



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013118077/02, 19.04.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
19.04.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 19.04.2013

(45) Опубликовано: 10.11.2014 Бюл. № 31

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2279496 C1, 10.07.2006. RU
2168233 C2, 27.05.2001. RU 2299249 C1,
20.05.2007. US 6899054 B1, 31.05.2005. US
6103074 A, 15.08.2000

Адрес для переписки:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5, стр. 1,
МГТУ им. Н.Э. Баумана, ЦЗИС, для
Ступникова В.В. (НОЦ НМКН)

(72) Автор(ы):

Герасимов Сергей Алексеевич (RU),
Сергиевский Евгений Александрович (RU),
Иванов Александр Витальевич (RU),
Поляков Сергей Андреевич (RU),
Алехин Алексей Павлович (RU),
Гурбич Маргарита Александровна (RU),
Ступников Вадим Владимирович (RU)

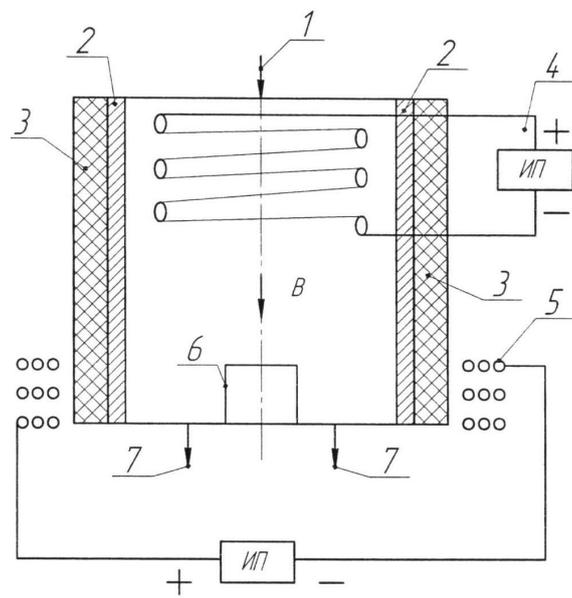
(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Московский государственный технический
университет имени Н.Э. Баумана" (МГТУ
им. Н.Э. Баумана) (RU)(54) СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ УСКОРЕННОГО АЗОТИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМПУЛЬСОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

(57) Реферат:

Изобретение относится к машиностроению, в частности к способу ионноазотирования деталей машин с использованием импульсов электромагнитного поля. Обеспечивают подачу в камеру для азотирования реакционного газа, его нагрев с одновременным генерированием в камере переменного электромагнитного поля посредством соленоида. Внутри соленоида располагают обрабатываемую деталь с направлением вектора магнитной индукции перпендикулярно обрабатываемой поверхности детали и изменением в процессе азотирования его величины с формированием прямоугольных импульсов, длительность и периодичность которых обеспечивает ускорение движения и внедрения ионов азота в обрабатываемую поверхность за счет вертикального фронта нарастания напряженности магнитного поля. Устройство для осуществления упомянутого способа содержит камеру для азотирования детали, устройство для подачи реакционного газа

в упомянутую камеру на обрабатываемую деталь, нагревательное устройство и устройство для генерирования электромагнитного поля. Устройство для генерирования электромагнитного поля выполнено в виде расположенного вокруг упомянутой камеры соленоида, обеспечивающего генерирование импульсного электромагнитного поля с прямоугольными импульсами с направлением вектора магнитной индукции перпендикулярно обрабатываемой поверхности находящейся внутри него детали. Обеспечивается одновременное ускорение процесса азотирования и повышение механических свойств приповерхностных слоев материала, формирующихся в результате одновременного азотирования и воздействия как на ионы азота, так и на материал обрабатываемой детали импульсами сравнительно маломощного магнитного поля. 2 н. и 2 з.п. ф-лы, 3 ил.



