из жаростойкой стали, и в 8—9 раз больше опок из стали марки 20 (неалитированные).

Необходимо отметить, что жаростойкость алитированных опок из стали 20 начинает быстро снижаться после 500 час. работы, что объясняется резким уменьшением содержания алюминия в диффузионном слое. Поэтому примерно через 500 час. работы опоки подвергаются повторному алитированию по тому же режи-

му, что и первое алитирование. Это дополнительно увеличивает жаростойкость опок на 350—400 час.

Алитирование позволило не только заменить жаростойкую сталь углеродистой, но и увеличить жаростойкость опок не менее чем в 3 раза по сравнению с жаростойкостью опок, изготовленных из высоколегированной жаростойкой стали.

В настоящее время на многих отечественных заводах отжиг деталей из белого чугуна на ковкий производится в специальных горшках (ящиках) при температуре 850—1050°. Длительность одного цикла отжига составляет несколько десятков часов. По этой причине горшки для отжига обычно отливаются из жаростойкой стали марки ЭЯ2П.

Однако, несмотря на применение высоколегированной стали горшки служат не более 2000—2500 час., полностью окисляясь за это время, что приводит к расходу большого количества дорогостоящей высоколегированной стали.

С целью увеличения срока службы горшков на автозаводе имени Лихачева проведены опыты по применению алитирования их по следующей схеме.

Первая операция — дробеструйная подготовка поверхности.

Вторая операция — металлизация с помощью десятиголовочного металлизатора (фиг. 52) по следующему режиму работы:

Рабочее давление сжатого воздуха в ат	5—6
Расстояние от сопла металлизатора до металлируемой поверхности в мм	100—150
Сила тока в а	180—200
Напряжение в в	35—40
Толщина напыленного слоя в мм	0,8—1,0

Третья операция — нанесение жаростойкой обмазки № 4 с помощью пневматической воронки (см. фиг. 59).

Четвертая операция — предварительная сушка при температуре 80—100° горшков, покрытых обмазкой.

Диффузионный отжиг совмещается с производственной операцией отжига картеров заднего моста автомобиля.

Испытания показали, что алитированные горшки после работы при 1150° в течение 5000 час. были еще вполне пригодны для дальнейшей работы, в то время как неалитированные полностью разрушились через 2000—2500 час.

Для осуществления алитирования на Московском автомобильном заводе имени Лихачева также создан проект участка алитирования горшков для отжига. Схема планировки участка приводится на фиг. 42.

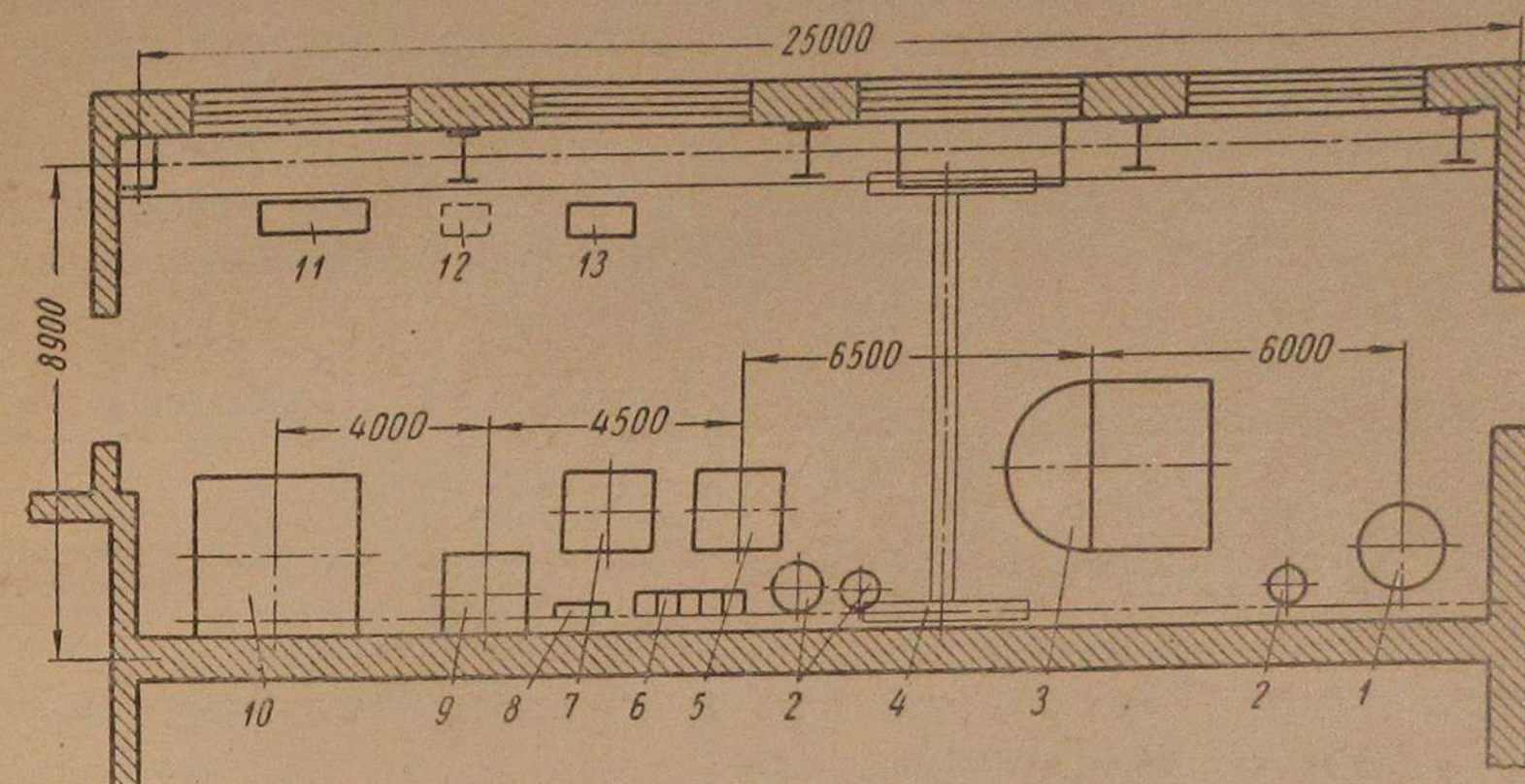
Экономический эффект, полученный заводом, виден из следующего расчета.

Годовая потребность в жаростойкой стали, необходимой для изготовления горшков, 758 т.

Одна тонна горшков стоит 3194 руб.

Стоимость всех горшков, необходимых для обеспечения годовой программы завода, $758 \times 3194 = 2421052$ руб.

Из этой суммы завод получил в виде возмещения стоимости жаростойкой стали, сданный им после выхода из строя горшков, 348 400 руб.



Фиг. 42. Планировка отделения алитирования на заводе имени Лихачева:

1 — пескоструйная камера, 2 — масловодсепаратор, 3 — дробелетейная камера, 4 — кран-балка на 3 т, 5 — камера металлизации, 6 — сварочные трансформаторы (10 шт.), 7 — многоголовочный металлизатор АЭМ-1, 8 — электроштит, 9 — ванна для обмазки, 10 — сушильная камера, 11 — токарный станок, 12 — электрометаллизатор ЭМ-6, 13 — станок для намотки проволоки на катушки.

Таким образом, затраты на изготовление горшков из жаростойкой стали составят:

$$2421052 - 348400 = 2072652 \text{ руб.}$$

Полная стоимость горшков, изготовленных из жаростойкой стали, но подвергнутых алитированию (с учетом возврата металла и того, что жаростойкость алитированных горшков в два раза выше, чем неалитированных), для обеспечения годовой программы составляет 1 156 800 руб.

Капитальные затраты на организацию отделения алитирования составили около 250 000 руб. Амортизационные отчисления равны 21 750 руб.

Следовательно, годовая экономия от внедрения алитирования по заводу имени Лихачева составит:

$$2072652 - 1156800 - 21750 = 894102 \text{ руб.}$$

Окупаемость затрат на организацию отделения алитирования равна:

$$\frac{250000}{894102} = 0,28 \text{ года.}$$

Таким образом, капитальные затраты на организацию участка алитирования окупятся менее чем через 3,5 мес.

Спекание металлокерамических деталей производится при 1250—1270°. Применяемые для спекания муфели изготавливаются из высоколегированной стали марки Х23Н30. Однако, несмотря на применение столь высоколегированной стали, жаростойкость муфелей очень низка и не превышает 500 час. Алитирование упомянутых муфелей по режиму, применяемому на автозаводе имени Лихачева, для алитирования горшков, повысило их жаростойкость до 3000—3300 час., т. е. более чем в шесть раз.

Практика показывает, что алитирование способом распыления с применением жаростойких обмазок и последующим отжигом во много раз экономичнее алитирования в порошкообразных смесях (табл. 24).

Таблица 24

По данным завода	Стоимость алитирования единицы веса деталей в руб.		Экономический эффект на единицу веса в руб.
	в порошкообразной смеси	методом распыления	
Люберецкий завод с./х. машин имени Ухтомского	297,5	26,3	271,2
Харьковский тракторный завод	422,0	26,5	395,5
Волгоградский тракторный завод	395,5	26,1	369,4

VI. ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИМЕНЯЕМОЕ ПРИ АЛИТИРОВАНИИ¹

ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИМЕНЯЕМОЕ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ АЛИТИРУЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Дробеструйная установка, предназначенная для подготовки поверхности детали под алитирование, состоит из дробеструйного и воздухоочистительного устройств.

Дробеструйное устройство смонтировано в едином агрегате, передвигающемся на колесах; воздухоочистительное устройство во втором, также едином агрегате и передвигающемся на колесах. Дробеструйное и воздухоочистительное устройства связаны между собой и с сопловой головкой резино-тканевыми шлангами. В конструкции установки предусмотрено устройство для автоматической регенерации дроби и цикличной подачи ее к очищаемой поверхности для последующего использования. Пыль отсасывается вакуум-насосом в воздухоочистительное устройство непосредственно с места ее образования и потому не проникает из сопловой головки в помещение, где производится очистка деталей.

Техническая характеристика дробеструйной установки

Производительность в $\text{м}^2/\text{час}$	6—10
Разрежение, создаваемое вакуум насосом установки в мм рт. ст.	250
Габаритные размеры вакуум-насоса (длина, ширина, высота) в мм	640×460×375
Вес вакуум-насоса в кг	206
Мощность электродвигателя в кВт	14
Число оборотов в об/мин	1200
Давление сжатого воздуха в ат	7
Расход сжатого воздуха в $\text{м}^3/\text{час}$	240

¹ При металлизации находят пока еще применение пескоструйные аппараты и пистолеты. Однако, учитывая простоту их устройства и то, что они уже вытесняются дробеструйными аппаратами, в настоящей книге они не рассматриваются.

Количество дробы, загружаемой в аппарат, в кг	100
Размеры сопла (диаметр×длина) в мм	8×140
Габаритные размеры дробеструйного аппарата с сепаратором (длина, ширина, высота) в мм	1000×1000×2240
Вес дробеструйного устройства в кг	360
Габаритные размеры воздухоочистительного устройства (длина, ширина, высота) в мм	1200×980×2115
Вес воздухоочистительного устройства в кг	1060
Общий вес дробеструйной установки (без шлангов) в кг	1420

ОБОРУДОВАНИЕ ПРИМЕНЯЕМОЕ ДЛЯ МЕТАЛЛИЗАЦИИ¹

Все аппараты, применяемые для металлизации, могут быть условно разделены на следующие три группы — аппараты, распыляющие проволоку (так называемые проволоочные аппараты), аппараты, распыляющие металлический порошок (порошковые аппараты), и аппараты, распыляющие жидкий металл (тигельные аппараты).

Наиболее широкое применение получили проволоочные аппараты. Аппараты порошковые и тигельные находятся пока в стадии лабораторного изучения.

Аппараты, распыляющие проволоку, в свою очередь делятся на электродуговые и газовые.

Процесс распыления электродуговыми аппаратами заключается в следующем. Проволока из напыляемого металла с помощью специального механизма подается в зону вольтовой дуги, где под действием высокой температуры металл расплавляется. Расплавленный металл под действием струи воздуха, подаваемой воздушной турбиной, распыляется и наносится на обрабатываемую поверхность.

Распыление металла газовым металлизатором аналогично распылению электрометаллизатором. Различие между процессами металлизации с помощью электрических и газовых металлизационных аппаратов состоит в том, что в первом случае металл проволоки плавится под действием тепла электрической дуги, а во втором — под действием тепла пламени горящих газов (например, тепла ацетилено-кислородного пламени).

Электрометаллизаторы просты по конструкции и удобны в эксплуатации. Преимуществом электрометаллизации является также и то, что прочность сцепления слоя, напыленного электрометаллизатором, выше, чем прочность сцепления слоя, напыленного газовым прибором.

¹ В настоящей книге приводятся лишь краткие общие сведения об аппаратах, применяемых для металлизации. Более подробное описание конструкции и указания по уходу и эксплуатации аппаратов даются в специальной литературе [23].

1. Электрометаллизационный аппарат ЭМ-3А

Общий вид электрометаллизационного аппарата приведен на фиг. 43. Основными узлами аппарата являются: корпус с рукояткой, изготовленные из алюминиевого сплава, механизм подачи проволоки, воздушная турбина и распылительная головка.

Аппарат ЭМ-3А может применяться для нанесения покрытий из алюминия, латуни, цинка и стали на поверхности различных деталей.

Аппарат питается током от сварочного трансформатора (клеммы напряжением 20, 25 и 30 в), а также сварочным генератором постоянного тока. Схема питания аппарата электрическим током приводится на фиг. 44.

Аппарат снабжен воздушной турбиной с регулятором числа оборотов. Основные данные аппарата приводятся в табл. 25.

