



(19) RU⁽¹¹⁾ 2 139 242⁽¹³⁾ C1
(51) МПК⁶ C 01 B 31/30

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

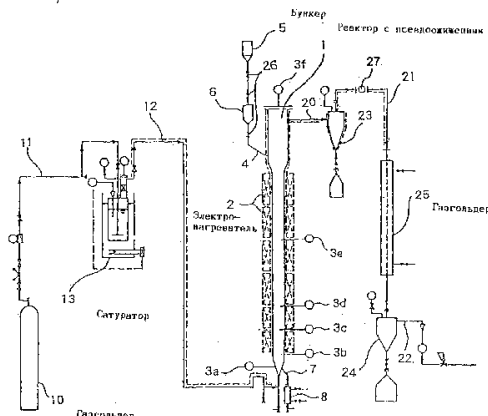
(21), (22) Заявка: 97121690/12, 27.05.1996
(24) Дата начала действия патента: 27.05.1996
(30) Приоритет: 31.05.1995 JP 7/158511
19.02.1996 JP 8/30985
(46) Дата публикации: 10.10.1999
(56) Ссылки: DE 4320359 C1, 20.10.94. SU 569542 A, 25.08.77. RU 2009029 C1, 15.03.94. GB 1535471 A, 13.12.78. US 4947382 A, 10.02.70. US 3572993 A, 30.03.71. US 4415535 A, 15.11.83. US 5366897 A, 22.11.94. US 4900464 A, 13.02.90. EP 0361349 A2, 04.04.90. EP 1794990 A2, 30.04.86.
(85) Дата перевода заявки РСТ на национальную фазу: 31.12.97
(86) Заявка РСТ: JP 96/01432 (27.05.96)
(87) Публикация РСТ: WO 96/38379 (05.12.96)
(98) Адрес для переписки: 103735, Москва, ул.Ильинка 5/2, Союзпатент, Патентному поверенному Ивановой О.Ф.

(71) Заявитель: Кавасаки Дзюкогио Кабусики Кайся (JP), Мицубиси Корпорейшн (JP)
(72) Изобретатель: Торакацу Миясита (JP), Есио Утияма (JP), Ейдзи Иноуэ (JP), Дзюнья Накатани (JP), Теруюки Наказава (JP), Сатору Иидзима (JP)
(73) Патентообладатель: Кавасаки Дзюкогио Кабусики Кайся (JP), Мицубиси Корпорейшн (JP)

(54) СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КАРБИДА ЖЕЛЕЗА

(57) Реферат:
Изобретение предназначено для металлургической промышленности и может быть использовано при получении сырья для производства чугуна и стали в электропечах. Руду, содержащую гематит, частично восстанавливают водородом. Частично восстановленный продукт подвергают карбюризации метаном с получением карбида железа. Частичное восстановление ведут до содержания металлического железа 20-75 ат.% от общего количества железа. Конечная степень превращения - до 99 ат.% от общего количества железа. Температура на первом и втором этапах 550-750°C, манометрическое давление 2-10,9 кгс/см². Первый и второй этапы имеют независимые контуры циркуляции. Устройство содержит две независимые реакционные установки, например реакторы с псевдоожиженным слоем, газоочистители для удаления пыли из отходящего газа, компрессоры с нагревателями для подачи реакционных газов

в установки. Независимые контуры циркуляции позволяют независимо подавать реакционные газы в установки, устанавливать и регулировать технологические режимы, уменьшить размеры оборудования, снизить потребление энергии. 3 с. и 16 з.п.ф.-лы, 8 табл., 22 ил.





(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 139 242** ⁽¹³⁾ **C1**
(51) Int. Cl.⁶ **C 01 B 31/30**

RUSSIAN AGENCY
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 97121690/12, 27.05.1996
(24) Effective date for property rights: 27.05.1996
(30) Priority: 31.05.1995 JP 7/158511
19.02.1996 JP 8/30985
(46) Date of publication: 10.10.1999
(85) Commencement of national phase: 31.12.97
(86) PCT application:
JP 96/01432 (27.05.96)
(87) PCT publication:
WO 96/38379 (05.12.96)
(98) Mail address:
103735, Moskva, ul. Il'inka 5/2, Sojuzpatent,
Patentnomu poverennomu Ivanovoj O.F.

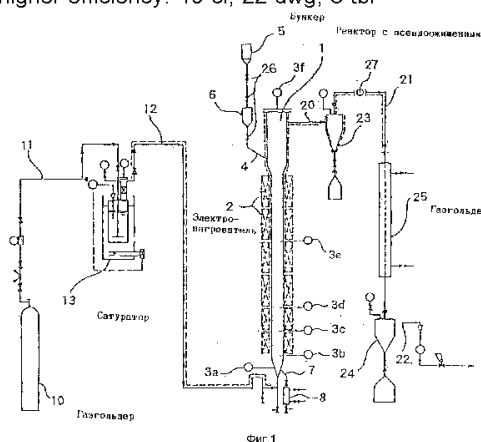
(71) Applicant:
Kawasaki Dzyukogio Kabusiki Kajsja (JP),
Mitsubisi Korporejshn (JP)
(72) Inventor: Torakatsu Mijasita (JP),
Esio Utijama (JP), Ejdzi Inoue (JP), Dzun'ja
Nakatani (JP), Terujuki Nakazava (JP), Satoru
Iidzima (JP)
(73) Proprietor:
Kawasaki Dzyukogio Kabusiki Kajsja (JP),
Mitsubisi Korporejshn (JP)

(54) **METHOD AND DEVICE FOR PRODUCTION OF IRON CARBIDE**

(57) Abstract:

FIELD: metallurgical industry; applicable in production of raw material for making pig iron and steel in electric furnaces. SUBSTANCE: method includes partial reduction with hydrogen of ore containing hematite; carburization of partially reduced product with methane to produce iron carbide. Partial reduction is carried out to obtain content of metallic iron equalling 20-75 at.wt.% of total content of iron. Final degree of conversion is up to 99 at. wt. % of total content of iron. Temperature at the first and second stages is 550-750 C, gage pressure of 2- 10.9 kgf/sq.cm. The first and second stages have independent circulation circuits. Device has two independent reaction plants, for instance, reactors with fluidized bed, gas cleaning means for removal of dust from exhaust gas, compressors with heaters for supply of reaction gases to reaction plants.

Independent circulation circuits allow individual supply of reaction gases to plants, setting and regulation of process conditions, reduction of overall dimensions of equipment and power consumption. EFFECT: higher efficiency. 19 cl, 22 dwg, 8 tbl



Область изобретения

Настоящее изобретение относится к способу и устройству для получения материала, пригодного для производства чугуна и стали. Более конкретно, настоящее изобретение относится к способу и устройству для получения материала, содержащего в качестве основного компонента карбид железа (Fe_3C), согласно которому материал используется в электрических или им подобных печах для производства стали.

Предшествующий уровень техники

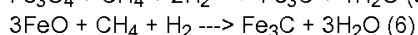
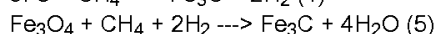
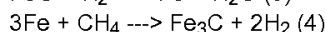
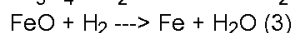
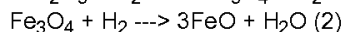
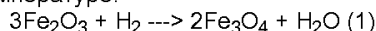
Производство стали обычно включает этапы превращения железной руды в чушковой чугуна с использованием доменной печи и после этого превращения чушкового чугуна в сталь с использованием мартеновской печи или конвертера. Такой традиционный способ требует затрат больших количеств энергии и крупногабаритного оборудования и является дорогостоящим. Поэтому для малообъемного производства стали используют способ, включающий этапы прямого превращения железной руды в исходное сырье в сталеплавильных печах и превращения исходного сырья в сталь в электрических и им подобных печах. Что касается прямого производства железа, то для превращения железной руды в восстановленное железо используют процесс прямого восстановления.

Однако восстановленное железо, полученное посредством процесса прямого восстановления, обладает высокой химической активностью и взаимодействует с кислородом воздуха с выделением тепла. Поэтому при транспортировке и хранении необходимо герметизировать восстановленное железо в атмосфере инертного газа или предпринимать другие меры. В связи с этим недавно для производства стали в электропечах или им подобных печах в качестве содержащего железо материала начали использовать карбид железа (Fe_3C), содержащий сравнительно высокое количество Fe и который имеет низкую химическую активность, и его можно легко транспортировать и хранить.

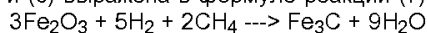
Кроме того, материал для получения чугуна или стали, содержащий карбид железа в качестве основного компонента, не только легко транспортировать и хранить, но он также имеет то преимущество, что содержащийся в железе углерод можно использовать в печах для производства чугуна и стали как источник топлива, а также как средство генерирования микропузырьков, которые ускоряют процесс получения стали в печи. Таким образом, с недавнего времени появился особый интерес к материалам для получения чугуна и стали, содержащим карбид железа в качестве основного компонента, как изложено в публикациях 1, 2 и 3, список которых приведен ниже.

Согласно одному из методов получения карбида железа оксиды железа в железной руде [например, гематит (Fe_2O_3), магнетит (Fe_3O_4), вюстит (FeO) и т. д.] восстанавливают и науглероживают в едином процессе. "Единый процесс" означает процесс работы, выполняемый в одном реакторе посредством одновременного введения восстановительного газа и науглероживающего газа, как показано в

следующих ниже формулах реакций (1)-(6). Мелкодисперсная железная руда загружается в реактор с псевдоожиженным слоем и взаимодействует с газовой смесью, содержащей восстановительный газ (например, газообразный водород) и карбюризирующий газ (например, метан и т.п.), при предварительно определенной температуре.

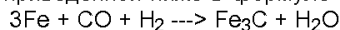


Полная реакция уравнений (1) по (4), (5) и (6) выражена в формуле реакции (7):



Далее следует описание предшествующего уровня техники в связи с настоящим изобретением, например в публикации перевода с японского языка Заявки на патент по договору о патентной кооперации N 6-501983 (PCT/US91/05198), включающий отчет о процессе работы промышленного оборудования в публикации 11, перечисленных ниже в списке, и тех, что описаны в публикациях 4, 5 и 8, перечисленных ниже. Кроме того, в патенте ФРГ 4320359 предложен способ с использованием двухступенчатых реакторов.

Процесс карбюризации можно осуществить посредством использования окиси углерода (CO) в качестве карбюризирующего компонента, как следует из приведенной ниже в формуле реакции (8):



Предшествующий уровень техники в вышеописанной области описан также в публикациях 6 и 7, перечисленных ниже.

Публикации

1. "TEKKO KAI," July, 1993, pp. 40-44. "Iron Carbide, iron source attracting interest".

2. "The potential for use of iron carbide as an electric furnace raw material," 16th Advanced Technology Symposium ISS-AIME Alternate Iron Sources for Electric Arc Furnace, May 2-5, 1993, Myrtle Beach.

3. A. W. Swanson, "Iron Carbide, a possible replacement for premium quality scrap," Preprint 93-28, presentation at the SME Annual Meeting, Reno, Nevada, February 15-18.

4. F. V. Pova, "Role of iron as supplier in scrap substitute process development," Iron & Steel Scrap, Scrap substitutes direct steel-making, March 21-23, 1995, Atlanta, Georgia.

5. Nakagawa et al., "Influence of the nature of iron ore on the formation of cementite," CAMP-ISU Vol. 7 (1994)-85.

6. Hayashi et al., "Formation of iron carbide from iron ore using fluidized bed (Production of iron carbide-2), CAMP-ISU Vol. 8 (1995)-111.

7. Hayashi et al., "Formation of iron carbide from iron ore (production of iron carbide-1), CAMP-ISU Vol. 8 (1995)-110.

8. Nakagawa et al., "Influence of gas composition and temperature on formation of cementite," CAMP-ISU Vol. 8 (1995)-109.

9. Mori et al., "New iron making process and fluidized bed," Chemical Equipment, June, 1986, pp. 99-108.

10. T.P. McAloon, I&SM, February, 1994.
11. 33 Metal Producing, January, 1995 (pp. 36, 37 & 49).

Описанные выше общеизвестные способы имеют следующие недостатки.

Исходя из общеизвестных способов, описанных в публикации перевода с японского языка Заявки на патент по договору о патентной кооперации N 6-501983 (PCT/US91/05198) и в публикациях 3 и 5, в которых используется современное промышленное оборудование, содержащий железо материал для производства чугуна содержит по меньшей мере один или смесь двух или более оксидов железа, таких как гематит, магнетит и вустит, и гидроокиси железа, такие как гидроксид железа и гидроксид железа, в качестве основных компонентов, например железную руду или порошок и т.п., получаемые в процессах производства чугуна. В процессе отщепления кислорода, связанного с атомами железа в содержащем железо материале, при производстве чугуна используют метан (CH_4) в качестве компонента газа в реакции карбюризации для превращения содержащего железо материала в карбид железа (называемый здесь также цементитом и Fe_3C) в отдельном реакторе при температуре около 600°C с использованием газовой смеси, содержащей метан. Газовая смесь является подходящей для реакции карбюризации, т.е. основная реакция (т.е. восстановление и карбюризация) происходит в едином процессе. Поэтому метан (CH_4) в этом процессе используется непосредственно как карбюрирующий газ, атомы водорода в метане выполняют функцию восстановительного компонента. Преимущество этого процесса состоит в том, что потребляется малое количество H_2 (газообразного водорода) или CO (окись углерода), и установка является простой. Однако очевидны также и следующие недостатки.

Поскольку реакция между твердым оксидом железа и восстановительным и карбюрирующим газами является каталитической, то скорость этой реакции низкая, а время реакции (т.е. время, потребное для полного превращения в нужный карбид железа) является продолжительным, требующим в связи с этим длительного времени для получения предварительно определенного количества готового продукта производства стали по сравнению с традиционным способом производства чугуна, таким как доменный процесс и т.п. Следовательно, необходимо увеличивать размеры оборудования, для того чтобы повысить выход продукции в единицу времени. Таким образом, еще не решены основные задачи прямого процесса производства чугуна, которые состоят в уменьшении размеров оборудования и производственных расходов по сравнению с традиционными способами производства чугуна.

Температуру реакции предпочтительно повышать, для того чтобы увеличить скорость реакции. Однако в реакции восстановления оксида железа, когда температура реакции возрастает приблизительно до $600-700^\circ\text{C}$, даже несмотря на то, что эта температура

является ниже температуры плавления оксида железа, углы граней кристаллов оксида железа сглаживаются благодаря поверхностному натяжению (что определяется как слипание или полуплавление, в дальнейшем здесь используют термин "слипание"), так что степень восстановления приближается к 100%. Это явление приводит к утрате реакционной активности. Как показано на фиг. 8 и в публикации 9, из графика взаимосвязи между температурой реакции и временем реакции в реакции восстановления гематита видно, что в диапазоне температур приблизительно от 600 до 700°C , когда достигается восстановление около 100%, время реакции возрастает.

Таким образом, не достигается решение задачи по увеличению скорости реакции, даже если температура реакции повышается. Если в ходе реакции восстановления выделяется много воды или если сырье движется неравномерно из-за конструктивных особенностей реактора, то вода взаимодействует с железной рудой, вызывая местное затвердевание, т.е. возникает так называемое "явление спекания". Когда происходит слипание или спекание, то возникает уплотнение или агломерация частиц оксидов, и поэтому становится невозможно удалить их механически.

Кроме того, реакция восстановления, представленная выше формулами с (1) по (3), и реакция карбюризации, представленная формулой (4), происходят в одном процессе при контактировании оксида железа с газовой смесью, содержащей водород, метан и т.п. Таким образом, следует учитывать обе реакции и восстановления, и карбюризации, а состав газов в реакции и температуру реакции невозможно установить независимо для оптимизации реакции восстановления и карбюризации соответственно.

Поэтому количество реакционного газа (т.е. количество реакционного газа, подлежащего контактированию, для получения единицы количества продукта) увеличивается. Как показано в таблице 5а, описанной здесь ниже, количество энергии, электрическая мощность, охлаждающая вода и т.п., расходуемые в обычного типа процессе производства карбида, описанном в публикации перевода с японского языка Заявки на патент по договору о патентной кооперации N 6-501983 (PCT/US91/05198), являются более высокими, чем соответствующие количества, используемые в обычном процессе прямого восстановления при производстве чугуна (например, в процессе MIDREX и т.д.).

Наиболее близким техническим решением по совокупности существенных признаков и достигаемому результату является способ получения карбида железа, известный из патента ФРГ N 4320359 (кл. C 21 B 13/14, 20.11.94).

Известный способ включает следующие этапы: частичное восстановление железной руды, содержащей гематит в качестве основного компонента, посредством циркуляции водорода, полученного риформингом природного газа, дальнейшее восстановление частично восстановленного продукта и его карбюризацию с образованием карбида железа для производства чугуна и

стали.

Вышеуказанный способ, в котором снижено количество реакционного газа, осуществляют в два этапа. На первом этапе железная руда частично восстанавливается при использовании от 50 до 20% эквивалентного количества смеси циркулирующего реакционного газа и от 50 до 80% эквивалентного количества оставшегося, частично прореагировавшего циркулирующего реакционного газа, поступающего со второго этапа. Затем, частично восстановленная железная руда транспортируется на второй этап, и происходит дальнейшее восстановление и карбюризация с использованием от 50 до 80% эквивалентного количества реакционного газа. Целью описанного способа является повысить реакционную способность газа посредством приведения в контакт с рудой на обоих этапах от 50 до 80% циркулирующего реакционного газа. В описанном способе получено некоторое снижение потребления реакционного газа по сравнению с традиционным способом, описанным в публикации перевода с японского языка Заявки на патент по договору о патентной кооперации N 6-501983 (PCT/US91/05198) или в публикации 11, в которой приведено описание современного промышленного оборудования.

Из патента ФРГ N 4320359 известен также способ получения сырьевого материала для производства чугуна и стали, содержащего карбид железа в качестве основного компонента, включающий частичное восстановление материала, содержащего железо, восстановительным газом, содержащим главным образом водород, и дальнейшее восстановление частично восстановленного содержащего железо материала с одновременной карбюризацией.

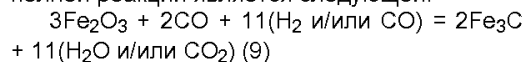
Однако следует учесть следующие недостатки. В частности, циркулирующий реакционный газ, который поступает на второй этап, должен обладать достаточным углеродным потенциалом (т.е. химической активностью) для получения карбида железа. Следовательно, необходимо увеличивать концентрацию метана в реакционном газе. Поэтому концентрация водорода как восстановительного компонента в реакционном газе является относительно низкой. Кроме того, поскольку в газе после завершения реакции на втором этапе содержится высокое количество воды и двуокиси углерода как продуктов реакции восстановления, то восстановительная способность газа снижается. Следовательно, время реакции на первом этапе увеличивается. Поэтому за полное время реакции для первого и второго этапов полное восстановление не может быть достигнуто.

Состав газа и температуру на первом и втором этапе нельзя устанавливать независимо, и, следовательно, степень восстановления, или степень металлизации, и степень карбюризации не могут регулироваться независимо.

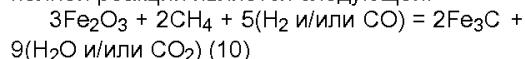
В процессах, описанных в публикациях 6 и 7, используют, как описано выше, газообразную окись углерода (CO) в качестве карбюризирующего компонента реакционного газа и сообщается о значительном сокращении времени реакции карбюризации.

Однако следует принять во внимание сравнение между формулами полной реакции до полного превращения гематита (Fe_2O_3) в карбид железа при использовании окиси углерода (CO) или метана (CH_4) соответственно как карбюризирующего газа.

В случае использования CO формула полной реакции является следующей:



В случае использования CH_4 формула полной реакции является следующей:



Как четко показано в формулах реакций (9) и (10), когда в качестве карбюризирующего компонента газа используется окись углерода, то необходимо подавать в 2,6 раза большее количество газовой смеси CO и H_2 по сравнению с использованием метана. Промышленное производство H_2 и CO осуществляют сжиганием природного газа, содержащего метан (CH_4) в качестве основного компонента, в контакте с паром в присутствии катализатора при высокой температуре и высоком давлении, сопровождающих каталитическую реакцию (упоминаемую как процесс газового риформинга). При этом, когда в качестве карбюризирующего газа используется окись углерода, кроме того, требуется дорогостоящая установка для газового риформинга и возрастает потребление энергии. Эта взаимосвязь показана на фиг. 10.

Наиболее близким техническим решением по совокупности существенных признаков и достигаемому результату является устройство для получения сырьевого материала, известное из патента ФРГ 4320359.

Известное устройство содержит признаки: первая реакционная установка для частичного восстановления содержащего железо сырьевого материала, снабженная каналом для его подачи; вторая реакционная установка для дальнейшего восстановления и карбюризации частично восстановленного сырьевого материала, снабженная каналом для его подачи, оперативно соединенным с ее верхней частью и выходящим из нижней части первой реакционной установки, а также каналом для выпуска карбида железа, оперативно связанным с нижней частью второй реакционной установки; циркуляционный контур для реакционного газа, оперативно соединенный с каналом подачи восстановительного и карбюризирующего газа, включающий каналы подачи газа в первую и вторую реакционные установки, присоединенные к впускным отверстиям для газа этих установок, через компрессор и нагреватель.

Известное устройство является дорогостоящим, и возрастает потребление энергии.

Настоящее изобретение ликвидирует вышеописанные недостатки традиционного способа получения Fe_3C .

Основной целью настоящего изобретения является создание эффективного и экономичного способа и устройства для получения карбида железа. Способ и устройство обеспечивают сокращение

времени реакции, снижение потребления реакционного газа и энергии и позволяет использовать оборудование меньших размеров.

Эти задачи, а также другие задачи и преимущества настоящего изобретения станут понятны специалистам в данной области техники из следующего ниже описания со ссылками на прилагаемые чертежи.

Подробное описание изобретения

С целью сокращения времени реакции, снижения потребления реакционного газа и получения возможности использовать оборудование меньших размеров и компактную установку для риформинга газа в способе получения карбида железа, включающем частичное восстановление железной руды, содержащей гематит в качестве основного компонента, посредством циркуляции водорода, полученного риформингом природного газа, дальнейшее восстановление частично восстановленного гематита и его карбюризацию с образованием карбида железа для производства чугуна и стали, согласно изобретению первый и второй этапы имеют независимые контуры циркуляции реакционного газа, а в качестве карбюризаторного газа на втором этапе используют метан.

Согласно настоящему способу при получении карбида железа по пункту 1 процесс реакции разделен на первый этап для частичного восстановления гематита и второй этап для дальнейшего восстановления и для карбюризации металлического железа в содержащие железо сырьевые материалы для производства чугуна. Поэтому газ, используемый на первом этапе процесса реакции, может представлять собой композицию, которая является оптимальной для реакции восстановления, а газ, используемый на втором этапе процесса реакции, может представлять собой композицию, которая является оптимальной для реакций дальнейшего восстановления и карбюризации. Согласно настоящему изобретению скорость реакции может быть увеличена по сравнению с процессом получения карбида железа, в котором восстановление и карбюризация гематита (т.е. превращение в карбид железа) выполняются в едином процессе с использованием смеси восстановительного и карбюризирующего газов. Поэтому время реакции (т. е. время, необходимое для превращения содержащегося в гематите железа в карбид железа до необходимой степени превращения) может быть сокращено.

Если степень восстановления является высокой, то восстановление гематита вызывает слипание при температуре реакции в диапазоне приблизительно от 600 до 700 °C, что в свою очередь вызывает увеличение времени реакции. В традиционных процессах слипание предотвращают посредством регулирования температуры реакции приблизительно до 590 °C. Наоборот, по способу согласно изобретению при получении карбида железа реакцию восстановления делят на первый и второй этапы, и можно регулировать частичное восстановление на первом этапе процесса реакции до степени, при которой

слипание не происходит. В связи с этим процесс восстановления можно выполнять при упомянутой выше температуре реакции. Поэтому реакцию можно выполнять при более высокой температуре, чем в традиционном процессе, в связи с чем скорость реакции может быть дополнительно повышена при сокращении времени реакции.

Кроме того, скорость потоков восстановительного и карбюризирующего газов, необходимая на первом и втором этапах процесса реакции, может быть существенно снижена благодаря описанным выше особенностям, связанным с более высокой температурой и более коротким временем реакции и т.д.

Поскольку процесс согласно настоящему изобретению при получении карбида железа разделяется на два этапа, то требуются две газовые системы. Это усложняет систему, но производительность реактора одинакового размера возрастает за счет описанного выше сокращения времени реакции. С другой стороны, можно использовать реактор меньшего размера, если не требуется повышения производительности.

Степень развития реакции восстановления, т.е. степень восстановления, можно определить посредством измерения количества выделившегося пара на первом этапе процесса реакции. Поэтому облегчается регулирование степени превращения в карбид железа, даже если время реакции изменяется из-за изменения количества гематита.

Можно также использовать следующие варианты и модификации, которые нельзя осуществить в традиционном процессе производства карбида железа, в котором применяется одноэтапный процесс, как описано в публикации перевода с японского языка Заявки на патент по договору о патентной кооперации N 6-501983 (PCT/US91/05198). Таким образом, настоящий процесс является более приспособляемым.

(а) Карбюрирующий газ имеет тенденцию к пиролизитическому разложению с выделением свободного углерода. Для предотвращения разложения можно поддерживать содержание пара в реакционном газе на уровне выше минимальной постоянной концентрации. Такой этап процесса можно использовать только в отношении газа, используемого на втором этапе процесса реакции.

(б) Когда степень превращения карбида железа становится слишком высокой, содержание Fe становится недостаточным, и может произойти разложение газообразного метана на углерод и водород. Регулирование степени превращения можно выполнять только на втором этапе процесса реакции.

Как следует из пункта 2 настоящего изобретения, предпочтительно выполнять частичное восстановление, используя восстановительный газ, включающий в основном водород, полученный посредством риформинга природного газа, содержащего метан как основной компонент, этап процесса реакции выполнять, используя восстановительный и карбюрирующий газ, содержащий водород, полученный посредством риформинга природного газа, содержащего метан как основной компонент, и природный газ, содержащий метан как

основной компонент.

Согласно способу получения карбида железа по пункту 2 формулы настоящего изобретения первый этап процесса реакции выполняют, используя восстановительный газ, содержащий главным образом водород, полученный посредством риформинга природного газа, содержащего метан как основной компонент, а второй этап процесса реакции выполняют, используя восстановительный и карбюризирующий газ, содержащий водород, полученный посредством риформинга природного газа, содержащего метан как основной компонент, и природный газ, содержащий метан как основной компонент. Поэтому частичное восстановление достигается на первом этапе процесса реакции, а дальнейшее восстановление и карбюризация происходят на втором этапе процесса реакции, и может быть реализовано упомянутое выше преимущество (1).

Кроме того, могут быть получены следующие преимущества, которые нельзя получить при использовании общеизвестного процесса производства карбида железа, описанного в патенте ФРГ N 4320359.

