

8329

Министерство высшего образования СССР

МОСКОВСКИЙ АВТОМЕХАНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

*На правах рукописи*

ДР 49  
534

Инж. П. Т. ГОРОДНОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА  
РАЦИОНАЛЬНОГО МЕТОДА АЛИТИРОВАНИЯ  
ПО ПОВЫШЕНИЮ ЖАРОСТОЙКОСТИ  
АВТОМОБИЛЬНЫХ, ТРАКТОРНЫХ  
КАМЕР ГАЗИФИКАЦИИ  
И ДРУГИХ ИЗДЕЛИЙ

Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва — 1957



58-18642

## 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

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

Поэтому повышение жаростойкости деталей, а также применение для их изготовления недефицитных материалов являются задачей большого народнохозяйственного значения, вытекающей из решений XX съезда КПСС.

Повышение жаростойкости изделий, работающих при высокой температуре, достигается преимущественно двумя методами: а) применением жаростойких металлов и сплавов, б) нанесением жаростойкого защитного покрытия на изделие. В некоторых случаях используется сочетание этих методов.

Высокая стоимость изделий, изготовленных целиком из жаростойких металлов и сплавов с высоким содержанием хрома и никеля, а в ряде случаев и неудовлетворительные эксплуатационные свойства, заставляют изыскивать новые способы повышения жаростойкости деталей.

Алитирование является одним из методов повышения жаростойкости (окалиностойкости) стали и чугуна. Однако предложенные и применявшиеся до настоящего времени способы алитирования недостаточно рациональны как в технологическом, так и в экономическом отношении. Так, например, процесс алитирования камер газификации автомобилей в ферроалюминиевом порошке продолжается 20 часов и состоит из 20 операций, а процесс алитирования, предложенный нами, длится 2—3 часа и имеет не более 4 операций.

Целью настоящей работы являлись исследование и рационализация процессов алитирования, нахождение наиболее приемлемого для практики метода алитирования. Основным методом, предложенным и исследованным в настоящей работе, явилось алитирование методом напыления алюминием с последующим диффузионным отжигом. Разработан метод защиты напыленного слоя алюминия во время диффузионного отжига от стекания и окисления.



В работе приведен анализ диаграммы состояния системы железо—алюминий, исследовано влияние основных параметров режима алитирования на жаростойкость изделий, проведены испытания жаростойкости алитированных изделий и выявлена технико-экономическая эффективность процесса алитирования. Экспериментальная часть работы выполнена в Научно-исследовательском институте технологии автомобильной промышленности (НИИТавтопром).

Технологический процесс алитирования предложенным способом внедрен в производство на ряде заводов.

## 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ К ПРОВЕДЕНИЮ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для обеспечения надежной защиты изделия от окисления при его нагреве до высоких температур ( $800-1000^{\circ}$  и более) необходимо нанести на металлическую поверхность защитный слой, обладающий высокой сопротивляемостью против окисления.

Защитный слой должен быть сплошным на всей покрываемой поверхности. Нарушение этого условия приводит к прекращению его защитного действия на отдельных участках.

Для создания защитного слоя, состоящего из алюминия, применяются следующие способы алитирования: алитирование в порошкообразных смесях—в ваннах с расплавленным алюминием, в парах алюминия, металлизацией и др.

Однако применяемые до настоящего времени способы алитирования не обеспечивают получение равномерной и сплошной пленки окислов алюминия, причем концентрация алюминия в поверхностных слоях не превышает 36%, а глубина диффузионного слоя равна  $0,3-0,6$  мм.

Проведенными в данной работе исследованиями установлено, что наиболее рациональным способом алитирования является металлизация распылением алюминия с последующим диффузионным отжигом.

Однако метод алитирования напылением имеет существенные недостатки, так как слой алюминия имеет пористую структуру и во время диффузионного отжига напыляемый металл окисляется и стекает.

Для устранения указанных недостатков существующего процесса алитирования мы пошли по пути применения специальных жаростойких обмазок. Такие обмазки в значительной мере защищают алюминий от воздействия кислорода воздуха, способствуют диффузии алюминия в железо, предотвращают стекание алюминия и обеспечивают равномерное его распределение по всей защищаемой поверхности.

Наличие твердой корки обмазок приводит к тому, что изделие (при диффузионном отжиге) находится как бы в ванне расплавленного алюминия.