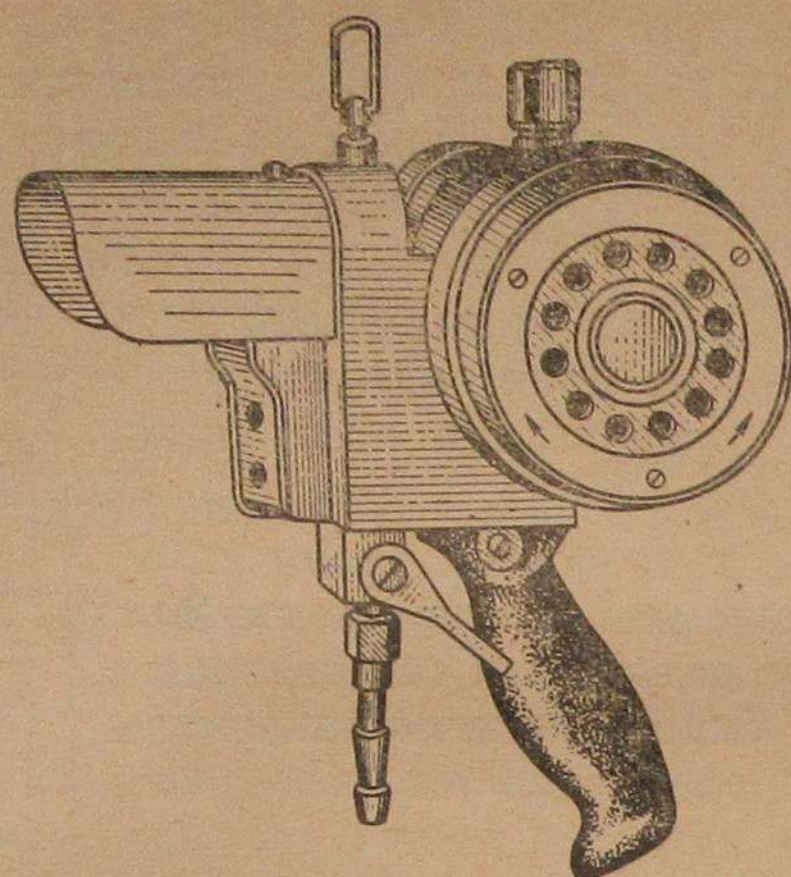
Для металлизации внутренних поверхностей труб, глубоких отверстий и втулок аппарат снабжен удлинительной головкой УГ-1А, схема которой приведена на фиг. 45. Удлинительная головка при работе монтируется на аппарате ЭМ-3А, как это показано на фиг. 46.

Техническая характеристика головки УГ-1А

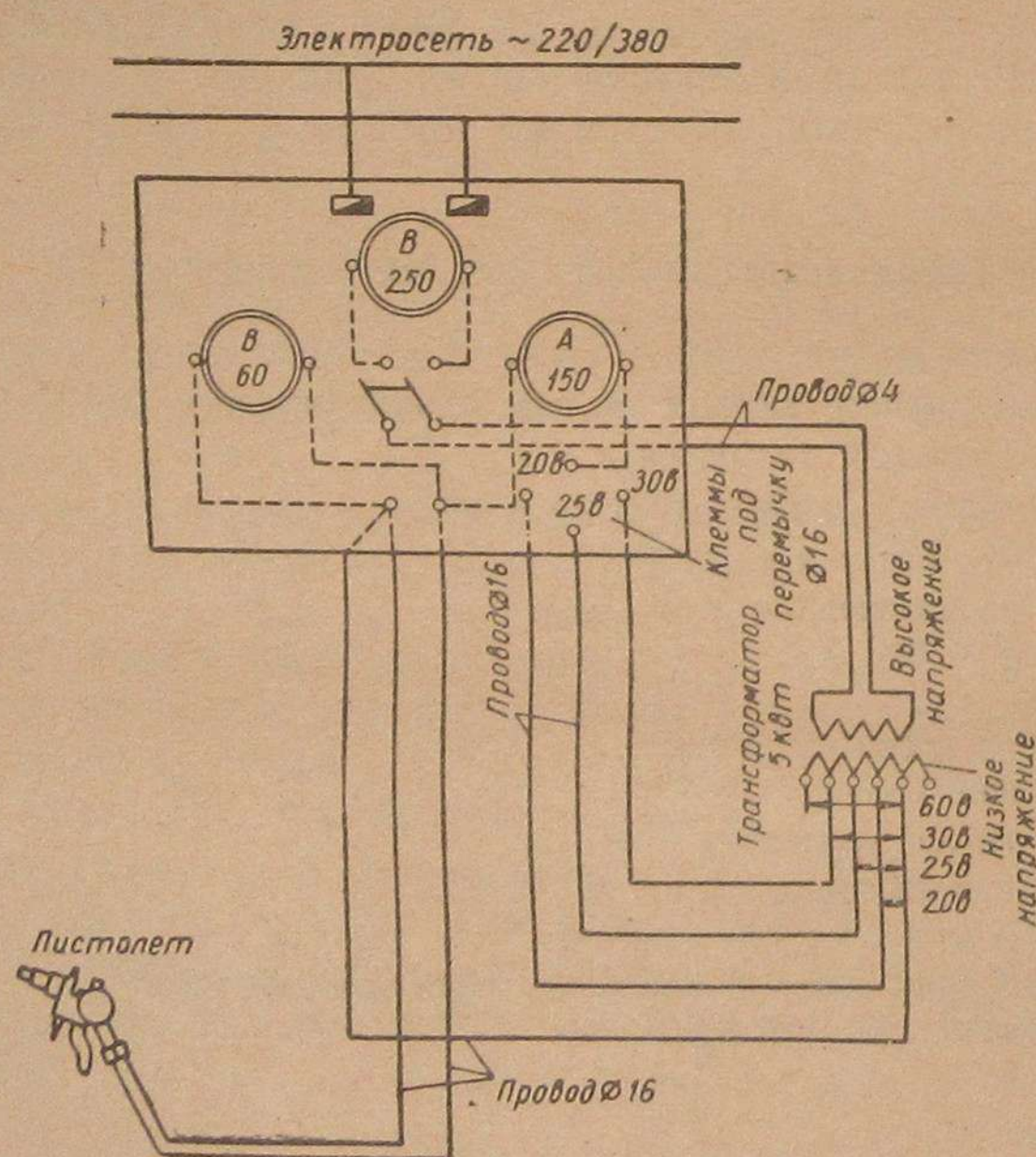
Полезная длина вылета в мм	500
Минимальный диаметр внутренней поверхности детали в мм	75
Диаметр применяемой проволоки в мм	1,5—2,0
Требуемое давление сжатого воздуха в ат	4,5—6,0
Расход сжатого воздуха в м ³ /мин	1—1,2
При работе на переменном токе:	
напряжение тока в в	20—30
ток в а	25—150
При работе на постоянном токе:	
напряжение холостого хода в в	50—60
ток короткого замыкания в а	150—300
рабочее напряжение в в	25—40
рабочий ток в а	25—150
Производительность аппарата при распылении проволоки в кг/час:	
из алюминия диаметром 1,5 мм	1,0
из стали " 1,5 "	2,5
из цинка " 1,5 "	3,5
из цинка " 2,0 "	5,0
из латуни " 1,5 "	2,0
Вес головки длиной 500 мм в кг	0,650
Вес аппарата ЭМ-3А с удлинительной головкой УГ-1А в кг	2,8

Таблица напряжений вторичной обмотки трансформатора

Клеммы	Количество витков в одной катушке	Напряжение в в
1—3	38	65
1—2	32	55
1—а ₁	18	30
1—а ₂	15	25
1—а ₃	12	20



Фиг. 43. Общий вид электрометаллизационного аппарата ЭМ-3А.



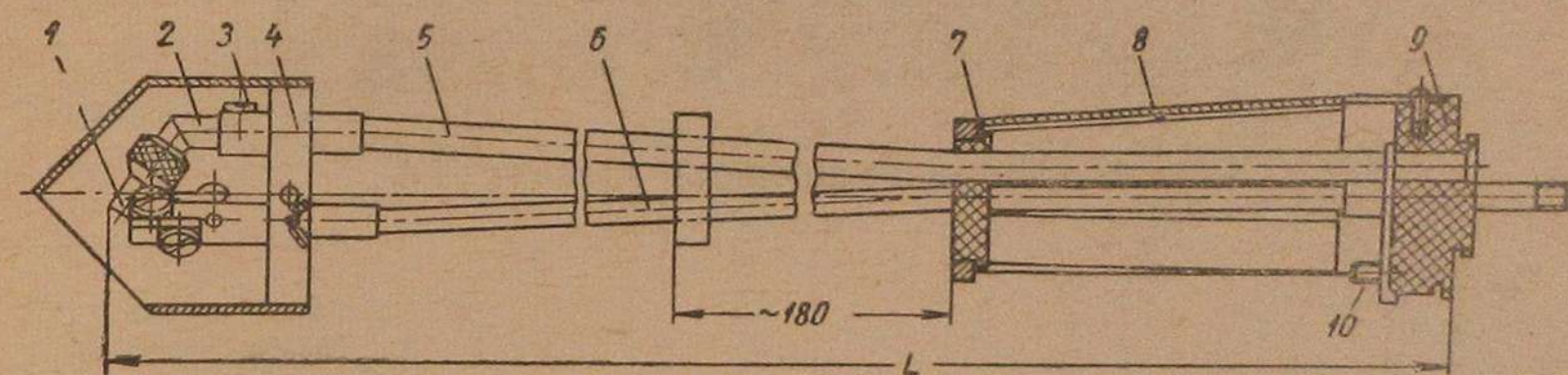
Фиг. 44. Схема питания металлизатора ЭМ-3А током от сварочного трансформатора.

Для получения более равномерного покрытия на металлизированной поверхности рекомендуется применять токарные станки, для чего металлизационный аппарат необходимо закрепить на суппорте и работать самоходом.

2. Электрометаллизационный аппарат ЭМ-6

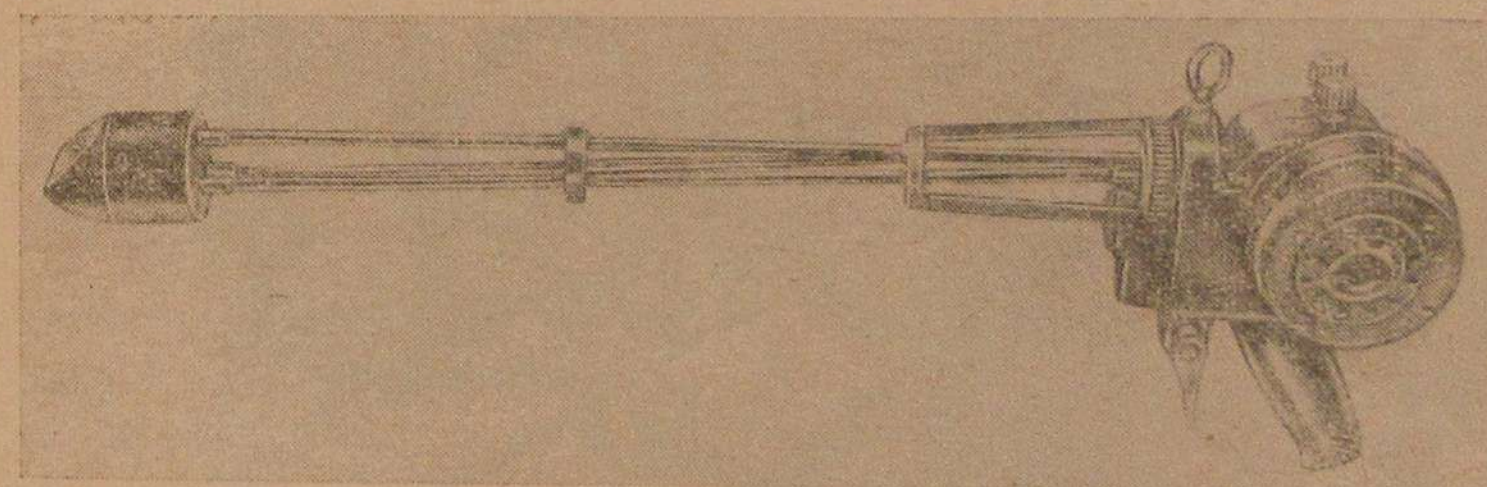
Внешний вид аппарата ЭМ-6 представлен на фиг. 47, а принципиальная схема — на фиг. 48.

Металлизационный аппарат ЭМ-6 является аппаратом станочного типа, т. е. аппаратом, предназначенным для нанесения больших количеств металла на крупногабаритные детали за короткое время. Аппарат состоит из следующих основных узлов: корпуса, механизма подачи проволоки, распылительной головки и панели управления.



Фиг. 45. Удлинительная головка УГ-1А:

1 — сопло, 2 — корпус, 3 — фиксирующий винт, 4 — шайба, 5 — трубка подачи сжатого воздуха, 6 — трубка подачи проволоки, 7 — панель, 8 — кронштейн, 9 — шайба для крепления головки на передней части аппарата, 10 — контрольные винты.



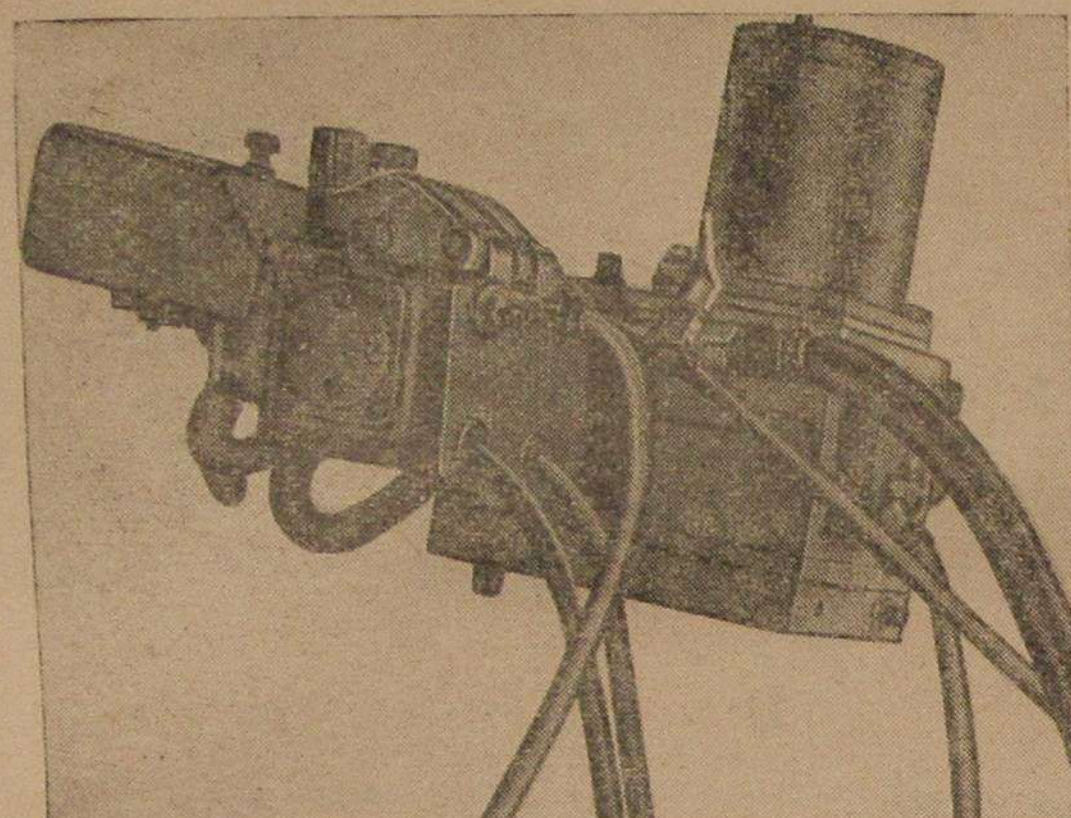
Фиг. 46. Аппарат ЭМ-3А с прикрепленной к нему удлинительной головкой.

