



Республика Таджикистан

(19) **TJ** (11) **161**

(51) **МПК(2006) С 23 С 4/00**

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ПАТЕНТНОЕ
ВЕДОМСТВО

(12) **Описание изобретения**

К МАЛОМУ ПАТЕНТУ

1

(21) 0700160

(22) 17.12.2007

(46) Бюл.51 (3), 2008

(71) Азизов Р.О (ТJ); Рахматов М. (ТJ); Вохидова З. (ТJ); Ходжаев Т. (ТJ).

(72) Азизов Р.О (ТJ); Рахматов М. (ТJ); Вохидова З. (ТJ); Ходжаев Т. (ТJ).

(73) Азизов Р.О (ТJ); Рахматов М. (ТJ); Вохидова З. (ТJ); Ходжаев Т. (ТJ).

(56) 1. Патент №2002112566/02, 13.05.2002.RU.

2. Патент №20060228, 20.09.2004. Государственный университет Молдовы.

(54) **КОМБИНИРОВАННЫЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ГАЗОТЕРМИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ТЕРМОДИФУЗИОННЫМ БОРИРОВАНИЕМ**

(57) Изобретение относится к области металлургии, а именно к технологии получения ме-

2

таллических покрытий на деталях сплавов из основы железа, в частности, из низкоуглеродистой стали, и может быть использовано, в технологии изготовления деталей, конструкций, и механизмов машин, радиотехнической, авиационной промышленности, и приборостроения.

Процессы получения высокопрочных композиционных покрытий по комбинированной технологии, включающей газотермического напыление и борирование покрытий из сплавов на железной основе, в частности низкоуглеродистой стали.

Формирования диффузионного борированного слоя на газотермических покрытиях варьируют режимы насыщения: температуру в пределах 1070-1170 К, продолжительность насыщения от 2 до 6 часов.

Изобретение относится к области металлургии, а именно к технологии получения металлических покрытий на деталях сплавов из основы железа в частности, из низкоуглеродистой стали, и может быть использовано в технологии изготовления деталей, конструкций, и механизмов машин, радиотехнической, авиационной промышленности, и приборостроения.

Известны промышленные способы установки для получения покрытия на деталях «Способ получения металлических покрытий на ферритах, керамике и ферритокерамике» [1], основанные на обезжиривании, промывке в горячей проточной воде, промывке в холодной проточной воде, сенсибилизации, промывке в холодной проточной воде, активировании, промывке в уловителе, сушке и нанесении металлического покрытия. Сенсибилизацию производят в растворе состава:

Олово дв\ хлористое - 68-72 г

Каля бихромат - 8-12 г

Кислота ортофосфорная ($\gamma=1,75$ г/см³) - 18-22 мл

Кислота серная ($\gamma=1,84$ г/см³) - 48-52 мл

Кислота соляная ($\gamma=1,19$ г/см³) - 48-52 мл

Вода дистиллированная - 198-202 мл

при температуре 15-25° С в течение 7-10 мин.

Наиболее близким к предлагаемому по технической сущности является «Способ получения композиционного химического покрытия» [2], который включает приготовление суспензии, содержащей следующие компоненты, г/л: сульфат никеля 20...30. молочную кислоту 35...45. гипофосфит натрия 10...30. малеиновый ангидрид 1 ...2 и дисперсные частицы 5... 10, осаждение покрытия из суспензии при перемешивании при температуре 70...90°С, и последующий его отжиг в инертной атмосфере. В качестве дисперсных частиц используют ингибированные бориды переходных металлов. Перемешивание суспензии осуществляют при псевдооживлении гуммированных ферромагнитных сферических частиц из гексаферрита бария диаметром 3...5 мм. намагниченных до насыщения.

Недостатками указанных способов являются низкая прочность сцепления покрытия с основой, невозможность получения покрытий с заданными механическими свойствами.

Целью настоящего изобретения является разработка эффективных комбинированных процессов формирования и упрочнения газотермических покрытий из композиционных материалов, образующихся при термодиффузионном насыщении напыленных слоев в боросодержащих порошковых смесях.

Технический результат достигается тем, что комбинированный способ получения газотермического покрытия из композиционных мате-

риалов при термодиффузионном борировании, включающий газотермическое напыление и борирование покрытий из сплавов на железной основе, в частности низкоуглеродистой стали производят при следующем соотношениями компонентов, в масс. %:

1. Однофазное борирование:

АБСЬ	8
О0 ₃	9
В ₂ 0 ₃	23
Ni	10
Al	22
ZrO ₂	3
Fe	25

активаторы от общей массы 1 % NH₄BF₄,

2. Двухфазное борирование:

Al ₂ O ₃	25
Cr ₂ O ₃	15
B ₂ O ₃	25
Ni	5
Al	27
ZrO ₂	3

активаторы от общей массы 0,5%

NH₄BF₄; 0,5% AlF₃

Комбинированный способ получения газотермического покрытия из композиционных материалов при термодиффузионном борировании осуществляется следующим образом:

Исследования проводились на образцах размерами 30х30х5 мм, изготовленных из листового проката стали Ст. 3. Образцы, перед нанесением газотермического покрытия, подвергались струйно-абразивной обработке с целью активации поверхностного слоя и придания ему определенной шероховатости.