(а) Что касается первого этапа процесса реакции, имеющего независимый контур циркуляции реакционного газа, то можно использовать газ, содержащий высокую концентрацию водорода (т.е. подходящую для реакции) и имеющий высокую восстановительную способность благодаря низкому содержанию воды и двуокиси углерода. Поэтому существенно сокращается время реакции. В традиционном процессе, наоборот, концентрация газового компонента, который необходим для реакции карбюризации (т.е. метан), является высокой, а концентрация водорода является низкой, и, кроме того, газ содержит воду, образовавшуюся при реакции восстановления на втором этапе процесса реакции, оставшуюся в газовом компоненте. Поэтому время реакции на первом этапе увеличивается.

(b) Поскольку реакционным газом на первом этапе процесса реакции является восстановительный газ, карбид железа на первом этапе процесса реакции, по существу, не образуется. Поэтому степень восстановления или степень металлизации можно регулировать так, чтобы оптимизировать степень реакции для быстрого достижения требуемой степени карбюризации в реакции карбюризации второго этапа процесса реакции.

С другой стороны, поскольку в общепринятом процессе используют газ, в основном имеющий состав для реакции карбюризации, то на первом этапе процесса реакции трудно независимо регулировать степень восстановления или степень металлизации, и степень карбюризации.

(с) Поскольку первый и второй этапы процесса реакции соответственно имеют независимые контуры циркуляции реакционного газа, то в качестве газа можно использовать композицию, которую оптимизируют для соответствующих этапов, и обеспечить независимый процесс реакции при оптимизированной температуре на каждом соответствующем этапе.

С другой стороны, поскольку в

общепринятом процессе используют единственный циркулирующий газ, то возможность независимого регулирования температуры на первом и втором этапах ограничена.

5 По сравнению с общепринятым процессом получения карбида железа, в котором, как сообщается в публикациях 6 и 7, в качестве карбюризирующего компонента используют газ CO, реакции карбюризации и восстановления на втором этапе процесса реакции выполняются с использованием метана, который является основным компонентом природного газа. Метан является основным компонентом газа в реакции согласно настоящему изобретению. Поэтому установку для риформинга метана в $\text{CO} + \text{H}_2$ посредством пара можно уменьшить в масштабе 1/2,6, при этом снижается потребление энергии и уменьшаются размеры оборудования.

10 Как следует из пункта 3 формулы, в другом аспекте настоящего изобретения предложен способ получения сырьевого материала, содержащего карбид железа в качестве основного компонента, для производства чугуна и стали, включающий частичное восстановление материала, содержащего железо, восстановительным газом, содержащим главным образом водород, и дальнейшее восстановление частично восстановленного содержащего железо материала с одновременной карбюризацией, в котором согласно изобретению в качестве материала, содержащего железо, используют железную руду или порошок, содержащие по меньшей мере один или смесь более двух оксидов железа, таких как гематит, магнетит или вюстит, и гидроокиси железа, такие как гидроокись и гидроакись железа, в качестве основных компонентов, первый и второй этапы реакции имеют независимые контуры циркуляции реакционного газа, причем частичное восстановление ведут до содержания металлического железа в диапазоне от 20 до 75 ат.% от полного содержания железа, а в качестве восстановительного и карбюризирующего газа используют водород и метан для получения конечной степени превращения в карбид железа выше 75 ат. % от полного содержания железа.

30 Более предпочтительно, чтобы частичное восстановление до металлического железа на первом этапе процесса реакции составляло от 30 до 65% атомн. от полного содержания железа при подаче на второй этап процесса реакции. Кроме того, конечная степень превращения в карбид железа должна предпочтительно составлять не менее 85% от полного содержания железа.

55 Согласно способу по п. 3 настоящего изобретения при получении карбида железа может быть эффективно переработан не такой содержащий железо сырьевой материал для производства чугуна, как железная руда, содержащая гематит в качестве основного компонента, а такой как порошок или шлак с производящих чугунов заводов, который включает оксиды железа (например, магнетит и т.д.), соединения их с водой и одну или более гидроокисей железа, в котором количество атомов металлического железа составляет не более 50% атомн. от

полного количества атомов железа, т.е. количество железа, содержащегося, например, в оксиде или гидроокиси железа, составляет по меньшей мере 50% атомн. Преимущества достигаются за счет того, что первый этап процесса реакции выполняют при оптимальных технологических условиях (например, температуре, давлении, газовой композиции и т.д.) в соответствии с конкретной смесью соединений железа в содержащем железо сырьевом материале при снижении влияния идентичности соединения железа как исходного материала и подаче на второй этап процесса реакции частично восстановленного соединения железа, имеющего оптимальную степень восстановления и атомного отношения металлического железа. Таким образом, вышеописанные преимущества (1) и (2) могут быть получены независимо от идентичности соединения железа как исходного материала. Кроме того, могут быть устранены недостатки обычного типа процессов за счет сокращения времени реакции, снижения потребления энергии и возможности использовать компактное оборудование.

Если содержащие железо сырьевые материалы содержат атомы металлического железа в количестве 50% атомн. или более от полного содержания железа, то более выгодно непосредственно выполнять второй этап процесса реакции без выполнения первого этапа, поскольку содержание железа в сырьевом материале уже попадает в необходимый диапазон по п. 1 формулы изобретения.

На первом этапе процесса реакции содержащий железо материал для получения чугуна, состоящий из различных оксидов, гидроокисей или их смеси как основных компонентов, восстанавливают при регулировании содержания металлического железа в диапазоне от 25 до 70% атомн. от полного содержания железа на первом этапе процесса реакции, а затем выполняют дальнейшие реакции восстановления и карбюризации посредством использования восстановительного газа, содержащего метан в качестве основного компонента, на втором этапе процесса реакции. Поскольку количество газообразного водорода, образующегося из метана в реакции карбюризации на втором этапе, может быть, по существу, одинаковым с количеством газообразного водорода, потребляемого в реакции восстановления на втором этапе, то можно осуществлять дальше реакции восстановления и карбюризации на втором этапе процесса реакции посредством подачи метана как основного компонента реакционного газа. Результаты заключаются в химическом равновесии в процессе реакции и в том, что отсутствует влияние идентичности и пропорции оксида железа в содержащем железо сырьевом материале. Таким образом, подача водорода и окиси углерода, используемая при превращении, может быть ограничена до малых количеств, позволяющих использовать установку меньших размеров для реформинга газа с использованием пара.

Таким образом, настоящее изобретение относится к способу непосредственного использования метана в качестве основного реакционного компонента в реакции

карбюризации, для того чтобы уменьшить количество метана в природном газе, который превращают в водород и окись углерода, как описано выше.

5 Если в качестве исходного материала используют гематит, то реакция превращения оксида железа в карбид железа (Fe_3C) с использованием метана может быть разделена на три вида реакции, показанные на фиг. 12. Эти реакции изучали с точки зрения их кинетики. В результате были

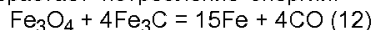
10 получены данные, обобщенные на фиг. 13. (1) Скорость реакции превращения из металлического железа в Fe_2C является более высокой. С учетом только реакции карбюризации показано преимущество способа, по которому оксиды железа или гидроокиси железа, или их смеси восстанавливают до металлического железа, после чего превращают его в карбид железа (Fe_3C).

20 (2) С другой стороны, когда оксиды железа превращаются в карбид железа при использовании метана, атомы водорода в метане (CH_4) участвуют также в реакции восстановления, как показано в приведенной выше формуле (11) и на фиг. 10, что позволяет снизить подачу водорода и/или окиси углерода после риформинга газа. Важно учитывать закономерности из параграфов (1) и (2) и связь между степенью металлизации на первом этапе процесса реакции и продолжительностью полного

30 процесса реакции (т.е. полной продолжительностью первого этапа и второго этапа процесса реакции), как показано на фиг. 14. Если содержание металлического железа находится в диапазоне от 25 до 70% атомн., то полная продолжительность реакции может быть сокращена. Если состав находится в диапазоне от 30 до 65%, то может быть реализована более короткая продолжительность процесса реакции. Согласно настоящему изобретению конечная степень превращения содержащего

40 железо сырьевом материале в карбид железа составляет 75% атомн. или более. Необходимая оптимальная степень превращения материалов в карбид железа для производства чугуна и стали варьируется в зависимости от процесса (например, производство чугуна, производство стали и т.д.) и назначения упомянутого процесса, и настоящее изобретение может удовлетворить любые требования. Например, когда главная задача состоит в получении материала для

50 железного сырья, а также источника энергии для сталеплавильной печи и необходим низкий расход энергии, то предпочтительна высокая степень превращения в Fe_3C , 90% или выше. С другой стороны, иногда предполагают получить главным образом эффект ускорения реакции очистки за счет эффекта перемешивания, связанного с возникновением пузырьков при реакции, приведенной в следующей ниже формуле (12), даже если до некоторой степени возрастает потребление энергии:



В этом случае можно использовать полученный Fe_3C , имеющий степень превращения около 75% атомн. Т.е. может быть достигнута оптимальная степень превращения в Fe_3C , удовлетворяющая

соответствующим требованиям по использованию материалов для производства железа и стали.

Как следует из пункта 4 формулы настоящего изобретения, целесообразно, чтобы восстановительный газ, включающий водород в качестве основного компонента на первом этапе реакции, не обладал способностью образовывать карбид железа и имел состав

$0 \leq \text{CO} \leq 10\% \text{ об.}$ $0 \leq \text{CO}_2 \leq 10\% \text{ об.}$
 $0 \leq \text{CH}_4 \leq 30\% \text{ об.}$

$40 \leq \text{H}_2 \leq 100\% \text{ об.}$ $0 \leq \text{H}_2\text{O} \leq 10\% \text{ об.}$
 $0 \leq \text{N}_2 \leq 25\% \text{ об.}$

Поскольку увеличение количества инертного газа, такого как N_2 , снижает концентрацию активных компонентов реакционного газа, предпочтительно, чтобы количество инертного газа было настолько низким, насколько это экономически возможно, особенно с точки зрения энергетической эффективности и продолжительности реакции.

Согласно настоящему способу получения карбида железа по п. 4 формулы изобретения первый этап процесса реакции представляет собой процесс частичного восстановления содержащих железо сырьевых материалов для производства чугуна при регулировании содержания металлического железа в диапазоне от 25 до 70% атомн., т.е. реакция восстановления оксида железа является основной реакцией. Реакционные газы для оксидов железа содержат водород (H_2) и окись углерода (CO). Чем выше концентрация ($\text{H}_2 + \text{CO}$) и чем ниже концентрация ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$) как продуктов реакции, тем выше скорость реакции.

Скорость реакции восстановления при использовании H_2 более высока, чем при использовании CO в температурном диапазоне настоящей реакции, и можно получить снижение длительности реакции и уменьшение потребления реакционного газа. Кроме того, продуктом реакции с водородом является пар (H_2O), который можно удалить простым охлаждением отходящего газа в ходе обработки. Поэтому при использовании водорода как основного компонента реакционный газ можно легко использовать в режиме циркуляции без накопления H_2O или увеличения концентрации H_2O . Вышеупомянутая композиция может быть использована в качестве реакционного газа при выполнении первого этапа процесса реакции. То есть, реакцию получения карбида железа, представленную формулой (4), можно подавить посредством поддержания низкой концентрации метана. Поэтому карбид железа не образуется, и может быть эффективно выполнена реакция восстановления. В результате можно получить установку, которая может быть использована в промышленном производстве.

Как следует из п. 5 формулы изобретения, на втором этапе процесса реакции выполняют дальнейшее восстановление и карбюризацию и получают сырьевой материал для производства железа и стали, имеющий требуемую степень карбюризации. Предпочтительно использовать реакционный газ, имеющий состав, который позволяет одновременно осуществить процессы реакций восстановления и карбюризации, что

может быть использовано в режиме циркуляции и что обеспечивает удовлетворительную скорость реакции. Такой газ имеет следующий состав:

$0,5 \leq \text{CO} \leq 15\% \text{ об.}$ $0,5 \leq \text{CO}_2 \leq 15\% \text{ об.}$
 $20 \leq \text{CH}_4 \leq 100\% \text{ об.}$ $0 \leq \text{H}_2 \leq 45\% \text{ об.}$ $0 \leq \text{H}_2\text{O} \leq 1,5\% \text{ об.}$ $0 \leq \text{N}_2 \leq 20\% \text{ об.}$

Поскольку H_2O оказывает абсолютно негативное влияние на скорость реакции карбюризации, увеличивает количество инертного газа, такого как N_2 , и снижает относительную концентрацию активного компонента реакционного газа, то предпочтительно количество H_2O и инертных газов поддерживать на низком уровне, особенно с точки зрения энергетической эффективности и продолжительности реакции.

Согласно способу получения карбида железа по п. 5 формулы настоящего изобретения остальные реакции восстановления и карбюризации содержащего железо сырьевого материала для производства чугуна, который был частично восстановлен и металлизирован на первом этапе процесса реакции, выполняются с использованием водорода и метана как основных компонентов, при этом снижается продолжительность реакции и уменьшается потребление реакционного газа.

Для получения карбида железа требуется достаточный углеродный потенциал (т.е. химическая активность) карбида железа (Fe_3C). В случае реакции карбюризации, в которой используется метан, как следует из формулы (4), в реакции существует пропорциональность $\text{PCH}_4/(\text{PH}_2)$, где PCH_4 представляет собой парциальное давление метана (CH_4), а PH_2 представляет собой парциальное давление водорода (H_2) в реакционном газе. В случае реакции карбюризации, в которой используется водород, как следует из формул (1), (2) и (3), отношение $\text{PH}_2/\text{PH}_2\text{O}$, реакционного газа (где PH_2O представляет собой парциальное давление пара) пропорционально восстановительной способности (т.е. химической активности в отношении восстановления). По настоящему изобретению, если основным компонентом реакционного газа являются метан и водород, а концентрацию метана и водорода регулируют в надлежащей пропорции и, кроме того, содержание пара (H_2O) поддерживают на уровне предварительно установленной концентрации или меньше, то реакции восстановления и карбюризации можно осуществлять быстро и одновременно при высокой реакционной способности реакционного газа. Если газ, используемый на втором этапе процесса реакции, имеет следующий состав:

$\text{H}_2 + \text{CH}_4 \geq 65\% (\text{CH}_4 \geq 20\%), \text{H}_2\text{O} \leq 1,5\%$,
то газ удовлетворяет вышеописанным условиям.

К тому же, CO или CO_2 действуют как компонент реакционного газа реакции карбюризации, а также как катализатор в реакции карбюризации с использованием метана согласно формуле (10). В результате возрастает скорость реакции. При этом, для того чтобы сократить продолжительность

реакции, предпочтительно, чтобы CO или CO₂ присутствовали в предварительно установленной концентрации. После проведения процесса реакции, идентичного первому этапу, при использовании экспериментальной установки по фиг. 1 второй этап процесса реакции выполняли посредством изменения концентрации CO+CO₂ в поступающем реакционном газе. Результаты обобщены на фиг. 11.

На фиг. 11 (а) показана взаимосвязь между средней скоростью карбюризации при степени карбюризации от 30 до 75% и концентрацией поступающих газов CO+CO₂. Как видно из фиг. 11 (а), средняя скорость карбюризации возрастает по мере увеличения концентрации поступающих газов (CO+CO₂), и прекращение роста средней скорости наступает приблизительно при 20%. Для практического применения в промышленности желательно, чтобы средняя скорость карбюризации была не менее 6%/час, и, следовательно, важно, чтобы концентрация CO+CO₂ составляла, по меньшей мере, 0,3%. На фиг. 11 (b) показано соотношение между отходящими-поступающими газами (CO+CO₂)% в ходе второго этапа процесса реакции, когда концентрацию входящих газов (CO+CO₂)% изменяли. Как следует из фиг. 11 (b), если (CO+CO₂)% поступающего газа является низким, то CO+CO₂ вырабатывается в процессе реакции между CO+CO₂ и материалом. Если CO+CO₂ поступающего газа является высоким, то CO+CO₂ расходуется. То есть, если CO+CO₂ поступающего газа составляет приблизительно не менее 3%, то иногда необходимо подавать CO+CO₂ в циркулирующий газ.

Целью настоящего изобретения является использовать метан в качестве основного компонента в реакции карбюризации для минимизации подачи CO+H₂ посредством риформинга природного газа, как описано выше. Поэтому при удовлетворении следующей формулы:

$$15\% \geq \text{CO} + \text{CO}_2 \geq 0,5\%$$

получают важное для промышленного производства влияние на скорость реакции (т.е. снижение продолжительности реакции), и одновременно достигается высокая эффективность реакции карбюризации. Таким образом, если газ, используемый для выполнения второго этапа процесса реакции, имеет состав, удовлетворяющий следующей формуле:

$$0,5 \leq \text{CO} \leq 15\% \text{ об. } 0,5 \leq \text{CO}_2 \leq 15\% \text{ об. } 20 \leq \text{CH}_4 \leq 100\% \text{ об.}$$

$$0 \leq \text{H}_2 \leq 45\% \text{ об. } 0 \leq \text{H}_2\text{O} \leq 1,5\% \text{ об. } 0 \leq \text{N}_2 \leq 20\% \text{ об.}$$

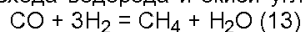
компонент инертного газа, такой как N₂ ≤ 20%, то продолжительность реакции уменьшается, при этом становится возможно использовать способ для практических применений в промышленности.

Как следует из пункта 6 формулы изобретения, предпочтительно также добавлять метан в восстановительный газ, используемый в первом этапе процесса реакции, так чтобы можно было регулировать содержание водорода в восстановительном

газе, и добавлять водород или метан в восстановительный и карбюризирующий газ, используемый во втором этапе процесса реакции, так чтобы можно было регулировать содержание водорода и метана в восстановительном и карбюризирующем газе.

Согласно способу получения карбида железа по п. 6 формулы настоящего изобретения пропорцию водорода можно изменять путем добавления метана в восстановительный газ на первом этапе процесса реакции с возможностью регулирования при этом скорости реакции восстановления. Таким образом, можно регулировать степень восстановления на первом этапе процесса реакции, регулировать продолжительность реакции для получения предварительно установленной степени восстановления и в то же самое время регулировать количество металлического железа в продукте на первом этапе процесса реакции в диапазоне, указанном в пункте 3 формулы изобретения.

Также можно предотвратить ухудшение восстановительной способности газа (т.е. уменьшить концентрацию CO и H₂ и увеличить концентрацию H₂O) посредством регулирования синтеза метана в реакции между окисью углерода и водородом, как показано в следующей ниже формуле (13). Скорость реакции восстановления поддерживается при получении возможности регулировать продолжительность реакции и уменьшать потребление реакционного газа и расхода водорода и окиси углерода.



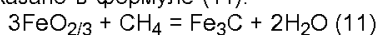
Кроме того, на втором этапе процесса реакции можно изменять отношение составов водорода к метану посредством добавления водорода и метана к восстановительному и карбюризирующему газу. Поэтому можно регулировать скорость реакции карбюризации. При этом степень карбюризации (т.е. степень превращения в карбид железа) и продолжительность реакции можно регулировать, пока не будет получена предварительно установленная степень карбюризации на втором этапе процесса реакции.

Относительная взаимосвязь между скоростью реакции дальнейшего восстановления и реакции карбюризации может регулироваться, благодаря чему появляется возможность продолжать реакцию восстановления, показанную в формулах (1), (2) и (3), тогда как реакция карбюризации показана в формуле (4). Кроме того, можно регулировать степень карбюризации конечного продукта, а также форму и количество оставшегося оксида железа и в то же самое время можно сократить продолжительность реакции и достичь более эффективного использования реакционного газа в режиме циркуляции.

Кроме того, как следует из пункта 7 формулы изобретения, степень восстановления гематита как содержащего железо сырьевого материала для производства чугуна на первом этапе процесса реакции находится в диапазоне от 50 до 65%, более предпочтительно от 55 до 62%. Термин "степень восстановления", как он здесь используется, обозначает отношение количества атомов кислорода за вычетом количества атомов кислорода к атомам

железа в гематите (Fe_2O_3) (т. е. количество, полученное путем вычитания количества атомов кислорода к атомам оксида железа, в котором произошла реакция восстановления, из количества атомов кислорода в гематите). Например, степень восстановления магнетита (Fe_3O_4), вюстита (FeO) и восстановленного железа (Fe) составляет приблизительно 11%, приблизительно 33% и приблизительно 100% соответственно.

Стехиометрическое отношение, при котором метан (CH_4) используют в качестве компонента реакционного газа для реакций дальнейшего восстановления и карбюризации на втором этапе процесса реакции, как показано в формуле (11):



Что касается действительной композиции $\text{FeO}_{2/3}$, то взаимосвязь между металлическим железом (MFe) и оксидом железа (магнетит (Fe_3O_4) и/или вюстит (FeO)) и, далее, степень восстановления, когда в качестве исходного материала используют гематит (Fe_2O_3), представлены в таблице 5. Степень восстановления составляла приблизительно 56%.

Согласно способу получения карбида железа по п. 7 формулы настоящего изобретения, если степень восстановления гематита на первом этапе процесса реакции находится в диапазоне от 50 до 65%, то полная продолжительность реакции, как полных первого и второго этапов процесса реакции, является более короткой, и в то же время количество газообразного водорода, выделившегося при реакции карбюризации на втором этапе реакции, и количество газообразного водорода, потребного для реакции восстановления, является почти одинаковым. Поэтому с момента химического равновесия реакции второй этап процесса реакции можно выполнять посредством подачи только карбюризирующего газа.

Поскольку скорость каталитической реакции между твердым веществом и газом, как правило, является низкой, создают циркуляцию газа, причем в расчет принимается эффективное использование газа. То есть, для обеспечения постоянного состава реакционного газа подают компонент реакционного газа, в то время как циркулирует фиксированное количество реакционного газа. По настоящему изобретению водород и метан могут подаваться на первый и второй этапы процесса реакции соответственно.

Как следует из пункта 8 настоящего изобретения, предпочтительно, чтобы конечная степень превращения гематита в карбид железа находилась в диапазоне от 90 до 99% или выше, более предпочтительно от 95% или выше.

Согласно способу получения карбида железа по п. 8 формулы настоящего изобретения конечная степень превращения гематита в карбид железа находится в диапазоне от 90 до 99% атомн., и при этом получают соответствующий продукт. Если степень превращения меньше 90% атомн., то выход карбида железа низкий. С другой стороны, если степень превращения больше 99% атомн., то становится больше количество выделившегося свободного углерода.

Как следует из пункта 9 формулы настоящего изобретения, предпочтительно, чтобы на первом этапе процесса реакции температура находилась в диапазоне от 550 до 750°C, более предпочтительно от 610 до 650°C.

Согласно способу получения карбида железа по п. 9 формулы настоящего изобретения температура реакции на первом этапе процесса реакции находится в диапазоне от 550 до 750°C, и, таким образом, получают температуру, подходящую для выполнения описанной выше реакции. Если температура реакции меньше 550°C, то скорость реакции снижается, а продолжительность реакции увеличивается.

Следовательно, необходимо осуществить регулирование температуры до величины, большей 550°C. С другой стороны, когда температура реакции выше 750°C, то это оказывает неблагоприятное влияние на теплостойкость конструкций реактора. Как описано выше, в процессе реакции восстановления гематита, в диапазоне температур приблизительно от 600 до 700°C, возникает его слипание, что приводит к увеличению продолжительности реакции, и поэтому традиционным способом реакцию выполняют при температуре, более низкой, чем этот описанный выше диапазон, например приблизительно при 590°C. При получении карбида железа по способу согласно настоящему изобретению реакция восстановления делится на два этапа, и степень восстановления на первом этапе процесса реакции не слишком высока. Поэтому даже при высокой температуре реакции слипания не происходит и не возникает ни слипания, ни таких неблагоприятных явлений, как снижение скорости реакции.

Как следует из пункта 10 формулы настоящего изобретения, второй этап процесса реакции предпочтительно выполнять при температуре от 550 до 750°C, для того чтобы регулировать в материале для производства чугуна и стали конечную форму (например, магнетит, вюстит и т.п.) остаточного оксида железа. Для того чтобы получить остаточную форму оксида железа в виде магнетита, который является наиболее стабильной формой, предпочтительно, чтобы температура находилась в диапазоне от 550 до 590°C. Для того чтобы сократить продолжительность реакции и обеспечить стабильность процесса, предпочтительно, чтобы температура находилась в диапазоне от 610 до 650°C.

Согласно способу получения карбида железа по п. 10 формулы настоящего изобретения температура реакции на втором этапе процесса реакции находится в диапазоне от 550 до 750°C. Таким образом, слипания или прилипания реагирующей железной руды к стенкам печи не происходит, что позволяет легко контролировать форму остаточного оксида железа (например, магнетит или вюстит) в готовом карбиде железа и сократить продолжительность реакции.

То есть, на втором этапе процесса реакции окончательное восстановление, карбюризацию и превращение в железо можно выполнять одновременно (поскольку

карбюризация происходит, когда степень восстановления является высокой, вероятность возникновения слипания меньше, чем в случае, когда происходит только восстановление), и реакция происходит в диапазоне температур, когда не возникает слипания железной руды или ее прилипания к стенкам печи. Таким образом, когда температуру повышают, сокращается продолжительность реакции. Поэтому второй этап предпочтительно выполнять в диапазоне температур, при которых не происходит слипания железной руды или ее прилипания к стенкам печи, например от 610 до 650°C.

На втором этапе процесса реакции важно также не только достичь необходимой степени превращения в карбид железа (Fe_3C), но также осуществлять регулирование химической формы оставшегося железа (например, металлическое железо (Fe), магнетит (Fe_3O_4), вустит (FeO) и т.п.), для того чтобы получить продукт, устойчивый против самопроизвольного возгорания в процессе транспортировки и продолжительного хранения продукта. Относительную стабильность соединений железа по отношению к экзотермической реакции взаимодействия с водой можно выразить в порядке: Fe_3O_4 (максимально стабильный), FeO и Fe . Во время продолжительной транспортировки и хранения иногда возникает необходимость осуществить превращение, насколько это возможно, остаточного соединения железа, т.е. другого компонента в составе готового карбида железа, нежели карбид железа (Fe_3C), в Fe_3O_4 , который является наиболее стабильным. В этом случае, как следует из фиг. 9, FeO при температуре 575°C или ниже не существует, и, следовательно, можно проводить реакцию при температуре приблизительно от 550 до 570°C, с тем чтобы все остаточное соединение железа превратить в форму Fe_3O_4 .

Как следует из пункта 11 формулы настоящего изобретения, температура реакции на втором этапе процесса реакции находится предпочтительно в диапазоне от 590 до 750°C, более предпочтительно от 610 до 650°C.