Фиг.1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
C23C 8/36 (2006.01)
C23C 14/06 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2013118077/02, 19.04.2013

(24) Effective date for property rights:
19.04.2013

Priority:

(22) Date of filing: 19.04.2013

(45) Date of publication: 10.11.2014 Bull. № 31

Mail address:

105005, Moskva, 2-ja Baumanskaja ul., 5, str. 1,
MGTU im. N.Eh. Baumana, TsZIS, dlja Stupnikova
V.V. (NOTs NMKN)

(72) Inventor(s):

Gerasimov Sergej Alekseevich (RU),
Sergievskij Evgenij Aleksandrovich (RU),
Ivanov Aleksandr Vital'evich (RU),
Poljakov Sergej Andreevich (RU),
Alekhin Aleksej Pavlovich (RU),
Gurbich Margarita Aleksandrovna (RU),
Stupnikov Vadim Vladimirovich (RU)

(73) Proprietor(s):

federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego
professional'nogo obrazovanija "Moskovskij
gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet imeni
N.Eh. Baumana" (MGTU im. N.Eh. Baumana)
(RU)

(54) **METHOD AND DEVICE FOR ACCELERATED NITRATION OF MACHINED PARTS BY ELECTROMAGNETIC FIELD PULSES**

(57) Abstract:

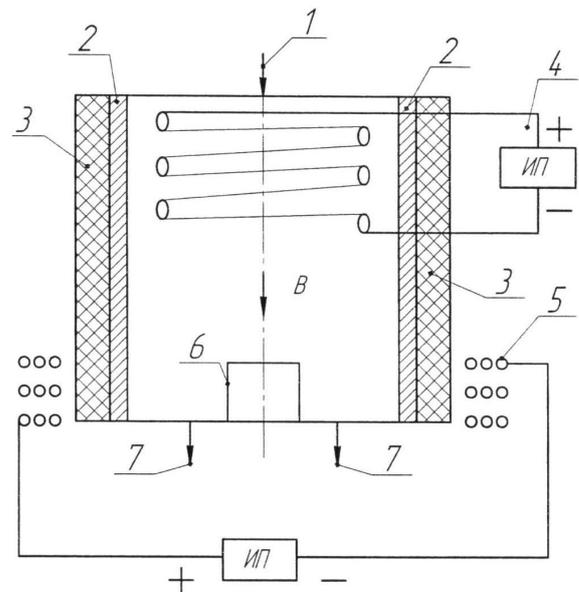
FIELD: process engineering.

SUBSTANCE: invention relates to machine building, particularly, to ion-nitration of machine parts with the help of electromagnetic field pulses. Reaction gas is fed into nitration chamber and heated therein with simultaneous generation of alternating electromagnetic field therein by solenoid. Said solenoid houses processed part with direction of magnetic induction vector perpendicular to part processed surface and with variation nitration amount with formation of square pulses. Duration and cycle of said pulses ensure acceleration of nitrogen ions penetration in processed surface owing to vertical front of magnetic field intensity ride. Device to this end comprises part nitration chamber, reaction gas feeder, heater and electromagnetic field generator. The latter is composed of solenoid surrounding said chamber to generate pulsed electromagnetic field with square pulses and direction of magnetic induction vector perpendicular to part processed surface.

EFFECT: simultaneous acceleration of nitration,

higher mechanical properties of surface plies.

4 cl, 3 dwg



Фиг. 1

RU 2 532 779 C1

RU 2 532 779 C1

Область техники

Изобретение относится к машиностроению, в частности к способу ионноазотирования деталей машин с использованием импульсов электромагнитного поля, направленного на повышение механических свойств деталей узлов трения скольжения из сплавов на основе железа.