Покрытия из низкоуглеродистой стали Св-08 и легированной 40Х13 в виде проволоки диаметром $d = 2$ мм наносились электродуговой металлизацией на установке АДМ-8 (пр-во ИНДМАШ НАНБ), а также газопламенным напылением. Скорость подачи проволоки составила 0,4 м/мин, расход воздуха 60 м³/ч, расход газа (пропан-бутан)-0,011 кг/ч. Покрытия наносились толщиной 0,6-0,7 мм. Далее напыленные покрытия шлифовались до толщины 0,5 мм. Пористость покрытий регулировалась режимами и дистанцией напыления. После напыления пористость газотермических покрытий составляла 5-20 %. Пористость определяли на полуавтоматическом анализаторе изображения МОР-АМОЗ.

Термодиффузионное борирование производили в порошковых средах. Составы порошковых смесей для легирования газотермических покрытий приведены в (табл. 1).

n I С	Способ обработки	Содержание элементов, % массы							Активаторы (% от об- щей массы)
		Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	B ₂ O ₃	Ni	Al	ZrO ₂	Fe	
	Однофазное - борирова- ние	8	9	23	10	22	3	25	1%NH ₄ BF ₄
	Двухфазное борирова- ние	25	15	25	5	27	3	—	0,5% NH ₄ BF ₄ 0,5% AlF ₃

Охлаждение образцов после термодиффузионного упрочнения осуществлялось в контейнере до комнатной температуры.

Микроструктуру композиционных покрытий изучали на шлифах, вырезанных в плоскости торцов образцов, что позволило изучить не только структуру покрытия, но и переходные зоны соединения «внешний слой покрытия (ВСП) - промежуточный слой - основной металл». Изучение шлифов проводилось на металлографическом микроскопе «Unimet», при увеличении $\times 100...800$. Для выявления структуры композиционных покрытий и подложки шлифы травились 3%-ным спиртовым раствором азотной кислоты. Для дюрометрических измерений использован микротвердомер «Micromet-II», (нагрузка 0,49 Н). Фазовые и структурные превращения в модифицированных слоях покрытий исследовались с помощью дифрактометра ДРОН-3.0 в монохроматизированном СоКи излучении. Для фазового анализа использовалась стандартная картотека PDF.

Формирование диффузионного борированного слоя на газотермических покрытиях варьировали в режиме насыщения в пределах 1070-1170 К, продолжительность насыщения от 2 до 6 часов.

Расплавленные частицы, транспортируемые высокоскоростной струей (>1500 м/с) воздуха и продуктов горения при электродуговой металллизации, в процессе столкновения с поверхностью подложки расплюсчиваются и перемещаются. В результате формируется специфическая волнистая микроструктура с остаточной пористостью.

В газопламенных покрытиях скорость полета частиц расплава существенно меньше (≈ 100 м/сек) и сформированные покрытия отличаются большим размером напыленных частиц и меньшей расплывчатостью. Кроме этого покрытия, полученные газопламенным напылением, менее плотные и содержат большое количество пор (пористость покрытий составляет ≈ 10 об.%). Твердость напыленных слоев составляет $HV = 1900$ и 2000 МПа для покрытий из сталей Св-08 и 40Х13, соответственно. Фазовый состав ГТН покрытий из сталей Св-08: α -фаза, оксиды FeO и Fe₃O₄. При этом в покрытии содержание оксида FeO существенно превышает содержа-

ние Fe₃O₄. В покрытии из стали 40Х13 содержится: α -фаза, γ -фаза, оксиды FeO и Fe₃O₄. В то же время присутствие процессу газопламенного напыления относительно более низкая температура расплавленных частиц и их большой размер приводит к меньшему выгоранию в них легирующих элементов и окислению по сравнению с электродуговой металллизацией. Данные рентгенофазового анализа, также, свидетельствуют о более низкой концентрации продуктов окисления в покрытиях, полученных газопламенным напылением.

Результаты исследования фазового состава свидетельствуют о существенном влиянии режима напыления на структуру и свойства слоя. Отличительной особенностью напыленных слоев из стали 40Х13 является присутствие в них значительного количества остаточного аустенита (до 20-30 об.%). Обычное содержание остаточного аустенита в закаленной стали 40Х13 не превышает 3-5 об.%. Однако газотермическое напыление относится к процессам получения материала в условиях сверхбыстрой закалки из жидкого состояния, которые характеризуются формированием устойчивых метастабильных фаз, расширением области растворимости в твердом состоянии и измельчением элементов структуры. Именно в подобных термокинетических условиях формируются исследуемые покрытия.

