

ИННОВАЦИОННЫЕ ИДЕИ И РЕШЕНИЯ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ  
ОБЛАСТЕЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ

КНИГА 4 из 11

# МЕТАЛЛУРГИЯ

Ред. 01.04.2024

[vihrihaosa.ru](http://vihrihaosa.ru)

[vihrihaosa.wordpress.com](http://vihrihaosa.wordpress.com)

Хаустов Владимир Игоревич  
2020 год.

[vihrihaosa@mail.ru](mailto:vihrihaosa@mail.ru)



г. Череповец.

## СОДЕРЖАНИЕ

№	Наименование	стр. №
1.	Простая технология повышения стойкости наконечников кислородных фурм литейного производства.....	4
2.	Способ исключения образование изгари при термической обработке стальной проволоки и минимизации при горячем цинковании стального листа.....	7
3.	Способ восстановления металлов из оксидов сталеплавильного шлака с одновременной утилизацией органических отходов .....	10
4.	Гравитационно-детонационный распылительный способ получения мелко дисперсионных порошков микронного уровня любых металлов из жидких расплавов.....	16
5.	Детонационный термокинетический способ очистки стального листа от цинкового покрытия.....	19
6.	Квазиимпульсная технология напыления защитных покрытий на большие поверхности (например, как новая технология оцинкования, алюминирования стального листа).....	26
7.	Тороидально поточная вихревая мельница ультратонкого помола порошков металлов микронного уровня.....	32
8.	Само распространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) огнестойкого защитного покрытия графитового электрода дуговой печи.....	36
9.	Способ формирования и состав смеси для защитного покрытия поверхности стальной заготовки от высокотемпературной газовой коррозии.....	40
10.	Само распространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) как базовая технология ремонтно-восстановительных работ отопительных простенков коксовой батареи.....	45
11.	Алюмотермическая технология в качестве альтернативы огневой ручной зачистке дефектов слябов литейного производства.....	50

12. Технология прямого восстановления металлов из оксидов (руды) методом СВС.....	52
13. Механический проволочный способ само очистки форсунок промышленных газовых горелок коксового и доменного газа от отложений.....	54
14. Акустический способ защиты внутренних поверхностей оборудования и трубопроводов от образования отложений коксового и доменного газов на основе эффекта Рийке.....	57
15. Ударно-волновой противопоточный способ скоростного торможения ротора центробежного металлургического (шахтного) вентилятора .....	61
16. Детонационные горелки, как лучшая альтернатива дефлаграционной классике для промышленности.....	69
17. Детонационно-вихревая горелка сверх высоких температур для промышленности.....	98
18. Детонационно-вихревая система горелок сверх высоких температур для промышленности.....	108
19. Прямой способ восстановления металлов из руды (оксидов) в волне детонационного горения с дополнительным сжатием.	111
20. Прямой способ восстановления металлов из руд (оксидов) в волне детонационного горения.....	118
21. Прямой способ восстановления металлов из руд (оксидов) в центре сжатия нескольких волн детонационного горения.....	123
22. Топливо-металлургическая водная суспензия как источник тепла и “губчатого” железа в технологическом процессе капельного горения .....	129
23. Приложение.....	134
24. Литература.....	135

# 1. ПРОСТАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ НАКОНЕЧНИКОВ КИСЛОРОДНЫХ ФУРМ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА.

Опубликована: 16.01.2021 года.

Ссылка: [Простая технология повышения стойкости наконечников кислородных фурм литейного производства. | ВИХРИ ХАОСА \(wordpress.com\)](https://vixri-chaosa.wordpress.com)

Экспериментируя ещё в конце прошлого века с теплоносителями для тепловых аккумуляторов (парафин, раствор глауберовой соли и т.п.) настоящим предлагается простейшее технологическое решение вопроса, связанного с увеличением срока службы медного наконечника кислородной фурмы.

Всем известно, что одним из главных условий обеспечения высокой стойкости фурменных наконечников является организация их эффективного охлаждения. Указанному вопросу посвящено большое количество публикаций как отечественных, так и зарубежных исследователей. Плотность лучистого теплового потока от реакционной зоны на наконечник не превышает  $1,5 \text{ МВт/м}^2$ , однако за счет попадания брызг металла суммарная плотность теплового потока по данным может достигать  $8 \text{ МВт/м}^2$ .