Уровень техники

Известны способы химико-термической обработки (ХТО), позволяющие повысить механические свойства стальных деталей и содержащие операции азотирования и воздействия на ионы азота с помощью электромагнитного поля. Так, известно техническое решение, содержащееся в патенте РФ №2402632 (МПК С23С 8/36, опубл. 27.10.2010), - способ локального азотирования металлической детали в плазме тлеющего разряда (аналог). Оно предполагает создание в камере для азотирования электромагнитного поля, которое позволяет локализовать поток ионов азота в определенной области, что обеспечивает обработку тех частей детали, которые в ней нуждаются, исключая обработку других частей. Данное техническое решение повышает качество обработки сложных поверхностей за счет изменения направления движения ионов азота в соответствии с локализацией обрабатываемой поверхности.

Однако, оно не предполагает ускорения основного процесса азотирования в области, где пучок ионов направлен по нормали к обрабатываемой поверхности, поскольку основным средством для ускорения азотирования выступает электрическое поле, ускоряющее ионы азота в процессе их движения к обрабатываемой поверхности. В способе-аналоге же действие электромагнитного поля используется только для фокусировки пучка ионов, но не предполагает действий, меняющих для ионов азота диффузионную проницаемость поверхности обрабатываемого материала.

Рассмотренное техническое решение также содержит схематичное описание устройства для его реализации (аналог). Оно включает камеру для ионно-плазменного азотирования и расположенную внутри нее конструкцию, содержащую источник, эмитирующий электроны, и индукционную катушку, формирующую поток этих электронов в направлении обрабатываемого участка поверхности азотируемой детали. С помощью данных приспособлений формируется нужный объем и форма плазмы тлеющего разряда, состоящей из ионов азота, что позволяет локализовать процесс азотирования.

Однако влияния на диффузионную проницаемость азота в обрабатываемую поверхность данное устройство не оказывает. Таким образом, устройству-аналогу присущи те же недостатки, что и его способу-аналогу.

Известен также способ обработки деталей машин импульсным электромагнитным полем, изложенный в патенте РФ №2299249 (МПК С21D 1/04, опубл. 20.05.2007). Основными признаками данного способа являются операции по воздействию электромагнитным полем на материал обрабатываемой детали сначала в достаточно широком диапазоне частот от 10^3 до 10^5 Гц при напряженностях магнитного поля от 10^5 до 10^7 А/м в течение 10 секунд с последующей аperiodической обработкой при тех же максимальных амплитудах напряженности, но при скорости изменения напряженности $10^9 \dots 10^{10}$ (А/м) s^{-1} и числе импульсов до 100, а также формировании градиента напряженности магнитного поля не менее 10^5 (А/м) $мм^{-1}$. Подобное воздействие, по мнению авторов, должно обеспечить повышение механических свойств детали за счет модифицирующего воздействия магнитного поля на поверхностные слои материала детали. В то же время, форма импульсов магнитного поля в патенте не

оговаривается, что предполагает их произвольную форму (более вероятно синусоидальную форму, которая соответствует стандартной сетевой форме электрического тока).

Основным недостатком этого технического решения является то, что процессы
5 упрочнения, протекающие в результате магнитострикционной деформации межзеренных границ, ограничены перераспределением тех химических составляющих материала, которые заложены в него в процессе изготовления. Поэтому такой важный элемент упрочнения как дисперсионное твердение за счет частиц, образующихся при введении в материал дополнительных элементов (в частности, ионов азота) в ходе химико-
10 термической обработки, в этом решении не используется.