Борирование покрытия из стали Св-08 сопровождается образованием глубоких диффузионных слоев, толщиной до 300-350 мкм и микротвердостью поверхности 14,5-16,5 ГПа. Распределение микротвердости по глубине борированного слоя приведено на фиг. 1. Микротвердость покрытий из стали Св-08 по толщине слоя:

- ◆ - исходное состояние;
- - однофазное борирование;
- ▲ - двухфазное борирование.

Модифицированное бором покрытие имеет многослойную структуру, включающую в себя две боридные зоны и зону диффузионной пористости. Результаты рентгенофазового анализа свидетельствуют о том, что в поверхностном слое толщиной 30 - 50 мкм и имеющем микро-

твердость 14500-16000 МПа, преимущественно образуются бориды железа Fe_3B . Рентгенограмма фазового состава напыленных покрытий из стали Св-08 приведенной на фиг. 2 - исходное состояние (газопламенное напыление); фиг.3 - борированное. В этой зоне отсутствуют границы между напыленными частицами, а также прослойки оксидов, что свидетельствует о восстановлении оксидов железа в процессе химико-термической обработки. Вторая боридная зона распространяется на глубину до 300 мкм и имеет микротвердость 8500-9000 МПа. Основными фазами, присутствующими в этой зоне, являются Fe_3B и $\alpha\text{-Fe}$. Границы и прослойки между напыленными частицами во второй зоне становятся тоньше, чем в исходном состоянии, т.е. до химико-термической обработки. Вместе с тем оксиды в диффузионной зоне не обнаруживаются. Зона диффузионной пористости имеет толщину 50-80 мкм. Образование зоны пористости, вероятно связано с различием коэффициентов диффузии железа в покрытии и в боридных фазах. При лом из-за высокой энергии межатомных связей в боридах Fe_3B и Fe_2B коэффициент диффузии железа в этих соединениях существенно ниже, чем в газо-термическом покрытии. В результате на границе диффузионной зоны создается преимущественный поток атомов железа из нижележащих слоев покрытия (донорной зоны) в обогащенную бором диффузионную зону и последняя достраивается новыми атомными плоскостями боридов. При этом в донорной зоне покрытия образуется высокая концентрация вакансий. Встречный диффузионный поток атомов бора с поверхности обеспечивается вакансиями, генерируемыми несплошностями и порами, присутствующими в борированных слоях покрытия. В результате в зоне диффузии бора происходит растворение несплошностей и пор, а в донорной зоне покры-

тия избыточные вакансии объединяются в поры.

В процессе формирования слоя, с начала насыщения и до момента образования сплошного слоя боридов, под ним успевает образоваться весьма развитая переходная зона, которая представляет собой твердый раствор бора в ГТН стали и по толщине превосходит боридную зону. Возможность образования карбоборидов зависит преимущественно от температуры насыщения и исходной концентрации углерода в стали. Это свидетельствует о том, что обнаруженные закономерности обусловлены не столько кинетикой самого борирования, сколько особенностями перераспределения углерода в процессе формирования боридного слоя.

Как и при любом другом способе «Химико-термической обработки» (ХТО) стали, при борировании с повышением температуры и увеличением времени насыщения, толщина модифицированного слоя плавно увеличивается (фиг. 4 и 5). На первом этапе термодиффузионного насыщения скорость формирования слоя больше чем в последующем, поэтому увеличение толщины модифицированного слоя по времени насыщения является нецелесообразным. Предпочтительнее регулировать получение заданной толщины диффузионного слоя изменением температуры, а не времени насыщения.

Процесс насыщения образцов исследовался при температурах 1073, 1123 и 1173 К. В течение первого часа кинетические кривые (фиг. 4) характеризуются значительными скоростями образования боридного слоя и почти линейной зависимостью толщины от времени. По мере увеличения толщины насыщенного слоя кривые плавно переходят на параболу. Формирующийся боридный слой на начальных стадиях процесса, по видимому, связан с образованием Fe_3B .

Кинетические и энергетические параметры процесса насыщения образцов бором представлены в табл. 2.

Материал	Температура борирования, К	Истинная скорость насыщения (и, с.), мкм/ч	Кажущаяся энергия активации (Q), кДж/моль	Энергия Гиббса (С). Дж
Сталь 10 монолитная подложка	1073	12	95,6	-
	1123	18		
	1173	30		
ГТН покрытие Св-08	1073	20	69,5	-8,8135
	1123 1173	29 40		-9,4955 -1,0191

Основной задачей при исследовании структур напыленных покрытий явилось изучение кинетики образования диффузных слоев на поверхности газотермических покрытий, влияющих на их защитные свойства.