При высокой плотности теплового потока возможно вскипание охлаждающей воды на поверхности нагрева даже при условии ее вынужденного движения.

Если скорость подачи теплоносителя ограничена характеристиками насосов, а внесение конструктивных изменений в трубопроводную развязку на действующем производстве недопустимо, то выход один – применять теплоносители с более высокой температурой кипения .

И вот здесь на первый план выходят водные растворы солей у которых отличны от воды показатели удельной теплоёмкости и температур кипения. При подведении тепла извне, не все растворы солей одинаково реагируют на тепловую энергию и нагреваются по разному, тем более переходят в фазу кипения.

При этом “соляные” теплоносители уже давно используются при относительно малых перепадах температур в системах отопления жилья и т.п.

Скептики скажут, что водные растворы солей интенсивно вызывают коррозию оборудования. Им свойственно «высаливание» стенок труб и теплообменников. Так оно и есть, только существуют соляные растворы, которые не вступают в реакцию со стальными трубами и не создают соляных отложений.

Нужно использовать в теплообменном цикле охлаждения наконечника фурмы водный раствор соли которую нужно определить, как оптимальную для теплового баланса конкретного случая по табличным значениям температур кипения соляных растворов с учётом их “коррозионности” и “высаливания” согласно таблицы № 1.1.

Таблица № 1.1.

<b>Температуры кипения водных растворов неорганических веществ в зависимости от концентрации при атмосферном давлении 101,3 кПа.</b>								
<b>Вещество</b>	<b>Температура кипения (°С) при массовой доле вещества в растворе (кг/кг)</b>							
	<b>0,40</b>	<b>0,45</b>	<b>0,50</b>	<b>0,55</b>	<b>0,60</b>	<b>0,65</b>	<b>0,70</b>	<b>0,75</b>
<b>CaCl<sub>2</sub> - хлорид кальция.</b>	119,0	124,1	129,7	135,9	143,0	152,0	162,6	175,7
<b>Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> - кальция нитрат.</b>	106,7	108,3	110,5	113,7	118,1	123,4	130,0	137,9
<b>K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> - карбонат калия.</b>	108,0	110,6	114,2	118,8	124,4	-	-	-
<b>KNO<sub>3</sub> - нитрат калия.</b>	104,1	105,0	106,0	107,1	108,4	109,9	111,7	113,8
<b>KOH - гидроксид калия.</b>	124,6	133,4	145,0	160,2	178,4	200,2	226,6	255,5
<b>NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> - нитрат аммония.</b>	106,9	108,3	110,0	111,8	114,0	116,7	120,1	124,3
<b>NaOH - гидроксид натрия.</b>	128,0	135,0	142,5	150,7	159,7	169,8	180,6	193,0

\*Бобылёв В. Н. Физические свойства наиболее известных химических веществ: Справочное пособие /РХТУ им. Д. И. Менделеева. –М., 2003.

Например известно, что водные растворы гидроксида натрия или калия в зависимости от концентрации имеют температуру кипения до 200 градусов). Не вызывают коррозию оборудования и имеют почти сравнимую удельную теплоёмкость с технической водой. Существуют также соляные растворы с температурами кипения до 300 градусов.

### **ВЫВОД:**

Нужен долгосрочный эксперимент на производстве. В замкнутый цикл теплоносителя (воды) нужно добавлять выбранную соль начиная с совсем небольших концентраций и смотреть на результат — физическое состояние фурмы. Нужно набрать статистику , проанализировать результат и выбрать лучшую соль и её концентрацию в воде в зависимости от времени так называемой “жизни” фурм.

## 2. СПОСОБ ИСКЛЮЧЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЕ ИЗГАРИ ОТ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАСПЛАВА МЕТАЛЛОВ С ВОЗДУХОМ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ СТАЛЬНОЙ ПРОВОЛОКИ ИЛИ МИНИМИЗАЦИИ ПРИ ГОРЯЧЕМ ЦИНКОВАНИИ СТАЛЬНОГО ЛИСТА.

Опубликован: 24.11.2020 года.