Согласно способу получения карбида железа по п. 11 формулы настоящего изобретения температура реакции на втором этапе процесса реакции находится в диапазоне от 590 до 750°C и является подходящей температурой для быстрого получения карбида железа. Как показано на фиг. 9, область магнетита (Fe_3O_4) при температуре реакции 590°C является широкой или сужается на диаграмме равновесия системы Fe-H-O . Если в течение продолжительного периода времени в реакции восстановления присутствует магнетит, то конечная стадия реакции карбюризации при получении карбида железа замедляется, и для полного превращения в Fe_3C требуется продолжительное время. Поэтому необходимо устанавливать температуру 590°C или выше, которая находится далеко от области магнетита, и отношение H_2O к $(\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2)$ может установиться на сравнительно высоком

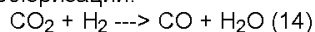
уровне. То есть, восстановление можно осуществлять для получения столько металлического железа, сколько возможно, используя одинаковое отношение H_2O к $(\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2)$ и одинаковое количество реакционного газа, и можно поддерживать более высокую скорость реакции карбюризации металлического железа в карбид железа даже на заключительном этапе реакции карбюризации благодаря присутствию металлического железа. С другой стороны, если устанавливают температуру реакции до 750°C или выше, то это неблагоприятно влияет на теплостойкость конструкций реактора. Кроме того, на втором этапе процесса реакции карбюризация после восстановления происходит ускоренно, и, следовательно, слипания не происходит.

Как следует из пункта 12 формулы настоящего изобретения, предпочтительно удалять водяной пар из реакционного газа, используемого на втором этапе процесса реакции, для снижения парциального давления H_2O .

Согласно способу получения карбида железа по п. 12 формулы настоящего изобретения пар удаляют из реакционного газа, используемого на втором этапе процесса реакции, для снижения парциального давления пара. Таким образом, область FeO-Fe может расширяться, а область магнетита может сужаться на диаграмме равновесия системы Fe-H-O . При этом можно предотвратить замедление реакции карбюризации благодаря присутствию магнетита, уменьшая тем самым продолжительность реакции.

Как следует из пункта 13 формулы настоящего изобретения, к реакционному газу, используемому на втором этапе процесса реакции, предпочтительно добавлять двуокись углерода и водород.

Согласно способу получения карбида железа по п. 13 формулы настоящего изобретения к реакционному газу, используемому на втором этапе процесса реакции, добавляют двуокись углерода и водород. Тем самым реализуется приведенная ниже формула (14) реакции, и возрастает концентрация окиси углерода и двуокиси углерода. В результате может быть существенно увеличена скорость реакции карбюризации.



Как следует из пункта 14 настоящего изобретения, давление реакции на первой стадии и второй стадии процесса реакции предпочтительно находится в диапазоне от 1 до 9,9 кгс/см²G ("G" означает манометрическое давление), а более предпочтительно от 2 до 5 кгс/см²G.

Согласно способу получения карбида железа по п. 14 формулы настоящего изобретения давление реакции на первом и втором этапах процесса реакции находится в диапазоне от 1 до 9,9 кгс/см²G. Такое давление реакции является приемлемым для выполнения вышеприведенных реакций. Если давление реакции ниже 1 кгс/см²G, то скорость реакции низкая, а продолжительность реакции велика. С другой стороны, если давление реакции выше 9,9 кгс/см²G, то в процессе реакции пар конденсируется и проникает в сырьевые

материалы. В результате сырье движется неоднородно, что приводит к снижению скорости превращения в карбид железа. Кроме того, более высокое давление неблагоприятно влияет на прочность реактора и трубы, подающей газ в реактор.

Что касается влияния давления на реакцию восстановления, которая происходит, в основном, на первом этапе процесса реакции, и на скорость процесса реакции, то степень восстановления обычно возрастает по мере роста давления от 5 до 6 атм (т.е. выше 4-5 кгс/см²G). Если давление превышает вышеупомянутый диапазон, то влияние давления на скорость реакции становится незначительным, и давление 6 атм и менее является экономичным для практического использования.

На втором этапе процесса выполняются реакции дальнейшего восстановления и карбюризации. Для поддержания высокой химической активности процессов восстановления и карбюризации, даже если газ используют в режиме циркуляции, предпочтительно удалять образовавшуюся при реакции восстановления H₂O для как можно большего снижения концентрации H₂O. Когда газ для удаления H₂O подвергается охлаждению, то количество H₂O может быть относительно низким при высоком давлении. По мере возрастания давления равновесная концентрация метана как компонента реакции карбюризации возрастает, а концентрация водорода как компонента восстановления становится относительно ниже. Поэтому предпочтительно работать при давлении, достаточном для надлежащего соотношения между скоростью реакции и скоростью карбюризации. Предпочтительное давление составляет от 3 до 6 атм. В способе по п. 14 формулы настоящего изобретения это рабочее давление можно регулировать до надлежащего уровня, благодаря чему становится возможно сократить продолжительность реакции и получить благоприятные экономические показатели реакции.

Как следует из пункта 15 формулы настоящего изобретения, поступающий в реакторы сырьевой материал на первом и втором этапах процесса реакции предпочтительно является предварительно нагретым или предварительно охлажденным до температуры в диапазоне $\pm 100^{\circ}\text{C}$ от температуры реакции соответствующего этапа процесса реакции.

Согласно способу получения карбида железа по п. 15 формулы настоящего изобретения мелкодисперсный сырьевой материал, вводимый в реакторы на первом и втором этапах процесса реакции, является предварительно нагретым или предварительно охлажденным до температуры $\pm 100^{\circ}\text{C}$ от температуры реакции каждого этапа. Таким образом, поступающий сырьевой материал не является агломерированным, а конденсированный пар уже не оказывает неблагоприятного влияния на текучесть сырьевого материала. Поскольку реакция восстановления, показанная в вышеприведенных формулах (1)-(3), является эндотермической, то подаваемое сырье охлаждается. Сырье, подаваемое на второй

этап процесса реакции, имеет особенно высокую реакционную активность и в начале реакции быстро выделяет пар с охлаждением подаваемого сырья, и, таким образом, выделившийся пар конденсируется с проникновением в сырье, что сопровождается замедлением течения сырья. Поэтому подаваемое в реактор сырье предварительно нагревают приблизительно до температуры реакции для устранения конденсации пара и предотвращения снижения скорости реакции.

Кроме того, температура первого этапа процесса реакции может оказывать влияние на скорость реакции следующего за ним второго этапа процесса реакции в зависимости от содержащего железо сырьевого материала для производства чугуна. Например, отношение площади поверхности к весу сырьевого материала увеличивается в ходе восстановления на первом этапе процесса реакции при температуре, которая на несколько десятков градусов ниже, чем на втором этапе процесса реакции. Это обеспечивает подачу сырьевого материала, имеющего более активное и частично металлизированное состояние, на второй этап процесса реакции. Затем происходят реакции дальнейшего восстановления и карбюризации сырьевого материала, который является химически активным, в результате чего сокращается продолжительность полного процесса реакции.

Для получения максимального количества остаточного железного компонента карбида железа, поступающего в виде стабильного магнетита, а также для сокращения полной продолжительности реакции можно также выполнять второй этап процесса реакции при низкой температуре, такой как 575°C или ниже, после того как первый этап выполняется при как можно более высокой температуре.

В соответствии с настоящим изобретением иногда на первом этапе процесса реакции достаточное количество тепла необходимо вводить в сырьевой материал и загружать сырьевой материал предварительно нагретым с целью поступления порции тепла в процесс реакции, избегая при этом чрезмерного нагрева реакционного газа. В дополнение к предварительному нагреву сырьевого материала, загружаемого на первый этап процесса реакции, иногда необходимо выполнять предварительную обработку, такую как удаление поглощенной воды из исходного материала. В этом случае эффективно осуществлять предварительную процедуру при температуре, которая по меньшей мере на 100°C выше, чем температура, само собой разумеется, на первом этапе процесса реакции. Такая процедура входит в сферу притязаний настоящего изобретения.

В устройстве согласно изобретению, описанном в пункте 16, получают сырьевые материалы для производства чугуна и стали. Сырьевые материалы содержат карбид железа в качестве основного компонента. В устройстве происходит восстановление и карбюризация содержащего железо сырьевого материала для производства чугуна (например, получаемых в процессах черной металлургии железной руды или

порошка и т.п., которые содержат в качестве основных компонентов по меньшей мере один или смесь двух или более оксидов железа, таких как гематит, магнетит и вюстит, и гидроксиды, такие как гидрозакись и гидроокись железа).

Для этого в устройстве для получения сырьевого материала, содержащего карбид железа, используемого в производстве чугуна или стали, путем восстановления и карбюризации содержащего железо сырьевого материала, включающем первую реакционную установку для частичного восстановления содержащего железо сырьевого материала, снабженную каналом для его подачи, вторую реакционную установку для дальнейшего восстановления и карбюризации частично восстановленного сырьевого материала, снабженную каналом для его подачи, оперативно соединенным с ее верхней частью и выходящим из нижней части первой реакционной установки, а также каналом для выпуска карбида железа, оперативно связанным с нижней частью второй реакционной установки, циркуляционный контур для реакционного газа, оперативно соединенный с каналом подачи восстановленного и карбюризирующего газа, включающий каналы подачи газа в первую и вторую реакционные установки, присоединенные к впускным отверстиям для газа этих установок, через компрессор и нагреватель, согласно изобретению канал подачи содержащего железо сырьевого материала, такого как получаемая в процессах черной металлургии железная руда или порошок, содержащие в качестве основных компонентов по меньшей мере один или смесь более двух оксидов железа, таких как гематит, магнетит и вюстит, гидроксиды, такие как гидрозакись или гидроокись железа в качестве основных компонентов, соединен с верхней частью первой реакционной установки, причем циркуляционный канал, выходящий из выпускного отверстия для газа этой установки, присоединен к каналу подачи газа в нее, а вторая реакционная установка оперативно соединена со вторым циркуляционным контуром, один конец которого присоединен к ее впускному отверстию для газа через второй компрессор и второй нагреватель, а другой конец второго циркуляционного контура, выходящий из выпускного отверстия для газа второй реакционной установки, присоединен к каналу подачи газа в нее, причем канал подачи газа в первую реакционную установку оперативно соединен с каналом подачи восстановительного газа, содержащего главным образом водород, а канал подачи газа во вторую реакционную установку оперативно соединен с каналом подачи восстановительного и карбюризирующего газа, содержащего в основном метан, обеспечивая тем самым непрерывную подачу газов в первую и вторую реакционные установки. Они могут быть эффективно использованы в режиме циркуляции после удаления пыли и воды. Устройство согласно изобретению имеет конструкцию предпочтительно как показано на фиг. 5, например независимый газовый контур для регулирования состава реакционного газа на каждом этапе реакции соединен с каждой

реакционной установкой и соответствующим контуром циркуляции газа.

Что касается устройства для получения карбида железа по пункту 16 настоящего изобретения, то один из его вариантов приведен на фиг. 5. На первом этапе процесса реакции восстановление выполняют до тех пор, пока не окажется металлизированным от 25 до 75% от полного содержания железа в сырьевом материале, а на втором этапе процесса реакции выполняют дальнейшее восстановление и превращение сырья в карбид железа (Fe_3C). Реакции соответственно выполняют в независимых реакционных установках 41 и 61. Удаление пыли из отходящего газа после завершения реакций и удаления загрязняющего газ компонента выполняют в газоочистителях 45 и 65. Реакционные газы после добавления восстановительного газа или карбюризирующего газа для регулирования состава газа поступают в реакторы 41 и 61 через компрессоры 42 и 62 контуров циркуляции и через нагреватели 43 и 63 газа, контур 40 циркуляции реакционного газа первого этапа и контур 60 циркуляции реакционного газа второго этапа, обеспечивая возможность независимо подавать реакционный газ в реактор 41 первого этапа реакции и в реактор 61 второго этапа реакции. Кроме того, легко устанавливать и регулировать конкретные оптимальные технологические режимы в соответствии с характеристиками компонентов и реакций сырьевого материала и регулировать компоненты в конечном продукте. Можно также уменьшить размеры оборудования и снизить потребление энергии при улучшении экономических показателей.

Вышеописанное устройство может служить в качестве установки с порционным режимом работы или как установка с непрерывным циклом работы посредством подачи сырьевого материала в первую реакционную установку 41 через канал 80 подачи сырьевого материала и посредством передачи частично металлизированного сырьевого материала, полученного в первой реакционной установке 41, во вторую реакционную установку 61 через канал 81 транспортировки и выгрузки готового карбида железа, полученного во второй реакционной установке 61, через канал 82 разгрузки либо порционно, либо непрерывно. В частности, в случае непрерывного процесса производства можно эффективно получать готовый Fe_3C , имеющий высокую степень карбюризации, или готовый Fe_3C , имеющий небольшие колебания по составу, с использованием реакционной установки с псевдоожиженным слоем, в которой, как описано в пункте 18 формулы настоящего изобретения, внутренняя зона реакции содержит перегородку для создания направленного движения сырьевого материала через зону реакции.

Кроме того, в соответствии с вариантом, показанным на фиг. 16, когда между первым контуром 40 циркуляции газа и вторым контуром 60 циркуляции газа предусмотрены соединительные каналы 101 и 102 для подачи части газа, содержащего высокую концентрацию водорода в первом контуре 40 циркуляции газа, во второй контур 60 или для подачи части газа, содержащего высокую

концентрацию метана во втором контуре 60 циркуляции газа, в первый контур 40 циркуляции газа. Каналы 101 и 102 делают возможной подачу конкретного компонента реакционного газа (например, водорода, метана и т.п.) в количестве, соответствующем количеству расходуемого газового компонента, которое в свою очередь соответствует степени реакции в соответствующем реакторе, и делают возможным эффективное регулирование концентрации компонентов реакционного газа.

Как следует из пункта 17 формулы настоящего изобретения, первую и вторую стадии процесса реакции предпочтительно выполнять, используя реакторы с псевдооживленным слоем.

Согласно устройству для получения карбида железа по п. 17 настоящего изобретения и первый и второй этапы процесса реакции соответственно выполняют в реакторе с псевдооживленным слоем. Реактор с псевдооживленным слоем позволяет оптимизировать реакцию, в которой содержащий железо сырьевой материал для получения железа приходит в контакт с восстановительным и карбюризирующим газом для превращения в карбид железа. В реакторе с псевдооживленным слоем реакция происходит однородно, при этом мелкодисперсный содержащий железо сырьевой материал загружают в верхнюю часть реактора, а реакционный газ подают в нижнюю часть реактора. Подача и выгрузка сырьевого материала и готового продукта могут осуществляться непрерывно. Кроме того, благодаря большой площади контакта сокращается продолжительность реакции.

Как следует из пункта 18 формулы настоящего изобретения, реактор с псевдооживленным слоем предпочтительно имеет перегородки для предотвращения прямого перемещения частиц сырьевого материала от входа до выхода из реактора.

Согласно устройству для получения карбида железа по п. 18 настоящего изобретения реактор, снабженный перегородками для предотвращения прямого перемещения частиц сырьевого материала от входа до выхода, представляет собой реактор с псевдооживленным слоем. Такой реактор предотвращает смешивание сырьевого материала и продукта реакции внутри реактора. При этом может быть повышена степень превращения в готовый Fe_3C . Обычно в одном реакторе с псевдооживленным слоем без перегородок трудно получить увеличение степени превращения, и, таким образом, степень превращения повышают посредством соединения нескольких реакторов последовательно. Согласно настоящему изобретению можно получить высокую степень превращения при реакции, используя только один реактор с псевдооживленным слоем, имеющий перегородки.

Можно предотвратить от смешивания сырьевых материалов (т.е. подаваемого материала) на входе реактора и готового продукта на выходе, и, следовательно, реакция может проходить однородно.

Как следует из пункта 19 формулы настоящего изобретения, первый и второй этапы процесса реакции при получении содержащего железо сырьевого материала

для производства чугуна, который содержит в основном грубые частицы, выполняют предпочтительно в прямоугольном вертикальном реакторе с подвижным слоем, снабженном многослойной впускной и вентилируемой выпускной камерами, помещенными на соответствующей высоте вдоль противоположных прямоугольных стенок, так что газ течет через реактор горизонтально, а загружаемый материал течет вертикально, как, например, в печи, показанной на фиг. 21.

Согласно устройству для получения карбида железа по п. 19 настоящего изобретения можно эффективно получать содержащий железо сырьевой материал для производства чугуна, даже если сырьевой материал содержит большое количество крупных частиц, имеющих диаметр более 6 мм. По способу настоящего изобретения количество реакционного газа является относительно большим, а реакционный газ достаточно хорошо контактирует с твердыми частицами. Реактор с псевдооживленным слоем пригоден как реакционная установка для мелкодисперсного сырьевого материала. В случае сырьевых материалов, содержащих большое количество крупных частиц, например, имеющих диаметр более 6 мм, для получения псевдооживленного требуется большое количество реакционного газа. В этом случае, однако, в реакторе с вертикальным подвижным слоем необходим горизонтальный поток газа, для того чтобы снизить потери давления и привести сравнительно большое количество газа в контакт с вновь поступающим газом, однородно, вдоль вертикального направления. При этом можно подавать реакционный газ однородно, вдоль вертикального направления посредством подачи реакционного газа через впускную и вентилируемую выпускную камеры, расположенные на соответствующих уровнях противоположных прямоугольных стенок реактора.

Первую и вторую стадии процесса реакции можно проводить, используя один вертикальный реактор с подвижным слоем, посредством присоединения верхних впускной и вентилируемой выпускной камер к каналу подачи реакционного газа и к каналу отходящего газа для первого этапа процесса соответственно и присоединения нижних впускной и вентилируемой выпускной камер к каналу подачи реакционного газа и к каналу отходящего газа для второго этапа процесса реакции. В этом случае можно предотвратить смешивание реакционных газов первого и второго этапов реакции посредством регулирования расстояния между самой нижней вентилируемой камерой для газа первого этапа реакции и самой верхней вентилируемой камерой для газа второго этапа реакции за один или два приема, насколько позволяет расстояние между стенками при течении газа в печи в горизонтальном направлении.

Как понятно из вышесказанного, способ и устройство для производства карбида железа в соответствии с настоящим изобретением имеют следующие преимущества.

(1) Согласно способу получения карбида железа по пункту 1 настоящего изобретения может быть сокращена продолжительность

реакции. Реакцию можно проводить при высокой температуре без возникновения слипания, и, следовательно, можно дополнительно увеличить скорость реакции, и продолжительность реакции может быть сокращена. Так что устройство, имеющее одинаковые размеры с устройством, использующим традиционный способ, дает поэтому повышение производительности. Скорость течения восстановительного и карбюризирующего газов, потребная для первого и второго этапов процесса реакции, может быть существенно снижена, благодаря увеличению температуры реакции, сокращению продолжительности реакции и т.д. Таким образом, даже хотя требуются две системы для циркуляции реакционного газа, а устройство является сложным, способ дает достаточный экономический эффект за счет снижения скорости течения реакционного газа в процессе производства.

Кроме того, поскольку могут быть использованы различные виды регулировки в каждой фазе реакции, которые нельзя выполнить в обычного типа способе при получении карбида железа, таком как единый процесс, описанный в упомянутой выше публикации перевода с японского языка Заявки на патент по договору о патентной кооперации 6-501963 (PCT/US91/05198), способ согласно изобретению является гибким процессом, позволяющий легко регулировать параметры процесса, такие как степень превращения и скорость реакции.

(2) Согласно способу получения карбида железа по п. 2 формулы настоящего изобретения описанные выше преимущества в абзаце (1) могут быть применены при использовании газа, который уже имеется в наличии.

Количество газа для риформинга при получении водорода и окиси углерода может быть снижено по сравнению с обычного типа процессом, в котором используют газ, содержащий окись углерода (CO) в качестве основного компонента реакции карбюризации, как описано в публикациях 6 и 7. Кроме того, снижается потребление энергии, и размеры оборудования могут быть меньше.

Помимо этого по сравнению с обычного типа процессом, предложенным в патенте ФРГ 4320359, может быть существенно сокращена продолжительность реакции на первом этапе процесса, который включает добавление порции карбюризирующего реакционного газа к отходящему реакционному газу второго этапа процесса и использованию полученного в результате газа на первом этапе реакции, что обеспечивает возможность достижения экономического эффекта за счет уменьшения размеров оборудования.

(3) Согласно способу получения карбида железа по п. 3 формулы настоящего изобретения даже в случаях использования в реакции в качестве содержащего железо сырьевого материала не гематита, а другого материала, например других оксидов или гидроксидов железа, или их смеси с металлическим железом, включающим порошок и окалину металлургического производства, первый этап процесса реакции можно выполнять для восстановления сырьевого материала до определенного соотношения

восстановления/содержание металлического железа независимо от состояния оксидов железа, входящих в содержащий железо сырьевой материал, или состояния смеси металлического железа и т.п., которые годятся для подачи на второй этап процесса реакции. В результате в качестве подходящего компонента газа для основных реакций восстановления и карбюризации на втором этапе процесса реакции может быть использован метан. Таким образом, процесс может выполняться гибко, при сокращении продолжительности реакции и уменьшении количества реакционного газа.

Когда готовый карбид железа используется в качестве содержащего железо сырьевого материала в печах при производстве железа и стали, можно загружать готовый Fe_3C , имеющий предварительно установленные свойства для выполнения требуемых функций, таких как функция источника железа и энергии или функция ускорения рафинирующего действия, благодаря CO_2 , выделяющемуся при взаимодействии кислорода в остаточном оксиде с углеродом карбида железа, при проявлении преимуществ, описанных выше в абзацах (1) и (2) в соответствии с требованиями технологии соответствующей печи.

Кроме того, посредством регулирования степени металлизации на первом этапе процесса реакции в диапазоне от 25 до 70% атомн. метан можно добавлять исключительно на втором этапе процесса реакции, и может быть сокращена полная продолжительность реакции. Посредством установления степени металлизации в пределах диапазона от 30 до 65% атомн. полная продолжительность реакции может быть минимизирована. Посредством установления степени конечного превращения в карбид железа упомянутого сырьевого материала для металлургического производства по меньшей мере до 75% атомн. можно получать сырьевой материал для производства чугуна и стали, имеющий оптимальную степень превращения.

(4) Согласно способу получения карбида железа по пунктам 4 и 5 формулы настоящего изобретения преимущества, описанные выше в абзаце (1), можно использовать при применении газовых композиций, которые уже имеются в наличии.

(5) Согласно способу получения карбида железа по пункту 6 формулы настоящего изобретения скорость реакции восстановления можно регулировать и, следовательно, можно регулировать степень восстановления и продолжительность реакции, требуемые для получения предварительно установленной степени восстановления на первом этапе процесса реакции.

Скорость реакции карбюризации можно регулировать и следовательно, можно регулировать степень карбюризации (т.е. степень превращения в карбид железа) и продолжительность реакции, требуемые для получения предварительно установленной степени карбюризации на втором этапе процесса реакции. Следовательно, можно точно регулировать реакцию до предварительно установленной степени карбюризации с предотвращением выделения

свободного углерода.

(6) Согласно способу получения карбида железа по пункту 7 формулы настоящего изобретения количество газообразного водорода, выделяемого из метана в процессе реакции карбюризации на втором этапе процесса реакции, и количество водорода, потребного для реакции восстановления, можно регулировать для получения по существу одинакового количества, и, таким образом, второй этап процесса реакции можно выполнять просто посредством подачи карбюризирующего газа с учетом химического равновесия реакции. Следовательно, необходимо производить комплексную регулировку состава реакционного газа. Даже если используют циркуляцию реакционного газа, газообразные водород и метан могут подаваться соответственно на первый и второй этапы процесса реакции, и поэтому легко выполнять такую процедуру, как регулирование состава реакционного газа.

(7) Согласно способу получения карбида железа по пункту 8 формулы настоящего изобретения достигают соответствующего состояния процесса производства, которое поддерживает уровень выхода готового карбида железа и предотвращает выделение свободного углерода.

(8) Согласно способу получения карбида железа по пункту 9 формулы настоящего изобретения можно выбрать температуру реакции, которая обеспечивает проявление вышеописанных преимуществ при увеличении скорости реакции без неблагоприятного влияния на теплостойкость конструкций реакторов.

(9) Согласно способу получения карбида железа по пункту 10 формулы настоящего изобретения такие недостатки, как появление слипания, выделение свободного углерода и т.д., не возникают, и можно достичь сокращения продолжительности реакции посредством увеличения температуры процесса реакции, как показано на фиг. 3 и 4. Формой остаточного железа в готовом карбиде железа может быть магнетит (Fe_3O_4), который стабилен к влажности воздуха посредством установки температуры реакции приблизительно $575^{\circ}C$ или менее, как показано на фиг. 15. Таким образом, способ по настоящему изобретению демонстрирует гибкость в отношении регулирования параметров реакции.

(10) Согласно способу получения карбида железа по пункту 11 формулы настоящего изобретения температура реакции является достаточной, чтобы предотвратить снижение скорости превращения в карбид железа, при сокращении продолжительности реакции и достижении экономического эффекта за счет оборудования.

(11) Согласно способу получения карбида железа по пункту 12 формулы настоящего изобретения область, в которой на диаграмме равновесия системы Fe-H-O при восстановлении присутствуют FeO и Fe, широкая, а область существования магнетита может быть узкой. Поэтому снижение скорости реакции карбюризации из-за присутствия магнетита подавляется, а продолжительность реакции сокращается.

(12) Согласно способу получения карбида железа по пункту 13 формулы настоящего изобретения концентрация окиси углерода и

диоксида углерода в реакционном газе может быть повышена. В результате скорость реакции карбюризации может быть существенно повышена, как показано на фиг. 11.

(13) Согласно способу получения карбида железа по пункту 14 формулы настоящего изобретения давление является достаточным для достижения вышеописанного преимущества, при этом возможно сокращение продолжительности реакции и получение удовлетворительного экономического эффекта.

(14) Согласно способу получения карбида железа по пункту 15 формулы настоящего изобретения можно предотвратить агломерацию сырьевого материала и его затрудненное движение из-за конденсации пара, выделяющегося в начале реакции. Таким образом, устраняются такие недостатки, как снижение скорости реакции, степени превращения и т.д.

(15) Способ по пунктам 1-15 формулы настоящего изобретения может выполняться при использовании устройства для получения карбида железа по пункту 16 настоящего изобретения. В устройстве промышленного масштаба сокращается продолжительность реакции и уменьшается потребление энергии, а размеры оборудования меньше по сравнению с устройством, используемым в традиционном способе, как показано в табл. 5а, колонка в конце справа.

(16) Согласно способу получения карбида железа по пункту 17 формулы настоящего изобретения реакцию оптимизируют посредством приведения твердого содержащего железо сырьевого материала для производства чугуна в контакт с восстановительным и карбюрирующим газом для превращения в карбид железа.

(17) Согласно способу получения карбида железа по пункту 18 формулы настоящего изобретения скорость реакции может быть увеличена. Поэтому количество реакторов с псевдоожиженным слоем может быть уменьшено.

Существует также возможность предотвратить смешивание сырьевого материала на входе с готовым Fe_3C на выходе реактора, и, следовательно, реакция может протекать однородно. Кроме того, может быть получен готовый продукт, имеющий высокую степень превращения карбида железа, в реакции, имеющей то же самое среднее время пребывания в реакторе.

(18) Согласно способу получения карбида железа по пункту 19 формулы настоящего изобретения может быть достигнута высокая эффективность использования реакционного газа и высокая степень превращения в карбид железа, несмотря на использование сырьевого материала, содержащего главным образом крупные частицы, которые, как правило, не годятся для псевдоожижения, и оборудование может быть использовано при промышленном производстве.