Структура напыленного покрытия из стали Св-08, не прошедшего какой-либо дополнительной упрочняющей обработки, имеет классический вид (фиг. 6) и представляет собой ча-

стицы расплющенной формы с оксидными пленками и отдельными непроварами по периферии. Переходная зона не имеет области взаимодействия напыленных частиц с основным металлом. Покрытие имеет небольшие характерные закрытые поры.

Структура напыленного покрытия, прошедшего термодиффузионное однофазное борирование, приведена на фиг. 7. Во внешнем

слое покрытия образован не травящийся слой толщиной примерно 120... 140 мкм, имеющий характерное для процесса борирования игольчатое строение. Далее имеет место слой без четких границ между напыленными частицами, обусловленный восстановлением оксидных пленок в процессе термодиффузионного насыщения. Наблюдается непрореагированный слой покрытия толщиной 180...250 мкм. Поры в верхнем и нижнем слое основного покрытия имеют различия в размерах и форме, что указывает на определенный механизм диффузии при термической выдержке напыленного покрытия в порошковой насыщающей среде.

Напылённое покрытие, упрочненное двухфазным борированием (фиг. 8), имеет более плотную структуру, чем исходное. Особенность данного покрытия - наличие относительно крупных пор и глубокая полоса переходной зоны (около 80-90 мкм).

В работе проведены эксперименты изучения влияния пористости напыленных покрытий на кинетику роста диффузионных слоев. На фиг. 9 «Микроструктура ГТН покрытий» с пористостью 7% (а) и (фиг.10) 22% (б) (x100) представлены микроструктуры ГТН покрытий с различной пористостью. Пористость определялась на полуавтоматическом анализаторе изображения по фотографиям микроструктур исследуемых покрытий.

Сопоставление микроструктур показало, что напыленные покрытия до и после термодиффузионного насыщения имеют различную пористость, т.е. после насыщения общая пористость значительно уменьшается, что очевидно объясняется эффектом «залечивания» пор за счет прохождения процессов диффузии при химико-термической обработке.

Насыщение сплавов на основе железа элементами резко отличающимися по своей природе от материала подложки приводит к частичному «залечиванию» трещин (открытых пор), так как формирование диффузионных слоев на поверхности напыленных покрытий, имеющих поры сопровождается увеличением объема, поэтому площадь сечения канала открытых пор в процессе химико-термической обработки уменьшается. Это со временем затрудняет попа-

дание насыщающей среды в глубь изделия. В процессе насыщения материала из проницаемого может перейти в полупроницаемый или даже не полупроницаемый класс. Естественно, что чем быстрее это произойдет, тем меньшим будет эффект ускорения роста слоя на напыленном материале по сравнению с компактным.

Влияния пористости газотермических покрытий на глубину диффузионного слоя при насыщении бором приведены на (фиг. 11). Так при сопоставимых режимах насыщения с увеличением пористости от 5 до 20% возрастает глубина диффузионного слоя при борировании на 30-40%. В результате термодиффузионного насыщения изменяется структура композиционного покрытия, характер распределения пор, состав покрытия, а следовательно его адгезия к основному материалу.

При этом характер распределения пор изменяется следующим образом:

Под влиянием высокой температуры и продолжительной выдержки, имеющиеся в покрытии микродефекты, диффундируют к поверхности покрытия, и «уходят» из него.

Одновременно с этим процессом протекают еще 3 процесса: коагуляция пор, дополнительное спекание покрытия и залечивание пор вследствие диффузии насыщаемыми элементами покрытия и образование диффузионного слоя.

Для испытаний на прочность сцепления модифицированных покрытий с основным металлом использован штифт, состоящий из съемного элемента (шар диаметром 4 мм) и охватывающей обоймы, изготовленной из стали 20. Перед нанесением покрытия охватывающая обойма подвергалась струйно-абразивной обработке и уже в сборе размещалась на специальной оправке вместе с образцами для металлографического исследования. Испытания на прочность сцепления производили на разрывной машине «Instron-1195» (Англия). Величина усилия регистрировалась с погрешностью $\pm 0,5\%$. При этом скорость перемещения штифта относительно охватывающей обоймы составляла 0,5 мм/мин.

Результаты экспериментальных исследований на прочность сцепления ГТН покрытий с основой приведены в табл. 3.

Параметры разрушения	Способ модифицирования В ПС	
	Напыленное покрытие Св08	Двухфазное борирование
Вид разрушения	адгезионное	когезионное
место разрушения	Переходная	По покрытию
Прочность сцепления, МПа	20-25	42-45

Прочность сцепления композиционных покрытий с подложкой).