Существует целый ряд технических решений, в которых электромагнитная импульсная
обработка сочетается с другими видами воздействия. Так, например, решение,
изложенное в международной РСТ-заявке W02008113238 A1 (МПК C21D 10/00, C22F
3/00, опубл. 2008-09-25), содержит два вида воздействия - помимо электромагнитного
15 поля материал обрабатывается также ультразвуком. Опубликованы также технические решения, в которых обработка импульсами электромагнитного поля сочетается с различными видами термообработки. Так патент РФ №2339704 (МПК C21D 1/04, C21D 9/22, опубл. 27.11.2008) предлагает дополнить электромагнитную обработку нагревом токами высокой частоты до температуры ниже точки Кюри, а параметры
20 электромагнитного воздействия предлагаются следующие: напряженность поля до $8 \cdot 10^3$ кА/м, длительность импульса - $10^{-3} \dots 10^{-6}$ секунды. В патенте РФ №2360011 (МПК C21D 6/04, C21D 1/04, C21D 9/22, опубл. 27.06.2009) предлагается термообработка холодом в среде жидкого азота в сочетании с обработкой импульсными механическими колебаниями и импульсами электромагнитного поля с амплитудой до 250 кА/м.
25

Тем не менее, ни в одном из решений, содержащих обработку материала импульсным магнитным полем, не содержится предложений по использованию азотирования. Поэтому им свойственны недостатки, уже отмеченные выше, - отсутствие упрочнения за счет вновь вводимых элементов, в частности, ионов азота, диффундирующих через
30 поверхность в обрабатываемый материал.

То же самое можно отметить в отношении устройств, с помощью которых реализуются данные способы. Они содержат средства воздействия на обрабатываемые детали электромагнитным полем и некоторыми другими средствами - ультразвуком, нагревом токами высокой частоты, термообработкой охлаждением. Однако средства для насыщения поверхности обрабатываемых деталей азотом они не содержат, что и
35 является их общим недостатком.

Наиболее близким к предлагаемому способу техническим решением (прототипом) можно признать триодный способ катодно-плазменного азотирования деталей с отверстиями - по патенту РФ №2279496 (МПК C23C 8/36, C23C 14/42, C23C 14/48, опубл. 10.07.2006). Этот способ предполагает создание вокруг камеры для катодно-
40 плазменного азотирования вращающегося магнитного поля, характеризуемого таким значением и направлением вектора индукции магнитного поля, которое обеспечивает угол падения ионов на боковую поверхность обрабатываемой детали не более критической величины угла. Таким образом, в этом способе повышается эффективность азотирования поверхностей сложной формы, так как в нем увеличивается равномерность
45 обработки сложных поверхностей, позволяя изменить направление движения ионов азота в соответствии с ориентацией обрабатываемой поверхности.

Тем не менее, оно не предполагает ускорения основного процесса азотирования обрабатываемой поверхности, где пучок ионов азота направлен по нормали к ней,

поскольку основным средством выступает сила взаимодействия движущихся ионов с электромагнитным полем, направляющая ионы азота в процессе их движения к обрабатываемой поверхности по желательной для потребителя технологии траектории, но не меняющая диффузионной проницаемости обрабатываемого материала. Таким образом, влияние импульсов магнитного поля на состояние границ зерен и их диффузионную проницаемость в данном решении не используется.

Устройство, необходимое для реализации данного способа, схематично описано в том же патенте РФ №2279496 и выбрано прототипом предлагаемого технического решения. Оно содержит камеру для ХТО - ионозотирования поверхности детали, нагревательное устройство, устройство для подачи ионов азота и аппаратуру для создания магнитного поля, воздействующего на траекторию движения ионов азота к сложной поверхности обрабатываемой детали.

Однако конструкция устройства-прототипа такова, что она позволяет лишь изменять угол падения ионов азота на обрабатываемую поверхность, не влияя при этом на диффузионную проницаемость азота в обрабатываемую поверхность материала, что и является основным недостатком устройства-прототипа, так же как и способа-прототипа.

Раскрытие изобретения

Задача предлагаемого изобретения - одновременное ускорение процесса азотирования и повышение механических свойств приповерхностных слоев материала, формирующихся в результате одновременного азотирования и воздействия как на ионы азота, так и на материал обрабатываемой детали импульсами сравнительно маломощного магнитного поля.