Сущность этого способа заключается в следующем. Поверхность детали с помощью пескоструйной или дробеструйной обработки очищается от окалины, грязи и пр., на подготовленную таким образом поверхность при помощи газового или электродугового металлизатора наносится слой алюминия толщиной  $0,5-2,0$  мм, который покрывается затем жаростойкой обмазкой. Затем детали подвергаются диффузионному отжигу при температуре  $920-950^{\circ}$ .

Положительными сторонами этого метода являются: относительная простота процесса, отсутствие необходимости в сложном оборудовании, возможность применения в массовом производстве, а также возможность покрытия крупногабаритных деталей и деталей сложной конфигурации.

В диссертации приводятся подробные данные о влиянии различных факторов на жаростойкость алитированной стали.

## 3. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Первым этапом работы явилось изыскание мер для предотвращения растекания алюминия во время диффузионного отжига.

Сравнительное исследование различных способов показало, что наиболее эффективным является применение защитных обмазок, имеющих высокую температуру плавления и обладающих достаточной плотностью. Оптимальный состав двух обмазок, разработанных нами\*, приведен в следующей таблице.

№ обмазки	Содержание компонентов, %				Примечание
	огнеупорная глина	кварцевый песок	графит	хлористый аммоний	
3	20	30	50	—	В качестве связующего применено жидкое стекло
4	20	30	48	2	

После напыления алюминия на поверхность деталей наносится обмазка в два слоя путем погружения в раствор обмазки с предварительной просушкой первого слоя. В процессе

\* Автором данной работы получено на состав обмазки авторское свидетельство № 99463 от 22 июля 1950 г.



диффузионного отжига образуется механически прочная, термически и химически устойчивая оболочка. Эта оболочка и защищает напыленный слой алюминия от окисления и стекания.

Сравнительные исследования показали, что напыленный алюминий после диффузионного отжига имеет хорошее сцепление с основным металлом. Открытых пор не наблюдалось.

Вторым этапом исследования являлась разработка методики оценки жаростойкости алитированных образцов.

При проведении испытаний алитированных образцов на жаростойкость были созданы условия, максимально приближающиеся к условиям работы газогенераторных установок тракторов и автомобилей при их эксплуатации. С этой целью производился нагрев образцов весом 30 г в электропечи (имеющей окислительную атмосферу) в течение трех часов при температуре 920° с последующим охлаждением в течение 2 часов на воздухе. Относительная жаростойкость образцов определялась по увеличению веса образцов вследствие окисления. Нагрев образцов производился в специальных чашечках, которые сохраняли продукты окисления поверхности, отделившиеся от образцов.

#### 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

##### а) Влияние способа металлизации на жаростойкость

В данной работе были исследованы два способа напыления алюминия: газовым и электрическим аппаратами.

Было установлено, что у образцов, напыленных газовым аппаратом, жаростойкость выше в 8—9 раз по сравнению с неалитированными, а у образцов, напыленных электродуговым аппаратом, жаростойкость выше в 15 раз по сравнению с неалитированными образцами. Поэтому все дальнейшие работы проводились с помощью электрического аппарата.

##### б) Влияние толщины слоя алюминия на глубину диффузии

Известно, что с увеличением глубины диффузионного слоя жаростойкость возрастает. В свою очередь, глубина диффузионного слоя зависит от толщины нанесенного алюминия. До настоящего времени в литературе нет достаточно данных о степени влияния толщины напыленного алюминия на жаростойкость.

Исследование этого вопроса проведено на образцах из малоуглеродистой стали. Для нанесения защитного слоя была

использована алюминиевая проволока диаметром 2 мм. Диффузионный отжиг проводился при температуре 920°.

В работе было установлено, что глубина диффузионного слоя находится в прямой зависимости от толщины нанесенного слоя алюминия и продолжительности нагрева (фиг. 1). Однако увеличение толщины напыленного слоя свыше 2 мм не может быть рекомендовано, так как прочность сцепления алюминия с основным металлом уменьшается, вследствие чего возможно отслоение напыленного алюминия и, как следствие этого, образование прерывистого диффузионного слоя.