Из результатов таблицы следует, что термодиффузионное модифицирование ГТН покрытий повышает прочность сцепления напыленных покрытий с основой в 1,8-2 раза. При

этом на величину прочности сцепления большое влияние оказывает толщина промежуточного слоя, которая в свою очередь зависит от режимов насыщения ГТН покрытий в порошковых смесях.

В результате борирования на поверхности напыленного покрытия с исходной микротвердостью $H_{\mu} = 2,1-2,3$ ГПа формируется упрочненный слой толщиной $\sim 120-150$ мкм и микротвердостью $H_{\mu} = 14,0+16,0$ ГПа. Основными фазами, содержащимися в слое, являются FeB с орторомбической решеткой и Fe₂B с тетрагональной. Исследование износостойкости борированного покрытия показало, что модифицирование поверхностного слоя бором приводит к существенному повышению износостойкости покрытия. Повышение износостойкости боросодержащих слоев ($I_b=10^{-9}$) по сравнению с вариантом напыления покрытий без химико-термической обработки ($I_b=38 \cdot 10^{-9}$) обусловлено, прежде всего, присутствием в составе обработанного покрытия твердых фаз FeB и Fe₂B. Вместе с тем, названные бориды в процессе изнашивания выкрашиваются, что отрицательно сказывается на триботехнических свойствах трущихся поверхностей, в частности, на коэффициенте трения. При этом коэффициент трения борированных покрытий находился в пределах $f = 1,1+1,2$, тогда как для покрытий без химико-термической обработки он составил $f = 0,8+0,9$. В то же время прямой зависимости между количеством боридов и скоростью изнашивания не наблюдалось.

Сравнительные данные по износостойкости исследуемых покрытий в условиях абразивного изнашивания показали, что стойкость однофазных боридных покрытий примерно в 1,5 раза меньше, чем двухфазных боридных покрытий. По сравнению с закаленной сталью 45 (эталон-

ный образец), однофазное борирование повы-

шает износостойкость напыленного покрытия из стали Св-08 в 2-2,5 раз, а двухфазное - в 3-3,5 раза. Обладая большей пластичностью, однофазные боридные слои менее чувствительны к напряжениям, возникающим при абразивном изнашивании. Из приведенных данных следует, что в условиях хрупкого разрушения износостойкость однофазных боридных слоев больше, чем двухфазных.

Таким образом, установлено, что абразивная износостойкость диффузионных слоев на газотермических покрытиях полностью определяться их строением и фазовым составом, а последние зависят от технологических параметров термодиффузионного насыщения.

Для количественной оценки проводимости компонентов системы выбирали покрытие с матрицей на Fe-основе. Задавались следующие параметры: $P=0,05-0,15$; $K_x=0,1-0,3$; $\sigma=5-10$ мкм: насыщаемый элемент - бор; газ-наполнитель - воздух при $P=0,1$ МПа. При этом эффективная теплоемкость композиционных покрытий в диапазоне пористости 1-20% от теплоемкости газа-наполнителя практически не зависит.

Сравнительный анализ показал, что в рассмотренном интервале температур ($T=873-1123$ К) теплофизические параметры покрытий на железной основе, вычисленные по уравнениям предложенной модели, достаточно хорошо согласуются с результатами практических данных.

Таким образом, разработанный комбинированный способ получения газотермического покрытия из композиционных материалов термодиффузионным борированием может с успехом использоваться в условиях интенсивного изнашивания и в агрегатных.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Комбинированный способ получения газотермического покрытия из композиционных материалов термодиффузионным борированием, заключающийся в том, что готовят суспензию, содержащую следующие компоненты, г/л: суль-

фаты получения высокопрочных композиционных покрытий по комбинированной технологии, включающей газотермическое напыление и борирование покрытий из сплавов на основе железа, в частности, низкоуглеродистой стали,

13

фат никеля 20-30, молочную кислоту 35-45, гипофосфит натрия 10-30, малеиновый ангидрид 1-2 и дисперсные частицы 5-10, осаждают покрытие из суспензии при перемешивании при температуре 70-90°C, отжигают в инертной атмосфере, в качестве дисперсных частиц используют ингибированные бориды переходных металлов и перемешивание суспензии осуществляют при псевдооживлении гуммированных ферромагнитных сферических частиц из гексаферрита бария диаметром 3-5 мм, намагниченных до насыщения, отличающийся тем, что про-

161

производят при следующем соотношении компонентов в масс. %:

14

1. Однофазное борирование;	
Al ₂ O ₃	8
Cr ₂ O ₃	9
B ₂ O ₃	23
Ni	10
Al	22
ZrO	3
Fe	25
активаторы от общей массы ...	1%

NH₄BF₄

2. Двухфазное борирование;	
Al ₂ O ₃	25
Cr ₂ O ₃	15
B ₂ O ₃	25
Ni	5
Al	27
ZrO ₂	3

активаторы от общей массы
.....0,5% NH₄BF₄; 0,5% AlF₃

2. Способ по п. 1, **отличающийся тем, что** при формировании диффузионного борированного слоя на газотермических покрытиях варьируют режимы насыщения: температуру в пределах 1070-1170°K, продолжительность от 2 до 6 часов.