Способ азотирования детали с использованием электромагнитного поля включает подачу в камеру для азотирования реакционного газа, его нагрев с одновременным генерированием в камере переменного электромагнитного поля. При этом генерирование электромагнитного поля осуществляют посредством соленоида, внутри которого располагают обрабатываемую деталь с направлением вектора магнитной индукции перпендикулярно обрабатываемой поверхности детали и изменением в процессе азотирования его величины с формированием прямоугольных импульсов. Длительность и периодичность указанных импульсов обеспечивают ускорение движения и внедрения ионов азота в обрабатываемую поверхность за счет вертикального фронта нарастания напряженности магнитного поля.

Для рассматриваемого класса процессов были экспериментально определены следующие близкие к оптимальным величины параметров, устанавливаемые в процессе обработки: амплитуду возбуждающего магнитное поле импульсного напряжения - 4 В, потребляемый ток - 30 мА, соответственно мощность - 120 мВт, длительность импульса магнитной индукции - $4 \cdot 10^{-3}$ с, крутизну фронта импульса - 20 нс, периодичность - $12 \cdot 10^{-3}$ с и время обработки - 2 часа.

При этом устройство для азотирования детали с использованием электромагнитного поля содержит камеру для азотирования детали, устройство для подачи реакционного газа в упомянутую камеру на обрабатываемую деталь, нагревательное устройство и устройство для генерирования электромагнитного поля. Причем устройство для генерирования электромагнитного поля выполнено в виде расположенного вокруг упомянутой камеры соленоида, обеспечивающего генерирование импульсного электромагнитного поля с прямоугольными импульсами с направлением вектора магнитной индукции перпендикулярно обрабатываемой поверхности находящейся внутри него детали.

Камера для азотирования детали может представлять собой керамическую трубку

из оксида алюминия Al_2O_3 диаметром 25 мм, вокруг которой размещен теплоизолятор диаметром 60 мм из вспененного материала SiO_2 , на котором расположен соленоид, выполненный трехслойным, из медной проволоки диаметром 0,26 мм, в каждом слое которого по 60 витков.

5 Перечень чертежей

На фиг. 1 показана схема предлагаемого устройства,

10 На фиг. 2 показаны зависимости изменения микротвердости по глубине сравниваемых образцов поверхностей (а - при азотировании без импульсного магнитного поля; b - при азотировании с воздействием импульсного магнитного поля по предлагаемому способу);

На фиг. 3 показаны фотографии в одном масштабе поперечных шлифов образцов (а - при азотировании без импульсного магнитного поля; b - при азотировании с воздействием импульсного магнитного поля по предлагаемому способу).

15 Осуществление изобретения

На фиг. 1 показана схема предлагаемого устройства, включающая следующие позиции: 1 - подача реакционного газа (аммиака); 2 - керамические термосберегающие стенки камеры для ХТО; 3 - теплоизоляция камеры; 4 - теплоэлектронагреватель (ТЭН); 5 - соленоид снаружи вокруг камеры; 6 - обрабатываемая деталь; 7 - выход

20 отработанного газа. Также обозначены: ИП - источники питания отдельно для запитки ТЭН и для запитки соленоида; В - вектор магнитной индукции.

25 Основное отличие предлагаемого способа обработки состоит в том, что ускоренное формирование усиленной диффузионной зоны происходит одновременно под воздействием двух взаимодополняющих факторов: подачи в камеру для азотирования реакционного газа (аммиака) - позиция 1 на фиг. 1, который под воздействием температуры (не менее $500^\circ C$), создаваемой ТЭН 4, диссоциирует с образованием ионов азота и приобретает повышенную реакционную способность, и подачи внутри камеры импульсов магнитного поля, которые способствуют ускорению движения и внедрения

30 в поверхность ионов азота и магнитоэлектрической деформации границ зерен поверхности обрабатываемого материала (детали 6 на фиг. 1), причем вектор магнитной индукции В должен быть направлен перпендикулярно обрабатываемой поверхности (на фиг. 1 это верхний горизонтальный торец детали 6). В более сложных случаях рекомендуется вести обработку с максимально возможным приближением к указанной

35 Импульсы магнитного поля должны иметь прямоугольную форму и достаточную длительность для проявления требуемого эффекта воздействия на обрабатываемую поверхность детали. Прямоугольная форма импульса магнитного поля является существенным признаком данного способа, поскольку именно в этом случае создается максимальное (импульсное) ускорение взаимодействующих с магнитным полем частиц

40 в силу вертикального фронта нарастания напряженности поля.