##### в) Влияние продолжительности нагрева на глубину диффузионного слоя

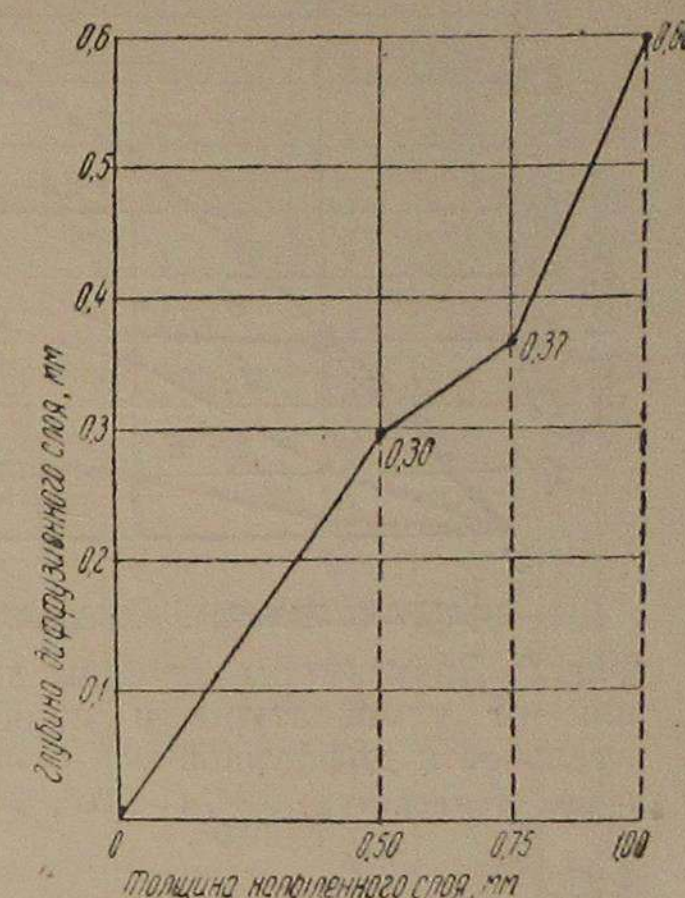
Установлено также, что продолжительность диффузионного отжига для данной толщины образцов можно ограничить 1,5—2,0 часами, так как при наличии высокой концентрации алюминия в поверхностном слое диффузия его в основной металл будет продолжаться и в процессе эксплуатации.

На основании полученных данных сделан вывод о том, что толщина напыленного слоя алюминия должна быть не менее 0,5 мм и не более 2,0 мм.

##### г) Влияние температуры и продолжительности диффузионного отжига на жаростойкость

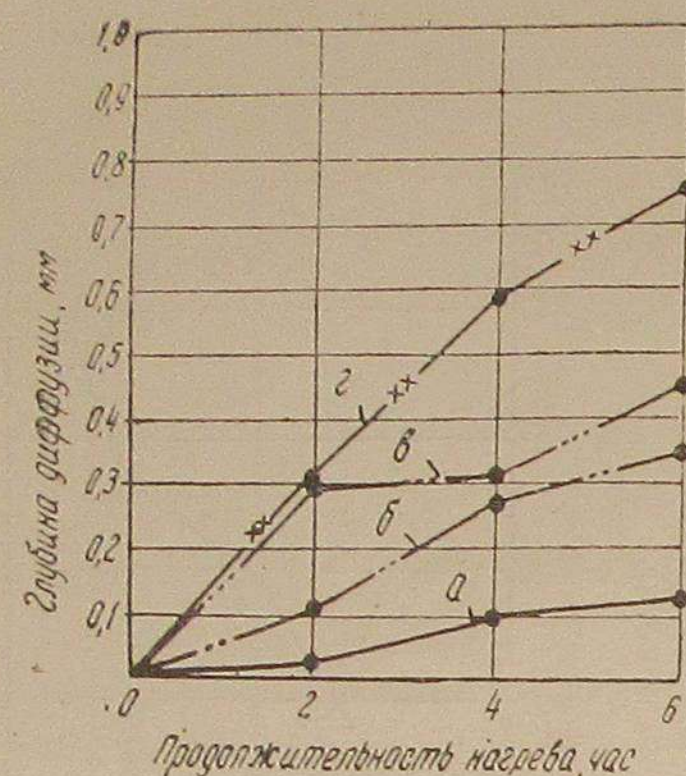
Установлено, что глубина диффузионного слоя алитированных образцов изменяется в зависимости от условий диффузионного отжига.