Компьютерный набор: Назарова Дж.

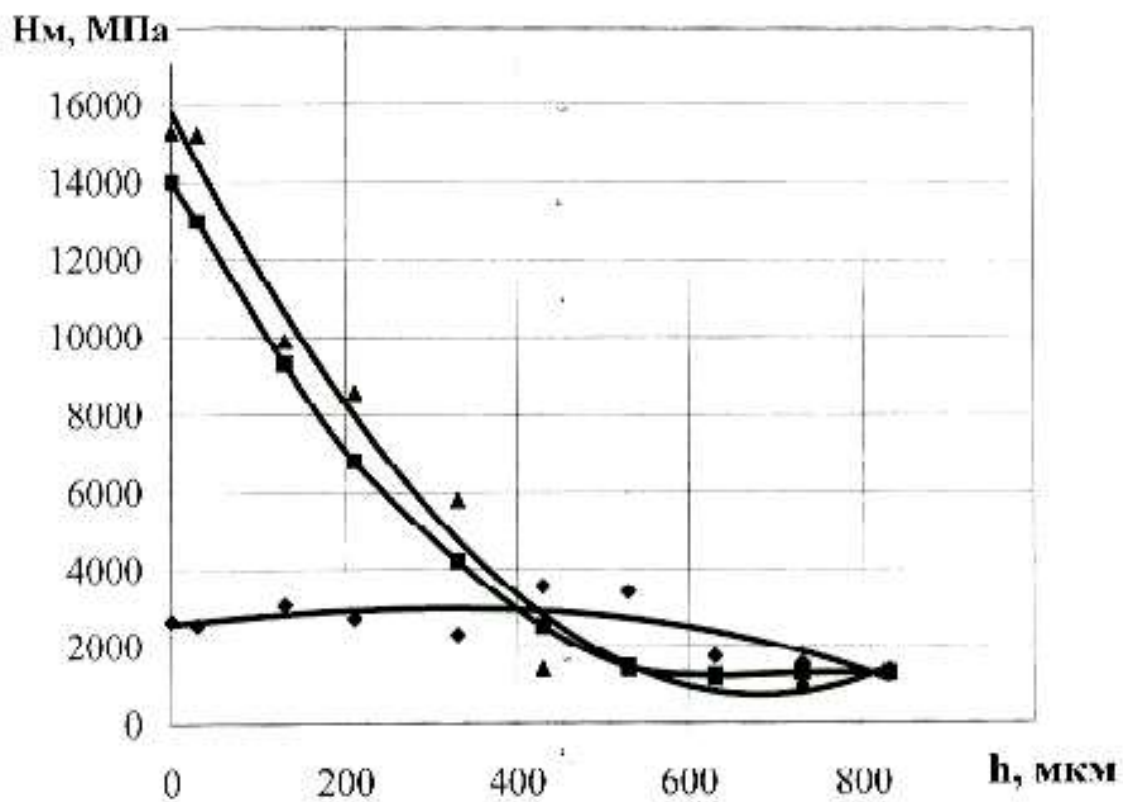
Заказ

Тираж

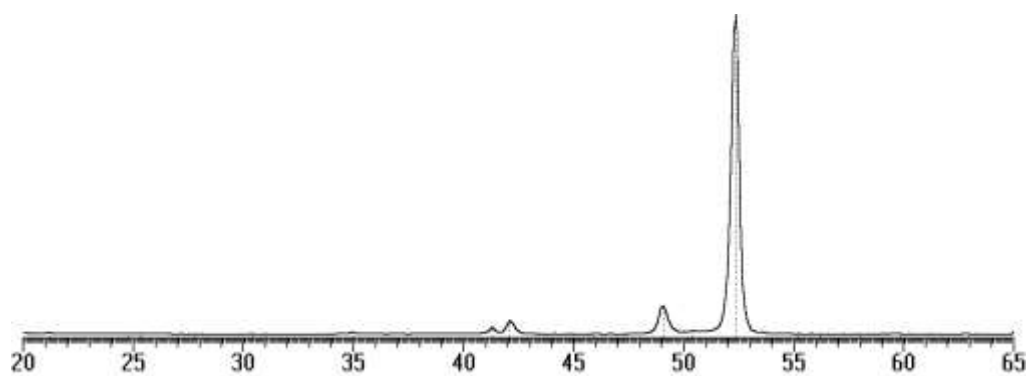
Подписное

Национальный патентно-информационный центр РТ
734042, г. Душанбе, ул. Айни, 14а.