45 Экспериментальным путем был установлен следующий близкий к оптимальному режим: амплитуда возбуждающего магнитное поле импульсного напряжения - порядка 4 В, при этом потребляемый ток около 30 мА, соответственно потребляемая сравнительно малая мощность порядка 120 мВт, длительность импульса магнитной индукции - $4 \cdot 10^{-3}$ с, крутизна фронта импульса - порядка 20 нс, периодичность - $12 \cdot 10^{-3}$ с, время комплексной обработки - 2 часа.

Для экспериментальной обработки предлагаемого способа была изготовлена камера

для обработки детали может представлять собой керамическую трубку из оксида алюминия Al_2O_3 диаметром 25 мм, вокруг которой размещен теплоизолятор диаметром 60 мм из вспененного материала SiO_2 , на котором расположен трехслойный соленоид из медной проволоки диаметром 0,26 мм, в каждом слое по 60 витков.

Технический результат проиллюстрирован сравнительными графиками фиг.2 и фотографиями фиг.3. На фиг.2 показаны зависимости изменения микротвердости материала (стали ВКС-7) по глубине образцов, построенные в координатах: по вертикали - микротвердость (HV), по горизонтали - расстояние от поверхности образца в μm (микрон). Графики: а) - микротвердость при азотировании без включения импульсного магнитного поля соленоида; б) - микротвердость при азотировании с воздействием импульсного магнитного поля. Время обработки в обоих случаях - 2 часа. Технический результат обусловлен ускорением и усилением процесса азотирования при воздействии импульсов магнитного поля и выражается в существенном повышении микротвердости (в среднем около 1,5 раз, что наглядно видно и на фотографиях фиг.3 - при сравнении черных приповерхностных слоев двух сравниваемых образцов) в результате включения в процесс азотирования импульсов сравнительно маломощного магнитного поля.

Следовательно, сочетание ряда известных признаков, а именно - диффузионного насыщения приповерхностных слоев материала азотом и одновременное воздействие при этом на тот же материал импульсами сравнительно маломощного магнитного поля дает синергетический эффект - существенное дополнительное повышение механических свойств (на примере параметра микротвердости) материала, не достигаемое при использовании данных признаков по отдельности.

Способ может быть использован в составе набора технологических операций при изготовлении деталей машин, например, участвующих в трении скольжения и подверженных от этого интенсивному изнашиванию.

Формула изобретения

1. Способ азотирования детали с использованием электромагнитного поля, включающий подачу в камеру для азотирования реакционного газа, его нагрев с одновременным генерированием в камере переменного электромагнитного поля, отличающийся тем, что генерирование электромагнитного поля осуществляют посредством соленоида, внутри которого располагают обрабатываемую деталь с направлением вектора магнитной индукции перпендикулярно обрабатываемой поверхности детали и изменением в процессе азотирования его величины с формированием прямоугольных импульсов, длительность и периодичность которых обеспечивают ускорение движения и внедрения ионов азота в обрабатываемую поверхность за счет вертикального фронта нарастания напряженности магнитного поля.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что в процессе обработки устанавливают амплитуду возбуждающего магнитное поле импульсного напряжения - 4 В, потребляемый ток - 30 мА, соответственно мощность - 120 мВт, длительность импульса магнитной индукции - $4 \cdot 10^{-3}$ с, крутизну фронта импульса - 20 нс, периодичность - $12 \cdot 10^{-3}$ с и время обработки - 2 часа.