Краткое описание чертежей

Фиг. 1 представляет собой схему, иллюстрирующую опытное устройство для использования на практике способа получения карбида железа, согласно одному из вариантов настоящего изобретения;

Фиг. 2 представляет собой график изменения состава сырьевого материала

(подаваемый материал) по времени по результатам эксперимента (А), выполненного с использованием опытного устройства фиг. 1;

Фиг. 3 представляет собой график изменения состава сырьевого материала (подаваемый материал) по времени по результатам эксперимента (В), выполненного с использованием опытного устройства фиг. 1;

Фиг. 4 представляет собой график изменения состава сырьевого материала (подаваемый материал) по времени по результатам эксперимента (С), выполненного с использованием опытного устройства фиг. 1;

Фиг. 5 представляет собой схему, иллюстрирующую один из вариантов устройства для получения карбида железа, который используют для практического освоения способа получения карбида железа согласно одному из вариантов настоящего изобретения;

Фиг. 6 (а) представляет собой продольное сечение, иллюстрирующее реактор с псевдооживленным слоем, который можно использовать в промышленном устройстве фиг. 5, а фиг. 6(б) представляет собой поперечное сечение упомянутого реактора;

Фиг. 7 (а)-7 (е) представляют собой поперечные сечения, иллюстрирующие разные варианты реактора с псевдооживленным слоем фиг. 6;

Фиг. 8 представляет собой график, иллюстрирующий зависимость между температурой реакции ($^{\circ}\text{C}$) и временем реакции (мин) в реакции восстановления железной руды;

Фиг. 9 представляет собой диаграмму равновесия системы Fe-H-O;

Фиг. 10 представляет собой таблицу, иллюстрирующую взаимосвязь между типами газа в реакции карбюризации и необходимым количеством продуктов реформинга пар-газ;

Фиг. 11 (а) представляет собой график, иллюстрирующий зависимость между концентрацией окиси и двуокиси углерода и скоростью карбюризации, а фиг. 11 (б) представляет собой график, иллюстрирующий соотношение увеличения/уменьшения окиси углерода в реакционном газе;

Фиг. 12 представляет собой схему, иллюстрирующую взаимосвязь между реакцией восстановления и реакцией карбюризации в процессе, где из оксида железа получают карбид железа,

Фиг. 13 (а) представляет собой график, иллюстрирующий взаимосвязь между скоростью карбюризации и отношением металлическое железо/оксид железа, а фиг. 13 (б) представляет собой таблицу, иллюстрирующую примеры кажущейся скорости реакции карбюризации для каждого сырьевого материала;

Фиг. 14 (а) и (б) представляют собой графики, иллюстрирующие зависимость между степенью металлизации и продолжительностью реакции на первом этапе процесса реакции;

Фиг. 15 (а) представляет собой график, иллюстрирующий зависимость между скоростью циркуляции газа и температурой/давлением, а фиг. 15 (б) представляет собой таблицу, иллюстрирующую состав продукта;

Фиг. 16 представляет собой схему, иллюстрирующую другой вариант устройства для получения карбида железа, который используют для практического освоения способа получения карбида железа, согласно одному из вариантов настоящего изобретения;

Фиг. 17 представляет собой график в связи с таблицей 1, иллюстрирующий изменение состава отходящего газа после реакции по отношению к составу газа на входе;

Фиг. 18 представляет собой график в связи с таблицей 2, иллюстрирующий изменение состава газа на выходе после реакции по отношению к составу газа на входе;

Фиг. 19 представляет собой график, иллюстрирующий результаты эксперимента по влиянию давления газа при использовании экспериментального устройства в условиях теплового баланса при реакции карбюризации;

Фиг. 20 представляет собой схему, иллюстрирующую один из вариантов стендовой экспериментальной установки для испытания различных сырьевых материалов при разных технологических режимах, с использованием устройства фиг. 5;

Фиг. 21 представляет собой схему, иллюстрирующую один из вариантов вертикального реактора с подвижным слоем, согласно изобретению, который пригоден для получения карбида железа из сырьевого материала с крупными частицами, газ в котором течет горизонтально, а сырьевой материал в твердом состоянии загружается и движется вертикально по реактору; и

Фиг. 22 (а) представляет собой график, иллюстрирующий фиг. 1, 5, 6 и 7 как результаты испытаний холодной модели, которые были выполнены для подтверждения влияния перегородок, находящихся внутри реактора с псевдооживленным слоем, а фиг. 22(б) представляет собой таблицу, иллюстрирующую степень превращения в карбид железа в зависимости от приведенных в таблице параметров.

Лучший вариант выполнения изобретения

Далее последует описание экспериментов по практическому освоению способа получения карбида железа согласно настоящему изобретению и их результатов. Кроме того, последует описание вариантов устройства для получения карбида железа по настоящему изобретению вместе с описанием процесса производства.

(1) Экспериментальное устройство

Один из вариантов экспериментального устройства для практического использования способа получения карбида железа согласно настоящему изобретению включает реактор 1 с псевдооживленным слоем вместе с периферийными устройствами, как показано на схеме фиг. 1. Реактор 1 с псевдооживленным слоем обычно имеет цилиндрическую форму и дополняется электронагревателем 2 для нагрева до предварительно установленной температуры. В этом варианте в качестве основной части реактора 1 с псевдооживленным слоем была использована труба, имеющая номинальный диаметр 50 мм. Кроме того, по длине реактора с псевдооживленным слоем были размещены датчики 3а, 3б, 3с, 3д, 3е и 3ф

контроля температуры на высоте 127 мм, 187 мм, 442 мм, 697 мм и 1707 мм от дна до верха реактора 1 с псевдооживленным слоем соответственно для измерения температуры внутри реактора 1.

Бункер 5 соединен с верхней периферийной частью реактора 1 с псевдооживленным слоем посредством канала 4 через бункер-дозатор 6 и несколько клапанов 26 для обеспечения течения мелкодисперсного исходного сырья (например, гематита (Fe_2O_3)), при избыточном давлении, из бункера 5 в реактор 1 с псевдооживленным слоем. Помимо этого, к донной периферийной части реактора 1 с псевдооживленным слоем через канал 7 в технологическую цепь подсоединен холодильник 8, по существу, для охлаждения материала, выгружаемого из рабочего пространства реактора 1.

Нижняя часть реактора 1 с псевдооживленным слоем соединена с газовым баллоном 10 через каналы 11 и 12 для создания потока реакционного газа с предварительно установленным в газовом баллоне 10 составом в реактор 1 с псевдооживленным слоем. Кроме того, между каналами 11 и 12 в технологической цепи предусмотрен сатуратор 13 для насыщения реакционного газа водой.

Каналы 20, 21 и 22 соединены последовательно один за другим, а канал 20 соединен с верхней периферийной частью реактора 1 с псевдооживленным слоем для направления отходящего после реакции газа в установку для сжигания (не показана). Кроме того, пыль из сырьевого материала, содержащуюся в газе, можно удалять, используя пылесборник 23, расположенный в технологической цепи между каналами 20, 21 и фильтром 27, помещенным в канал 21. В канале 21 предусмотрен также газовый холодильник 25 для охлаждения отходящего газа с целью конденсации воды, которая отделяется в дренажном сепараторе 24.

(2) Условия и результаты экспериментов

(А) Во-первых, была выполнена отдельная процедура, то есть обычного типа процесс, когда железная руда, главным образом гематит (т.е. Fe_2O_3), подвергалась каталитической реакции с использованием газовой смеси, содержащей восстановительный газ и каталитический газ, для превращения железной руды в карбид железа (Fe_3C). Условия эксперимента были следующие.

Использованная в эксперименте железная руда имела состав: Fe (65,3% вес.), Al_2O_3 (1,67% вес.), SiO_2 (3,02% вес.) и P (0,080% вес.). Железную руду (3,52 кг) загружали в реактор 1 с псевдооживленным слоем после сортировки частиц по размеру не более 1,0 мм (т.е. мелкодисперсная железная руда, имеющая размер частиц от 1,0 до 0,1 мм, составляла не менее 80% вес., а частицы размером не более 0,068 мм составляли 13,4% вес.). Состав реакционного газа был следующим:

$\text{CO} + \text{CO}_2$: около 5%, $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leq$ около 4%,

$\text{H}_2 + \text{CH}_4$: около 85% ($\text{CH}_4 > \text{H}_2$), $\text{N}_2 \leq$ около 8%.

Затем реакционный газ вводили в реактор 1 с псевдооживленным слоем при

скорости течения 2,15 $\text{Nm}^3/\text{час}$. В реакторе 1 с псевдооживленным слоем поддерживали температуру и давление 590°C и 3 $\text{кгс}/\text{см}^2\text{G}$ соответственно. Данные, полученные при этих условиях эксперимента, по температуре и давлению обобщены и подробно представлены в таблице 1 (см. в конце описания).

В таблице приведены температура (колонка температуры в таблице 1) и давление (колонка давления в таблице 1), которые измеряли каждые 30 минут после начала реакции. В колонках температуры, озаглавленных 127 мм, 187 мм, 442 мм, 697 мм, 1707 мм и "открытая перегородка", приведена температура, измеренная температурными датчиками 3a, 3b, 3c, 3d, 3e и 3f фиг. 1 соответственно. Результаты по составам отходящего газа после реакции, в которой использован поступающий газ исходного состава, приведены на фиг. 17. Состав газа определяли посредством масс-спектрометра, и несколько раз проверяли посредством газовой хроматографии.

Результаты экспериментов, полученные при описанных выше условиях, приведены на фиг. 2. Абсцисса и ордината графика, приведенного на фиг. 2, соответственно представляет время (в часах) и атомную концентрацию железа (например, 90% для Fe_3C означает, что 90% от всего количества атомов железа находятся в Fe_3C). Из графика на фиг. 2 следует, что требуется около 20 часов для получения степени превращения в Fe_3C 93% атомн., чего достаточно для готового карбида железа (Fe_3C).

(В) Выполнили эксперимент по превращению железной руды в карбид железа на этапе способа, в котором сырьевой материал подвергали каталитической реакции с использованием восстановительного газа (здесь и далее именуемый первым этапом процесса реакции), а затем на этапе способа, в котором продукт реакции первого этапа подвергали каталитической реакции с использованием газовой смеси, содержащей восстановительный и реакционный газы (здесь и далее именуемый вторым этапом процесса реакции). Другими словами, эксперимент был разделен на реакцию частичного восстановления и реакцию дальнейшего восстановления и карбюризации в соответствии с настоящим изобретением. Условия эксперимента подробно приведены ниже.

Состав и количество железной руды, загружаемой в реактор 1 с псевдооживленным слоем, скорость течения реакционного газа и давление в реакторе 1 с псевдооживленным слоем были идентичны тем, которые использовали в описанном выше эксперименте (А), но состав реакционного газа и температуру в реакторе 1 с псевдооживленным слоем изменяли. То есть, состав реакционного газа на первом этапе процесса реакции, которая проводилась в течение 3 часов от начала реакции, был следующим:

H_2 : около 74%, N_2 : около 25%.

Спустя три часа после начала первого этапа процесса реакции состав газа, использованного на втором этапе, был

следующим:

$\text{CO} + \text{H}_2\text{O}$: около 6%, $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leq$ около 3,5% ($\text{H}_2\text{O} \leq 1,5\%$),

$\text{H}_2 + \text{CH}_4$: от 80 до 85% ($\text{CH}_4 > \text{H}_2$), $\text{N}_2 \leq 10\%$.

Температура в реакторе 1 с псевдооживленным слоем поддерживалась на уровне 600°C. Данные, полученные при этих условиях эксперимента, обобщены и подробно представлены в таблице 2, которая аналогична вышеописанной таблице 1.

Результаты по составам отходящего газа после реакции, в которой использован поступающий газ исходного состава, приведены на фиг. 18. На первом этапе процесса реакции использовали преимущественно водород, а на втором этапе процесса реакции использовали преимущественно метан с получением результатов, которые совпадают с формулой (7), представляющей собой обобщенную формулу реакции.

Результаты эксперимента, полученные при описанных выше условиях, приведены на фиг. 3, которая аналогична фиг. 2. Из графика на фиг. 3 следует, что требуется около 7,5 часов для достижения степени превращения в Fe_3C 93% атомн., чего достаточно для получения готового карбида железа (Fe_3C), а продолжительность реакции существенно сократилась по сравнению с описанным выше экспериментом (А). Причина состоит в том, что процесс разделен на два этапа, т.е. на реакцию частичного восстановления железной руды на первом этапе и на реакцию дальнейшего восстановления и карбюризации на втором этапе. Таким образом, только с учетом реакции восстановления можно повысить концентрацию водорода на первом этапе процесса реакции. Степень восстановления соответствующих этапов не является чрезмерно большой, и, таким образом, не возникает слипания, и температуру реакции можно повысить приблизительно до 600°C.

(С) И, наконец, выполнили эксперимент по той же методике, что описана выше в эксперименте (В), за исключением варьирования температуры и давления. Обсуждение результатов эксперимента приводится ниже.

Состав и количество железной руды, загружаемое в реактор 1 с псевдооживленным слоем, и скорость течения реакционного газа были идентичны использованному в описанном выше эксперименте (А). Первый этап процесса реакции был выполнен в течение 1,5 часов после начала реакции при использовании реакционного газа, имеющего следующий состав:

H_2 : около 70%, ($\text{N}_2 + \text{CH}_4$): около 30%.

Спустя полтора часа после начала реакции был установлен следующий состав реакционного газа для второго этапа процесса реакции:

$\text{CO} + \text{CO}_2$: около 7%, $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leq 4,0\%$ ($\text{H}_2\text{O} \leq 1,5\%$),

$\text{H}_2 + \text{CH}_4$: от 80 до 85%, $\text{N}_2 \leq 10\%$.

Температуру и давление в реакторе 1 с псевдооживленным слоем поддерживали на уровне 650°C и 5 атм соответственно.

Результаты эксперимента, полученные при описанных выше условиях, приведены в

виде графиков на фиг. 4, которая аналогична фиг. 2 и 3. Из графика на фиг. 4 следует, что требуется около 5,5 часов для достижения степени превращения в Fe_3C 93% атомн., чего достаточно для получения готового карбида железа (Fe_3C), и что продолжительность реакции можно существенно сократить по сравнению с описанным выше экспериментом (А) и аналогично вышеприведенному примеру (В). Скорость превращения в карбид железа в последней части реакции не уменьшилась, поскольку температура была высокой.

(3) Конструкция устройства для получения карбида железа

Для экономически выгодного получения содержащего железо материала, который содержит карбид железа в качестве основного компонента, для производства чугуна в доменных печах, вагранках и т.д. и для производства стали в конвертерах, электропечах и т.д. необходима крупномасштабная установка, способная осуществлять конверсию. Один из вариантов устройства для получения карбида железа согласно настоящему изобретению представлен схематично на фиг. 5.

Как показано на фиг. 5, этот вариант устройства состоит из отделения первого этапа реакции, упоминаемого как контур 40 циркуляции газа первого этапа реакции, для выполнения реакции частичного восстановления железной руды, содержащей главным образом гематит в качестве содержащего железо сырьевого материала для производства чугуна, и из отделения второго этапа реакции, упоминаемого как контур 60 циркуляции газа, для выполнения реакции дальнейшего восстановления и реакции карбюризации. Что касается поточной схемы через отделение первого этапа процесса реакции, то контур 40 образуют каналы 46 и 47, компрессор 42, канал 48, теплообменник 44, канал 49, нагреватель 43, канал 50, реактор 41 с псевдооживленным слоем, канал 51, теплообменник 44, канал 52, газоочиститель 45 и канал 53. Таким образом, реакционный газ вводится вблизи донной части реактора 41 с псевдооживленным слоем через впускное отверстие и проходит последовательно через канал 47, компрессор 42, канал 48, теплообменник 44, канал 49, нагреватель 43 и канал 50. Реакционный газ выходит вблизи верха реактора 41 с псевдооживленным слоем через канал 51, теплообменник 44, канал 52, газоочиститель 45, канал 53, канал 46 и канал 47, образуя контур циркуляции первого реакционного газа. Циркуляция реакционного газа, текущего снизу вверх реактора 41 с псевдооживленным слоем, обеспечивается компрессором 42. В теплообменнике 44 происходит обмен тепла между реакционным газом, поступающим в реактор 41 с псевдооживленным слоем, и газом, выходящим из реактора 41 с псевдооживленным слоем после завершения реакции, а затем поступающий газ нагревается в газовом нагревателе 43. Газоочиститель 45 состоит из полого корпуса 58, канала 56 для разбрызгивания воды в газ и канала 57 для отвода воды из корпуса 58. Газ, поступающий из реактора 41, охлаждается, а присутствующий в газе пар конденсируется для последующего удаления.

Далее, газ, имеющий предварительно установленный состав, может подаваться в контур 40 по каналу 54, соединенному со стыком между каналами 46 и 47, а предварительно установленное количество газа можно удалять из контура 40 через канал 55, соединенный со стыком между каналами 53 и 46. Состав вводимого и отходящего газов регулируют для поддержания состава реакционного газа, поступающего в реактор 41 с псевдооживленным слоем, предотвращая тем самым изменение состава газа и снижение скорости реакции.

Кроме того, поточная схема второго реакционного газа второго этапа реакции идентична поточной схеме первого реакционного газа по первому контуру 40, как показано на фиг. 5, в которой номер соответствующей позиции элемента оборудования второго контура 60 получается путем прибавления 20 к номеру позиции соответствующих элементов первого контура 40. Описание элементов второго контура 60 и их функции соответствуют представленным выше для первого контура 40.

Что касается поточной схемы сырьевого материала в реакторе, то мелкодисперсная железная руда непрерывно поступает в верхнюю часть реактора 41 с псевдооживленным слоем первого этапа процесса реакции через канал загрузки, включающий канал 80, а сырьевой материал, который уже подвергся реакции частичного восстановления в реакторе 41, из нижней части реактора 41 с псевдооживленным слоем продолжает непрерывно поступать в реактор 61 с псевдооживленным слоем второго этапа процесса реакции по каналу подачи, включающей канал 81. Реакция дальнейшего восстановления и карбюризации выполняется в реакторе 61 с псевдооживленным слоем, и по мере превращения карбид железа непрерывно выгружается через канал 82 утилизации.

Что касается состава газа, используемого соответственно на первом и втором этапах, то первый этап процесса реакции выполняется с использованием восстановительного газа, содержащего главным образом водород, поскольку происходит только реакция восстановления. Для увеличения скорости реакции восстановления концентрация водорода поддерживается высокой, что тем самым делает возможным сокращение продолжительности реакции по сравнению с традиционным процессом. Второй этап процесса реакции выполняется при использовании газовой смеси, содержащей водород и метан, поскольку происходит и реакция восстановления, и реакция карбюризации. Однако, поскольку реакция восстановления уже частично выполнена на первом этапе процесса реакции, реакция карбюризации, таким образом, следует считать более важной. Поэтому концентрация газообразного метана может быть увеличена, для того чтобы повысить скорость реакции карбюризации, что тем самым делает возможным сокращение продолжительности реакции. Для уменьшения концентрации водорода к восстановительному газу, содержащему главным образом водород на первом этапе процесса реакции, можно добавлять предварительно установленное количество газообразного метана. С другой

стороны, можно регулировать скорость реакции карбюризации посредством регулирования концентрации метана на втором этапе процесса реакции, что тем самым делает возможным регулировать продолжительность реакции при минимальном выделении свободного углерода и предварительно установленной степени карбюризации.

В этом варианте устройства для получения карбида железа степень восстановления гематита на первом этапе процесса реакции находилась в диапазоне от 50 до 65% атомн. от полного количества атомов железа. Тем самым, количество водорода, потребного для реакции восстановления на втором этапе реакции, идентично количеству, возникающему при реакции карбюризации. Следовательно, в качестве реакционного газа на второй этап процесса реакции может подаваться только газообразный метан. Причина состоит в том, что, как следует из приведенных выше формул (1)-(4), отношение количества водорода, потребного для реакции восстановления, к тому количеству, которое выделяется в ходе реакции карбюризации, составляет 9:4, если содержание (Fe) является постоянным. Следовательно, это может удовлетворить потребность и подачу газообразного водорода на втором этапе процесса реакции посредством регулирования степени восстановления соответственно на первом этапе и втором этапе процесса реакции приблизительно до 56% атомн., а остальные 44% атомн. стехиометрически. Состав используемого газа, когда устройство работало при вышеописанных условиях, приведен в таблице 3.

Колонки, озаглавленные как первый и второй этапы в таблице 3, соответственно указывают на первый и второй этапы процесса реакции. Колонки с подзаголовками "исходный газ, обезвоженный газ, на входе в реактор и на выходе из реактора" соответственно показывают состав газа, подаваемого из каналов 54 и 74 фиг. 5 в первый и второй циркуляционные контуры 40 и 60, состав газа, удаляемого через каналы 55 и 75, состав газа, поступающего в реакторы 41 и 61, и состав газа, удаляемого из реакторов 41 и 61. Заголовок NCM/T * указывает на скорость течения в $\text{Nm}^3/\text{т}$, где N означает объем реакционного газа при нормальных условиях на тонну (вес в сухом состоянии) сырьевого материала, предназначенного для реакции. При этом давление и температуру в реакторах 41 и 61 поддерживали на уровне 4 атм и 590°C соответственно. Как упоминалось выше, на первом этапе процесса реакции расходовали только водород, а количество газообразного метана почти не изменялось, и поэтому происходила только реакция восстановления. С другой стороны, на втором этапе процесса реакции расходовали только газообразный метан, а количество газообразного водорода не изменялось, и поэтому количество водорода, выделявшегося в реакции карбюризации, находилось в равновесии с водородом, потребляемым в реакции восстановления. Для того, чтобы увеличить скорость реакции карбюризации и сократить продолжительность реакции, работу

устройства регулировали посредством изменения температуры и давления реакции первого и второго этапов процесса реакции до уровня 650 °С и 5 атм. Результаты обобщены в таблице 4, которая аналогична таблице 3. Скорость течения циркулирующего газа в этих двух вариантах была существенно снижена по сравнению с установкой обычного типа.

На основании приведенных выше результатов выполнили расчет энергии, потребляемой для получения готового карбида железа, имеющего степень превращения в Fe₃C 90% атомн. или больше, с помощью устройства, имеющего производительность 500 000 тонн в год, при использовании природного газа. Расчеты приведены в таблице 5b. Количество энергии, потребляемой в традиционных процессах для получения железа прямого восстановлением или карбида железа, описано в публикации 10 и приведено в таблице 5a. Установлено, что по настоящему изобретению получены одинаковые или существенно улучшенные результаты.

(4) Варианты способа получения карбида железа

(а) Степень превращения гематита в карбид железа находится в диапазоне от 90 до 99% атомн., предпочтительно 93% атомн. или более, а более предпочтительно 95% атомн. или более. Чем выше степень превращения, тем больше количество готового Fe₃C.

(b) Температура первого этапа процесса реакции находится в диапазоне от 550 до 750 °С, предпочтительно от 600 до 750 °С. Как описано выше, по настоящему изобретению на первом этапе процесса реакции степень восстановления не достигает высокого значения, и поэтому не возникает слипания, и можно работать при температуре 600 °С или выше. К тому же, температуру реакции поднимают для увеличения скорости реакции.

(с) Температура второго этапа процесса реакции находится в диапазоне от 550 до 750 °С, предпочтительно от 590 до 750 °С. Как только на втором этапе процесса реакции заканчивается реакция восстановления, вслед за ней происходит реакция карбюризации. Поэтому слипания не возникает при температуре от 600 до 700 °С, и может выполняться реакция карбюризации. При этом температуру реакции предпочтительно повышать для увеличения скорости реакции восстановления и карбюризации. Кроме того, как показано на фиг. 9, если температуру реакции повышают до 590 °С или более, то область, где присутствует магнетит (Fe₃O₄), становится узкой, а область, где присутствует FeO, становится широкой на диаграмме равновесия системы Fe-H-O при восстановлении. Присутствие магнетита снижает скорость превращения в карбид железа на конечном этапе реакции карбюризации. Поэтому продолжительность реакции сокращается при сужении области, где присутствует магнетит.

(d) Давление на первом и втором этапах процесса реакции находится в диапазоне от 1 до 9,9 кгс/см²G, предпочтительно от 2 до 5 кгс/см²G. Если давление в реакторах 41 и 61

с псевдоожиженным слоем слишком низкое, то возникают трудности с псевдоожижением железной руды, и поэтому должен быть увеличен диаметр реакторов 41 и 61. С другой стороны, если давление реакции слишком высокое, то это неблагоприятно влияет на сопротивление внутреннему давлению корпусов реакторов 41 и 61 и рабочих клапанов, трубопроводов и т.д.

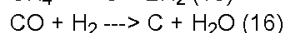
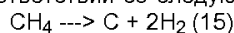
(е) Реакторы 41 и 61 с псевдоожиженным слоем, показанные на фиг. 5, иллюстрируются для упрощения объяснения как отдельный реактор. Однако реакция по настоящему изобретению является каталитической реакцией между твердым материалом и газом, и степень превращения является низкой. Поэтому согласно настоящему изобретению для выполнения реакции можно последовательно соединить несколько реакторов 41 и 61 с псевдоожиженным слоем. Поскольку скорость соответствующих реакций является высокой, то для выполнения реакции может быть достаточно от 1 до 4 реакторов.

(f) Количество пара в реакционном газе, который быстро выделяется в начале первого этапа процесса реакции, сокращают посредством конденсации пара из циркулирующего газа при охлаждении (посредством газоочистителя 45, фиг. 5) или посредством отбора пара, определяемого количеством пара в единицу времени. Посредством уменьшения количества пара могут быть устранены недостатки, связанные с агломерацией сырья из-за конденсации пара и с нарушением однородности сырья при его псевдоожижении. Кроме того, пар можно удалять более эффективно посредством охлаждения циркулирующего газа от 10 до 25 °С.

(g) Пар, выделившийся в реакционный газ на втором этапе процесса реакции, также удаляют посредством его конденсации из циркулирующего газа при охлаждении (посредством газоочистителя 65, фиг. 5). Уменьшение количества пара в реакционном газе на втором этапе процесса реакции оказывает благоприятное влияние, описание которого последует ниже.

То есть, по мере того как уменьшается парциальное давление пара в реакционном газе, на диаграмме равновесия системы Fe-H-O в реакции восстановления (см. фиг. 9) видно, что парциальное давление водорода возрастает. Поэтому область существования магнетита, который вызывает уменьшение скорости превращения в карбид железа, как описано выше, сужается, тогда как область существования Fe и FeO становится шире, что приводит к сокращению продолжительности реакции. Особенно предпочтительно, чтобы концентрация пара в газе, используемом для проведения второго этапа процесса реакции, уменьшалась до диапазона, который можно регулировать при промышленном производстве. Поэтому концентрацию H₂O предпочтительно регулировать не выше 1,5%.