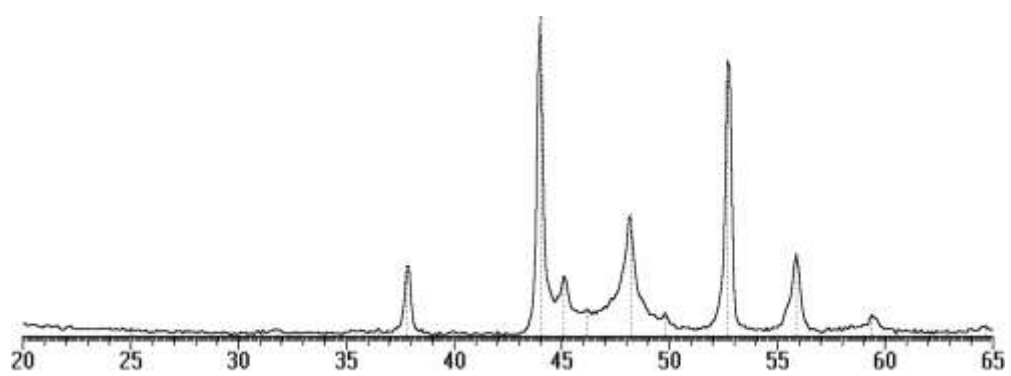
КОМБИНИРОВАННЫЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ГАЗОТЕРМИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ТЕРМОДИФФУЗИОННЫМ БОРИРОВАНИЕМ



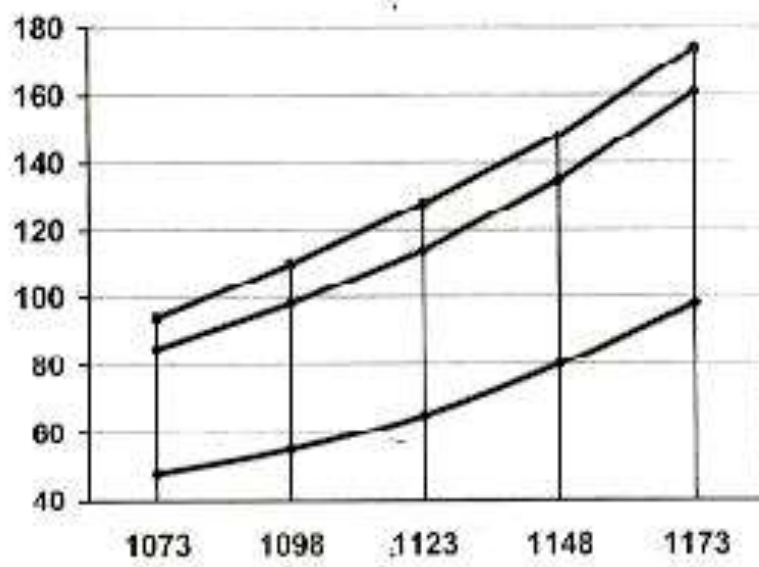
Фиг. 1



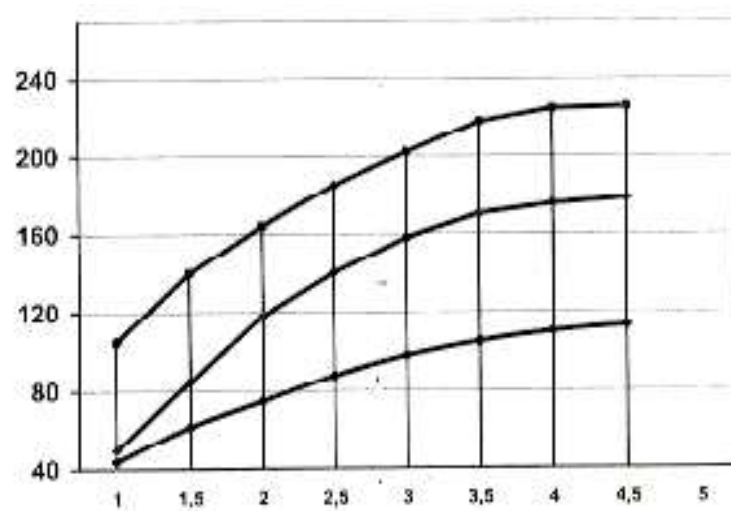
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