При повышении температуры диффузионного отжига увеличивается скорость проникновения алюминия в железо и уменьшается концентрация его на поверхности. С увеличением температуры и продолжительности отжига достигается увеличение глубины диффузионного слоя (фиг. 2) и, соответственно, уменьшение концентрации на поверхности и выравнивание концентрации алюминия по глубине слоя.

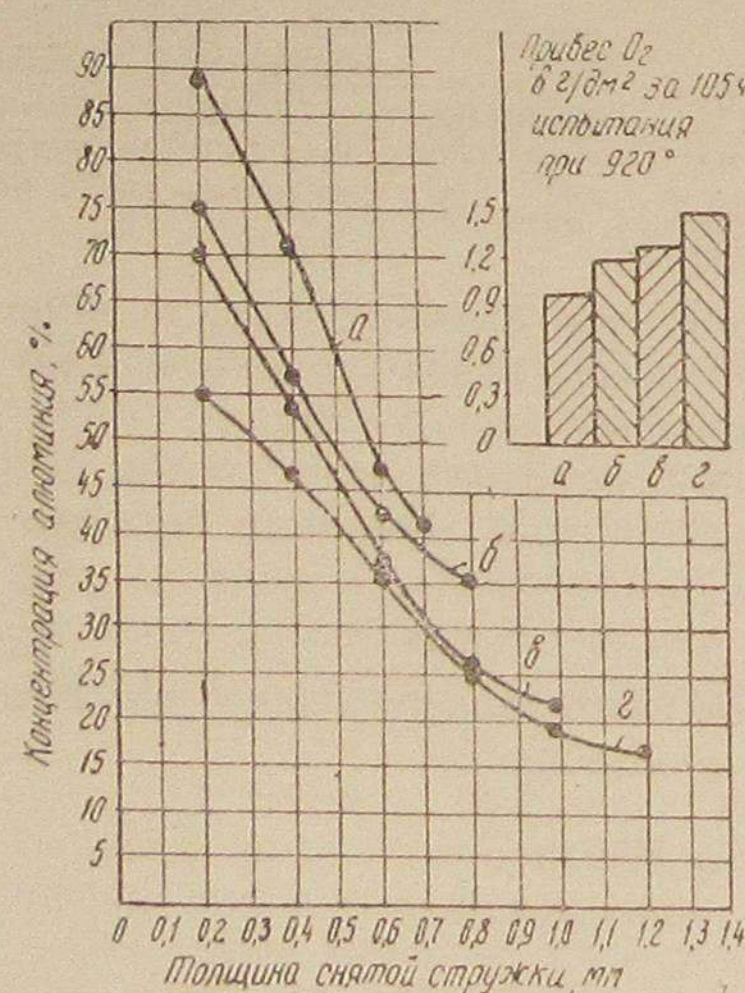


Фиг. 1. Зависимость глубины диффузии от толщины напыленного слоя. Температура нагрева 920°, продолжительность 72 часа.





Фиг. 2. Зависимость глубины диффузии от температуры и продолжительности диффузионного отжига: а—при температуре 920°, б—1000°, в—1100°, г—1200°.



Фиг. 3. Концентрация алюминия по глубине слоя при различных температурах диффузионного отжига (продолжительность нагрева 4 часа, сталь 20): а—при температуре 920°, б—1000°, в—1100°, г—1200°.

Проведенный на специальных образцах послойный химический анализ показал, что концентрация алюминия в слоях соответственно снижается, вследствие чего падает жаростойкость (фиг. 3).

#### д) Исследование влияния состава обмазок на концентрацию алюминия в диффузионном слое и жаростойкость

На основании полученных данных построена диаграмма (фиг. 4), из которой видно, что у образцов первой партии (кривая а), покрытых жидким стеклом, с диффузионным отжигом, проведенным в электропечи с окислительной атмосферой, верхний предел содержания алюминия составлял 51%, а нижний—25%, наблюдается прерывистая глубина диффузионного слоя равная 1,0 мм; у образцов второй партии (кривая б), а также покрытых жидким стеклом, но подвергнутых отжигу в печи с защитной атмосферой, верхний предел содержания алюминия составлял 75%, а нижний—4%, глубину диффузионного слоя 1,2 мм; у образцов третьей партии (кривая в) с жаростойкой обмазкой № 4 и диффузионным отжигом по режиму, аналогичному принятому для первой партии, верхний предел алюминия составлял

78%, а нижний—7%, и глубина диффузионного слоя равна 1,2 мм.