Ссылка: [Способ исключения образование изгари | вихри хаоса \(wordpress.com\)](https://www.wordpress.com)

Основа способа – покрытие расплава металла стеклом в вязко-пластическом состоянии.

После опускания в ванну с жидким металлом направляющих роликов с стальными проволочками - вся поверхность ванны покрывается жидким легкоплавким стеклом, см. рис. № 2.1.

Толщина покрытия – 3-5 мм. Температура вязко-пластического состояния жидкого стекла должна соответствовать температуре жидкого металла в ванне термообработки.



Рис. № 2.1. Технология исключения образования изгари.

При термической обработке стальной проволоки в ванне с расплавленным свинцом на поверхности расплава образуется изгарь (окислы свинца). В случае горячего цинкования также на поверхности расплава образуется изгарь (окислы цинка). Происходит это из-за окисления открытой части расплава металла с воздухом. Это существенно влияет на расход металла. Расход свинца при термообработке стальной проволоки идет с образованием изгари, т.к. выноса свинца из ванны с проволокой отсутствует. Расход цинка при

горячем цинковании стального листа идет как с образованием изгари, так и с выносом цинка из ванны на стальной полосе.

Рассмотрим пример защиты от образования изгари свинца. Технология минимизации образования изгари цинка – аналогичная.

Чтобы хоть как-то снизить образование изгари свинца и сохранить тепло расплава в настоящее время при термообработке проволоки используется засыпка, так называемое “одеяло” толщиной не менее 50 мм. Всю поверхность расплава свинца засыпают порошком антрацита или аналога и периодически его добавляют при выгорании.

Здесь присутствует основной недостаток — “одеяло” периодически “выгорает”, что требует постоянного добавления антрацита, а также не обеспечивается полная герметизация поверхности расплава от воздуха, тем самым образуется изгарь (окислы свинца), которую периодически нужно убирать.

**На основании выше изложенного предлагается способ исключения образования изгари металла путём изоляции открытой части расплава металла от воздуха.**

**Заявляемый результат достигается с помощью покрытия всей поверхности расплава металла легкоплавким стеклом В ВЯЗКО-ПЛАСТИЧНОМ СОСТОЯНИИ, которое практически не выгорает и не загрязняет расплав цинка.**

Таким образом исключаются потери металла, полностью исключается использование антрацитовый засыпки, исключаются профилактические работы на потенциально опасном производстве и т.п.

Близким аналогом заявленного способа является флоат процесс изготовления стекла, когда на поверхность расплавленного металла подаётся стеклянная масса из печи, которая по мере продвижения по поверхности жидкого металла превращается в обыкновенное стекло. Плотность стекла — 2,5 г/см<sup>3</sup> по сравнению с плотностью расплава свинца – 7,13 г/см<sup>3</sup> позволяет стеклу оставаться сверху расплава.

Температура расплава свинца при термической обработке проволоки поддерживается постоянной на определённом уровне диапазона 550-590 градусов.

Для заданного значения температуры свинца нужно экспериментальным путём определить точный химсостав оксидов состава стекла для его легко-вязкого состояния. Технология изготовления, состав оксидов для различных температур широко освещён в открытом доступе.

Пример химического состава легкоплавкого стекла заявлен в таблице № 2.1

Таблица № 2.1

№	Химический состав оксидов, %			Т плавления, С
	PbO	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	
1	83,5	12	4,5	<b>484</b>
2	86	10,6	3,4	<b>486</b>
3	87,5	11,4	1,1	<b>488</b>
4	75	15	10	<b>540</b>

После установления точного химического состава оксидов необходимо сварить стекло и залить сверху расплава свинца с толщиной покрытия 5 мм.

Количество стекла для “одеяла” такой толщины достаточно просто рассчитывается.

Заявленный способ защиты расплава от кислорода воздуха легкоплавким вязким стеклом мной был испытан при подготовке алюминия для литья изделия авиационной направленности. Лом алюминия в тигле был засыпан мелкой крошкой легкоплавкого стекла от химических капиллярных трубок, которые плавилась в пламени свечи. Температура плавления таких трубок — 600 градусов. Температура начала плавления алюминия 660 градусов. В результате на поверхности алюминия образовалась жидкая стеклянная масса, предотвращающая доступ кислорода для образования окиси.