Аппарат может быть использован для нанесения покрытий из стали и других тугоплавких сплавов и металлов.

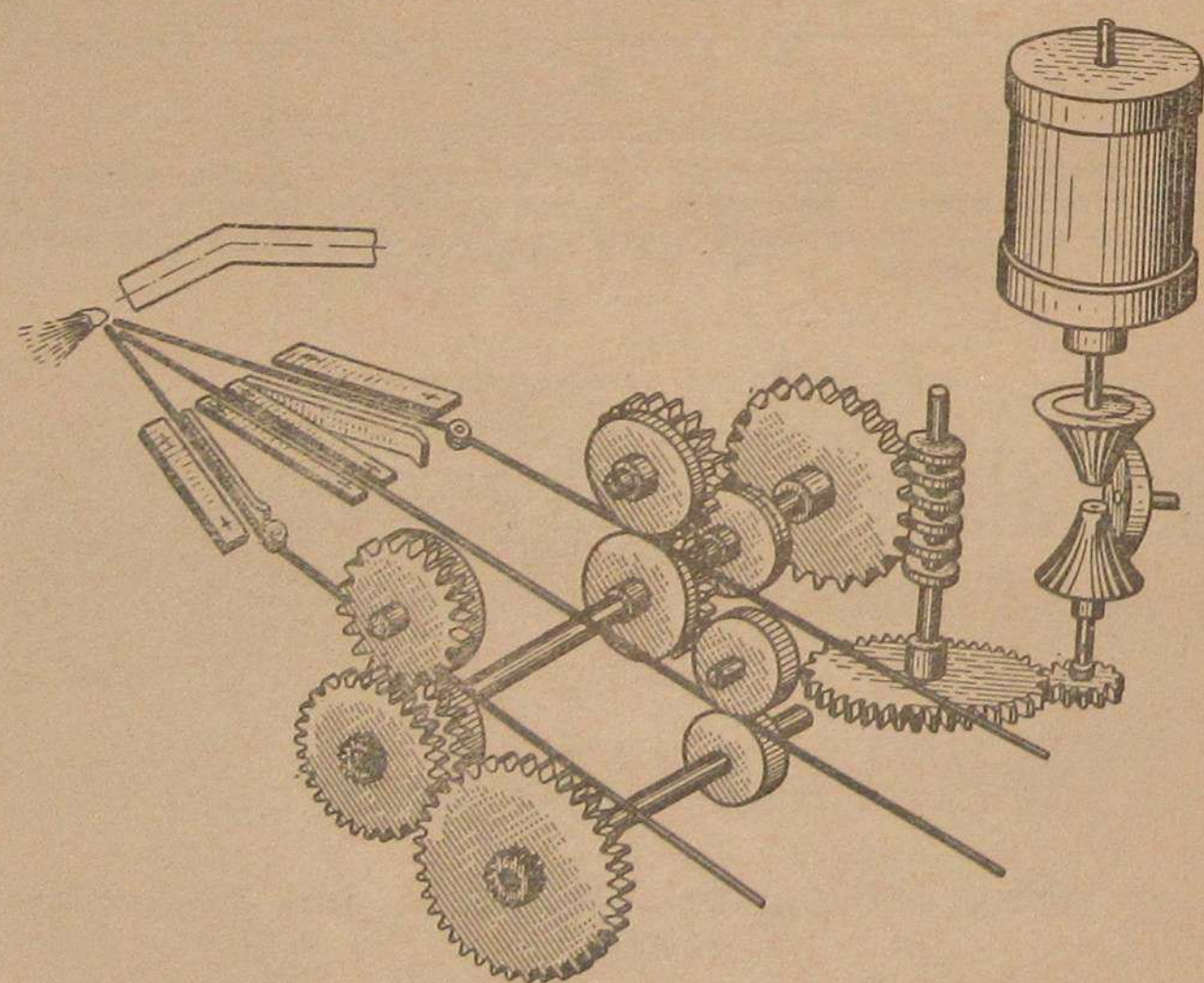
Для питания аппарата применяется переменный ток; схема питания приводится на фиг. 49.

Основные данные электрометаллизационных аппаратов

Основные данные металлизационных аппаратов	Аппараты				
	ЭМ-3А	ЭМ-6	МЭС-1-57	Много- ловочный электро- металли- затор АЭМ-1	Трехфазный металлизатор ТМ-2
Привод механизма подачи проволоки	Воздуш- ная тур- бина	Электродвигатель ДТ-75, $N=75$ вт, $n=2800$ об/мин, $v=220$ в			
Число оборотов воздуш- ной турбины в минуту	24 000	Бесступенчатый фрикционный редуктор			
Полезный вылет распыли- тельной головки в мм	200	200	200	100	100
Регулирование скорости подачи проволоки в м/мин	2,5	0,7—4,5	0,7—4,5	0,7—4,5	При однопро- ходной чер- вячной паре 0,6—1,6 При двухза- ходной чер- вячной паре 1,5—4,02
Максимальное передаточ- ное число фрикционного редуктора скорости . .	625	1:235	6,25	1:235	Количество ступеней ре- гулируемой скорости по- дачи прово- локи 8
Диаметр применяемой проволоки в мм . . .	1,0—2,0	1,5—2,5	1,5—2,5	1,5—2,5	2,0—2,5
Рабочее давление сжатого воздуха в ат	3,5—6,0	0,5—6,0	5,0—6,0	5,0—6,0	4,5—6,0
Расход сжатого воздуха в м ³ /мин	1,0—1,2	0,8—0,9	0,8—0,9	0,8—1,9	0,8



Фиг. 47. Металлизационный аппарат ЭМ-6.



Фиг. 48. Принципиальная схема аппарата ЭМ-6 с трехпроводочной головкой.

Подача проволоки осуществляется электродвигателем с помощью фрикционного редуктора, предел регулирования которого составляет 1:6,25. Основные данные аппарата приведены в табл. 25.

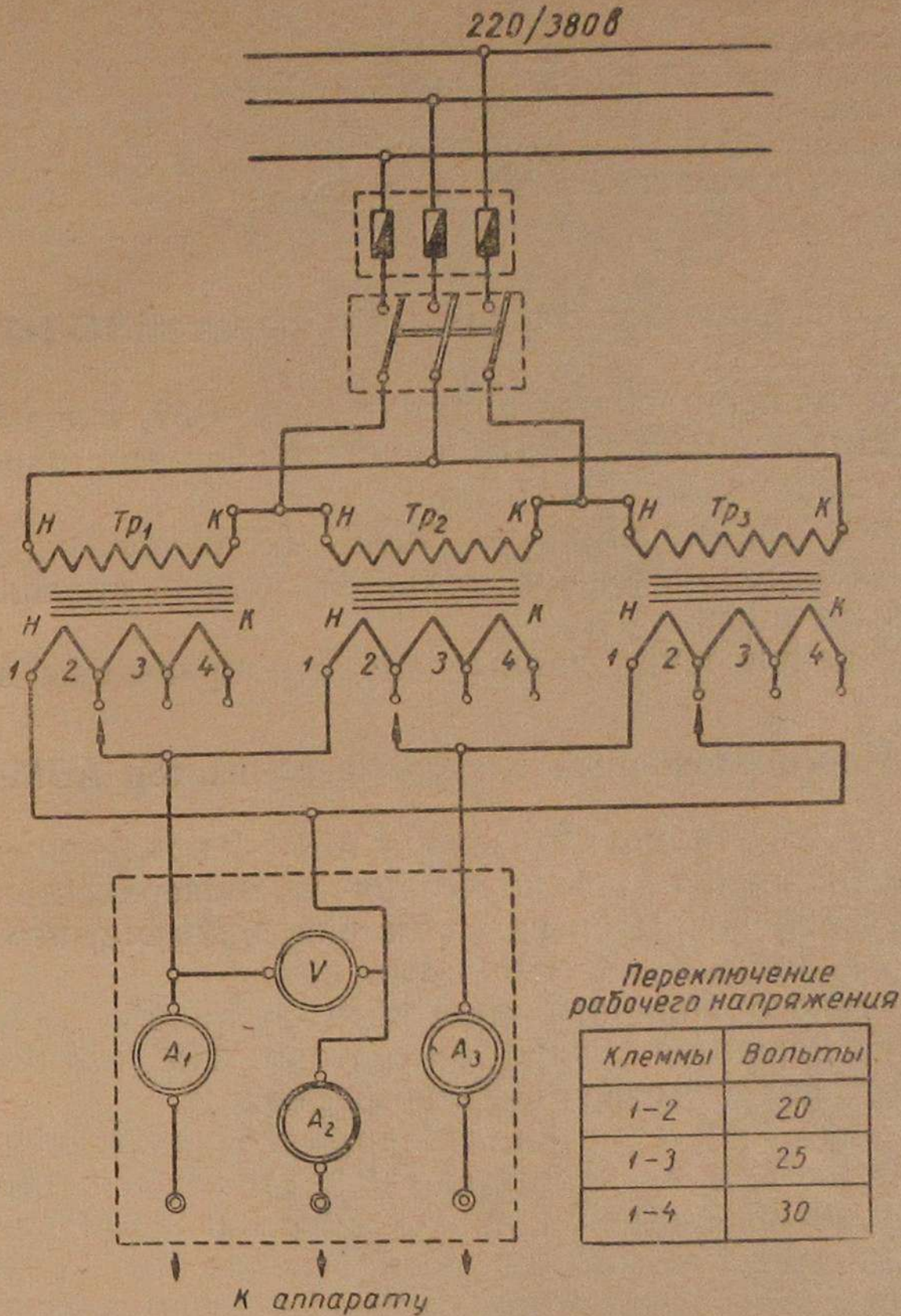
Продолжение табл. 25

Основные данные металл- изационных аппаратов	Аппараты				
	ЭМ-3А	ЭМ-6	МЭС-1-57	Много- ловочный электро- металли- затор АЭМ-1	Трехфазный металлизатор ТМ-2
Применяемый электриче- ский ток	Постоянный и переменный				
Максимальная производи- тельность при работе на алюминиевой прово- локе в кг/час	1,0	2,7—4,0	2,7—4,0	15,0—20,0	2,5—4,5
Режим работы на пере- менном токе: напряжение в в . . . сила тока в а . . .	20—30 20—130	Не свыше 500	—	Не свыше 500	—
При работе на постоянном токе: напряжение холо- стого хода в в . . . ток короткого за- мыкания в а . . .	50—60 150—300	— —	— —	— —	— —
Рабочее напряжение в в Рабочий ток в а . . . Потребная мощность в кВт	25—40 25—150 4—6	— — —	— — —	— — —	— — —
Общий вес (без рукавов) в кг	2,4	21,0	23,5	—	30,0
Габаритные размеры в мм: длина ширина высота	— — —	420 135 300	560 475 300	— — —	1152 390 370

3. Электрометаллизационный аппарат ЭМ-9

Металлизационный аппарат ЭМ-9 предназначен для нанесения покрытий из алюминия, цинка, стали и других металлов и сплавов способом распыления проволоки. Питание аппарата осущест-

вляется либо с помощью сварочного трансформатора с отводами на напряжение 20, 25 и 30 в, либо с помощью сварочного гене- ратора постоянного тока.



Фиг. 49. Схема питания металлизационной головки аппарата ЭМ-6 от трех однофазных трансформаторов.

Основными узлами аппарата являются: приводной механизм с электродвигателем, механизм подачи проволоки и распылительная головка.

Внешний вид аппарата представлен на фиг. 50.

Техническая характеристика аппарата ЭМ-9

Диаметр проволоки в мм	1,2—2,0
Скорость подачи проволоки в м/мин	0,6—5,0
Рабочее давление сжатого воздуха в ат	4,5—6,0
Максимальный расход сжатого воздуха в м³/мин	1,1

Сила рабочего тока на дуге в а	180
Напряжение в в	20—35
Производительность в кг/час:	
при распылении стальной проволоки диаметром 1,5 мм:	
на переменном токе	до 6,0
на постоянном токе	до 5,0
при распылении цинковой проволоки диаметром 2 мм:	
на переменном токе	до 6,0
на постоянном токе	до 8,0
Габаритные размеры (длина, ширина, высота) в мм	190×90×220
Вес в кг	1,9

4. Электрометаллизационный аппарат МЭС-1-57

Электрометаллизационный аппарат МЭС-1-57, внешний вид которого представлен на фиг. 51, предназначен для нанесения покрытия из алюминия, бронзы и т. д.

К основным узлам аппарата МЭС-1-57 относятся: приводной механизм с электродвигателем, механизм подачи проволоки и распылительная головка.

Основные технические данные аппарата приведены в табл. 25.

5. Многоголовочный электрометаллизатор АЭМ-1

Общий вид электрометаллизатора АЭМ-1 приведен на фиг. 52. Аппарат предназначен для нанесения на поверхность крупногабаритных деталей покрытий из алюминия, никрома, нержавеющей стали и тому подобных металлов и сплавов.

Питание такого аппарата производится либо с помощью сварочного трансформатора, либо генератора. На каждую головку металлизатора предусмотрен отдельный реостат.

Деталь, подлежащая металлизации, устанавливается на плиту кулисного стола 1, а на кронштейн 2 надеваются катушки 3 для проволоки, изготовленные из диэлектрических материалов.