Значительное снижение концентрации алюминия в образцах первой партии объясняется тем, что в указанных образцах из-за окисления поверхности наблюдалось образование окислов алюминия. Это привело к резкому снижению жаростойкости (фиг. 4), несмотря на то, что содержание алюминия в слое достигало 51%.

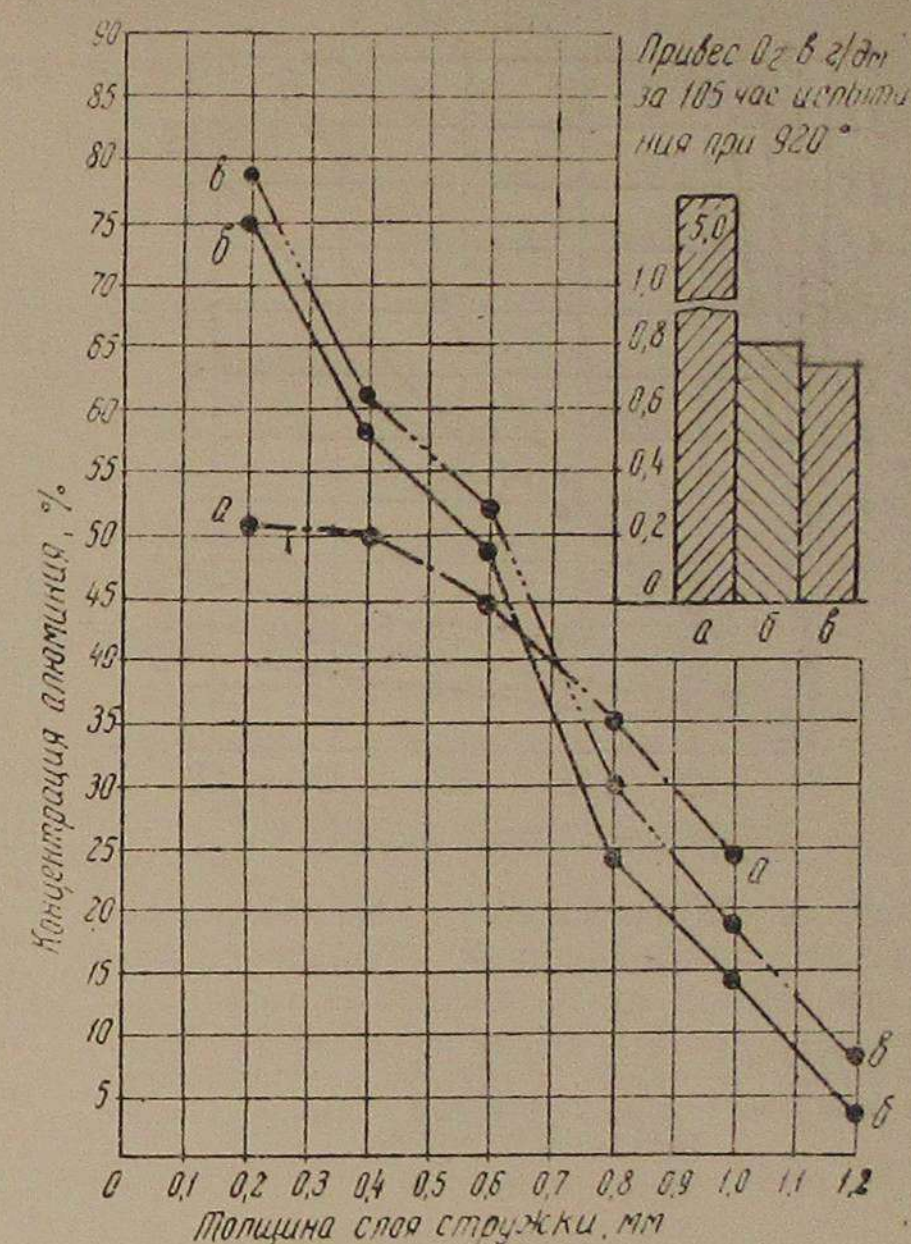
#### е) Исследование жаростойкости алитированных образцов из различных материалов

На основании проведенных испытаний получены данные, представленные в виде графиков (фиг. 5) для алитированных и неалитированных образцов различных марок металла. Опыты показали, что при испытании в течение 105 часов при переменном нагреве при температуре 920° образцы имели следующий привес ( $г/дм^2$ ):

Образцы кривой	а	0,8
"	б	1,0
"	в	1,34
"	г	4,8

Неалитированные образцы кривых е, ж и з после 8—15 часов нагрева полностью окислились и имели привес 8  $г/дм^2$ . Неалитированный образец (кривая д) окислился не полностью и имел привес 5  $г/дм^2$ .