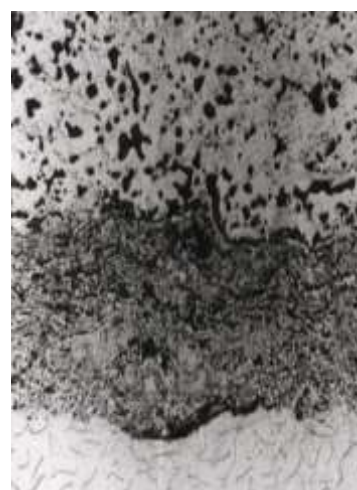
Фиг. 5



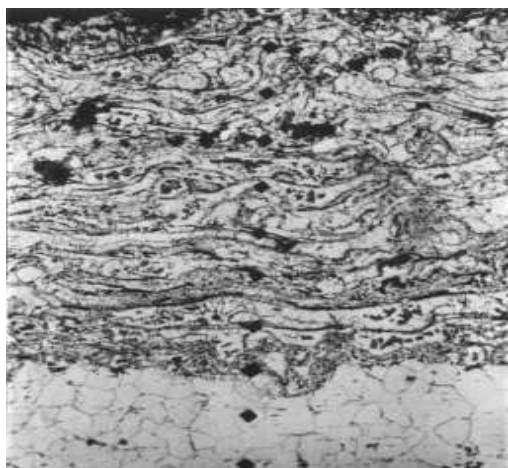
Фиг. 6



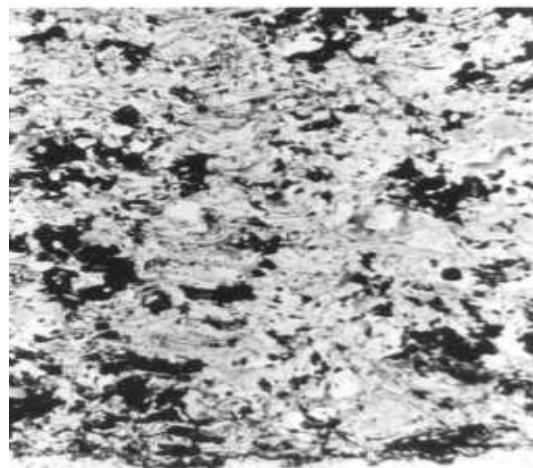
Фиг. 7



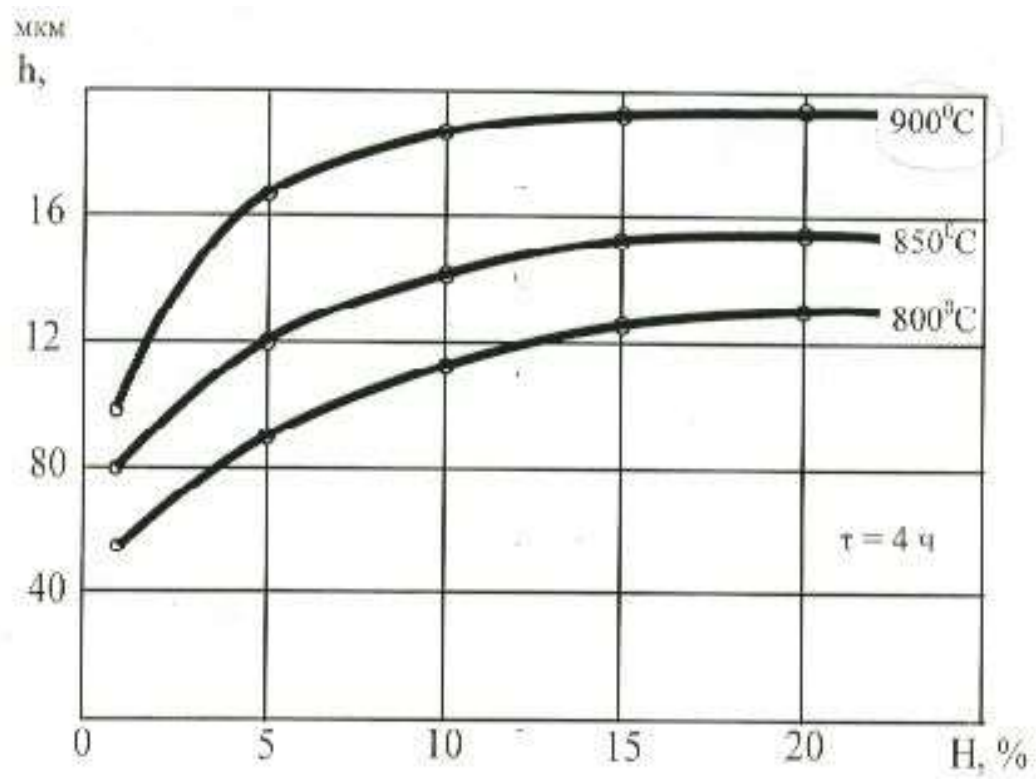
Фиг. 8



Фиг. 9



Фиг. 10



Фиг. 11