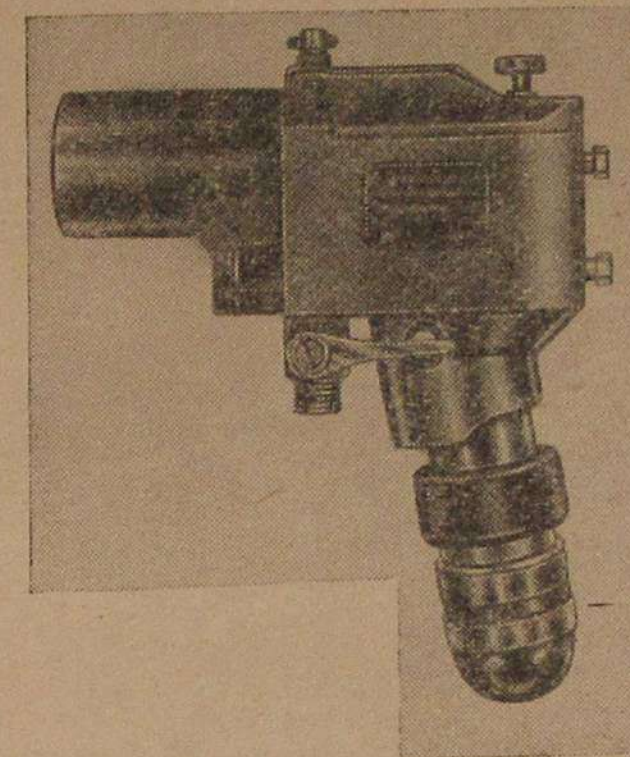
На катушки 3 наматывается металлизационная проволока, которая заправляется в отверстия головок 4 электрического металлизатора. На каждую головку предусмотрено по две катушки.

Нажатием одной из кнопок кнопочного устройства 5 включается электродвигатель 6, который через редуктор 7 приводит во вращение ведущую шестерню кронштейна, находящуюся в зацеплении с рейкой 8.

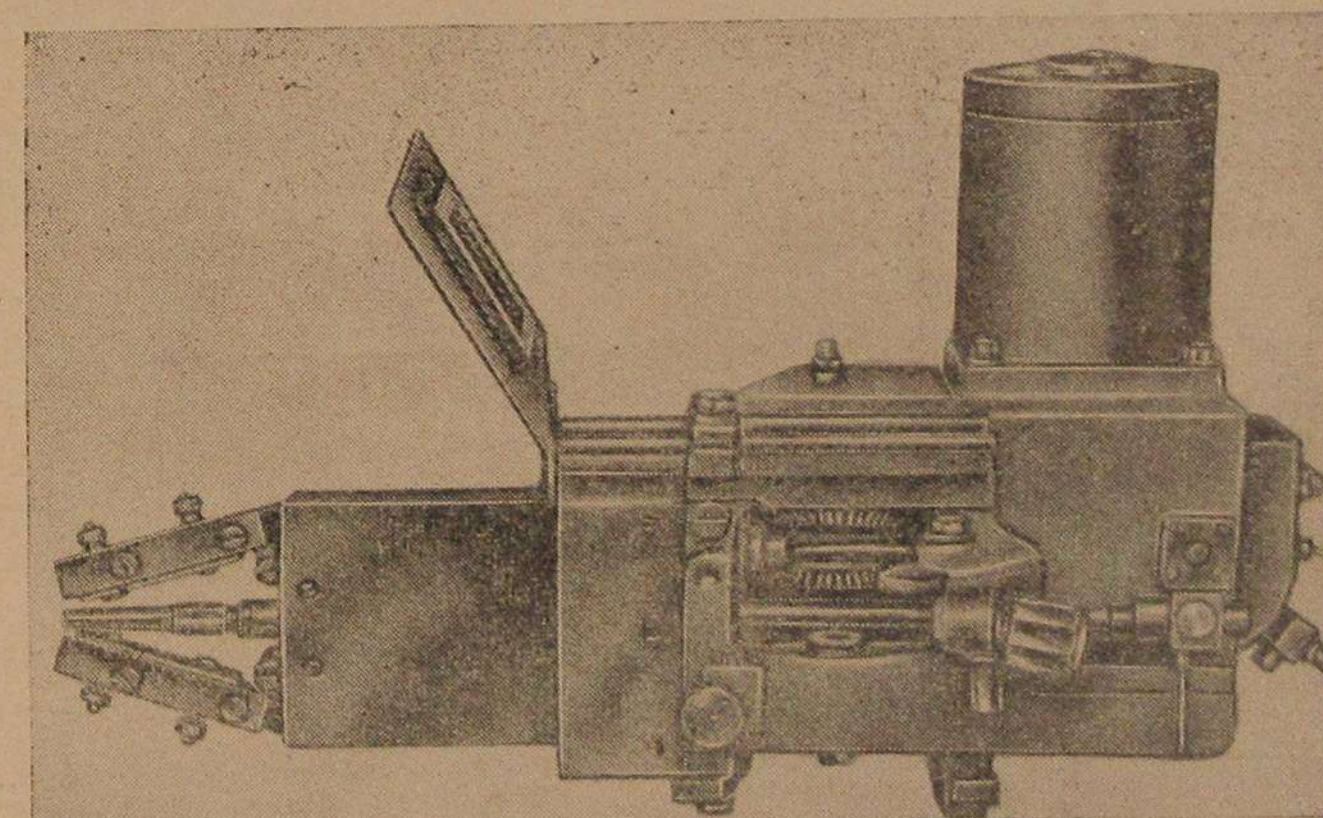
Перемещаясь, рейка передвигает кулисный стол с установленными на нем деталями 9, подлежащими металлизации.

Сначала стол перемещается вдоль металлизационных головок прямолинейно, а затем при помощи зубчатого сектора поворачивается на 90°, после чего вновь движется прямолинейно вдоль головок в первоначальном направлении.

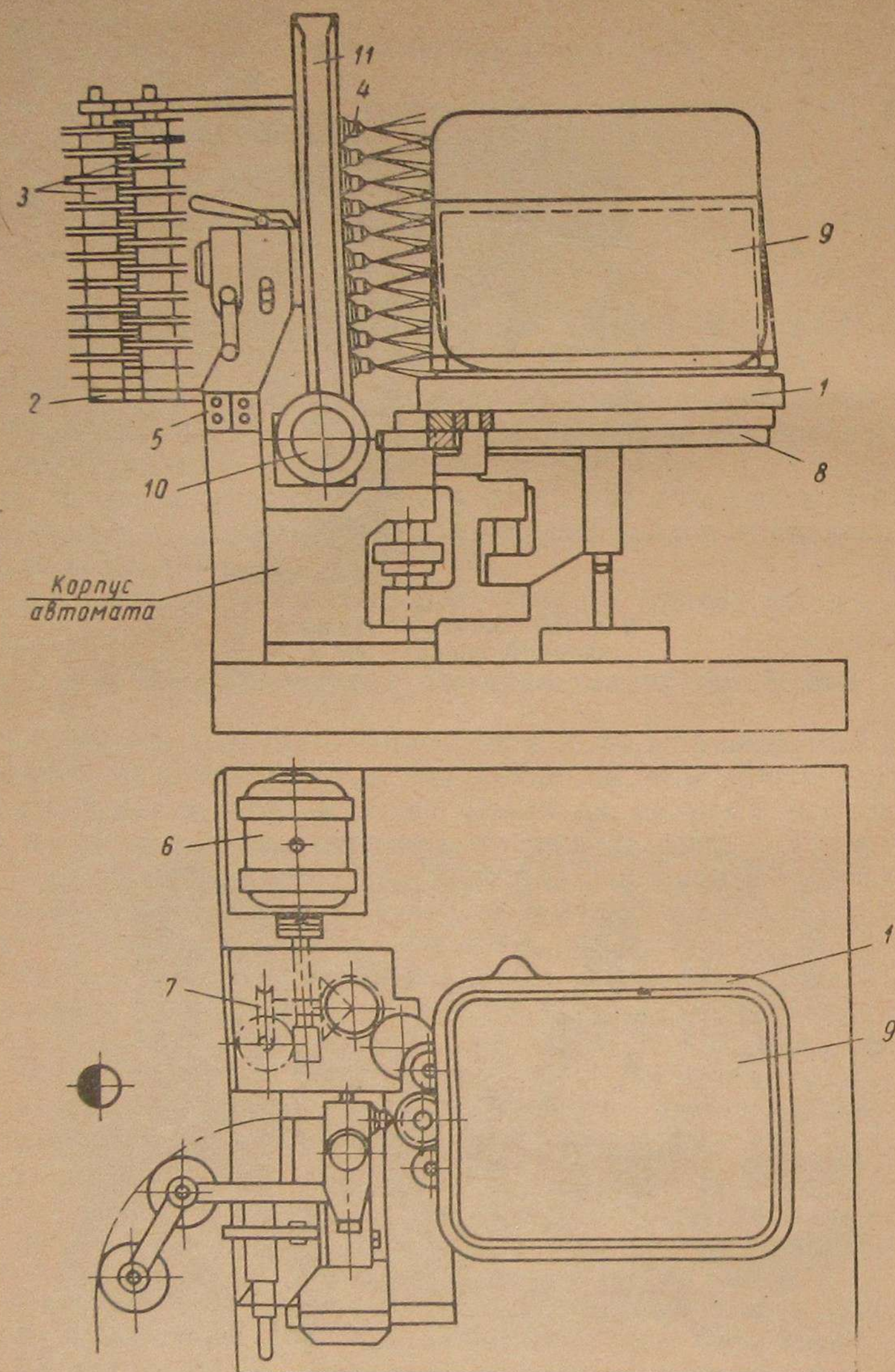
Включение металлизационных устройств осуществляется нажатием других кнопок кнопочного устройства. При этом электродвигатель 10 многоголовочного металлизатора 11 через редуктор



Фиг. 50. Электрометаллизационный аппарат ЭМ-9.



Фиг. 51. Электрометаллизационный аппарат МЭС-1-57.

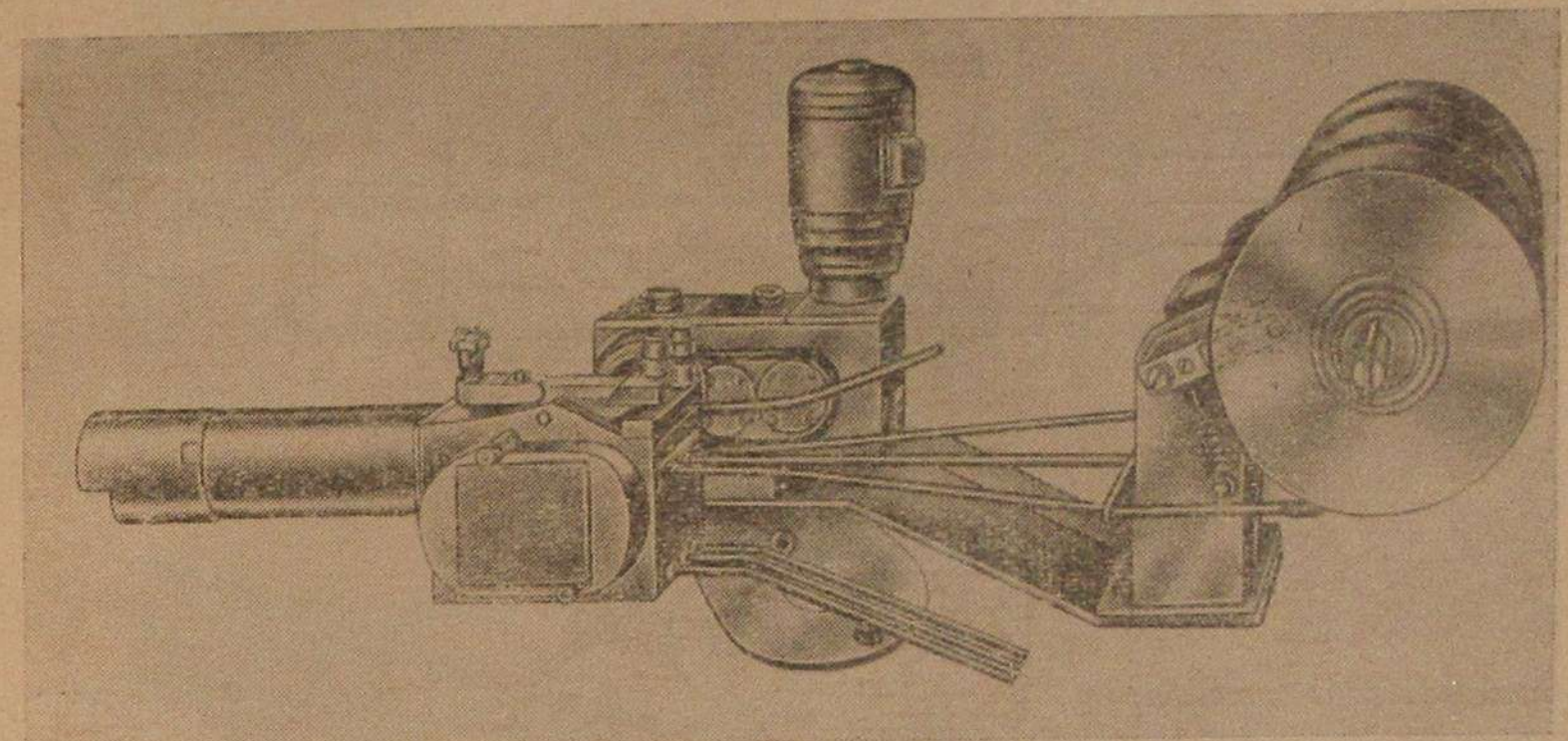


Фиг. 52. Общий вид многоголовочного электрометаллизатора АЭМ-1:

1 — стол, 2 — кронштейн, 3 — катушки, 4 — головки металлизаторов, 5 — кнопочное устройство, 6 — электродвигатель, 7 — редуктор, 8 — рейка, 9 — кулисный стол, 10 — электродвигатель многоголовочного металлизатора, 11 — многоголовочный металлизатор.

приводит во вращение шлицевой вал, который проходит через все головки и приводит в движение подающие ролики головок. В каждую головку одновременно подаются две проволоки, которые, замыкаясь, образуют дугу, расплавляющую материал проволоки; расплавленный металл проволоки распыляется сжатым воздухом, выходящим из сопла металлизационных головок, и наносится им на поверхность деталей.

Металлизация может осуществляться за один или несколько проходов в зависимости от требуемой толщины напыленного слоя.



Фиг. 53. Общий вид металлизатора трехфазного тока ТМ-2.

По окончании металлизации нажатием кнопки электродвигатели выключаются, подача проволоки и движение стола прекращаются, а деталь, покрытая слоем металла, снимается и вместо нее устанавливается новая.

В зависимости от размеров деталей головки металлизатора могут раздвигаться или сближаться, а в зависимости от формы деталей могут устанавливаться под углом, в вертикальном или горизонтальном положении. Расстояние между головками и деталью также может изменяться в зависимости от требований технологии.