3. Устройство для азотирования детали с использованием электромагнитного поля, содержащее камеру для азотирования детали, устройство для подачи реакционного газа в упомянутую камеру на обрабатываемую деталь, нагревательное устройство и

устройство для генерирования электромагнитного поля, отличающееся тем, что устройство для генерирования электромагнитного поля выполнено в виде расположенного вокруг упомянутой камеры соленоида, обеспечивающего генерирование импульсного электромагнитного поля с прямоугольными импульсами с направлением вектора магнитной индукции перпендикулярно обрабатываемой поверхности находящейся внутри него детали.

4. Устройство по п. 3, отличающееся тем, что камера для азотирования детали представляет собой керамическую трубку из оксида алюминия Al_2O_3 диаметром 25 мм, вокруг которой размещен теплоизолятор диаметром 60 мм из вспененного материала SiO_2 , на котором расположен соленоид, выполненный трехслойным, из медной проволоки диаметром 0,26 мм, в каждом слое которого по 60 витков.

15

20

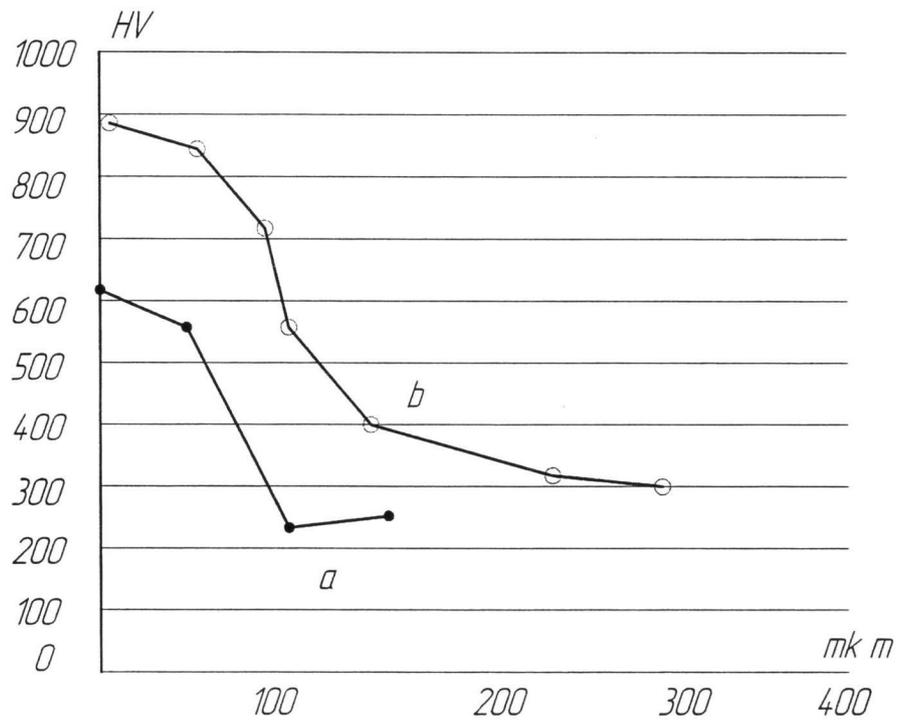
25

30

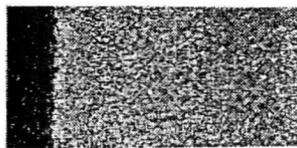
35

40

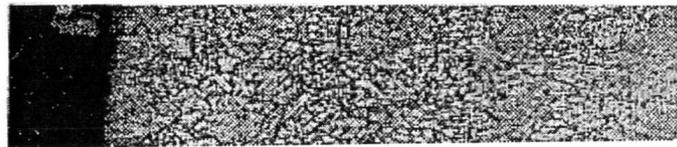
45



Фиг.2



a



b

Фиг.3