С другой стороны, если пар присутствует в газе, используемом на втором этапе процесса реакции, выделяется свободный углерод в соответствии со следующими реакциями:



Таким образом, когда повышается

давление или увеличивается количество пара, то выделение свободного углерода за счет реакций по формулам (15) и (16) может быть уменьшено. Согласно этому концентрация пара имеет нижний предел, а концентрация H_2O регулируется до не менее чем 0,2% при нормальной работе. Если выделяется углерод, то можно добавлять пар для предотвращения выделения свободного углерода.

(h) На первом этапе процесса реакции, например, газообразный CO_2 удаляется с использованием газоочистителя для CO_2 (например, посредством использования процесса газовой абсорбции растворителем), что приводит к уменьшению концентрации CO и CO_2 , которые связаны химическим равновесием. При уменьшении концентрации CO и CO_2 уменьшается концентрация метана в связи с химическим равновесием, что предотвращает выделение свободного углерода, а затем относительно возрастает концентрация газообразного водорода с увеличением скорости реакции восстановления.

(i) На первом и втором этапах процесса реакции сырьевой материал, поступающий в реакторы 41 и 61 с псевдоожиженным слоем, подогревается до температуры $\pm 100^\circ C$ от температуры реакции. Тем самым могут быть предотвращены агломерация подаваемого сырья из-за конденсации пара, выделившегося в начале реакции восстановления, и нарушения псевдоожижения подаваемого сырья. Так как реакция восстановления является эндотермической, то пар имеет тенденцию к конденсации. Поскольку реакция восстановления на втором этапе процесса реакции протекает быстро, то отчасти существует вероятность, что может возникнуть подобная проблема. Помимо процедуры подогрева можно использовать газ, имеющий температуру, пониженную на $10-100^\circ C$ по отношению к температуре подогрева, для того чтобы при взаимодействии вначале второго этапа процесса реакции уменьшить скорость реакции, тем самым давая возможность предотвратить образование осадка свободного углерода и конденсацию пара.

(j) Степень развития реакции восстановления на первом этапе процесса реакции, т.е. степень восстановления, может быть определена посредством измерения количества пара, находящегося в циркулирующем газе. Если можно определить степень восстановления, то можно легко урегулировать изменение продолжительности реакции посредством изменения количества железной руды.

(k) Скорость реакции восстановления регулируется посредством добавления предварительно установленного количества метана к свежему газу, содержащему в основном водород, на первом этапе процесса реакции. С другой стороны, скорость реакции карбюризации можно регулировать путем добавления предварительно установленного количества углерода к свежему газу, содержащему главным образом метан, на втором этапе процесса реакции. Таким образом, реакцию карбюризации, имеющую высокую активность углерода, можно

регулировать для предотвращения выделения свободного углерода. Далее, скорость течения метана и водорода, которые потребляются на первом и втором этапах процесса реакции, устанавливают стехиометрически по количеству железной руды, подлежащей обработке (упоминаемое как идеальное количество). В связи с этим, как описано выше, количество метана, добавленного на первом этапе процесса реакции, предпочтительно вычитается из идеального количества метана, потребного для второго этапа процесса реакции, а количество водорода, добавляемого на втором этапе процесса реакции, предпочтительно вычитается из идеального количества водорода, потребного для первого этапа процесса реакции.

(l) Обезвоженный газ, выпускаемый из каналов 55 и 75 на первый и второй этапы процесса реакции, предпочтительно направляют в генерирующую H_2 установку для подачи на повторную циркуляцию H_2 .

(m) Если показанные на фиг. 5 нагреватели 43 и 63 используются в качестве камер сгорания, то выделяющиеся отходящие газы утилизируют для подогрева подаваемого сырья для эффективного использования энергии.

(n) На втором этапе процесса реакции можно добавлять $CO + H_2$. Посредством этого увеличивают концентрацию CO и CO_2 в циркулирующем газе второго этапа процесса реакции предпочтительно до приблизительно 30-50%. Присутствие CO и CO_2 может существенно увеличить скорость реакции карбюризации для получения существенного снижения продолжительности реакции.

(o) Температуру исходного сырьевого материала, подаваемого в реакторы 41 и 61, увеличивают до более высокой температуры, чем температуру подогрева в описанном выше абзаце (i) (т.е. от 50 до $150^\circ C$ выше упомянутой температуры подогрева). Наоборот, температуру циркулирующего газа, вводимого в реакторы 41 и 61, уменьшают. Реакции могут выполняться при проведении такой процедуры. Кроме того, если выполняется такая процедура, в таких каналах для циркуляции газа, как 50 и 70, могут быть уменьшены неполадки, связанные с выделением свободного углерода или науглероживанием стали.

(p) Карбид железа, получаемый на первом и втором этапах процесса реакции, необходимо охлаждать, поскольку активность реакции получения Fe_3C является высокой и сопровождается подъемом температуры. Карбид железа предпочтительно охлаждать быстро до температуры, при которой активность реакции является низкой, такой как при подмешивании карбида железа, который был заранее охлажден до температуры окружающей среды, с последующим охлаждением полученной смеси до температуры окружающей среды. В соответствии с этим способом карбид железа может быть быстро охлажден.

Помимо этого, быстрое охлаждение карбида железа производится предпочтительно охлажденным рабочим газом или в атмосфере инертного газа, такого как N_2 , или при избыточном давлении. Таким

образом, предотвращается превращение карбида железа в другие соединения.

Если в устройстве, показанном на фиг. 5, на первом этапе процесса реакции степень частичного восстановления или металлизации в %, равная, например, величине X от FeO_x , изменяется до некоторой величины, а именно большей или меньшей $2/3$ от диапазона, заявленного в пункте 3 формулы настоящего изобретения, то согласно формуле (11), т.е. связь с величиной $FeO_{2/3}$, показанная в таблице 7, излишек или недостаток компонента восстанавливающего газа, в частности количество водорода, возрастает в контуре 60 циркуляции газа второго этапа, тогда как метан синтезируется в соответствии с формулой (13) в контуре 40 циркуляции газа первого этапа, что приводит к таким недостаткам, как снижение скорости реакции восстановления из-за накопления метана.

Как показано на фиг. 16, для преодоления таких недостатков в устройстве фиг. 5 предусмотрены дополнительные каналы 101, 102, 103 и 104 для соединения контуров циркуляции 40 и 60 для соответствующих реакционных газов и для соединения каналов подачи 54 и 74 для газовых компонентов. По дополнительным каналам 101, 102, 103 и 104 дополнительно транспортируется реакционный газ, благодаря чему эффективно используется циркулирующий газ и осуществляются регулирование и контроль компонентов реакционного газа. Далее в таблице 8 в обобщенном виде приводится один из вариантов способа получения карбида железа по настоящему изобретению со ссылкой на фиг. 16.

В варианте, обобщенном в таблице 8, приведены результаты, полученные посредством проведения испытаний с различными содержащими железо сырьевыми материалами для производства чугуна, в которых изменяли степень частичного восстановления на первом этапе процесса реакции, в соответствии с условиями процесса, приведенными на фиг. 3, и при использовании устройства, показанного на фиг. 1, с последующим анализом, как показано на фиг. 14. А именно, было установлено, что на первом этапе процесса реакции при минимизации полной продолжительности реакции в случае сырьевого материала Е для производства чугуна характерная степень металлизации составляла 55,7% атомн., а величина соответствующего FeO_x равнялась приблизительно 0,543. В этом случае величина была равна 0,543, что составляет меньше $2/3$. При использовании метана (CH_4) в качестве основного компонента газа реакции карбюризации к нему в реакционный газ нужно было добавлять водород в связи с недостатком водорода в реакции. Количество добавляемого водорода составляло приблизительно от 40 до 80 Nm^3 на тонну готового карбида железа. В качестве способов подачи водорода использовали два способа, например прямую подачу из канала подачи 54 восстановительного газа через дополнительный канал 103, показанный на фиг. 16, и подачу газа из первого циркуляционного контура 40, содержащего большое количество водорода, через дополнительный канал 101. В первом циркуляционном контуре 40 периодически

повышалось количество метана из-за реакции в соответствии с вышеприведенной формулой (13), и в связи с этим можно было проводить отбор конденсата через канал 55. В этом случае более эффективно подавать газ первого циркуляционного контура 40 во второй циркуляционный контур 60, в который также требуется вводить метан через дополнительный канал 101, тем самым эффективно решая проблему.

В случае сырьевых материалов G для производства чугуна, приведенных в таблице 7, характерная степень металлизации была низкой, всего 31,4% атомн., а величина соответствующего FeO_x была высокой, а именно 0,836, что было выше $2/3$. В отличие от вышеописанного случая в данном случае концентрация водорода в газе второго контура 60 циркуляции реакционного газа возросла на порядок. Это означает, что возрастает количество конденсата, проходящего через канал 75. Для того, чтобы эффективно использовать водород, можно было передавать определенное количество водорода из второго циркуляционного контура 60 в первый циркуляционный контур 40 через дополнительный канал 102 для снижения количества конденсата в канале 75. В случае сырьевого материала G для производства чугуна необходимо отбирать газ в количестве около 160 Nm^3 на одну тонну продукта из второго контура 60 циркуляции реакционного газа, однако более экономично транспортировать газ в количестве около 95 Nm^3 на одну тонну продукта в первый циркуляционный контур 40 через дополнительный канал 102, при отборе приблизительно 65 Nm^3 на одну тонну продукта через канал 75 для использования в качестве топлива в газонагревателе 63.

(5) Результаты испытаний использования различных сырьевых материалов и технологических режимов

Была изготовлена стендовая испытательная установка для испытания сырьевых материалов и технологических режимов при использовании устройства, показанного на фиг. 5, а затем были выполнены особые экспериментальные процедуры. Результаты приведены ниже.

Стендовая испытательная установка имеет конструкцию, представленную на фиг. 20, и включает реактор 1 с псевдооживленным слоем, имеющий внутренний диаметр 200 мм, и второй реактор 2 с псевдооживленным слоем, имеющий внутренний диаметр 250 мм, и в которой каждый реактор снабжен одной перегородкой для регулирования течения железной руды в соответствующем реакторе.

Первый реактор 1 оборудован контуром циркуляции газа с газовым компрессором 60, подогревателем 62 газа, реактором 1, пылесборником 52, устройством 54 быстрого охлаждения газа, газовым накопителем 56 и газовым компрессором 60.

После того, как газ прореагирует с сырьевым материалом в первом реакторе, из него удаляют мелкие частицы в пылесборнике 52, затем его охлаждают с помощью устройства 54 быстрого охлаждения, а воду как продукт реакции удаляют, а затем газ вводят в газгольдер 56.

Таким образом, газ, потребляемый в реакции восстановления (т.е. главным образом водород), подается из контура 59

подачи газа, а избыток газа выходит из контура через канал 57 отбора газа. Затем, после установки предварительно заданного давления и температуры, газ вводится в первый реактор 1 при использовании газового компрессора 60 и газового нагревателя 62.

Второй реактор 2 также снабжен идентичным контуром циркуляции газа, но баллон подачи газа содержит другой газ, поскольку потребляемый во второй реакционной системе газ является другим.

Кроме того, сырьевые материалы нагревают и обеспечивают избыточное давление в подогреваемом бункере 14 сырьевого материала, а затем непрерывно вводят в первый реактор 1 при использовании питателя 15 подогретого сырья. Затем сырьевой материал непрерывно транспортируется во второй реактор 2 при использовании средства 17 транспортировки нагретого до высокой температуры сырьевого материала. Готовый продукт, выгружаемый из второго реактора 2, накапливается в контейнере 19 для хранения нагретого до высокой температуры продукта.

Восстановительный газ и метан для карбюризации подавали отдельно от производственного оборудования посредством смешивания соответствующих газов, которые хранятся в баллонах высокого давления, а теплообменник отсутствовал. Технологический процесс проводился непрерывно в течение от 15 до 20 часов при скорости течения газа от 45 до 200 $\text{Nm}^3/\text{час}$ на первом этапе процесса реакции и скорости течения газа от 60 до 300 $\text{Nm}^3/\text{час}$ на втором этапе процесса реакции при температуре от 500 до 750°C и при давлении от 2 до 7 атмосфер с получением достаточно стабильного состояния.

При этом соответствующими символами на фиг. 20 обозначены следующие элементы:

1 - первый реактор с псевдооживленным слоем (внутренний диаметр: 200 мм, высота слоя: 5 м),

2 - второй реактор с псевдооживленным слоем (внутренний диаметр: 250 мм, высота слоя: 7 м),

3, 4 - изолирующий огнеупорный материал с встроенным дополнительным электронагревателем для первого и второго реакторов,

11 - впускное отверстие для подачи сырьевого материала,

12 - нагревательное устройство для сырьевого материала с изолирующей обмазкой,

13, 16 - герметизирующий клапан,

14 - бункер для подогретого сырьевого материала,

15 - питатель для подогретого сырьевого материала,

17 - устройство для транспортировки нагретых до высокой температуры сырьевых материалов (типа пневматического конвейера),

18 - герметизирующий клапан,

19 - контейнер для хранения нагретого до высокой температуры готового продукта,

31 - баллон для газообразного водорода,

33 - баллон для газообразного CO ,

35 - баллон для газообразного CO_2 ,

37 - баллон для газообразного CH_4 ,

39 - баллон для газообразного CH_4 ,

32, 34, 36 - регулирующий течение клапан, 38, 40, 41 - регулирующий течение клапан, 42 - соединительная труба для

газообразного водорода,

51, 71 - выпускные каналы для газа первого и второго реакторов,

52, 72 - коллекторы выпускных каналов первого и второго реакторов,

53, 73 - выпускные каналы для газа первого и второго реакторов после удаления пыли,

54, 74 - устройства быстрого охлаждения газа первого и второго реакторов,

55, 75 - каналы охлажденного газа первого и второго реакторов,

56, 76 - газгольдеры первого и второго реакторов,

57, 77 - клапаны отбора газа первого и второго реакторов,

58, 78 - каналы циркуляции газа первого и второго реакторов,

59 - вспомогательные каналы подачи газа первого и второго реакторов,

60, 79 - компрессоры циркулирующего газа первого и второго реакторов,

61, 81 - выпускные каналы для газа компрессоров первого и второго реакторов,

62, 82 - нагреватели подогрева газа первого и второго реакторов,

63, 83 - впускные каналы для газа первого и второго реакторов,

64, 84 - перегородки первого и второго реакторов.

На фиг. 15 обобщены результаты эксперимента по влиянию изменения температуры и давления при использовании одной и той же железной руды с гематитом, которая была использована в экспериментах, представленных на фиг. 2, 3 и 4, и с использованием устройства фиг. 20.

Что касается влияния температуры, то, как показано на фиг. 15, если температура реакции возрастает, то не только сокращается продолжительность реакции, но также снижается количество реакционного газа. Оставшееся железо, содержащееся в готовом карбиде железа, превращается в магнетит (Fe_3O_4), который стабилен к влажному воздуху при регулировании температуры реакции приблизительно до 575 °C.

Что касается давления, то, как становится ясно из результатов экспериментов 5, 6 и 7, обобщенных на фиг. 15, количество реакционного газа уменьшается по мере того как давление изменяется в порядке: 7 атмосфер, 3 атмосферы и 5 атмосфер. При этом максимальный эффект достигается при давлении приблизительно от 3 до 6 атмосфер.

Кроме того, при режимах согласно изобретению измеряли скорость реакции карбюризации на втором этапе процесса реакции при различных составах газов и давлениях при температуре 600 °C путем использования небольшого экспериментального устройства с высокотемпературной реакцией в условиях теплового равновесия и при высоком давлении. Результаты обобщены на фиг. 19. Как следует из результатов фиг. 19, при увеличении давления получали сокращение продолжительности реакции. Однако влияние давления начинало уменьшаться приблизительно в диапазоне от 6 до 7

атмосфер.

Результаты испытаний различных железных руд и рецикловых материалов для производства чугуна в металлургической промышленности и использования устройства фиг. 20 обобщены в таблице 6. Технологические режимы испытаний представлены в таблице 4, а именно давление составляло 5 атмосфер, а температура равнялась 650 °С. Компоненты реакционного газа регулировали в диапазоне [состава] компонентов газов на входе первого и второго этапов реакции, как представлено в таблице 4.

Как следует из результатов, приведенных в таблице 6, в готовом продукте содержалось от 1 до 3% непрореагировавшего гематита (Fe_3O_4), даже если продолжительность реакции несколько увеличивалась по сравнению с результатами, показанными на фиг. 4, и в то же время степень карбюризации снижалась ниже, чем по результатам фиг. 4. Из теоретических соображений следует, что причина таких результатов состоит в том, что, хотя внутри реакторов с псевдооживленным слоем первого и второго этапов и предусмотрена перегородка для регулирования течения железной руды и для предотвращения смешивания непрореагировавших материалов с прореагировавшими сырьевыми материалами, имелась только одна перегородка, поскольку диаметр реактора с псевдооживленным слоем был небольшим, а также ширина проходного канала в реакторе с псевдооживленным слоем была узкой по сравнению с высотой слоя, что увеличивает отношение высоты слоя к диаметру. Поэтому псевдооживленное состояние является нестабильным, что приводит к смешиванию сырья с продуктом, и, помимо этого, течение сырьевого материала могло регулироваться недостаточно, что привело в результате к присутствию в готовом продукте Fe_3C от 1 до 3% гематита. В промышленном реакторе, снабженном перегородкой, как показано на фиг. 6 или фиг. 7, эта проблема решена, поскольку диаметр реактора был достаточно большим, и достигалось стабильное псевдооживленное состояние.

(6) Реактор с псевдооживленным слоем
Далее следует описание усовершенствований реактора с псевдооживленным слоем. Как показано на фиг. 6 (а) и 6 (b), для предотвращения прямого перемещения сырья в реакторе из впускного патрубка 92 к выпускному патрубку 93 во внутреннем пространстве цилиндрического корпуса 90 на верхней поверхности распределительной пластины 91 предусмотрены перегородки 94. Поэтому требуется достаточно продолжительное время для перемещения сырья через псевдооживленный слой реактора, и, таким образом, степень превращения возрастает. Обычно, для того чтобы увеличить степень превращения, несколько реакторов с псевдооживленным слоем соединяют последовательно, однако при использовании реактора с псевдооживленным слоем по настоящему изобретению количество требуемых реакторов уменьшается. При использовании реактора с псевдооживленным слоем согласно изобретению можно предотвратить смешивание

непрореагировавшего и прореагировавшего сырья, и, следовательно, сырье в реакторе реагирует в однородных условиях. К тому же, конструкция реактора с псевдооживленным слоем согласно изобретению не ограничена вариантом, показанным на фиг. 6, а может быть любой, в которой обеспечивается удлиненное расстояние для прохода сырья от впускного патрубка 92 к выпускному патрубку 93. Другие варианты показаны на фиг. 7 (а)-7 (е). Из этих вариантов реакторы фиг. 7 (d) и 7 (е) не имеют застойных зон, где по ходу потока в реакторе образуются завихрения или торможение сырья, тем самым обеспечивая более однородное протекание реакции.

На фиг. 22 приведены результаты испытаний холодной модели, выполненных для подтверждения влияния находящихся внутри реактора с псевдооживленным слоем перегородок, и степень превращения в готовый продукт, рассчитанная по этим результатам.

Если перегородка отсутствовала, то 40% от полного количества гранулированного сырьевого материала было выгружено в пределах половины (т.е. 0,5 θ) среднего времени присутствия θ (θ - количество всех частиц, находящихся в реакторе/количество частиц, вводимых или выгружаемых в единицу времени). При этом от 63% до 77% сырьевого материала соответственно было выгружено при θ в пределах 1,5 θ . С другой стороны, если внутреннее пространство того же реактора с псевдооживленным слоем было перегородено на четыре отсека или если внутри реактора предусматривались прямые перегородки, то количество выгружаемого в пределах 0,5 θ сырья составляло от 3% до 14% соответственно.

Как следует из вышеприведенных результатов, если при использовании реактора с псевдооживленным слоем перегородки отсутствовали, то время присутствия частиц в реакторе было коротким, а количество частиц без превращения, попавших в карбид железа, стало больше. Поэтому ожидаемая степень превращения в карбид железа при использовании определенного содержащего железо сырьевого материала для производства чугуна составила около 66%.

Наоборот, если внутри того же самого реактора с псевдооживленным слоем находятся перегородки, идентичные тем, что описаны в вышеприведенных экспериментах, то количество частиц, выгружаемых за малый период времени, уменьшается. Поэтому ожидаемая степень превращения в карбид железа при использовании того же самого содержащего железо сырьевого материала для производства чугуна возросла приблизительно до 90%, когда реактор был разделен на четыре отсека. Если предусмотрены линейные перегородки, то степень превращения увеличилась приблизительно до 84%.

(7) Вариант реактора с вертикальным подвижным слоем

На фиг. 21 представлена схема, иллюстрирующая реактор с вертикальным подвижным слоем, согласно изобретению, в котором газ, подходящий для получения карбида железа из сырьевого материала с крупными частицами, течет горизонтально, а загружаемый сырьевой материал движется

вертикально.

Как показано на фиг. 21, по этому варианту реактор 6 с вертикальным подвижным слоем имеет первую реакционную зону 300 и вторую реакционную зону 400, образующие единый реактор с вертикальным подвижным слоем.

В первой реакционной зоне 300 поступающий реакционный газ 30 для первого этапа процесса реакции вводится по каналу 31 в вентилируемый кожух 23 через впускной коллектор 22 при течении в подвижном слое почти горизонтально, а затем газ выпускается как отходящий реакционный газ 35 первого этапа процесса реакции через вентилируемый кожух 24 и выпускной коллектор 25 по каналам 32 и 34.

При этом во второй реакционной зоне 400 поступающий реакционный газ 40 для второго этапа процесса реакции выпускается как отходящий реакционный газ 47 для второго этапа процесса реакции по каналам 41, 43, 45, 42, 44 и 46.

Перед введением в зону 300 первого этапа реакции в среде поступающего сырьевого материала обеспечивается создание избыточного давления посредством элементов с 1 по 5. Восстановление производится в первой реакционной зоне 300, а дальнейшее восстановление и карбюризация проходят во второй реакционной зоне 400, после чего осуществляются снятие избыточного давления в среде готового продукта посредством элементов с 7 по 11 и полунепрерывная выгрузка.

Каждым соответствующим символом на фиг. 21 обозначены следующие элементы:

- 1 - бункер для загрузки сырьевого материала,
- 2, 4 - газовый герметизирующий клапан,
- 3 - промежуточный бункер для сырьевого материала,
- 5 - бункер с регулирующим средством для загрузки сырьевого материала,
- 6 - прямоугольный реактор с вертикальным подвижным слоем,
- 7 - выходное отверстие для готового продукта,
- 8 - устройство со средством регулирования для выгрузки готового продукта,
- 9, 11 - газовый герметизирующий клапан,
- 10 - промежуточный разгрузочный бункер,
- 22 - впускной коллектор реакционного газа для первого этапа процесса реакции,
- 23 - впускной вентилируемый кожух реакционного газа для первого этапа процесса реакции,
- 24 - выпускной вентилируемый кожух реакционного газа для первого этапа процесса реакции,
- 25 - выпускной коллектор реакционного газа для первого этапа процесса реакции,
- 30 - реакционный газ на входе для первого этапа процесса реакции,
- 31, 33 - входные каналы реакционного газа для первого этапа процесса реакции,
- 32, 34 - выходные каналы реакционного газа для первого этапа процесса реакции,
- 35 - отходящий реакционный газ первого этапа процесса реакции,
- 40 - реакционный газ на входе для второго этапа процесса реакции,
- 41, 43, 45 - входные каналы реакционного

газа для второго этапа процесса реакции,

42, 44, 46 - выходные каналы реакционного газа для второго этапа процесса реакции,

47 - отходящий реакционный газ второго этапа процесса реакции,

52 - впускной коллектор реакционного газа для второго этапа процесса реакции,

53 - впускной вентилируемый кожух реакционного газа для второго этапа процесса реакции,

54 - выпускной вентилируемый кожух реакционного газа для второго этапа процесса реакции,

55 - выпускной коллектор реакционного газа для второго этапа процесса реакции.

Промышленное применение

Как было изложено выше, настоящее изобретение отвечает требованиям к оборудованию, способному сократить продолжительность реакции, снизить потребление реакционного газа и энергии, позволяющему использовать оборудование меньших размеров и производить карбид железа эффективно и экономично.

Формула изобретения:

1. Способ получения карбида железа, включающий частичное восстановление железной руды, содержащей гематит в качестве основного компонента, посредством циркуляции водорода, полученного риформингом природного газа, дальнейшее восстановление частично восстановленного гематита и его карбюризацию с образованием карбида железа для производства чугуна и стали, отличающийся тем, что первый и второй этапы имеют независимые контуры циркуляции реакционного газа, а также тем, что в качестве карбюризаторного газа на втором этапе используют метан.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что частичное восстановление выполняют, используя восстановительный газ, включающий в основном водород.

3. Способ получения сырьевого материала для производства чугуна и стали, содержащего карбид железа в качестве основного компонента, включающий частичное восстановление материала, содержащего железо, восстановительным газом, содержащим главным образом водород, и дальнейшее восстановление частично восстановленного содержащего железо материала с одновременной карбюризацией, отличающийся тем, что в качестве материала, содержащего железо, используют железную руду или порошок, содержащие по меньшей мере один или смесь более двух оксидов железа, таких, как гематит, магнетит или вюстит, и гидроокиси железа, такие, как гидроокись и гидроксиды железа в качестве основных компонентов, первый и второй этапы реакции имеют независимые контуры циркуляции реакционного газа, причем частичное восстановление ведут до содержания металлического железа в диапазоне 20 - 75 ат. % от полного содержания железа, а в качестве восстановительного и карбюризирующего газа используют водород и метан для получения конечной степени превращения в карбид железа выше 75 ат. % от полного содержания железа.

4. Способ получения карбида по любому одному из пп.1-3, отличающийся тем, что

восстановительный газ, включающий водород в качестве основного компонента на первом этапе реакции, не обладает способностью образовывать карбид железа и имеет состав:

$$\begin{aligned} 0 \leq \text{CO} &\leq 10 \text{ об. \%}, \\ 0 \leq \text{CO}_2 &\leq 10 \text{ об. \%}, \\ 0 \leq \text{CH}_4 &\leq 30 \text{ об. \%}, \\ 40 \leq \text{H}_2 &\leq 100 \text{ об. \%}, \\ 0 \leq \text{H}_2\text{O} &\leq 10 \text{ об. \%}, \\ 0 \leq \text{N}_2 &\leq 25 \text{ об. \%}. \end{aligned}$$

5. Способ получения карбида железа по любому из пп.1-3, отличающийся тем, что восстановительный и карбюризирующий газ, включающий водород и метан в качестве основных компонентов на втором этапе реакции, имеет следующий состав:

$$\begin{aligned} 0,5 \leq \text{CO} &\leq 15 \text{ об. \%}, \\ 0,5 \leq \text{CO}_2 &\leq 15 \text{ об. \%}, \\ 20 \leq \text{CH}_4 &\leq 100 \text{ об. \%}, \\ 0 \leq \text{H}_2 &\leq 45 \text{ об. \%}, \\ 0 \leq \text{H}_2\text{O} &\leq 1,5 \text{ об. \%}, \\ 0 \leq \text{N}_2 &\leq 20 \text{ об. \%}. \end{aligned}$$

6. Способ получения карбида железа по любому из пп.1-5, отличающийся тем, что в восстановительный газ на первом этапе реакции добавляют метан, а в восстановительный и карбюризирующий газ на втором этапе реакции добавляют водород или метан.