Применение подвижного стола-плиты и десяти электродуговых металлизационных головок позволяет существенно сократить длительность металлизации, снизить затраты труда и обеспечить некоторую механизацию процесса¹.

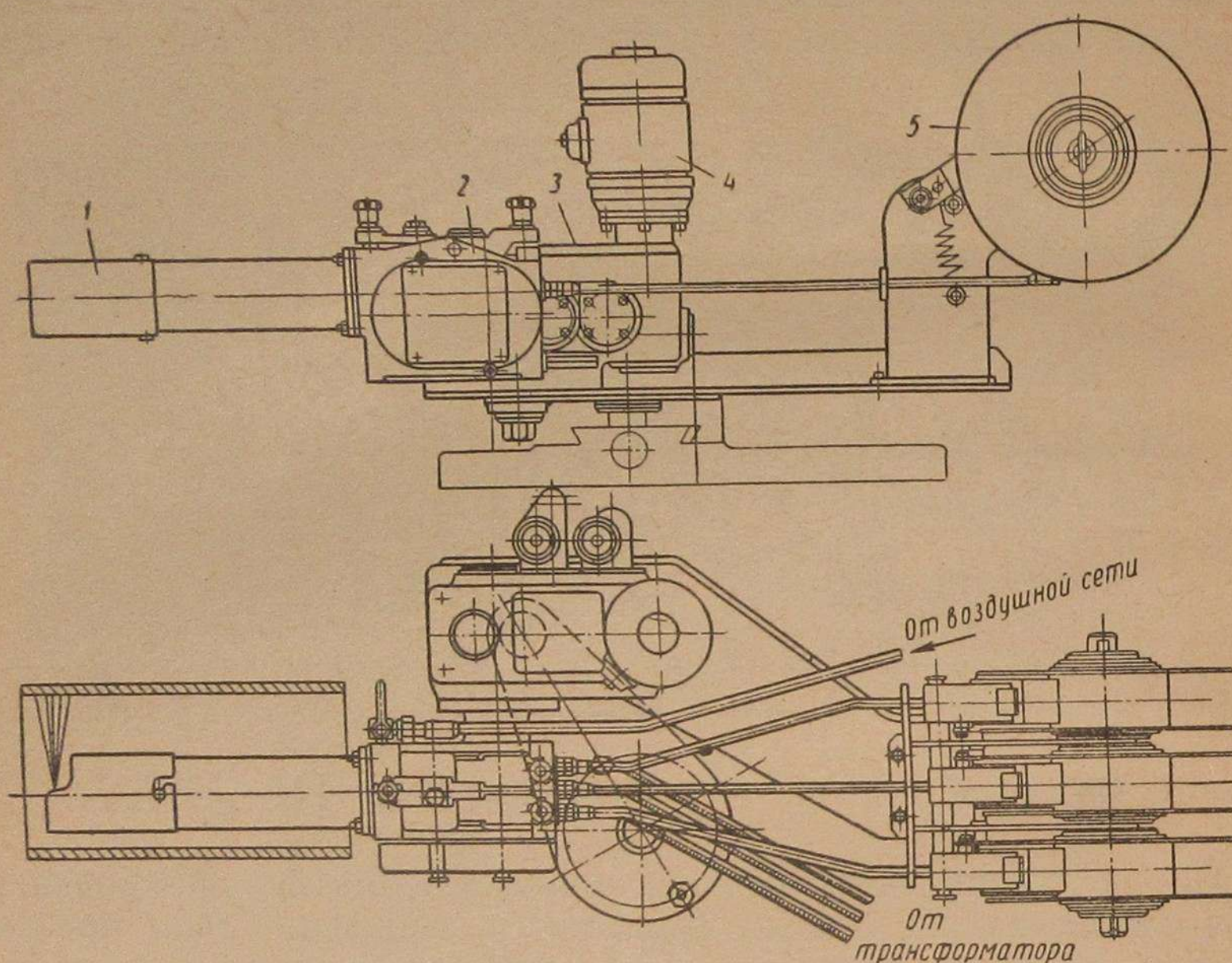
6. Металлизатор трехфазного тока ТМ-2

Металлизатор ТМ-2, общий вид которого представлен на фиг. 53, предназначен для нанесения методом распыления однокомпонентных и многокомпонентных покрытий как с наружной,

¹ Чертежи установки АЭМ-1 имеются в институте НИИТавтопром.

так и с внутренней сторон. Схема металлизатора приведена на фиг. 54.

Принцип работы металлизатора состоит в том, что три электродные проволоки диаметром 2—2,5 мм из одинаковых или различных металлов плавятся в однофазной или трехфазной электрической дуге; расплавленный металл распыляется сжатым воздухом и наносится на поверхность детали.



Фиг. 54. Схема металлизатора трехфазного тока ТМ-2:

1 — распылительная головка, 2 — механизм подачи проволоки, 3 — коробка, подач.
4 — электродвигатель.

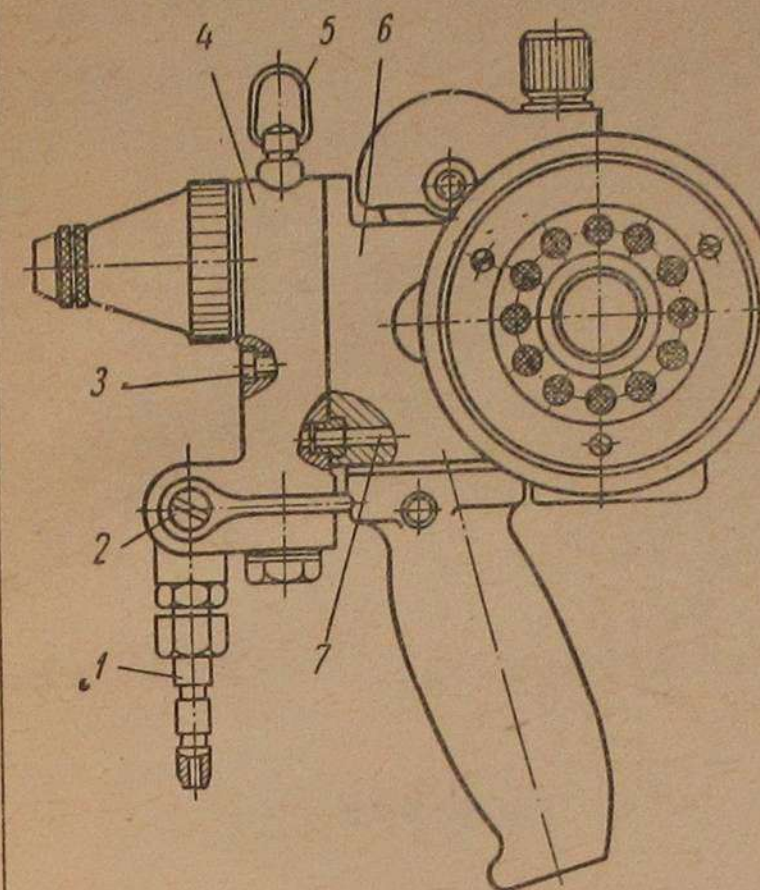
Особенностью работы металлизаторов является то, что проволока из разных металлов подается в зону электрической дуги с такими скоростями, которые обеспечивают получение различных по концентрации сплавов с различными свойствами.

Технические данные металлизатора приведены в табл. 25.

7. Газовый металлизатор ГИМ-2

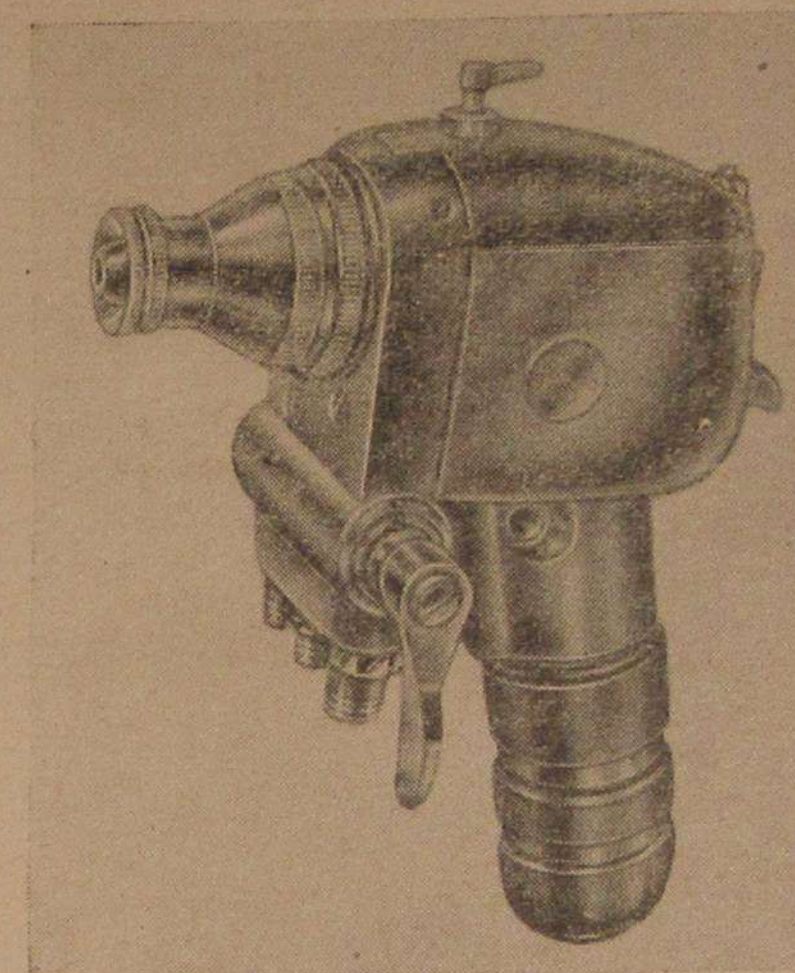
Газовый металлизатор ГИМ-2 предназначен для нанесения покрытий из стали, бронзы, алюминия и других металлов способом распыления. Внешний вид аппарата представлен на фиг. 55.

Металлизатор ГИМ-2 относится к числу ручных приборов, однако, он может устанавливаться и на станках. Принцип работы аппарата состоит в следующем: проволока, непрерывно подаваемая с помощью механизма подачи в зону ацетилено-кислородного

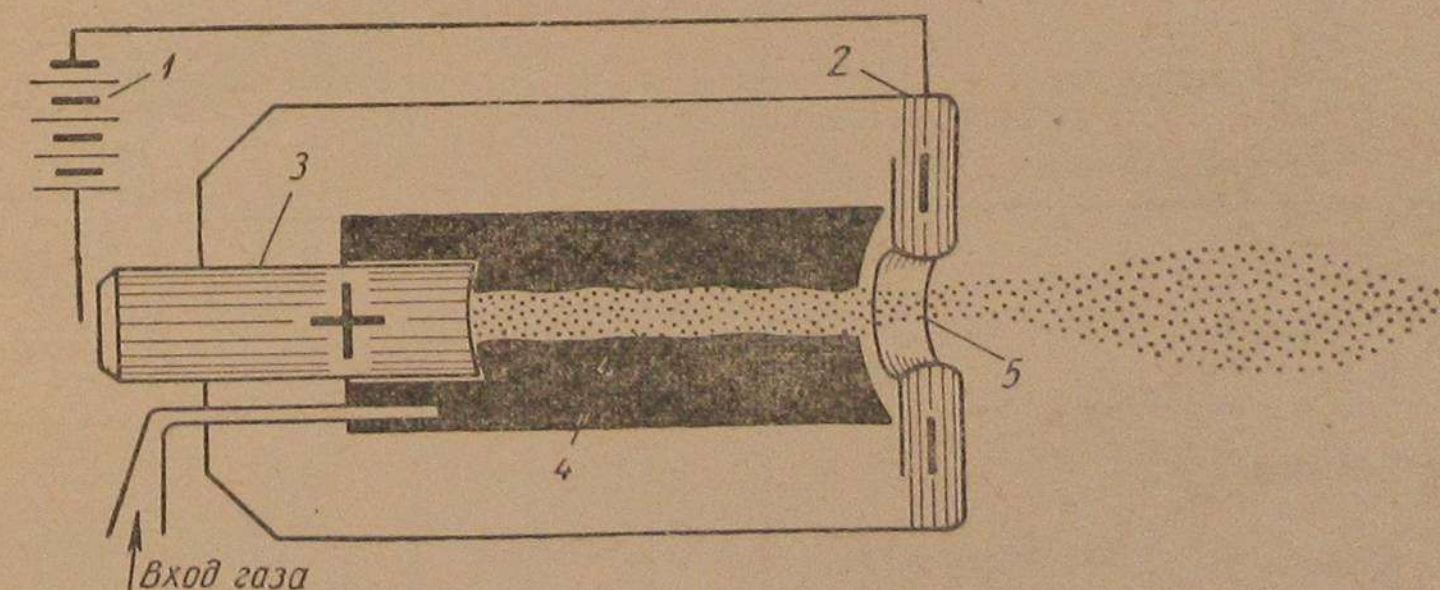


Фиг. 55. Газовый металлизатор ГИМ-2:

1 — ниппель для сжатого воздуха, 2 — распределительный клапан, 3 — винт, крепления передней стенки, 4, 5 — кольцо для подвески аппарата, 6 — корпус аппарата, 7 — канал подачи воздуха в турбинную камеру.



Фиг. 56. Общий вид металлизатора МГИ-1-57.



Фиг. 57. Принципиальная схема плазменной горелки:
1 — источник тока, 2 — катод, 3 — анод, 4 — дуга, 5 — сопло.

(или другого) пламени, расплавляется. Расплавленный металл, увлекаемый струей сжатого воздуха, распыляется на мельчайшие частицы, которые при направлении на поверхность детали образуют сплошное покрытие.

Конструкция аппарата предусматривает смену газового сопла и инжектора (обеспечивающего подсос горючего газа), что позволяет заменять один газ другим.

Техническая характеристика металлизатора ГИМ-2

Максимальная скорость подачи проволоки в м/мин	4,5
Максимальное число оборотов воздушной турбины в минуту	25 000
Предел регулирования подачи проволоки	1:5
Диаметр проволоки в мм	1,2—2,0
Рабочее давление сжатого воздуха в ат	3—5
Общий вес в кг	2,5
Рабочее давление в ат:	
кислорода	2—5
ацетилена	0,04 и выше
пропан-бутана	0,04—0,3
нефтегаза	0,2—0,6
природного газа	0,3—0,5
Расход:	
сжатого воздуха в м ³ /мин	0,6—0,8
кислорода в л/час	900—1860
ацетилена в л/час	300—660
пропан-бутана в л/час	180—360
нефтегаза в л/час	340—860
природного газа в л/час	380—1040

Режимы работы и производительность при алитировании с использованием различных горючих газов приведены в табл. 26.