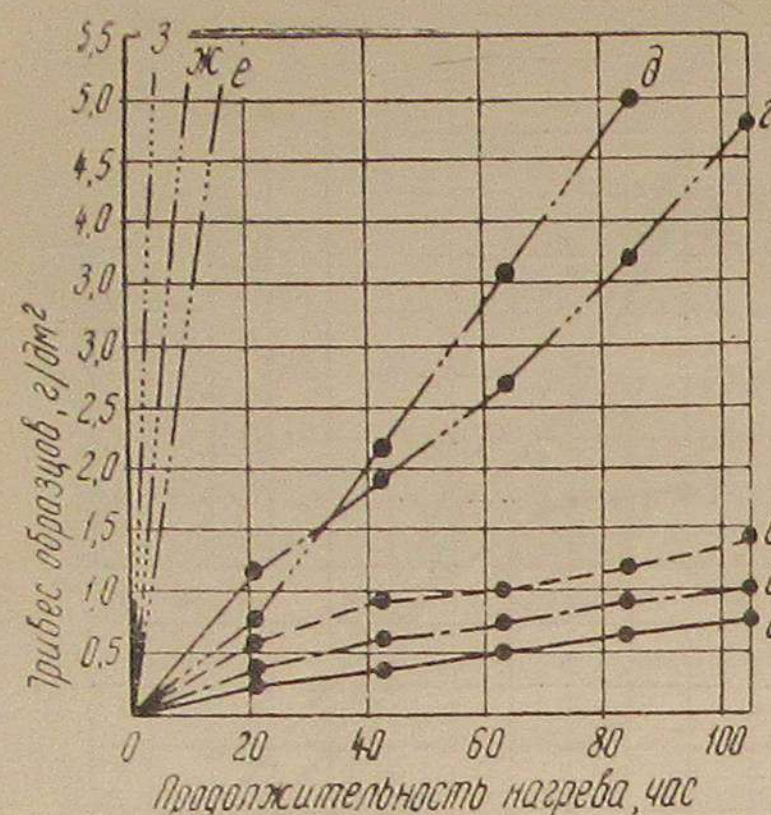
Хорошие результаты по жаростойкости были получены на алитированных образцах из жаростойкой стали марки Х23Н13.



Фиг. 4. Влияние обмазки на концентрацию алюминия по глубине слоя (сталь 20) и на жаростойкость:

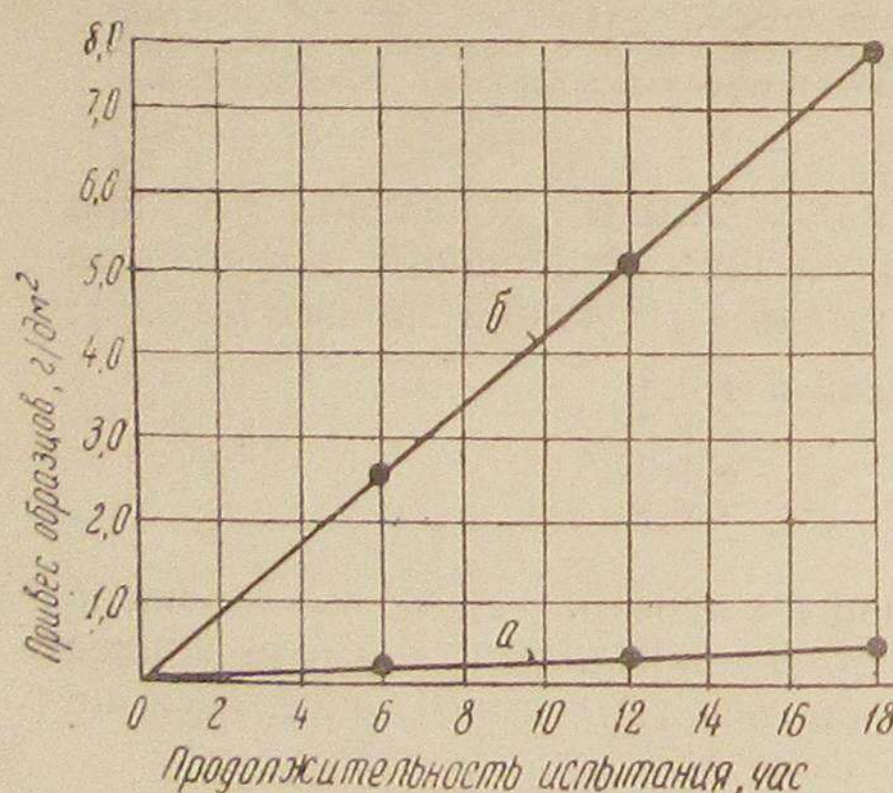
а—алитированные образцы с обмазкой из жидкого стекла, б—такие же образцы, но отжиг произведен в печи с защитной атмосферой, в—алитированные образцы с обмазкой № 4.