7. Способ получения карбида железа по любому одному из пп.1-6, отличающийся тем, что на первом этапе реакции гематит, как содержащий железо сырьевой материал, частично восстанавливающего газа в количестве 50-65 мас. %.

8. Способ получения карбида железа по любому из пп.1-7, отличающийся тем, что конечная степень превращения гематита, как содержащего железо сырьевой материала для производства чугуна, в карбид железа составляет 90-99 ат. % от полного содержания железа.

9. Способ получения карбида железа по любому из пп.1-8, отличающийся тем, что реакцию на первом этапе проводят при температуре 550-750°C.

10. Способ получения карбида железа по любому из пп.1-8, отличающийся тем, что реакцию на втором этапе проводят при температуре 550-750°C.

11. Способ получения карбида железа по любому из пп.1-10, отличающийся тем, что реакцию на втором этапе проводят при температуре 590-750°C.

12. Способ получения карбида железа по любому из пп.1-11, отличающийся тем, что парциальное давление пара в восстановительном и карбюризирующем газе уменьшают посредством удаления водяного пара из восстановительного и карбюризирующего газа перед выполнением реакций дальнейшего восстановления и карбюризации на втором этапе реакции.

13. Способ получения карбида железа по любому из пп.1-12, отличающийся тем, что в реакционный газ, используемый на втором этапе реакции, добавляют двуокись углерода и водород.

14. Способ получения карбида железа по любому из пп.1-13, отличающийся тем, что первый и второй этапы реакции выполняют при реакционном манометрическом давлении 2-10,9 кгс/см².

15. Способ получения карбида железа по любому из пп.1-14, отличающийся тем, что содержащий железо сырьевой материал предварительно нагревают или охлаждают до температуры $\pm 100^\circ\text{C}$ от температуры реакции перед выполнением первого и второго этапов реакции.

16. Устройство для получения сырьевого материала, содержащего карбид железа, используемого в производстве чугуна или стали, путем восстановления и карбюризации содержащего железо сырьевого материала, включающее первую реакционную установку для частичного восстановления содержащего железо сырьевого материала, снабженную каналом для его подачи, вторую реакционную установку для дальнейшего восстановления и карбюризации частично восстановленного сырьевого материала, снабженную каналом для его подачи, оперативно соединенным с ее верхней частью и выходящим из нижней части первой реакционной установки, а также каналом для выпуска карбида железа, оперативно связанным с нижней частью второй реакционной установки, циркуляционный контур для реакционного газа, оперативно соединенный с каналом подачи восстановленного и карбюризирующего газа, включающий каналы подачи газа в первую и вторую реакционные установки, присоединенные к впускным отверстиям для газа этих установок, через компрессор и нагреватель, отличающееся тем, что канала подачи содержащего железо сырьевого материала, такого, как получаемая в процессах черной металлургии железная руда или порошок, содержащие в качестве основных компонентов по меньшей мере один или смесь более двух оксидов железа, таких, как гематит, магнетит и вюстит, гидроксиды, такие, как гидроокись или гидроокись железа в качестве основных компонентов, соединен с верхней частью первой реакционной установки, причем циркуляционный канал, выходящий из выпускного отверстия для газа этой установки, присоединен к каналу подачи газа в нее, а вторая реакционная установка оперативно соединена со вторым циркуляционным контуром, один конец которого присоединен к ее впускному отверстию для газа через второй компрессор и второй нагреватель, а другой конец второго циркуляционного контура, выходящий из выпускного отверстия для газа второй реакционной установки, присоединен к каналу подачи газа в нее, причем канал подачи газа в первую реакционную установку оперативно соединен с каналом подачи восстановительного газа, содержащего главным образом водород, а канал подачи газа во вторую реакционную установку оперативно соединен с каналом подачи восстановительного и карбюризирующего газа, содержащего в основном метан, обеспечивая тем самым непрерывную подачу газов в первую и вторую реакционные установки.

17. Устройство для получения карбида железа по п.16, отличающееся тем, что первая реакционная установка и вторая реакционная установка соответственно включают реактор с псевдоожиженным слоем.

18. Устройство для получения карбида железа по п.17, отличающееся тем, что реактор с псевдоожиженным слоем имеет

перегородки для предотвращения перемещения сырьевого материала напрямую от входа к выходу.

19. Устройство для получения карбида железа по п.16, отличающееся тем, что первая и вторая реакционные установки включают реактор с вертикальным подвижным слоем, в котором реакционные газы текут горизонтально через многослойные

вентилируемые кожухи, а содержащий железо сырьевой материал и частично восстановленный материал движутся вертикально соответственно через первую и вторую реакционные установки.

5 Приоритет по пунктам:
31.05.95 - по пп.1, 2, 7-9, 12-15, 17, 18;
19.06.96 - по пп.3-6, 10, 16, 19.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

RU 2 1 3 9 2 4 2 C 1

RU 2 1 3 9 2 4 2 C 1

Таблица 1

Время (ч.)	Температура (°C)						Давление
	(от донной части реактора)						
Истекшее	127 мм	187 мм	442 мм	697 мм	1707 мм	Открыт. перегородка	(кгс/см ² G)
0.0	513	517	534	536	526	507	3.0
0.5	214	252	579	578	555	518	3.0
1.0	199	232	577	583	562	528	3.0
1.5	199	223	590	589	574	550	3.0
2.0	202	217	594	596	578	552	3.0
2.5	204	220	595	597	583	556	3.0
3.0	204	220	592	595	585	561	3.0
3.5	206	225	597	600	583	562	3.0
4.0	205	223	598	599	584	563	3.0
4.5	208	227	603	604	583	563	
5.0	205	223	599	599	583	564	
5.5	207	235	612	615	585	564	
6.0	199	220	607	608	582	565	
6.5	206	232	607	607	580	566	
7.0	205	233	609	609	580	566	
7.5	208	235	607	608	579	566	2.5
8.0	205	231	601	603	581	565	
8.5	312	578	595	595	582	564	
9.0	559	566	591	594	581	564	2.9
9.5	568	577	600	600	581	564	3.0

Таблица 1 (Продолжение)

Время (ч.)	Температура (°C)						Давление
	(от донной части реактора)						
Иstekшее	127 мм	187 мм	442 мм	697 мм	1707 мм	Открытая перегородка	(кгс/см ² G
10.0	549	557	586	593	581	564	3.1
10.5	560	571	599	603	581	564	
11.0	559	569	598	600	580	564	
11.5	561	571	597	600	583	564	
12.0	560	570	599	600	583	565	
12.5	556	568	597	599	583	565	
13.0	564	575	605	603	583	566	
13.5	563	574	601	601	582	566	
14.0	551	563	583	587	580	566	
14.5	556	570	600	599	581	566	
15.0	557	568	601	601	581	567	
15.5	555	571	603	602	580	566	
16.0	547	562	597	598	578	566	
16.5	542	561	597	598	579	566	
17.0	215	262	608	610	579	564	
17.5	198	229	599	601	581	563	
18.0	205	228	592	593	579	561	
18.5	205	227	590	591	578	558	
19.0	207	230	589	591	578	556	
19.5	205	227	590	591	583	556	
20.0	204	227	590	592	584	556	

Таблица 2

Время (ч.)	Температура (°C)						Давление
	(от донной части реактора)						
Иstekшее	127 мм	187 мм	442 мм	697 мм	1707 мм	Открытая перегородка	(кгс/см ² G)
0.0	581	583	593	604	590	602	
0.5	576	581	596	604	603	583	
1.0	583	590	601	607	608	576	
1.5	589	594	603	606	591	555	
2.0	592	599	604	608	602	571	
2.5	594	601	606	608	608	571	
3.0	587	592	605	609	614	568	
3.5	590	595	606	608	599	566	
4.0	591	598	607	610	599	559	
4.5	590	596	606	609	608	562	
5.0	590	598	607	609	601	560	
5.5	586	595	606	609	607	561	
6.0	591	597	606	610	599	564	
6.5	588	592	605	609	603	567	
7.0	589	596	605	610	597	568	
7.5	580	587	607	610	598	569	
8.0	589	596	607	610	587	563	
8.5	579	587	611	613	594	570	

RU 2139242 C1

RU 2139242 C1

Таблица 3

	1-й этап, 4 атм., 590°C				2-й этап, 4 атм., 590°C			
	Исходный газ	На входе в реактор	На выходе из реактора	Обезвоженный газ	Исходный газ	На входе в реактор	На выходе из реактора	Обезвоженный газ
%CO+CO ₂	0.20	2.06	2.11	2.68	0.47	2.88	2.84	3.01
%CO ₂ +H ₂	1.60	2.03	23.16	2.17	1.23	1.68	7.14	1.70
%H ₂ +CH ₄	97.80	94.60	73.45	93.51	97.63	94.79	89.41	94.64
%N ₂	0.50	2.48	2.48	3.14	0.95	1.64	1.58	1.68
NCM/T*	411	1618	1619	61	200	3786	3916	103

Таблица 4

	1-й этап, 5 атм., 650°C				2-й этап, 5 атм., 650°C			
	Исходный газ	На входе в реактор	На выходе из реактора	Обезвож. газ	Исходный газ	На входе в реактор	На выходе из реактора	Обезвоженный газ
%CO+CO ₂	0.30	1.96	1.93	2.27	2.59	6.59	6.35	6.77
%CO ₂ +H ₂	0.20	1.58	16.50	1.83	3.49	2.91	9.07	2.87
%H ₂ +CH ₄	99.05	90.96	76.05	89.42	94.52	86.77	80.90	86.41
%N ₂	0.49	6.19	6.20	7.29	1.99	5.61	5.42	5.79
NCM/T*	366	2278	2277	19	156	3433	3556	45

Таблица 5a-5b

Таблица 8a							Таблица 8b
Процесс	WIDREX	HYL III	FIOR	AREX	FIOR II	Прототип изобретения процесс	Настоящее изобретение
Давление	Атмосферное	5 бар	10 бар	Атмосферное	10 бар		3-6 бар
Типовая производительность* (Ммт/год)	1	1	0,4	0,5	1	0,32	0,5
Подводящая мощность (Гкал/Вт)	2,5	2,7	4,0			3,0	2.7
Природный газ галлон/м ³ /т	10/0,379	10,9/0,413	18/0,682	8,7/0,33	13/0,493	13/0,493	11,5/0,436
Эл.энер.(кВтч/м ³ т	125	85	200	70	150	230	130
Степень металлизации	> 92%	> 92%	93%	93%	93%	Fe C>90%	Fe _a C>90%
Содержание углерода в продукте	1-2%	1-4%	0,5%	2%	1,5%	<6% (Fe _a C)	<6% (Fe _a C)

*Ммт/год - миллион метрических тонн в год

Таблица 5a - из публикации 10

Таблица 5b - Пример способа для промышленной установки (мощность 500 000 т/год), согласно настоящему изобретению, и рассчитанной на основании выведенных результатов испытаний

Таблица 6

Результаты производства карбида жезеза при использовании различных содержащих железо сырьевых материалов для производства чугуна						
Образец №	№ 1	2	3	4	5	6
Сорт	Руда генатитовая	Руда магнетитовая	Руда лимонит (содержащая гидроокись железа)	Окалина с прокатных станов с металлургических заводов	Порошок, полученный в конвертере	Порошок, полученный в печи прямого восстановления железа
Состав материала (процентное содержание сульфидной основы)	T.Fe	66,24%	58,9%	72,61%	77,7%	76,0%
	Fe ₂ O ₃	94,9%	2,1%	-	40,4%	47,5%
	FeOON	-	91,5%	-	-	-
	Fe ₃ O ₄	-	90,91%	84,03%	-	-
	FeO	-	-	12,93%	15,3%	15,7%
	M-Fe	-	-	1,75%	37,6%	30,6%
	Рудная порода	5,1%	7,53%	1,29%	6,7%	6,2%
L.O.I	-	-	-	-	-	-

Таблица 6 (Продолжение 1)

Результаты производства карбида железа при использовании различных содержащих железо сырьевых материалов для производства чугуна						
Образец №	№ 1	2	3	4	5	6
Сорт	Руда гематитовая	Руда магнетитовая	Руда лимонитовая (содержащая гидроокись железа)	Окалина с прокатных станнов с металлургических заводов	Порошок, полученный в конвертере ...	Порошок, полученный в печи прямого восстановления железа
Продукт процесса реакции первого этапа	Металлизация (%)	46,2%	47,1%	51,1%	52,0%	50,9%
	X(FeO)	0,731	0,755	0,678	0,661	0,664
	M-Fe	36,25%	43,37%	42,9%	41,27%	40,80%
	Fe ₂ O ₃	5,95%	-	3,94%	2,55%	2,63%
	Fe ₃ O ₄	37,45%	30,03%	35,69%	39,02%	28,91%
	FeO	14,28%	17,71%	15,74%	10,20%	21,07%
Время реакции	1,5 час	1,8 час	1,3 час	1,6 час	0,8 час	1,0 час

Таблица 6 (Продолжение 2)

Результаты производства карбида железа при использовании различных содержащих железно сырьевых материалов для производства чугуна						
Образец №	№ 1	2	3	4	5	6
Сорт	Руда гематитовая	Руда магнетитовая	Руда лимонит (содержащая гидроокись железа)	Окалина спокатных станнов с металлургических заводов	Порошок полученный в пенвертере	Порошок, полученный в печи прямого восстановления железа
Продукт процесса реакции второго этапа	Степень превращения в карбид железа	91,2%	91,9%	93,7%	90,4%	93,2%
	Fe_3C	82,77%	80,90%	84,10%	81,95%	85,20%
	Fe_2O_3	2,61%	-	1,93%	1,23%	1,53%
	Fe_3O_4	2,62%	4,91%	1,78%	5,93%	3,29%
	FeO	4,78%	4,57%	2,97%	3,29%	2,32%
	M-Fe	0,66%	0,36%	0,28%	0,32%	0,68%
	Рудная порода	6,54%	9,25%	8,93%	7,28%	6,97%
Время реакции	4,9 час	5,3 час	5,2 час	5,5 час	5,4 час	5,1 час

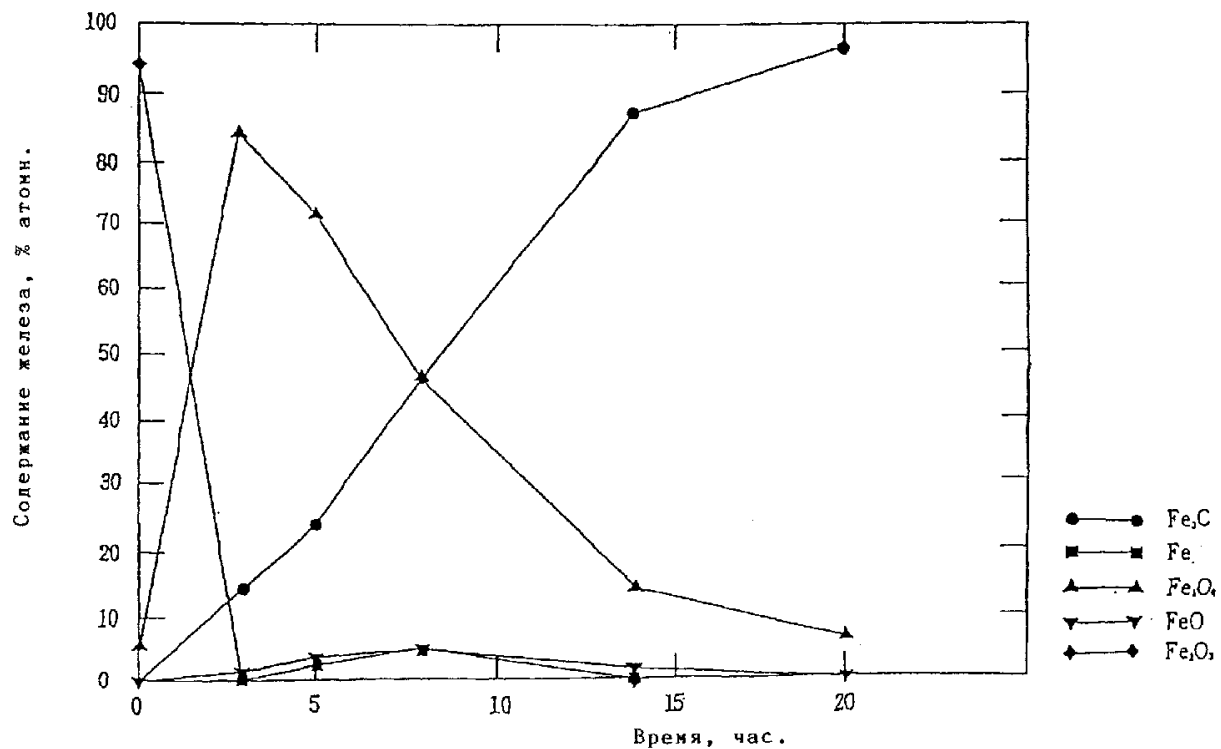
Таблица 7

Пример состава $\text{FeO}_{2/3}$			
Пример состава	Совместное присутствие металличес- кого железа с вюститом	Совместное присут- ствие металличе- ского железа с вюс- титом и магнетитом Отношение числа атомов желе- за в вюстите к чи- слу атомов в маг- нетите составляет 50:50	Совместное присутствие металличес- кого железа с магнети- том
Атомы метал- лического железа (атомные %)	34	43	51
Атомы железа в виде окси- да железа (атомные %)	66	57 (Fe в FeO : 28,5% атомн. Fe в Fe_3O_4 : 28,5% атомн.)	49
Степень вос- становления при использо- вании гемати- та как исход- ного матери- ала (%)	56	56	56
Степень металлиза- ции (%)	34	43	51

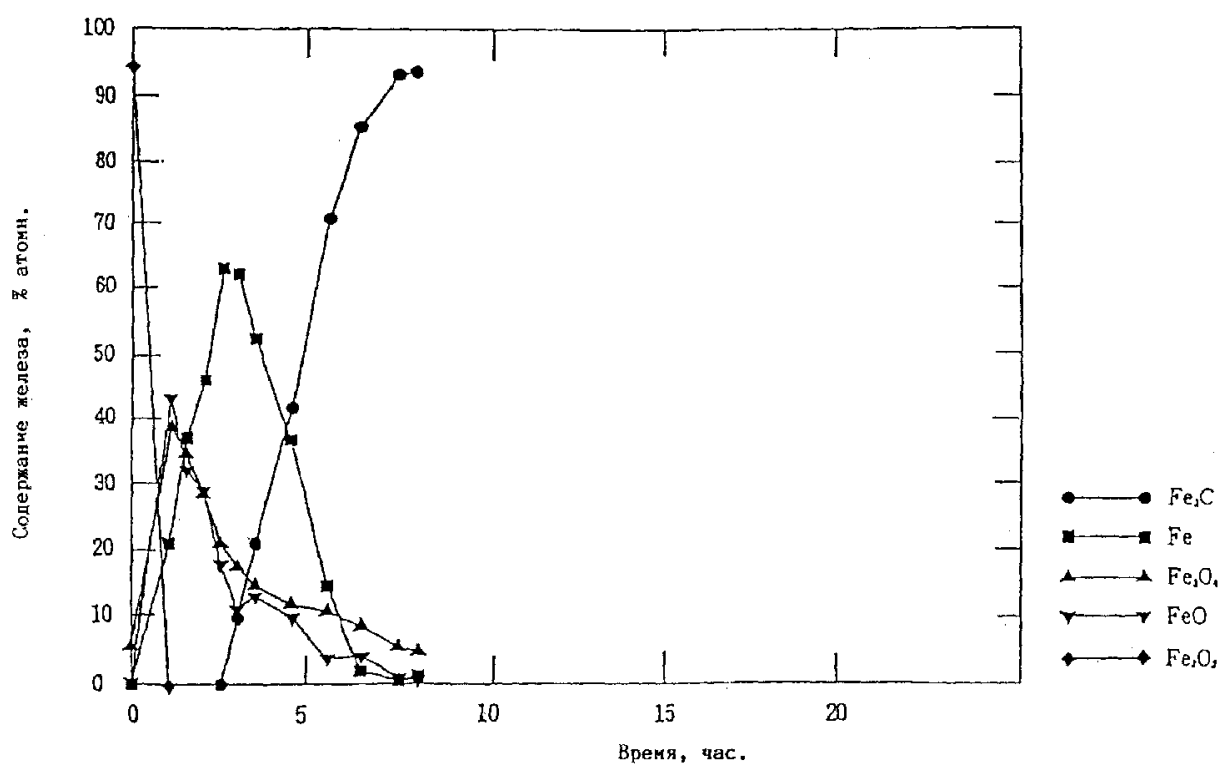
Таблица 8

Виды материалов для получения карбида железа точная степень металлизации на первом этапе процесса реакции			
Сырьевой материал		Материал Е для производства чугуна	Материал Г для производства чугуна
Состав материала	T-Fe	66,0%	66,5%
	Fe_2O_3	91,6%	93,8%
	Fe_3O_4	2,8%	1,4%
	Содержание породы	4,8%	3,6%
	L.O.I	0,8%	1,2%
Степень металлизации на первом этапе процесса реакции при сокращении полной продолжительности реакции и состав ↓			
	X^*	0,543 (<2/3)	0,836 (>2/3)
	Степень металлизации	55,7%	31,4%
	T-Fe	81,4%	77,2%
	M-Fe	45,4%	24,2%
	FeO	14,4%	23,8%
	Fe_3O_4	34,3%	47,8%
	Содержание породы	5,8	4,1%

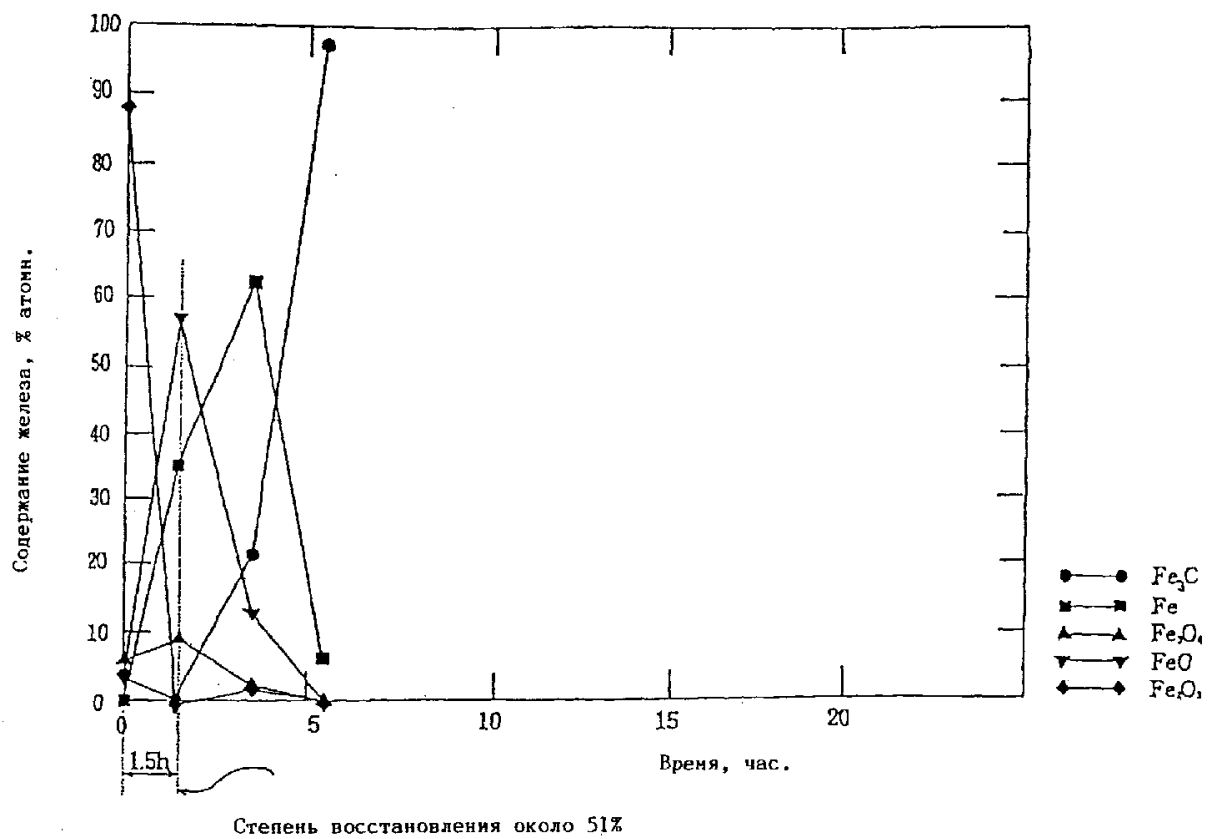
*X означает численное значение x в FeO_x