Таблица 26

Горючий газ	Давление в ат			Производительность в кг/час при алитировании и при применении алюминиевой проволоки различного диаметра в мм	
	воздуха	кислорода	горючего газа	1,5	2,0
Ацетилен	3—4	2,5	0,04	0,7	0,7
	3—3	3,0	0,3	0,8	1,0
Пропан-бутан	3—4	5,0	0,3	1,0	1,3
	3—4	2,5	0,4	0,75	1,4
Нефтегаз	3—4	2,5	0,5	0,6	0,9
Природный газ (метан)	4	2,0	0,5	0,6	1,0

8. Газовый металлизатор МГИ-1-57

Металлизатор МГИ-1-57, так же как и металлизатор ГИМ-2, предназначен для нанесения покрытий из стали, латуни, алюминия и некоторых других сплавов и металлов. Общий вид металлизатора приведен на фиг. 56.

Для работы на металлизаторе необходимы горючий газ (ацетилен, пропан-бутановая смесь, нефтяной, городской или другой газ), кислород и сжатый воздух.

Основными частями металлизатора являются: корпус, механизм подачи проволоки, воздушный ротационный привод и распылительная головка.

Числа оборотов ротационного двигателя регулируются центробежно-фрикционным регулятором.

Принцип работы металлизатора МГИ-1-57 аналогичен принципу работы аппарата ГИМ-2.

Техническая характеристика металлизатора МГИ-1-57

Диаметр проволоки в мм	1,5—3,0
Скорость подачи проволоки в м/мин	0,7—6,0
Рабочее давление в кг/см ² :	
сжатого воздуха	3,5—4,0
кислорода	2,0—7,0
ацетилена	0,04—0,6
пропан-бутановой смеси	0,1—0,5
метана	0,1—0,5
смешанного газа	0,2—0,5
Расход:	
сжатого воздуха в м ³ /мин	0,7
кислорода в л/час	625—2100
горючего газа в л/час:	
ацетилена	240—840
пропан-бутановой смеси	150—435
метана	510—950
смешанного газа	450—1000
Производительность при распылении в кг/час:	
цинка	до 6,2
алюминия	1,5
стали	2,7
Габаритные размеры в мм:	
длина, ширина, высота	170, 105, 220
Вес в кг	2,0

Режимы работы и производительность при алитировании в зависимости от применяемого горючего газа приводятся в табл. 27.

Для нанесения покрытия на внутренние поверхности труб, втулок, глубоких отверстий и на другие труднодоступные поверхности аппарат МГИ-1-57 снабжен удлинительной головкой УГ-2, являющейся самостоятельным узлом. С помощью удлинительной головки металлизация производится вручную или на станке.

Таблица 27

Горючий газ	Давление в ат			Производительность в кг/час при распылении алюминиевой проволоки диаметром в мм		
	воздуха	кислорода	горючего газа	1,5	2,0	3,0
Ацетилен	3,5—4	3	0,04	0,8	0,6	—
	3,5—4	5	0,3	1,0	1,5	—
	4	7	0,6	—	—	3,5
Пропано-бутановая смесь	4	2,5	0,4	1,0	2,0	—
Метан	4	2,2	0,5	0,9	1,3	—
Смешанный газ	4	2	0,5	0,9	1,2	—

Техническая характеристика головки УГ-2

Полезная длина вылета в мм	300 и 1000
Минимальный внутренний диаметр метализируемой детали в мм	50
Рабочее давление в ат:	
сжатого воздуха	4—5
кислорода	2,5—5,0
горючего газа	0,2—0,7
Расход сжатого воздуха в м ³ /час	0,65—0,75
Расход газа в л/час:	
кислорода	900—1800
горючего газа	200—1100
Диаметр применяемой проволоки в мм	1,5—2,0
Производительность при распылении в кг/час:	
цинка	2,7—4,0
алюминия	0,7—1,1
стали	0,8—1,3
Габаритные размеры головки в мм:	
с полезной длиной вылета 300 мм (длина×диаметр)	310×40
с полезной длиной вылета 1000 мм (длина×диаметр)	1010×40
Вес головки в кг:	
с полезной длиной вылета 300 мм	0,43
с полезной длиной вылета 1000 мм	1,0

9. Дуговые плазменные металлизационные горелки

В последнее время в США [24] для металлизации применяется новый эффективный источник тепла — дуговая плазменная горелка. Принципиальная схема горелки приведена на фиг. 57. Такая горелка обеспечивает получение очень высоких температур, при которых испаряются все известные элементы. Плазма обладает электромагнитными свойствами — магнитное поле действует на плазму так же, как и на электрическую дугу; плазма может быть

сфокусирована, замедлена, ускорена, отклонена, прервана и т. д. Создается плазма в плазменной горелке, являющейся закрытой дуговой камерой, в которой газ при очень высоком давлении и скорости продувается через зону дугового разряда с высокой плотностью тока. Разряд возбуждается между электродом (анодом) и соплом горелки (катодом). Питание дуги производят от обычного сварочного генератора постоянного тока.

Высокая температура плазмы создает условия, при которых многие элементы, такие как W, Mo, Si, Cr, Ti и другие быстро испаряются и могут быть нанесены на металлы, керамику и даже на пластмассу (нагрев метализуемой поверхности не превышает 260°).

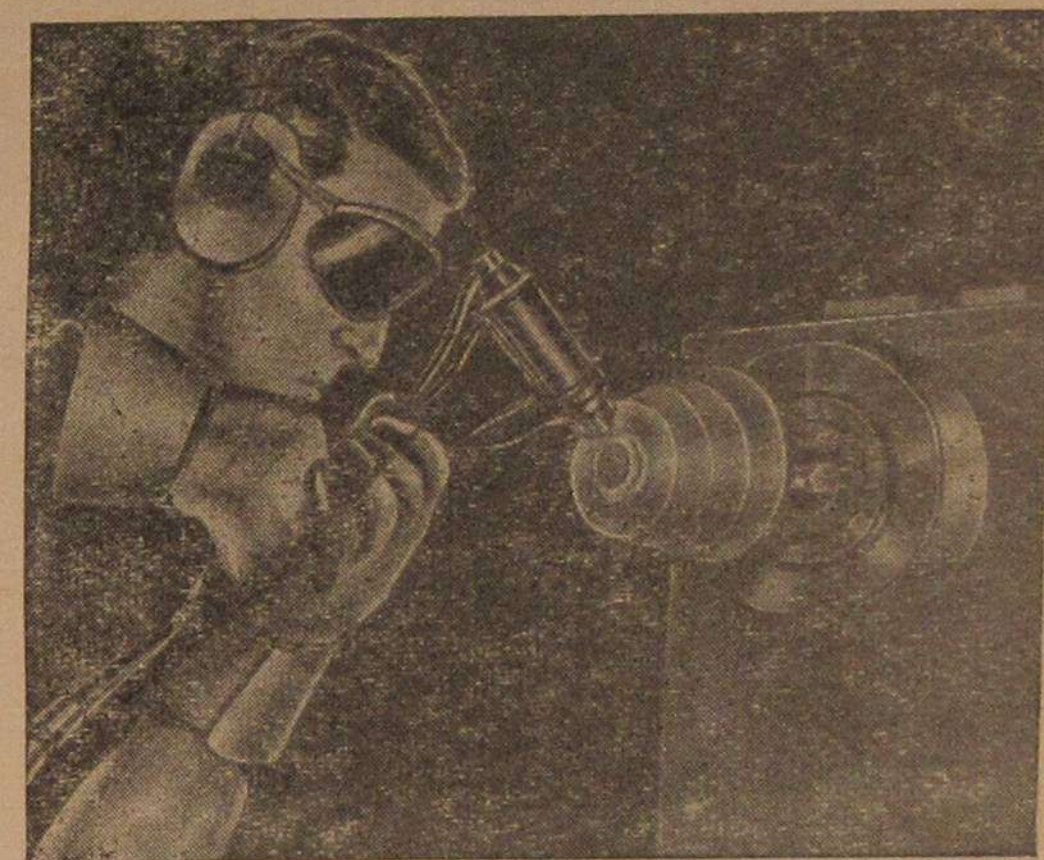
Дуговая плазменная горелка диаметром 50,8 мм может быть использована для металлизации. При работе плазменной горелки проволока или порошок подается в зону мощной электрической дуги, возбуждаемой внутри горелки. Температура этой зоны составляет примерно 8300°. Наносимый материал переходит (в зависимости от скорости движения, определяемой давлением газа) в расплавленное и пластическое состояние. Частицы материала выдуваются из горелки потоком движущегося с большой скоростью инертного газа (азота, водорода) и наносятся на поверхность.

Горелка устанавливается под углом 90° к обрабатываемой поверхности (фиг. 58).

Благодаря тому, что между столбом электрической дуги и стенками сопла находится кольцевой слой холодного газа, плазма не касается стенок сопла, и не разрушает горелку.

Горелки для металлизации проволокой или порошком конструктивно отличаются друг от друга. При металлизации нержавеющей стали целесообразнее использовать проволоку; при нанесении вольфрамовых и карбидных материалов применяются порошки.

Покртия имеют хорошее сцепление с любым металлом, пластмассами, графитом и керамикой. Химические и механические свойства таких покрытий значительно выше покрытий, получаемых методами гальванического осаждения и обычной металлиза-



Фиг. 58. Нанесение покрытия с помощью плазменной горелки.

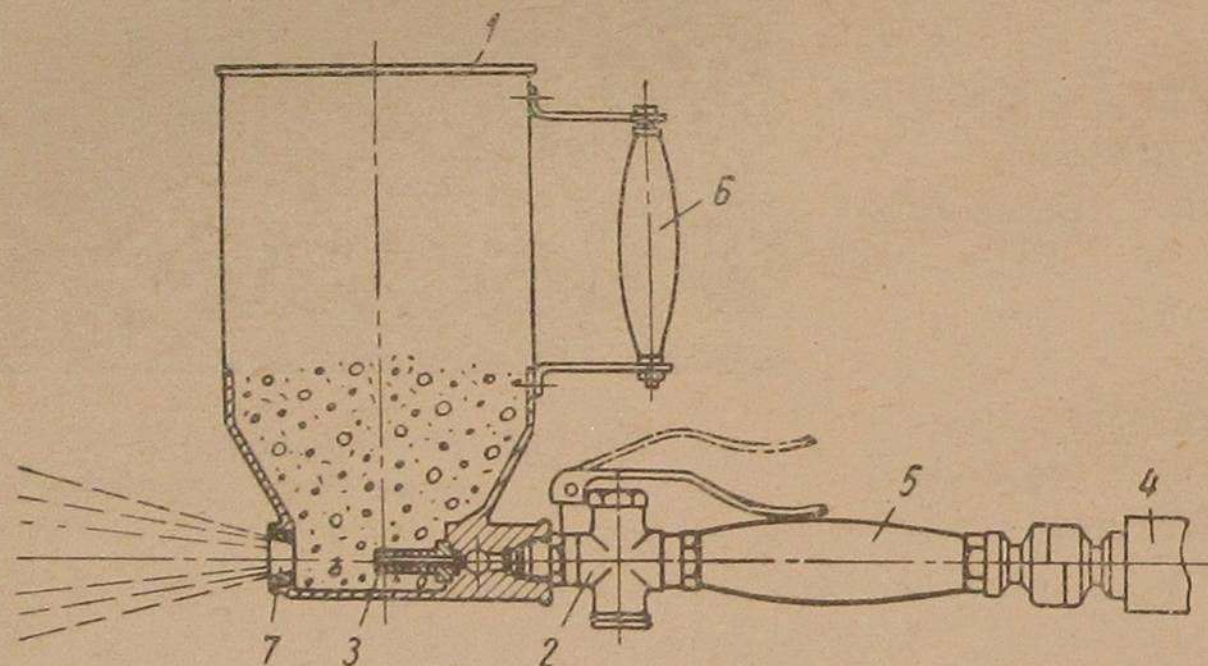
цией. Структура напыленного металла однородна, а поверхность покрытия может быть отполирована с большой точностью и чистотой.

Процесс металлизации с помощью плазменной горелки может быть использован для получения вольфрамовых или графитовольфрамовых покрытий; деталь с таким покрытием выдерживает очень высокие температуры и обладает большой жаростойкостью.

В настоящее время дуговая плазменная горелка применяется в США в самолетостроении для покрытия деталей реактивных двигателей, работающих при температурах около 3000° .

ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИМЕНЯЕМОЕ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ЗАЩИТНОЙ ОБМАЗКИ

Нанесение защитной обмазки на алитированную поверхность может производиться путем окунания детали в разведенную обмазку, кистью и с помощью пневматической воронки. Схема устройства пневматической воронки представлена на фиг. 59.



Фиг. 59. Пневматическая воронка для нанесения обмазки:

1 — корпус, 2 — клапан с ручкой, 3 — сопло, 4 — резиновый шланг, 5 и 6 — рукоятки, 7 — выходное отверстие воронки.

Нанесение обмазки с помощью пневматической воронки производится следующим образом: подготовленная и подогретая до 80° обмазка загружается в резервуар (воронку) корпуса. Поддерживая воронку за рукоятки 5 и 6, направляют ее выходным отверстием на покрываемую поверхность. Нажимая рукой на ручку, открывают клапан, в результате чего сжатый воздух, подводимый к воронке с помощью шланга 4, выходя с большой скоростью из сопла 3, устремится к выходному отверстию воронки 7 и увлечет за собой обмазку, которая будет наноситься на покрываемую поверхность.

VII. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

Отделение (участок) алитирования должен иметь следующее оборудование: металлизационные аппараты различного типа, кислородные и ацетиленовые баллоны высокого давления, воздухоочистители, сварочные трансформаторы и сварочные машины, а в отдельных случаях также и установки токов высокой частоты.

Оборудование, применяемое для алитирования, может находиться под напряжением, опасным для жизни человека.

Работа по нанесению покрытий связана с выделением большого количества металлической пыли, паров металла, вредных газов, появлением вредных для зрения лучей (ультрафиолетовых, инфракрасных) и большим шумом.

Поэтому при проектировании отделения или цеха алитирования необходимо стремиться к тому, чтобы помещение было полностью изолировано от помещений других цехов. Необходимо применять усиленную общую и местную отсасывающую вентиляцию, а также применять приточную вентиляцию. Вентиляционная система должна быть спроектирована по нормам для вредных цехов.