Фиг. 5. Жаростойкость неалитированных и алитированных образцов, изготовленных из различных металлов: а—алитированные образцы из хромистой стали, б—ст. 20, в—ст. 55, г—чугуна, д—неалитированные образцы из хромистой стали, е—ст. 20, ж—ст. 55, з—чугуна.

Из графика (фиг. 6) видно, что преимущество алитирования резче проявляется с увеличением продолжительности нагрева.



Фиг. 6. Жаростойкость образцов из жароупорной стали марки X23H13: а—алитированные образцы, б—неалитированные образцы.

Результаты испытаний приведены на фиг. 6.

Из диаграммы видно, что алитированные образцы за 18 часов переменного нагрева при температуре  $1150^\circ$  имели привес  $0,5 \text{ г/см}^2$  (кривая а), а неалитированные за это же время имели привес  $8 \text{ г/см}^2$ , что свидетельствует о значительном повышении жаростойкости в результате алитирования не только простых углеродистых, но и специальных жаростойких сталей. Указанный вывод получен впервые в данной работе, и правильность его затем была подтверждена практической работой на Московском автозаводе им. Лихачева.

Следовательно, для деталей, работающих в условиях длительного окислительного нагрева, преимущество алитирования проявляется в еще большей степени. Так, например при 2-часовом нагреве жаростойкость повышается в  $\frac{0,8}{0,1} = 8$  раз, 4-часовом нагреве—в  $\frac{1,6}{0,15} = 10$  раз, при 12-часовом—в  $\frac{5}{0,4} = 13$  раз, 18-часовом—в  $\frac{8}{0,6} = 16$  раз.

## 5. ИСПЫТАНИЕ И ВНЕДРЕНИЕ В ПРОИЗВОДСТВО ГАЗОГЕНЕРАТОРНЫХ И ДРУГИХ АЛИТИРОВАННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Производственное опробование разработанного технологического процесса алитирования было проведено на деталях газогенераторных установок: трактора ГБ-58, автомобиля УралЗИС-352, трелевочного трактора Т-12, а также на цементационных ящиках и опоках для точного литья.

В результате государственных и междуведомственных испытаний получены следующие данные. Неалитированные камеры газификации тракторов работают 300—500 часов, алитированные—2000—2250 часов до первого текущего ремонта, а с применением повторного алитирования камеры газификации могут работать 4000—5000 часов, т. е. в 8—10 раз больше. Алитированные камеры трелевочных тракторов до первого ремонта работали 2200 рабочих часов, неалитированные работали не более 350—400 рабочих часов.

Алитированные камеры газификации и горловины автомобиля УралЗИС-352 до первого ремонта выдерживали 40 тыс. км пробега и оставались вполне пригодными для дальнейшей работы, а неалитированные уже после 10—15 тыс. км пробега полностью выходили из строя.

В связи с положительными результатами эксплуатационных испытаний алитированных деталей были организованы участки алитирования на Сталинградском тракторном заводе, Ногинском заводе топливной аппаратуры и ИГПЗ. Основные операции на этих участках были механизированы.