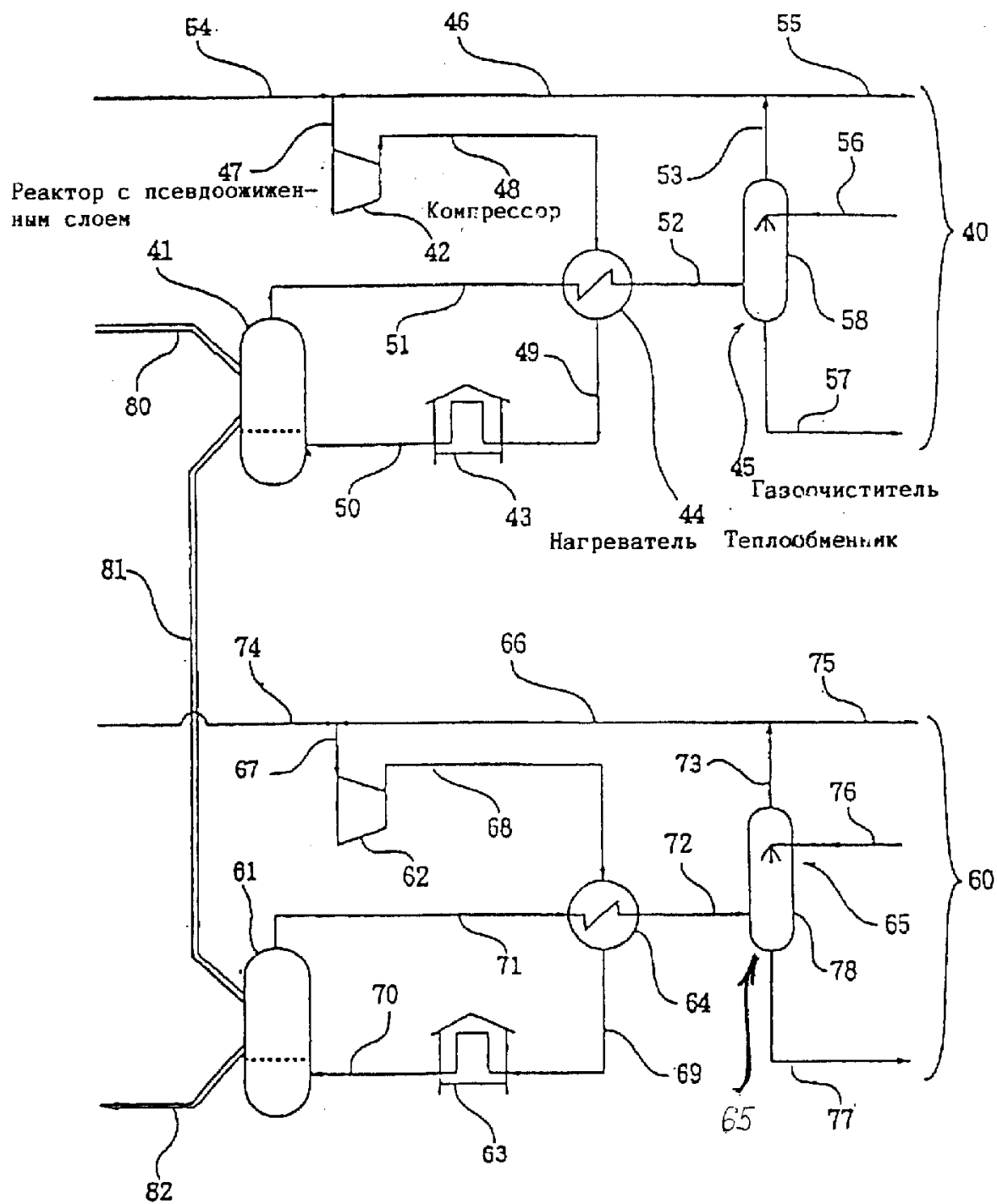


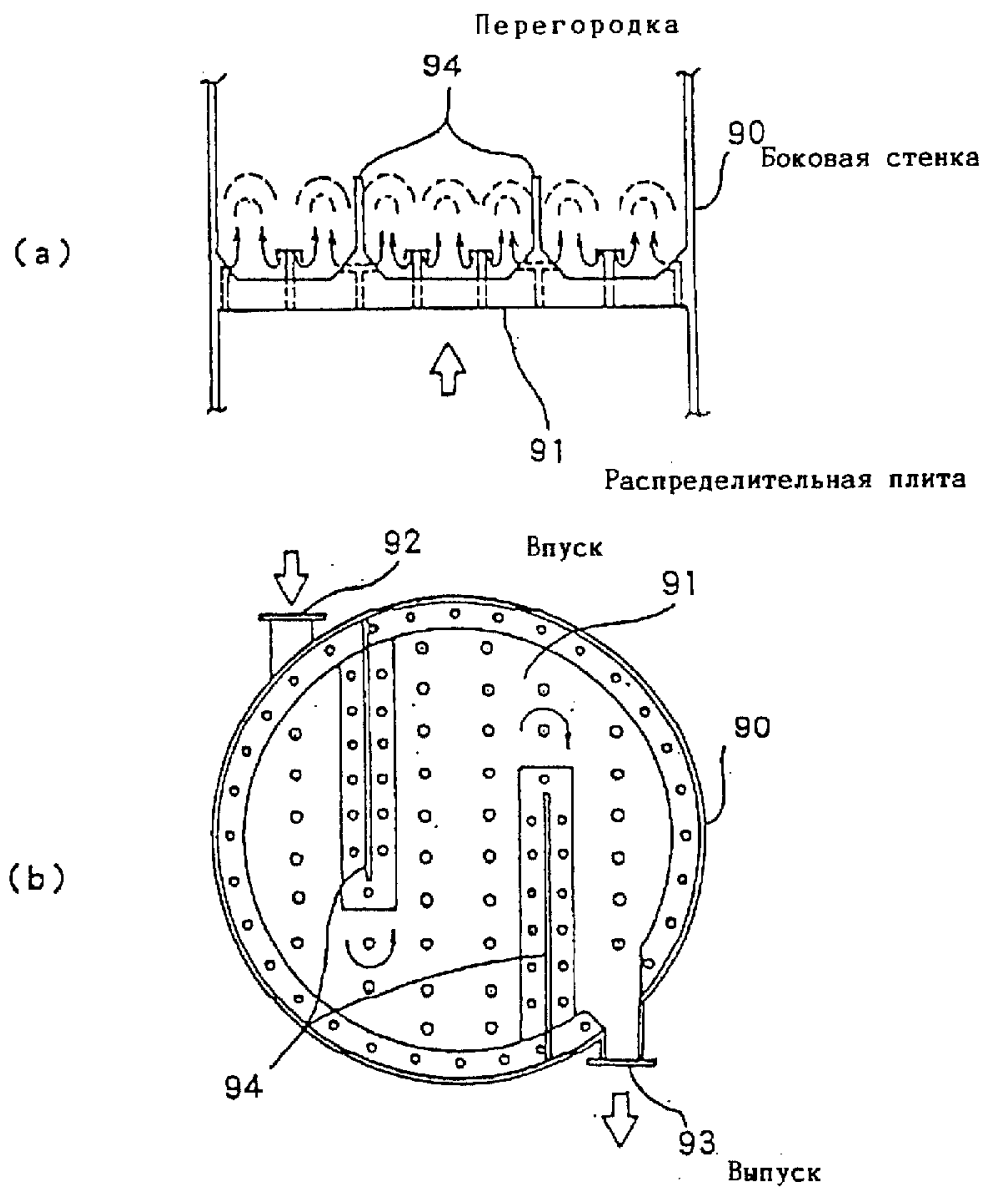
Фиг.2



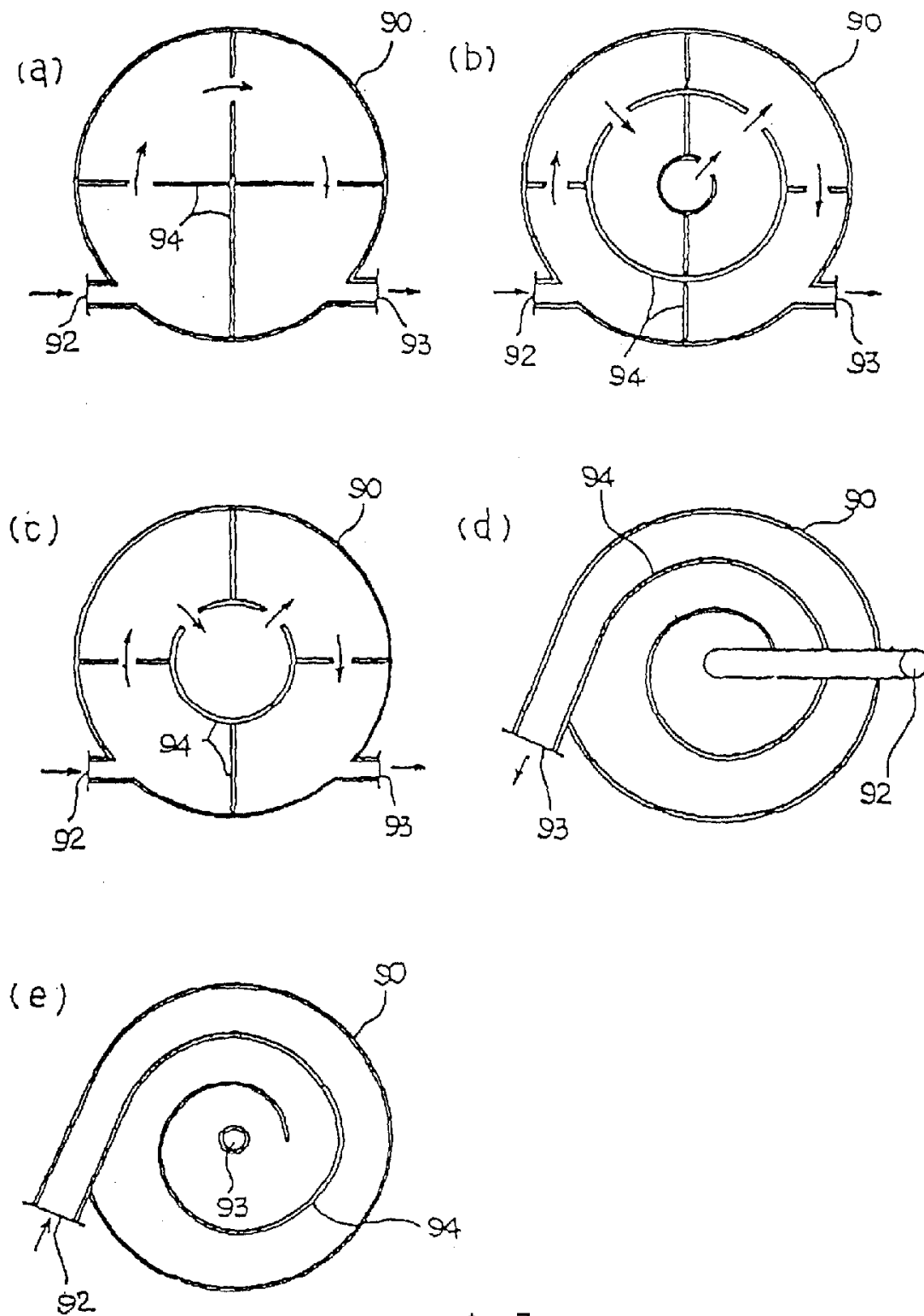
Фиг.3



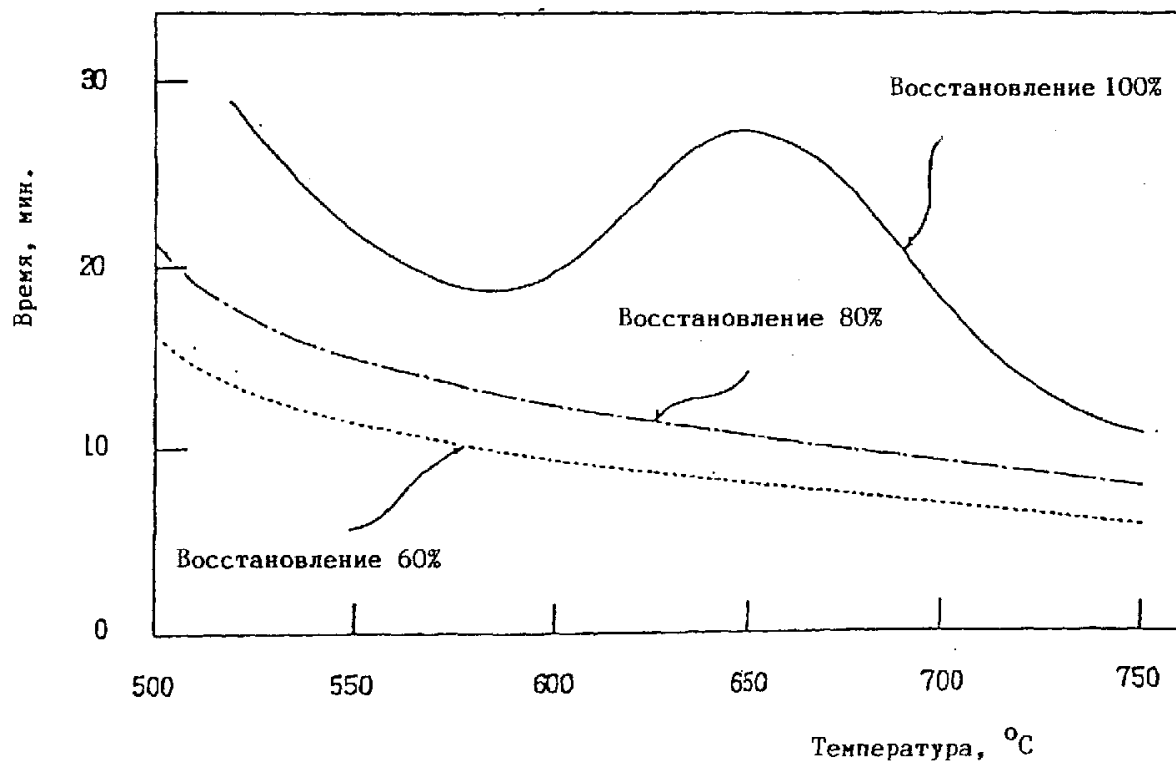




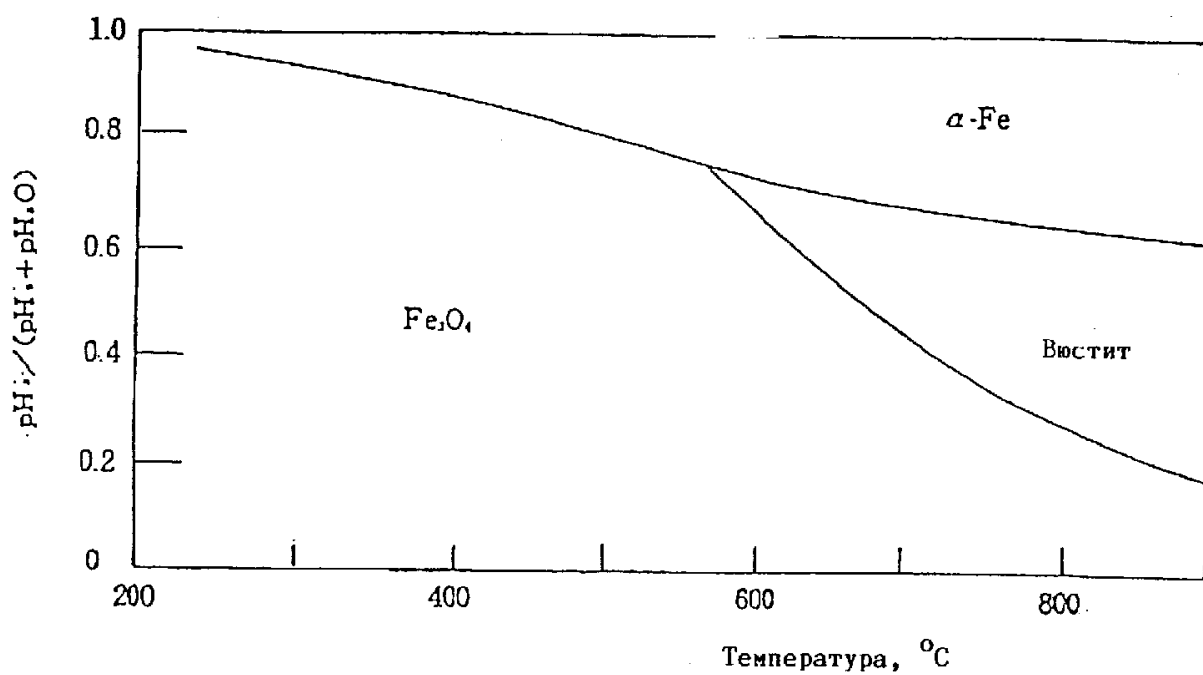
Фиг.6



Фиг.7



Фиг.8

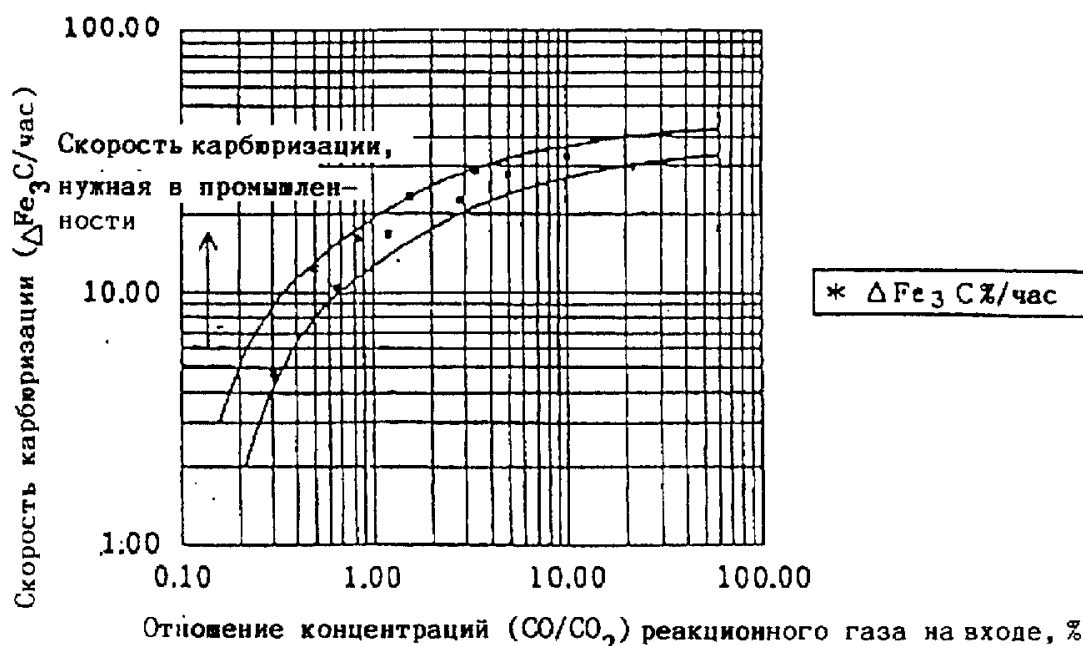


Фиг.9

Карбюризирующий газ	Метан (CH_4)	Окись углерода (CO)
Полная формула реакции	$3\text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{CH}_4 + 5(\text{H}_2/\text{CO}) = 2\text{Fe}_3\text{C} + 9(\text{H}_2\text{O}/\text{CO}_2)$	$3\text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{CO} + 11(\text{H}_2/\text{CO}) = 2\text{Fe}_3\text{C} + 11(\text{H}_2\text{O}/\text{CO}_2)$
Основной поток газа (Fe_2O_3 : 3 моля основы)		
Требуемое превращение газа (Fe_2O_3 : 3 моля осно- вы)	CH_4 : 1,25 моля (100%) $\downarrow$ $\text{CO} + \text{H}_2$: 5 молей	CH_4 : 3,25 моля (260%) $\downarrow$ $\text{CO} + \text{H}_2$: 13 молей

Фиг.10

(а) Корреляция между концентрацией на входе ($\text{CO} + \text{CO}_2$) в газе 2-го этапа реакции и скоростью карбюризации

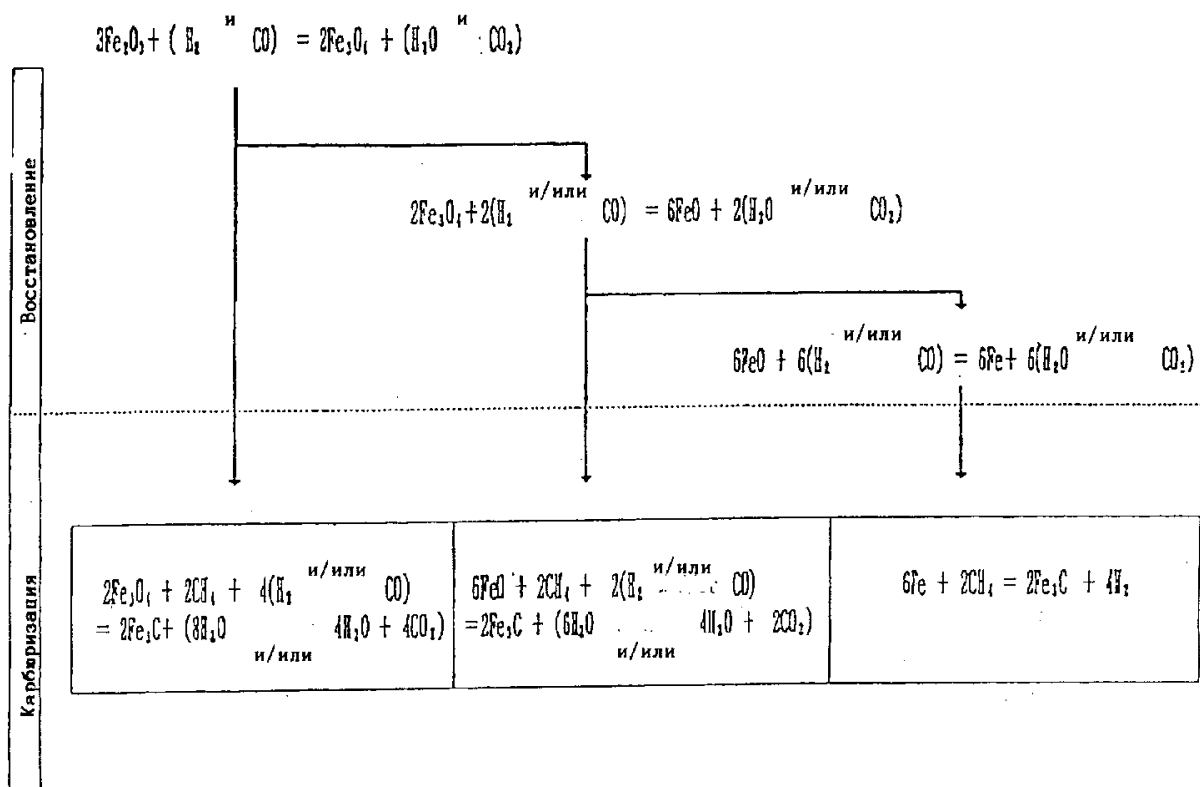


(б) Разность в отношении концентраций (CO/CO_2) на входе и выходе газа второго этапа реакции (отходящий-входящий)



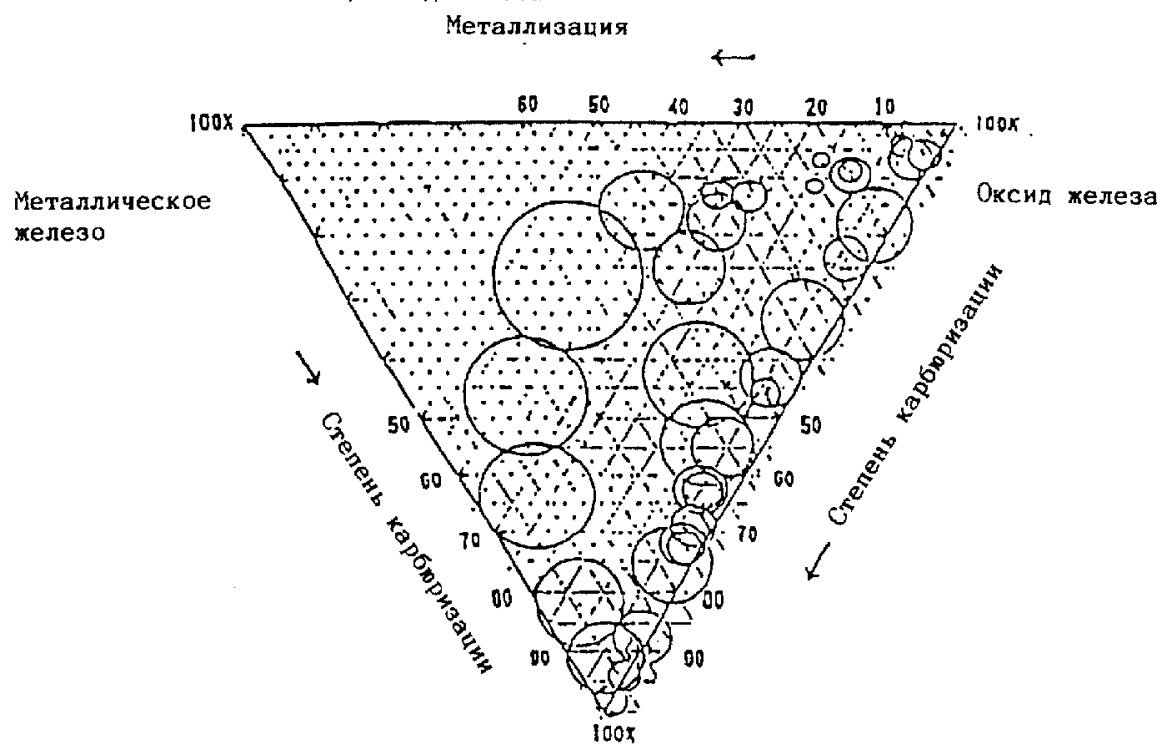
* Скорость карбюризации: скорость карбюризации в диапазоне степени карбюризации железа от 90 до 76%

Фиг.11



Фиг.12

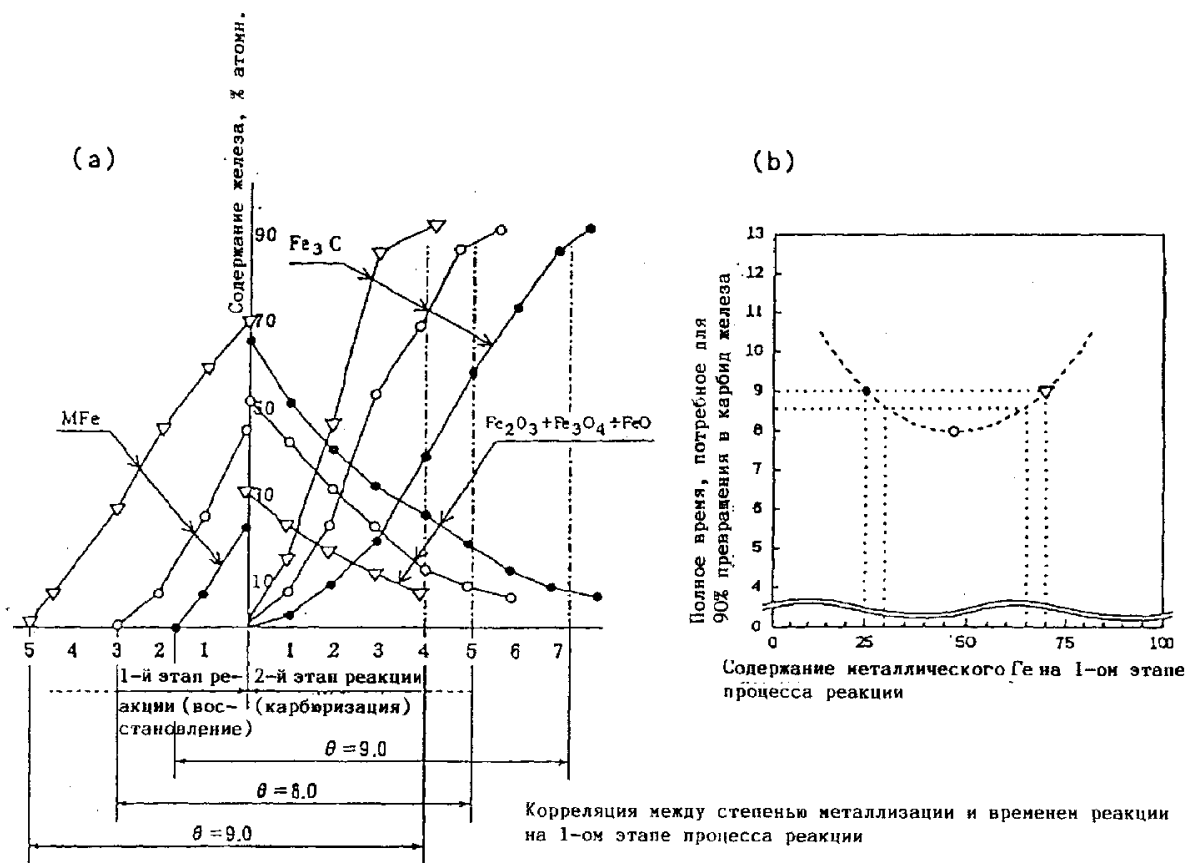
(а) Корреляция между скоростью карбюризации и отношением металлического железа/оксид железа