Правила обращения с пескоструйными аппаратами. Для предупреждения несчастных случаев необходимо соблюдать следующие правила:

1. Пескоструйные аппараты и масловодоотделители емкостью свыше 25 л необходимо изготавливать и эксплуатировать в соответствии с правилами Госгортехнадзора СССР. Эксплуатация этих аппаратов производится только с разрешения Госгортехнадзора.

2. Масловодоотделитель должен быть снабжен манометром со шкалой до 10 кг/см^2 .

3. Крепление шлангов с воздушными трубопроводами должно производиться с помощью хомутиков.

4. Пескоструйная, дробеструйная камеры и металлизационные шкафы должны быть оборудованы вытяжной вентиляцией. Вытяжные устройства должны иметь пылесборники.

5. К работе на пескоструйных, дробеструйных установках допускаются рабочие, прошедшие инструктаж по обращению с пескоструйными и дробеструйными установками.

6. Для предохранения глаз, лица, рук и тела от действия песка и дроби необходимо применять шлем или противогаз со свободной

или принудительной подачей воздуха, резиновые или брезентовые перчатки (или рукавицы).

Правила обращения с газовым металлизатором. Необходимо соблюдать «Правила устройства и безопасности эксплуатации сосудов, работающих под давлением» (Углетехиздат, 1957 г.):

1. Воспрещается хранение баллонов с кислородом в одном помещении с горючими газами.
2. Баллоны с ацетиленом или другими горючими газами могут храниться в одном помещении только с инертными газами.
3. Баллоны, наполненные газами, должны быть защищены от воздействия солнечных лучей.
4. Баллоны, наполненные газом, при переносе или передвижении не должны подвергаться ударам, сотрясениям и т. п.
5. На месте работы баллоны необходимо держать закрепленными.
6. Баллоны, наполненные кислородом, должны весьма тщательно предохраняться при открывании вентиля от попадания масла.
7. Нельзя допускать нагрева баллона или редукционных вентилях открытым пламенем; это можно делать только горячей водой.
8. Транспортировка баллонов разрешается только с закрытыми колпаками и на специальных настилах или с надетыми резиновыми кольцами на баллоны.
9. Не допускать попадания искр или огня в шланги.
10. При открытии баллона не следует находиться против вентиля баллона.
11. Ремонт баллонов и вентилях на месте их хранения производится не должен.
12. Строго соблюдать правила и сроки испытания баллонов.
13. Не подтягивать соединений в вентиле, когда в баллоне находится газ под давлением.
14. При появлении в шлангах пламени немедленно перекрыть кислородные и ацетиленовые баллоны.
15. При возникновении пожара тушение производить песком или специальными огнетушителями.
16. Перед началом работ необходимо проверить наличие инжекции (подсоса) и убедиться в герметичности всех соединений.
17. Перед зажиганием металлизатора необходимо продуть ацетиленовый шланг и металлизатор для вытеснения из них воздуха.

Правила обращения с электродуговыми металлизационными аппаратами. Все электрооборудование должно быть заземлено, а рубильники защищены кожухом; токоподводящие провода должны быть изолированы и иметь сечение не менее 16 мм²; при перерыве в работе на время свыше 7 час. необходимо выключить рубильник на главном щите; запрещается исправление приборов под напряжением; включение и выключение рубильников на главном щите можно производить только в резиновых перчатках; при

работе с электрометаллизатором рабочий должен подкладывать под ноги резиновый коврик.

Индивидуальные меры защиты. Для защиты глаз от действия электрической дуги при электрометаллизации необходимо применять защитные очки со стеклами типа ТИЗ (№ 4—5).

При распылении металлов (цинка, свинца, олова, меди) для защиты дыхательных путей от металлической пыли, паров металла и газов работы должна производиться в шланговом противогазе. При длине шланга до 20 м разрешается свободная подача воздуха; при длине шланга свыше 20 м необходима принудительная подача очищенного воздуха от специальной воздушной установки. При хорошей вентиляции допускается работа с респиратором.

При работе с электрометаллизатором необходимо на металлизатор надевать защитный колпачок.

Рабочие операторы снабжаются резиновыми перчатками, резиновыми сапогами или галошами и брезентовыми костюмами. Операторы должны работать на деревянном подстиле или резиновом коврике. К работе допускаются операторы, имеющие квалификацией не ниже 4—5 разряда и сдавшие технический минимум.

Для защиты от резкого шума применяются специальные наушники-глушители (Институт технической информации Академии наук СССР. Чертеж № Р.Ч. 54-9).

Особые требования к дробеструйным камерам. Помимо необходимости соблюдения общих правил техники безопасности при работе на дробеструйных камерах, надо обратить особое внимание на следующее.

1. В дробеструйных камерах следует проверять:

а) исправность уплотнений у камер; турбин и состояние прокладок у них;

б) состояние быстроизнашивающихся частей агрегата — предохранительные броневые щитки, бронеплиты, лопасти дробебетоу, горловины, диски роторов, кожухов, прокладки, резиновые завесы.

2. При обнаружении каких-либо неисправностей камеры она должна быть остановлена и неисправности должны быть устранены.

3. Осмотр лопаток дробебетоу должен производиться через 4—5 час., а остальных движущихся частей и узлов через 8 час.

4. Перегрев подшипников дробебетоу не допускается.

5. К работе на дробеструйных камерах могут допускаться только рабочие, прошедшие курсы технического минимума и хорошо знающие дробеструйную установку.

VIII. ТИПОВАЯ ИНСТРУКЦИЯ ПО АЛИТИРОВАНИЮ ДЕТАЛЕЙ

Детали машин, работающие при повышенных температурах и в условиях окислительной атмосферы, подвергаются интенсивному окислению, вследствие чего срок их службы резко сокращается. Замена таких деталей требует дополнительной затраты большого количества металла и человеческого труда.

Поэтому повышение жаростойкости деталей, а также применение для их изготовления недефицитных материалов имеют большое народнохозяйственное значение.

Одним из наиболее эффективных методов повышения жаростойкости деталей, работающих при высоких температурах (до 1200°) в окислительной среде, является поверхностное насыщение деталей алюминием.

В зависимости от температурных условий эксплуатации деталей алитирование повышает срок их службы в следующее число раз.

Изделия из углеродистой стали, работающие при температуре:

800° в 12—15 раз

900° " 8—10 "

950° " 5—7 "

1000° в 2—2,5 раза.

Изделия из серого чугуна, работающие при температуре 920° в 2—2,5 раза.

Изделия из жаростойкой стали марок Х23Н13 и ЭЯ2П, работающие при температуре 1150—1200° в 6—8 раз.

Назначение инструкции. Настоящая производственная инструкция предусматривает применение процесса алитирования способом распыления (металлизации) с целью повышения жаростойкости деталей, работающих при высоких температурах и замены жаростойких сталей углеродистыми алитированными сталями.

Материалы и оборудование. Детали, подвергаемые алитированию, должны быть изготовлены из малоуглеродистой (в том числе литые) стали, из жаростойкой стали или из белого чугуна.

Поверхность детали, подвергаемая алитированию, должна быть подготовлена пескоструйной или дробеструйной обработкой или местным подогревом до 300°. С алитируемой поверхности должны быть удалены грязь, ржавчина, окалина, масляные пятна и, кроме того, на поверхности должна быть образована шерохова-

тость, обеспечивающая лучшее сцепление нанесенного слоя с основным металлом.

В качестве абразивного материала при пескоструйной подготовке следует применять чистый (обязательно сухой) песок с размерами зерна 0,5—1,5 мм, а при дробеструйной подготовке колотую чугунную или стальную дробь.

Для местного подогрева рекомендуется применять многосопловую газовую горелку.

Там, где есть возможность, алитирование следует производить с помощью электрометаллизаторов ЭМ-3А, ЭМ-6, ТМ-2 или МЭС-1-57. В случае отсутствия электрометаллизаторов можно применять газовые аппараты ГИМ-2 или МГИ-1-57.

Алюминиевая проволока, применяемая для металлизации, должна соответствовать требованиям ГОСТ 3549-55. Источниками питания металлизационных аппаратов должны служить сварочные трансформаторы СТ-2, СТ-24, СТ-34, электрическая часть которых должна быть переделана по схеме, представленной на фиг. 60. Сжатый воздух, предназначенный для работы, должен быть очищен от масла и влаги. Для очистки воздуха от влаги и масла как при пескоструйной обработке, так и при металлизации необходимо применять масловодоотделитель. Давление воздуха должно быть в пределах 4,5—6,0 ат. Нанесение алюминиевого покрытия на деталь следует производить сразу же после подготовки ее поверхности (например, сразу же после пескоструйной обработки).

Технология алитирования. При алитировании необходимо:

1. Просмотреть алитируемые детали. Дефектные детали (например, с трещинами) отправить на ремонт.
2. Подготовить алитируемую поверхность детали (пескоструйная, дробеструйная обработка или местный подогрев).
3. Разметить поверхности (только крупных деталей) на квадраты.
4. Установить алитируемую деталь на рабочее место (или на станок с металлизатором).
5. Нанести алюминиевое покрытие. Ось сопла металлизатора во время работы должна быть перпендикулярной к алитируемой поверхности.

При металлизации необходимо применять режим, указанный в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Марка аппарата	Расстояние от сопла в мм	Напряжение на дуге в в	Сила тока в а	Давление воздуха в ат
ЭМ-3А	75—150	25—30	60—80	5—6
ЭМ-6	100—200	35—40	100—120	5—6
МЭС-1-57	100—250	35—45	100—120	5—6

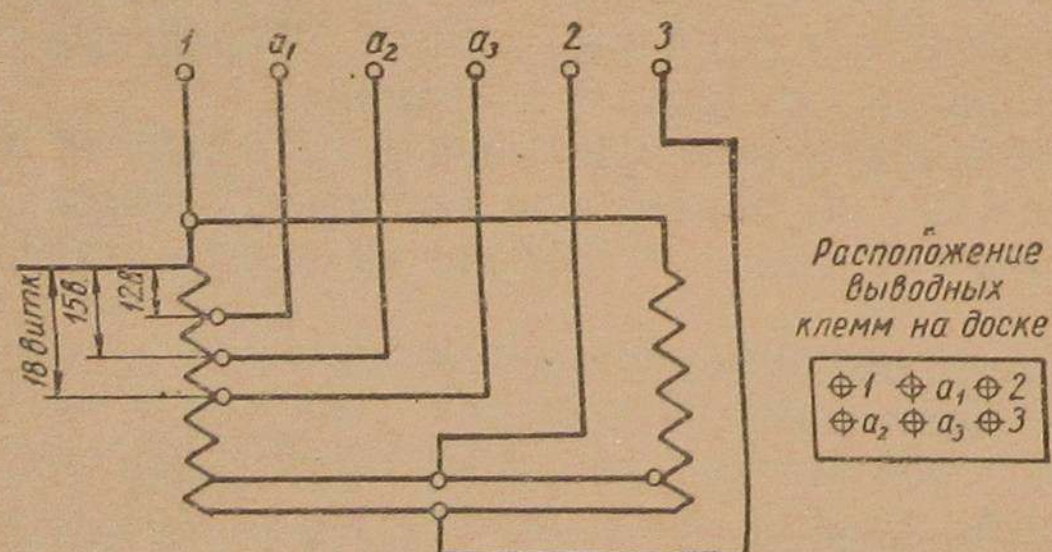
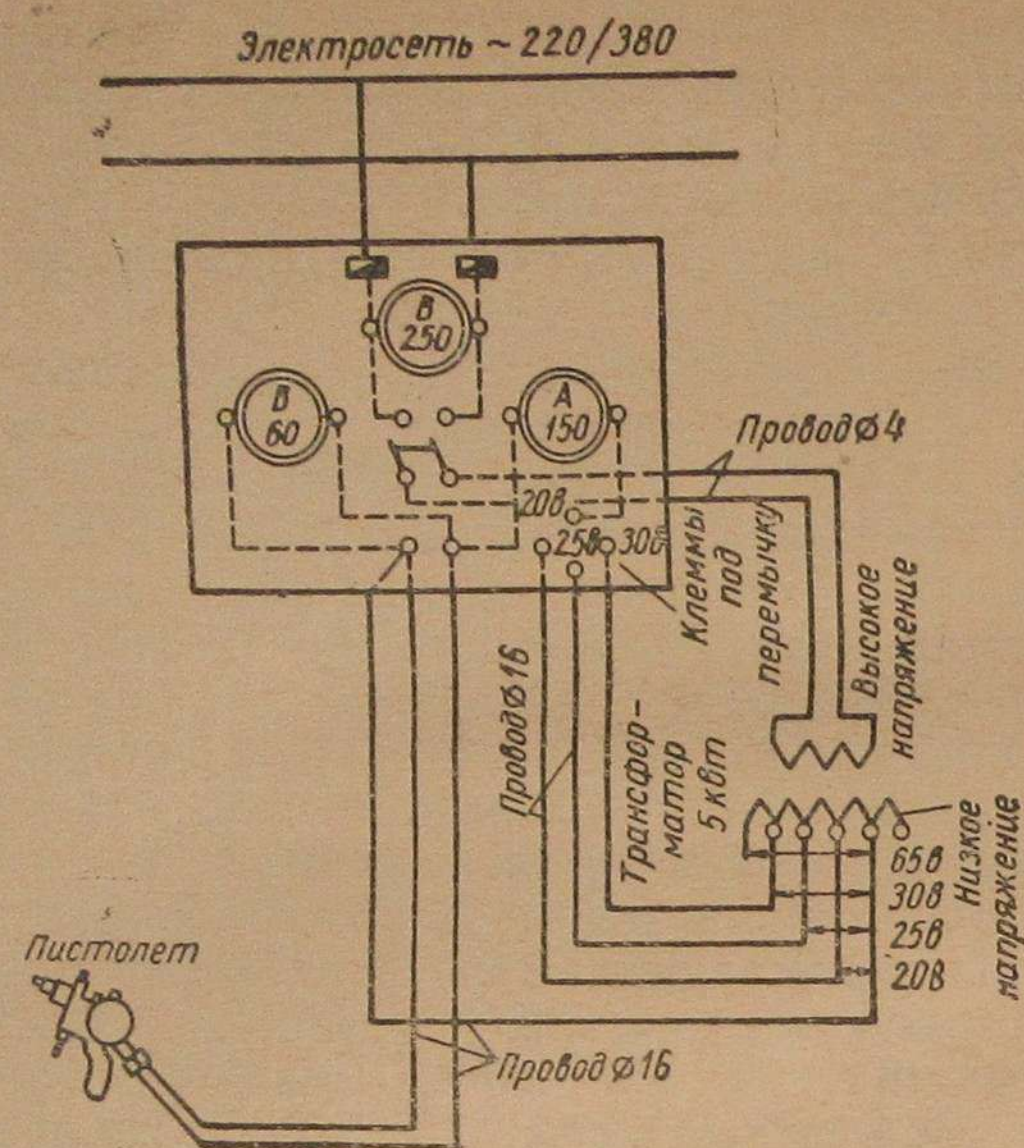


Таблица напряжений вторичной обмотки

Клеммы	Количество витков в одной катушке	Напряжение в вольтах
1-3	38	65
1-2	32	55
1-a ₁	18	30
1-a ₂	15	25
1-a ₃	12	20

Фиг. 60.