## **НОВИЗНА**

Исключается полностью доступ кислорода к расплаву металла. Перестает быть необходима периодическая подсыпка в ванну порошка антрацита или аналога.



выделением оксида углерода и водорода. В заявленном способе при температуре 1500 градусов происходит сверхвысокоскоростной процесс пиролиза с выделением на много большего количества оксида углерода и водорода.

#### ПРЕДЛОЖЕНИЕ:

На основании выше изложенного предлагается совместить все поименованные выше три технологии в один технологический процесс, протекающий одновременно для всех.

Конечный результат - восстановление железа из оксидов железа и одновременная утилизация пиролизом любых твёрдых органических отходов остаточной энергией конвертерного шлака.

Предлагается конвертерный шлак выливать не на землю, а сверху на заранее подготовленный деревянный настил из твёрдых органических отходов, которые подлежат утилизации, см. рис. № 3.1.



Рис. № 3.1. Технология восстановления металлов из оксидов сталеплавильного шлака.

Обязательное условие, это полное или почти полное покрытие утилизируемого настила сверху горячим шлаком. Так, как плотность деревянного настила меньше плотности шлака – нужно предусмотреть временную фиксацию настила на земле в начальный момент слива шлака из чаши шлаковоза.

#### УПРОЩЁННЫЙ РАСЧЁТ ПО ПРЕДЛАГАЕМОМУ

1. При классическом пиролизе 1 м<sup>3</sup> твёрдых органических отходов (древесины и т.п.) образуется в среднем 90 м<sup>3</sup> неконденсирующихся газов. В состав пиролизных газов входят: CO: 30–50%, CO<sub>2</sub>: 18–38%, CH<sub>4</sub>: 1–20%, H<sub>2</sub>: 10–20%, углеродные примеси: около 1%. Таким образом 1 м<sup>3</sup> твёрдых органических отходов (древесины и т.п.) образует в среднем 60 м<sup>3</sup> восстановительного газа - оксида углерода (II) + CH<sub>4</sub>. При сверхвысокоскоростном пиролизе образуется на много больше пиролизного газа.

2. Объем оксида углерода (II), который необходим для полного восстановления железа из 1 кг оксида железа (III), равен 420 литра (0,42 м<sup>3</sup>.)

3. Конвертерный шлак ориентировочно на 75% состоит из оксидов не металлов, таких как CaO, SiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и на 5% из корольков железа. Оксиды не металлов не будут реагировать с CO, т.к. теплота образования CO недостаточно велика, чтобы превысить теплоту образования оксидов не металлов . Оксиды других металлов для упрощения расчёта рассматривать не будем.

4. Согласно п. 3. для полного восстановления металла из оксидов шлака расчёт количества восстановителя - оксида углерода (II) нужно вести для 10% шлака.

5. Согласно п.2. из 150 кг шлака необходимо только 10% (15 кг) оставшихся оксидов подвергнуть восстановлению оксидом углерода (II), чтобы получить 10 кг железа. Для этого необходимо ориентировочно 6,3 м<sup>3</sup> восстановителя оксида углерода (II). С учётом п. 3. для восстановления 10 кг чистого железа необходимо 0,1 м<sup>3</sup> твёрдых органических отходов подвергнуть пиролизу (полным погружением без доступа воздуха) конвертерным шлаком с температурой 1500 градусов.

6. Способ теоретически позволяет восстанавливать не более 66 кг железа с каждой тонны конвертерного шлака объёмом 0,35 м<sup>3</sup> одновременной утилизацией не более 0,7 м<sup>3</sup> твёрдых органических отходов. Исходя из выше приведённого расчёта практически покрыть (укутать) 0,7 м<sup>3</sup> твёрдых органических отходов 0,35 м<sup>3</sup> шлака достаточно проблематично.

7. Теоретически не возможно учесть все особенности одновременного протекания пиролиза и восстановления металла из оксида для различных условий покрытия шлаком твёрдых отходов.

8. В приведённом расчёте не учтены аспекты сверхвысокоскоростного протекания процесса пиролиза, который в настоящее время до конца ещё не изучен, при котором выделяется на порядок больше пиролизного газа с 1 м<sup>3</sup> твёрдых органических отходов (древесины и т.п.).