(б) Пример кажущейся скорости карбюризации (% час⁻¹)

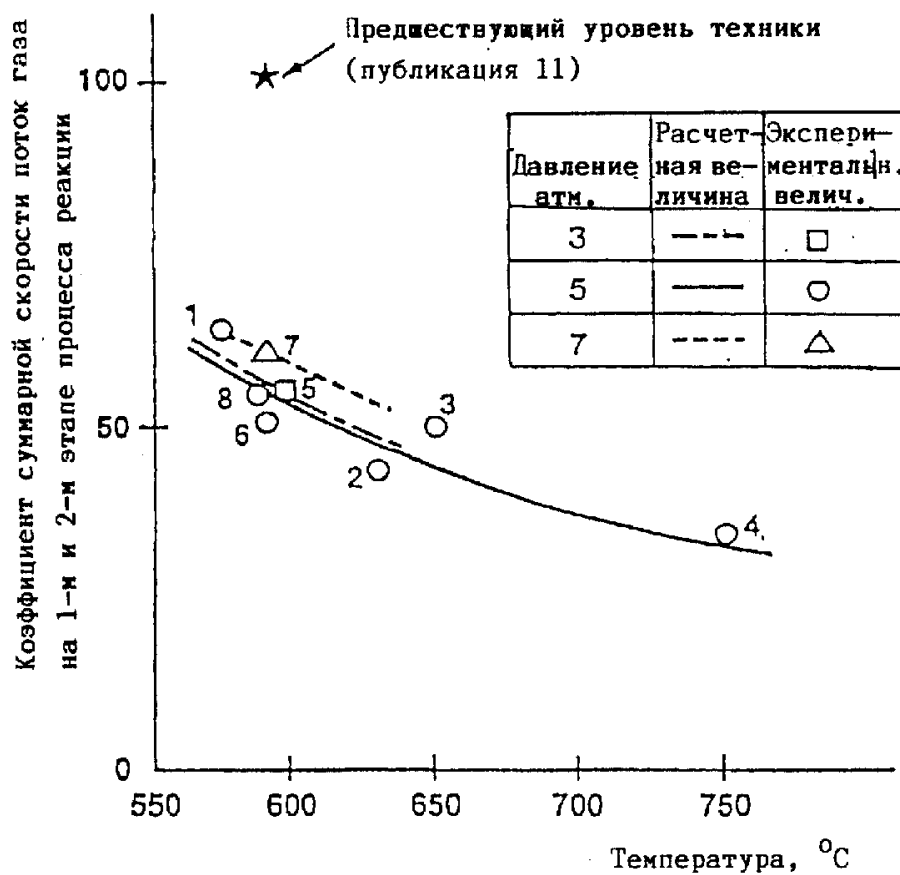
Степень карбюризации (%)	<30	30~75	>75
Реакция карбюризации $Fe_3O_4 \rightarrow Fe_3C$	8~31	4~19	1~5
Реакция карбюризации $FeO \rightarrow Fe_3C$	5~28	5~23	2~8
Реакция карбюризации $Fe \rightarrow Fe_3C$	10~30	7~36	3~21

Пример получен при температуре в диапазоне от 580 до 600°C
Фиг.13



Фиг.14

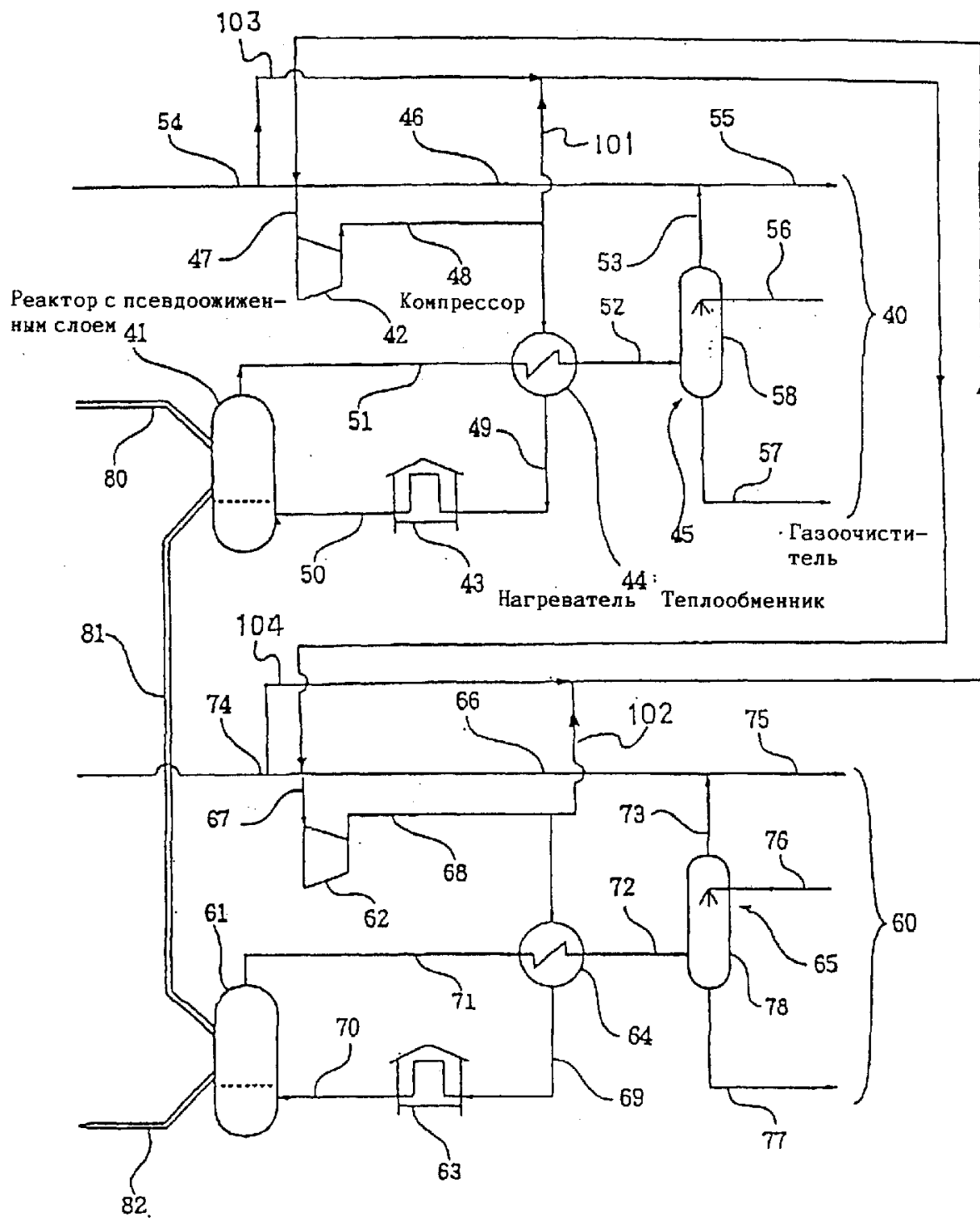
- (а) Зависимость между скоростью циркуляции газа и температурой/давлением



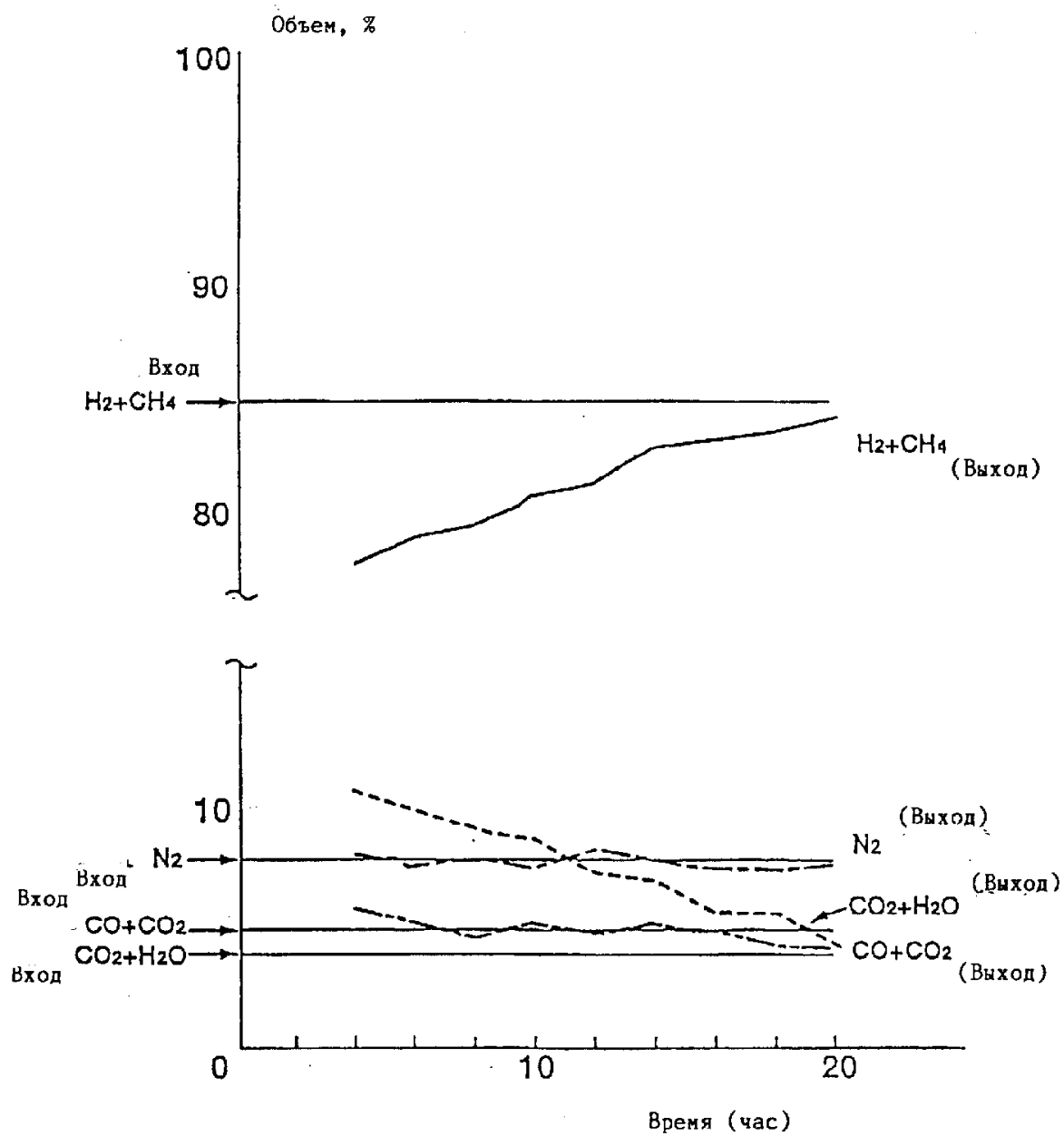
- (в)

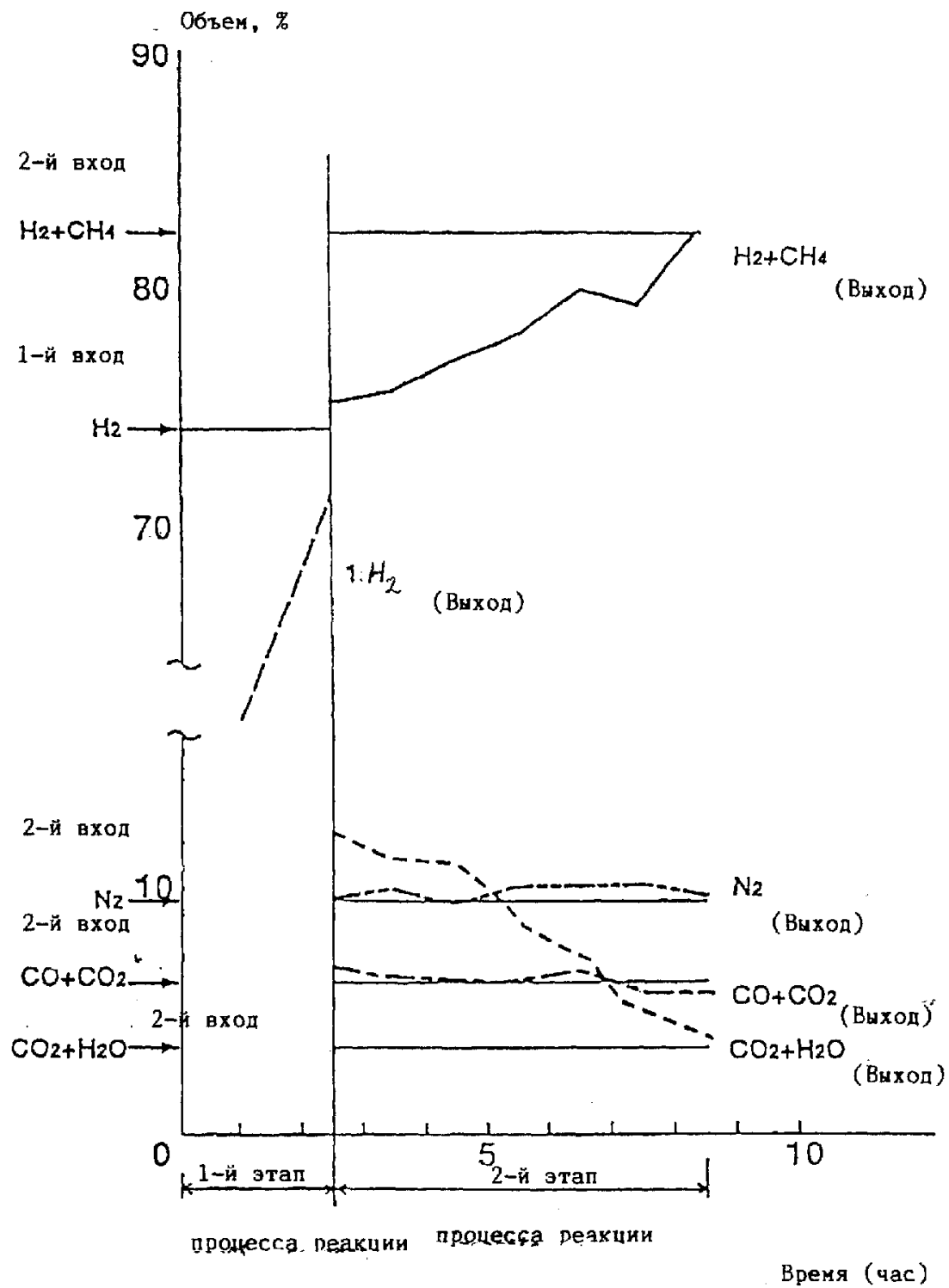
(% вес.)								
Эксперимент No.	1	2	3	4	5	6	7	8
Fe ₃ C	86.1	86.8	84.9	82.3	85.2	82.8	85.0	81.5
Fe ₂ O ₃	3.0	1.7	1.6	1.3	2.0	2.6	2.4	2.6
Fe ₃ O ₄	3.5	2.1	1.6	1.1	2.9	2.6	2.5	3.2
FeO	—	2.1	4.8	8.1	2.4	4.7	4.8	5.4
MFe	0.7	0.7	0.4	0.6	0.8	0.7	0.6	0.8
Порода	6.7	6.6	6.7	6.6	6.6	6.6	6.7	6.5
Давление атм.	5	5	5	5	3	5	7	5

Фиг.15

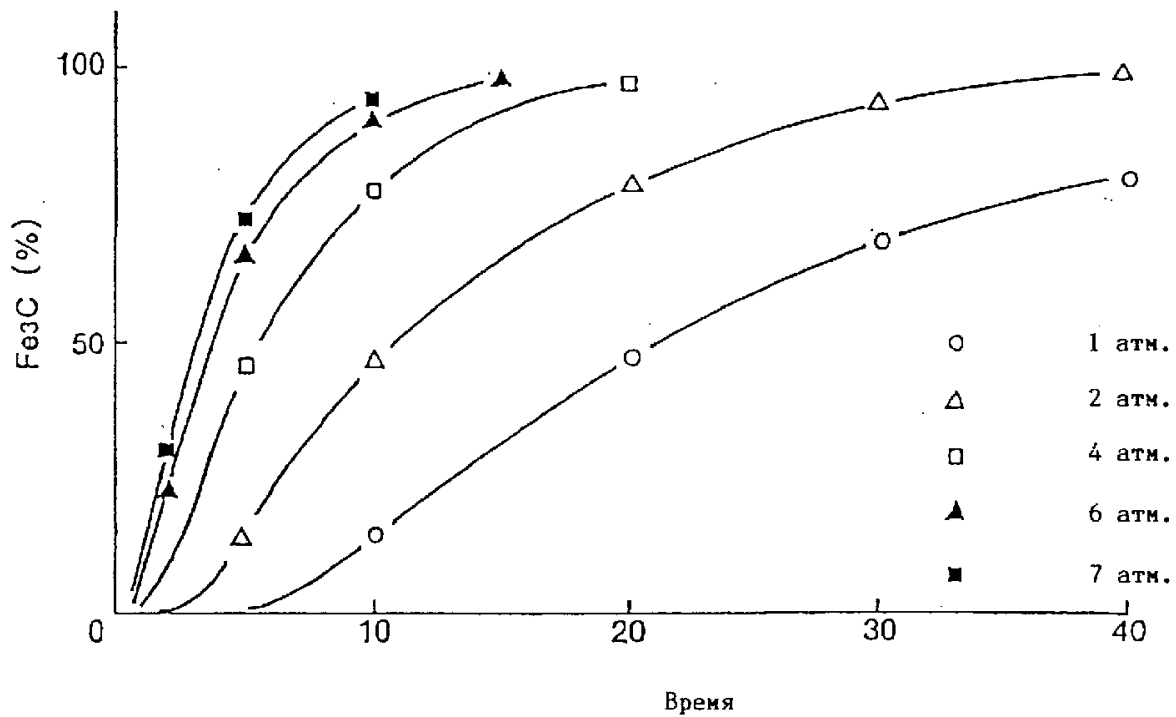


Фиг.16

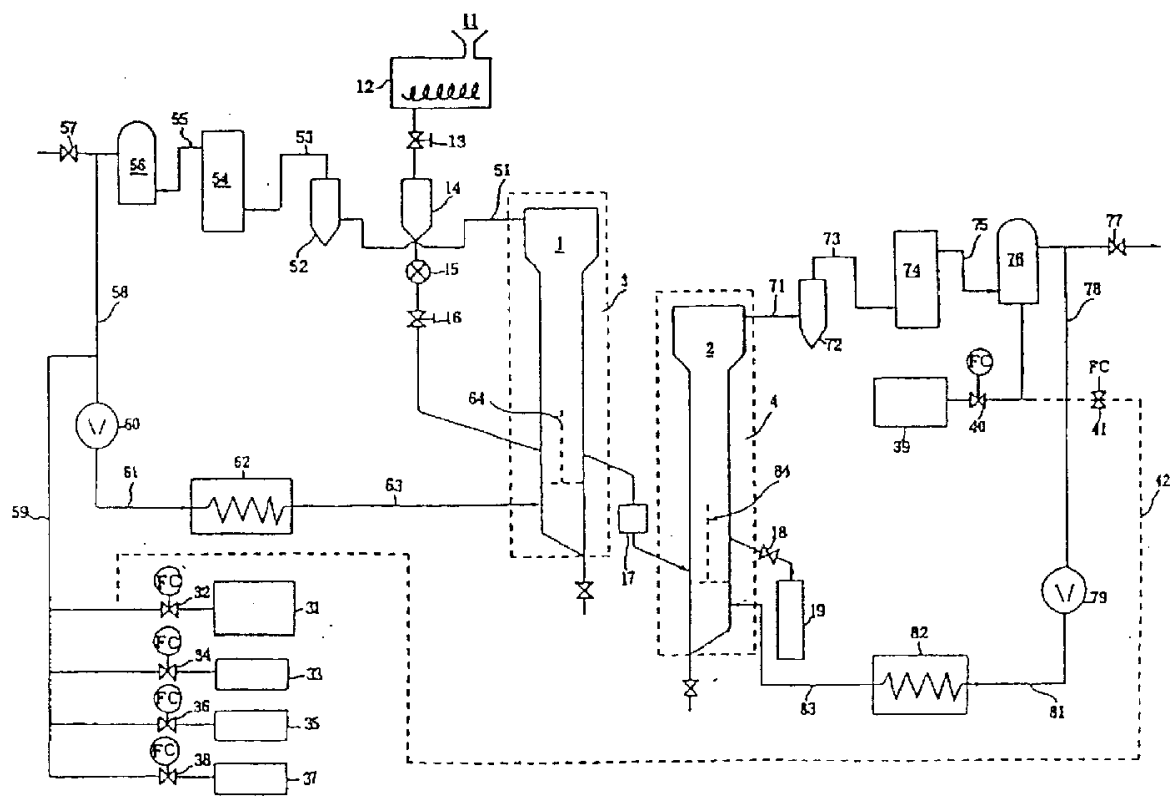




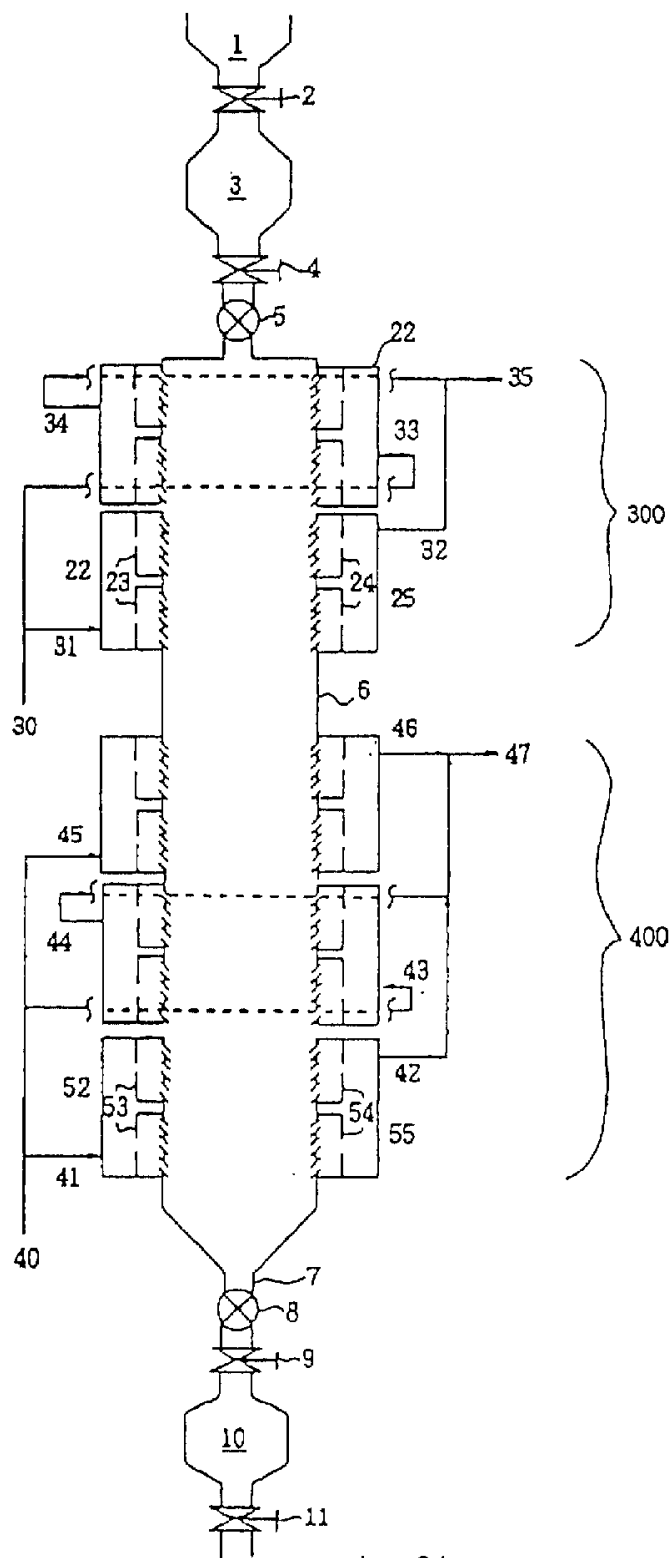
Фиг.18



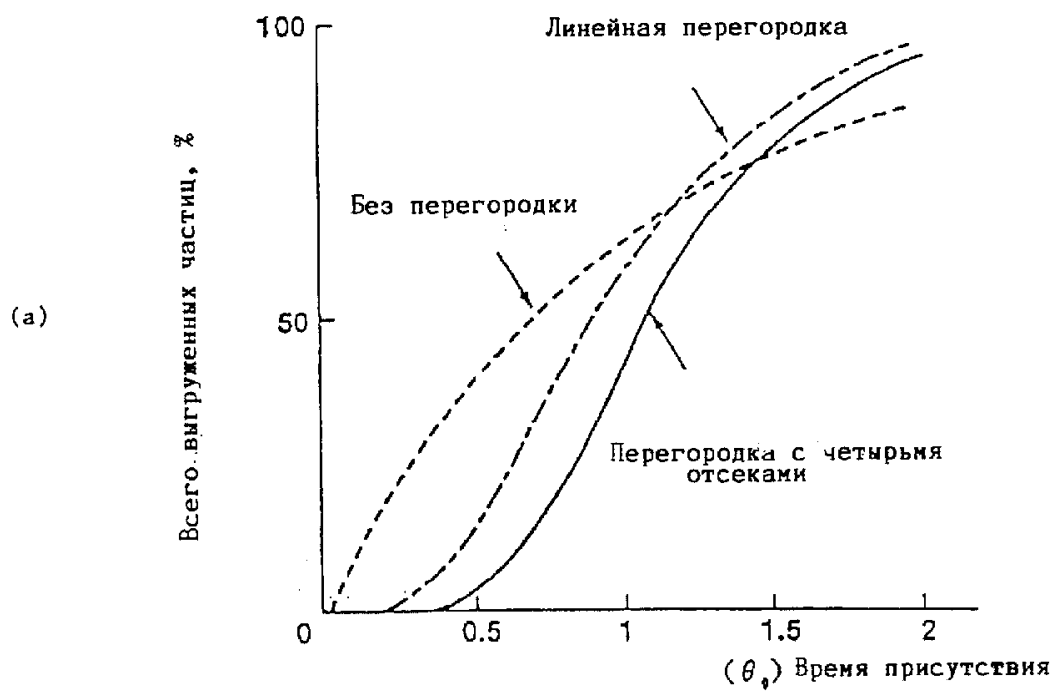
Фиг.19



Фиг.20



Фиг.21



(b)

		Количество выгруженных частиц			Продукт Fe ₃ C%
		0.5 θ_0	θ_0	1.5 θ_0	
а) Без перегородки		40%	63%	77%	66%
б) Линейная перегородка		14%	56%	85%	84%
в) Перегородка с четырьмя отсеками		3%	43%	80%	90%

Фиг.22