По имеющимся многочисленным отзывам и другим материалам можно судить об эффективности разработанного процесса защитного алитирования с целью повышения жаростойкости и продления срока службы деталей. Хотя применение процесса алитирования требует дополнительных расходов, однако, как показали исследование и практика, эти расходы возмещаются с избытком за счет значительного повышения срока службы алитируемых изделий. Достигается значительная экономия материалов и электроэнергии при снижении трудоемкости.

Применение алитирования только в автотракторной промышленности по небольшой номенклатуре деталей дает годовую экономию более 10 тыс. тонн проката и 2 тыс. тонн жаростойкой стали. Годовая экономия только от применения алитирования одного изделия (ящиков для отжига ковкого чугуна) на Московском автозаводе им. Лихачева в денежном выражении составляет 946,2 тыс. рублей.



В связи с внедрением нового процесса алитирования на ряде заводов народное хозяйство к середине 1957 г. получило экономию в 5—6 миллионов рублей.

Проводятся работы по дальнейшему расширению применения данного процесса на ряде заводов различных отраслей промышленности.

## 6. ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

Обобщение материалов ранее проведенных работ по процессу алитирования, полученные результаты эксплуатационных испытаний алитированных изделий и опыт внедрения алитирования в производство позволяют сделать следующие выводы:

1. Одним из наиболее эффективных методов повышения жаростойкости изделий, работающих при высоких температурах (до 1200°) и при наличии окислительной среды, является поверхностное насыщение изделий алюминием (алитирование). Защитное действие алитирования обусловлено образованием жаростойкой пленки окиси алюминия ( $Al_2O_3$ ), предохраняющей металл изделия от окисления.

2. Установлено, что существующие способы поверхностного насыщения металла алюминием путем нагрева изделия в ферроалюминиевом порошке (твердое алитирование), окунания в расплавленный алюминий (жидкое алитирование), напыления поверхности деталей алюминием (металлизация) и др., имеют ряд существенных недостатков, препятствующих широкому использованию алитирования в промышленности.

3. Выявлены бесспорные преимущества способа металлизации, позволяющего регулировать толщину слоя алюминия, наносить его в любом месте изделия и обеспечивать равномерность нанесенного слоя.

Однако недостатками такого способа является возможность преждевременного окисления и стекания слоя алюминия во второй стадии процесса, при диффузионном отжиге; кроме того, отсутствуют рациональные режимы металлизации и диффузионного отжига.

4. Установлена возможность предотвращения окисления и стекания алюминия с поверхности изделия во время диффузионного отжига применением специальных жаростойких защитных обмазок.

Разработано два состава новых обмазок. Состав 3: огнеупорная глина—20%, кварцевый песок—30%, графит—50%. Состав 4: то же самое, но с добавлением 2% хлористого аммония.

В качестве связующего применено жидкое стекло.

5. Исследованы основные зависимости режимов металлизации и диффузионного отжига, с одной стороны, и жаростойкости изделия—с другой, позволившие определить оптимальные режимы алитирования для изделий из малоуглеродистой, среднеуглеродистой, жаростойкой стали и чугуна.

Лучшие результаты по жаростойкости обеспечиваются при толщине напыленного слоя алюминия не более 2 мм и температуре диффузионного отжига 920—950°.

6. Применение оптимальных режимов алитирования дает повышение жаростойкости при температуре 950° малоуглеродистой стали в 6—8 раз, среднеуглеродистой в 5—7 раз. Установлена целесообразность алитирования жаростойкой стали, что дает увеличение ее срока службы в 10—15 раз (при 1150°).

7. По результатам исследования разработаны руководящие материалы, широко использованные при организации участков алитирования производственных деталей (опок, горшков, топливников и др.) на Сталинградском тракторном заводе, Ногинском заводе топливной аппаратуры, на Первом Государственном подшипниковом заводе, а также для изготовления экспериментальных партий алитированных изделий на Московском и Минском автомобильных заводах, Мытищинском машиностроительном заводе, Московском заводе автотракторного электрооборудования и др. В работе приведен типовой технологический процесс по новому методу алитирования. Экономия, полученная народным хозяйством в результате внедрения нового процесса алитирования, к настоящему времени превышает 5 миллионов рублей.

Разработанный процесс внедряется на ряде заводов машиностроения.

8. Дальнейшие работы целесообразно проводить в направлении изыскания способов увеличения плотности напыленного металла, увеличения сцепляемости напыленного металла с основным, применения жаростойких материалов для распыления (бора, никеля, хрома и их сплавов).