Марка аппарата	Наименование горючего газа	Режимы давлений в ат			Производительность в кг/час (по распыленному металлу) с применением алюминиевой проволоки диаметром в мм			№ газового сопла и инжектора
		Воздух	Кислород	Горючий газ	1,5	2,0	3,0	
ГИМ-2 и МГИ-1-57	Ацетилен	3,5—4,0	3	0,04	0,8	1,2	—	I
		3,5—4,0	5	0,3	1,0	1,5		
		4,0	7	0,6			3,0	
	Пропано-бутановая смесь	4	2,5	0,4	1,0	2	—	II
	Метан	4	2,2	0,5	0,9	1,3	—	II
Смешанный газ	4	2	0,5	0,9	1,2	—	II	

Примечание. Алюминиевую проволоку диаметром 3 мм нужно применять в аппарате МГИ-1-57; расстояние от сопла 100—150 мм

Толщина напыленного слоя алюминия должна быть в пределах 0,7—1,2 мм для всех аппаратов.

Состав обмазки № 3: 50% серебристого графита, 20% огнеупорной глины, 30% кварцевого песка, 10% жидкого стекла (к весу всех сухих компонентов).

Состав обмазки № 4: 50% серебристого графита, 20% огнеупорной глины, 30% кварцевого песка, 8% жидкого стекла (к весу всех сухих компонентов), 2% хлористого аммония.

Жидкое стекло добавляется в смесь только после того, как сухие компоненты будут тщательно перемешаны между собой.

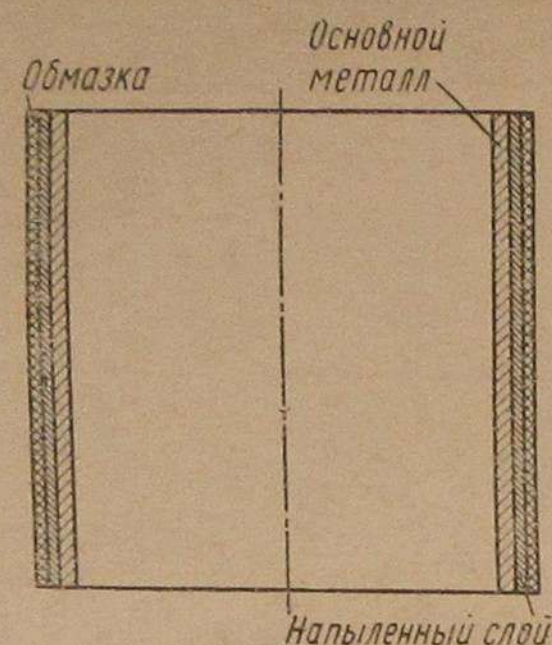
Обмазка наносится с помощью кисти или окунанием, либо с помощью пневматической воронки. Обмазка перед нанесением должна быть подогрета до 80—100°.

Толщина слоя обмазки должна находиться в пределах 0,8—1,5 мм.

Просушить изделие, покрытое обмазкой, на воздухе.

Произвести диффузионный отжиг стальных деталей в следующем порядке: окончательная сушка обмазки в отдельной печи при температуре 80—100° в течение 1,5—2,0 час., садка в печь при 500—600°, подъем температуры до 900—950° и выдержка при данной температуре в течение 1,5—2,0 часа в зависимости от габаритов и толщин стенок, охлаждение вместе с печью до 600°, выгрузка деталей из печи и дальнейшее охлаждение на воздухе.

Операционно-техническая карта по алитированию методом
металлизации горшков отжига из ковкого чугуна



№ операции	№ позиции	Наименование операции	Наименование оборудования рабочего места, инструмента, материала	Режим работы	Разряд работы	Время в мин.
I		Пескоструйная обработка Подать деталь в пескоструйную камеру. Произвести очистку с наружной стороны в пескоструйной или дробеструйной камерах. Контроль поверхности под металлизацию. Очищенная поверхность должна иметь ровный матовый цвет и шероховатую поверхность	Пескоструйная или дробеструйная камеры	Расстояние от сопла 150—200 мм Давление воздуха 5—6 ат	3	15
II		Металлизация Установить деталь во вращающее приспособление Обдуть деталь сжатым воздухом из пистолета Включить металлатор и нанести алюминий на наружную поверхность толщиной 0,9—1,2 мм Выключить металлатор и снять деталь	Приспособление Металлизатор ЭМ-6 Металлизатор ЭМ-6 или ЭМ-9	Давление воздуха 5—6 ат Расстояние от сопла 100 мм $I = 150 \div 180 \text{ а};$ $v = 30 \text{ в}$	3	30

Продолжение карты

№ операции	№ позиции	Наименование операций	Наименование оборудования, рабочего места, инструмента, материала	Режим работы	Разряд работы	Время в мин.
		Контроль напыленного слоя алюминия. Напыленный слой алюминия по всей поверхности должен быть ровный синеватого цвета Пропуски на поверхности не допускаются		Давление воздуха 5—6 ат		
III		Нанесение обмазки Обмазку на напыленную поверхность алюминия можно наносить вручную кистью, окунанием и из специальной воронки Просушить деталь до полного высыхания обмазки при $t = 100^\circ$ Диффузионный отжиг (совместить с отжигом производственных деталей) Очистить деталь от обмазки стальной щеткой Контроль алитируемой поверхности Глубину диффузионного слоя определить на образцах (свидетелях) металлографически На всей алитируемой поверхности детали не допускать пропусков	Подъемник; ванна с обмазкой или пневматическая воронка Состав обмазки № 3: 50% графита, 20% огнеупорной глины, 30% кварцевого песка, 8—10% жидкого стекла сверх 100% от веса сухих компонентов Сушильная камера с температурой 80—100° Камерная печь, температура 1000° Стальная щетка Металломикроскоп			

Если алитируемая деталь в процессе ее изготовления подвергается отжигу (например, детали из ковкого чугуна), то операцию диффузионного отжига следует совместить с операцией технологического отжига.

Очистить детали от обмазки с помощью стальных щеток, избегая при этом снятия слоя алюминия.

Осуществить контроль качества алитированного слоя.

Равномерность и сплошность покрытия проверяются внешним осмотром. Толщина слоя проверяется с помощью мерительного инструмента или методом металлографического анализа (выборочно).

Техника безопасности¹. Рабочего, работающего с электрометаллизаторами, пескоструйными и дробеструйными аппаратами, необходимо ознакомить с инструкцией по эксплуатации металлizationных аппаратов.

Произвести крепление шлангов с воздушным трубопроводом с помощью хомутиков.

При работе с электрометаллизатором рабочий должен подкладывать под ноги резиновый коврик. Все электрооборудование должно быть заземлено. Для защиты глаз от действия электрической дуги при электрометаллизации необходимо пользоваться защитными очками со стеклами типа ТИЗ (№ 4 и 5). Обработку деталей в пескоструйной камере необходимо производить только в защитных очках, в спецодежде и брезентовых рукавицах. Пескоструйную обработку и электрометаллизацию деталей производить только при наличии хорошо действующей вентиляции с полным отсосом образующейся при работе пыли.

¹ Краткие указания по технике безопасности являются общими и потому они не освобождают работающих от соблюдения специальных правил по технике безопасности при эксплуатации металлizationных аппаратов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Данков П. Д. Ж., Техн. Физ. 1942, т. XII, № 6, стр. 251.
2. Ziegler N. A., Resistance of Iron—Aluminium Alloys to Oxydation at High Temperatures. Trans. Am. Mining Met. Engrs, 1932, v. 100, pp. 267—271.
3. Sykes C. and Evans H., Some Peculiarities in the Physical Properties of Iron—Aluminium Alloys. Proc. Roy Soc., London Ser. A. V. 1934, v. 145, pp. 529—539.
4. Корнилов И. И., Железные сплавы, т. I., Сплавы железохромалюминий. АН СССР, М., 1945.
5. Кейз С. Л. и Ван-Горн К. Р., Алюминий в чугуне и стали, Металлургиздат, 1959.
6. Минкевич А. Н. и Борздыка А. М., Химико-термические методы повышения жаростойкости и кислотоупорности стали, ЦИТЭИН Госплана СССР, № 11, 1944.
7. Прокофьева И. И., Технология изготовления и результаты эксплуатационных испытаний топливников транспортных газогенераторных установок, НАМИ, диссертация, 1943.
8. Просвирин В. И. и др., Повышение жаростойкости железоуглеродистых сплавов алитированием, Машгиз, 1944.
9. Никонов Ф. Г., Цементация железа алюминием, «Вестник ЦНИИТмаш», апрель, 1932.
10. Ханнинг Д. К., Алитирование стали методом «Алдип», SAE Journal, 1953, v. 96, pp. 40—46.
11. Минкевич А. Н., Химико-термическая обработка стали, Машгиз, 1950.
12. Плотников В. А., Грацианский Н. Н. и Маковец К. П., Вестник металлопромышленности № 3, 1934.
13. Collins F. R., Iron Age, 1952, January 17, v. 169, pp. 100—101.
14. Whitfield and W. Scheshunoff, Materials and Methods, 1945, v. 22, pp. 1090—1096.
15. Славинский М. П., Физико-химические свойства элементов. Металлургиздат, 1952.
16. Троицкий А. Ф., Теоретические основы покрытия металлических изделий сталью, автореферат диссертации. М. 1959. Ин-т металлургии АН СССР им. Байкова.

17. Баллард У. Э., Электрическая подготовка изделий под металлизацию, Metallurgy, 1943, июль стр. 105.
18. Кац Н. В. и Линк Е. М., Электрометаллизация, Сельхозгиз, 1953.
19. Городнов П. Т., Исследование и разработка метода алитирования по повышению жаростойкости автомобильных, тракторных камер газификации и других изделий, МАМИ, диссертация, 1958.
20. Будников П. П., Технология керамических изделий, Госиздат, 1946.
21. Некрасов Б. В., Курс общей химии, Госхимиздат, 1948.
22. Просвирин В. И., Федосов А. И. и Мякишев Ю. С., Металловедение и обработка металлов, № 4, 1956.
23. Эксплуатация металлизационных аппаратов. Справочные материалы по газопламенной обработке металлов. Выпуск 16. ВНИИАВТОГЕН. Машгиз, 1959.
24. Дуговая плазменная горелка, Metalwork product, 1958, № 48, стр. 102.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
I. Железо и алюминий и их свойства	4
II. Методы алитирования	8
Алитирование в порошкообразных смесях	8
Алитирование в расплавленном алюминии	15
Газовое алитирование	19
Гальваническое алитирование	22
Алитирование плакированием	23
Алитирование заливкой алюминия по готовой детали	24
Алитирование способом распыления алюминия	25
III. Методы подготовки поверхности деталей для алитирования	29
Химическая подготовка	29
Электрическая подготовка	29
Обработка стальными щетками	30
Пескоструйная подготовка	30
Дробеструйная подготовка	32
Предварительный подогрев деталей	32
IV. Разработка рационального способа алитирования распылением алюминия	34
Выбор материала для исследования	35
Методика испытаний и критерий оценки жаростойкости	36
Разработка способа улучшения качества алитированного слоя	38
1. Изыскание состава обмазки	38
2. Выбор метода распыления	44
3. Влияние некоторых факторов на жаростойкость алитированного слоя	46
4. Экспериментальная проверка свойств алитированного слоя	51
Микроструктура и твердость алитированного слоя	56
V. Внедрение процесса алитирования в производство	60
Эксплуатационные испытания некоторых алитированных деталей	62
1. Испытания алитированных деталей газогенераторных установок трактора ГБ-58	62
2. Испытания алитированных деталей газогенераторных автомобилей УралЗИС-352	63
Технология алитирования и производственное оборудование	64
1. Технология алитирования цементационных горшков и ящиков трактора ГБ-58	66
2. Технология алитирования деталей газогенераторных установок трактора ГБ-58	69
3. Технология алитирования деталей, работающих при высоких температурах	72

VI. Оборудование, применяемое при алитировании	79
Оборудование, применяемое для подготовки алитируемой поверхности	79
Оборудование, применяемое для металлизации	80
1. Электрометаллизационный аппарат ЭМ-3А	81
2. Электрометаллизационный аппарат ЭМ-6	84
3. Электрометаллизационный аппарат ЭМ-9	85
4. Электрометаллизационный аппарат МЭС-1-57	88
5. Многоголовочный электрометаллизатор АЭМ-1	88
6. Металлизатор трехфазного тока ТМ-2	91
7. Газовый металлизатор ГИМ-2	95
8. Газовый металлизатор МГИ-1-57	95
9. Дуговые плазменные металлизационные горелки	96
Оборудование, применяемое для нанесения защитной обмазки	98
VII. Техника безопасности	99
VIII. Типовая инструкция по алитированию деталей	102
Литература	109

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть
47	Табл. 17, графы 2 и 3-я	0,60 0,80	0,8 6,0

Поправка

В табл. 14 (стр. 43) горизонтальную линию между № об-мазок 3 и 4 не читать. Текст графы 6-й „С защитной средой (водород)“ относится только к цифрам нижней строки.

Городнов П. Т. зак. 393

Петр Тимофеевич Городнов
ПОВЫШЕНИЕ ЖАРОСТОЙКОСТИ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ
МЕТОДОМ АЛИТИРОВАНИЯ

Редактор издательства инж. И. И. Лесниченко
Технический редактор Л. А. Владимирова Корректор Л. Ю. Георгиевская

Сдано в производство 22.VIII 1961 г. Подписано к печати 6/XII—1961 г. Т-1372
Тираж 4.000 экз. Печ. л. 7 Уч.-изд. л. 7 Бум. л. 3,5 Формат 60×90¹/₄
Цена 35 коп. Зак. 393

Московская типография Госгортехиздата. Москва, Ж-88, Южно-портовый 1-й пр., 17.

005-1
1052-1