9. С учётом п. 7 и п. 8 можно предположить следующее: Способ позволит восстанавливать не более 66 кг железа с каждой тонны конвертерного шлака объёмом 0,35 м<sup>3</sup> одновременной утилизацией не более 0,07 м<sup>3</sup> твёрдых органических отходов, что практически уже реализуемо.

10. Исходя из выше изложенного для подтверждения или опровержения заявленного способа необходимы ОКР на действующем конвертерном производстве стали.

## ОПЫТНОКОНСТРУКТОРСКИЕ РАБОТЫ

Конвертерный шлак выливается на утилизируемый деревянный настил, закреплённый временно на земле в центральной части места разлива.

Температура шлака в 1500 градусов и полное отсутствие доступа воздуха к твёрдым органическим отходам, которыми заполнен настил - обеспечивает протекание внутри так называемого сверхскоростного пиролизного процесса. Органические отходы разлагаются с выделением оксида углерода и водорода.

В свою очередь оксид углерода и водород одновременно начинает восстанавливать железо из оксидов шлака. Происходит диффузия газов – восстановителя через частицы, поры и трещины слоя остывающего и кристаллизующегося шлака и химическое превращение оксидов шлака в восстановленное железо.

Для заявленных целей заранее готовится для утилизации плоский прямоугольный деревянный настил из отходов. Внутри настила добавляются органические твёрдые отходы. Деревянный настил размещается на земле перед разливкой шлака и крепится временными фиксаторами к земле. Это необходимо для того, чтобы высоко кинетический поток жидкого шлака не сдвинул настил с места и чтобы он не поднялся на поверхность шлака в начальный момент кристаллизации (остывания). Сверху настила выливается

сталеплавильный шлак так, чтобы настил находилась полностью под шлаковым поясом. Пока шлак остывает до температур безопасной транспортировки к месту переработки - происходит высокотемпературный высокоскоростной пиролизный процесс образования оксида углерода с водородом и одновременный процесс восстановления такими продуктами железа из оксидов железа шлака.

После остывания, шлак транспортируется к месту переработки, где существующим оборудованием, магнитным способом, извлекаются из шлака как остатки (корольки) железа, так и восстановленное выше поименованным способом железо.

В последствии, при переработке такого шлака, можно извлекать уже и оставшиеся восстановленные дорогие и редкоземельные металлы.

## **ВЫВОД:**

Заявленный способ теоретически позволяет без каких-либо дополнительных затрат (бесплатно) возвращать в производство дополнительно до 66 кг железа с каждой тонны конвертерного шлака с одновременной утилизацией твёрдых органических отходов.

Технология позволяет организовать извлечение остальных дорогих и редкоземельных металлов.

Количество восстановленного металла будет зависеть исключительно от количества, качества и расположения твёрдых органических отходов под слоем горячего шлака.

Для подтверждения заявляемого необходимы ОКР на действующем производстве с дополнительными затратами – 0 рублей, 0 копеек. Всё уже есть на действующем производстве, необходимо только грамотно организовать выше поименованный процесс.

Без ОКР судить об эффективности – не эффективности предложенного способа не возможно, т.к. многие особенности одновременно протекания различных процессов в заявленном способе не известны.

Под терминологией “бесплатно” именуется дополнительный экологический аспект предлагаемой технологии, благодаря которому происходит утилизация любых твёрдых органических отходов, что не маловажно в современных условиях.

Всё это возможно за счёт предлагаемой бесплатной технологии грамотной утилизации остаточной энергии жидкого высокотемпературного сталеплавильного шлака, которая по настоящее время в этом аспекте никогда и ни кем не использовалась.

Хотя конвертерный шлак с температурой в 1500 градусов можно переработать не для восстановления железа, а для производства, например, низкокачественной и дешёвой минеральной ваты для строительства, но эта технология будет предложена мной позже.

#### **4. ГРАВИТАЦИОННО-ДЕТОНАЦИОННЫЙ РАСПЫЛИТЕЛЬНЫЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ МЕЛКО ДИСПЕРСИОННЫХ ПОРОШКОВ МИКРОННОГО УРОВНЯ ЛЮБЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ЖИДКИХ РАСПЛАВОВ.**

Опубликован: 14.02.2022.

Ссылка: [Гравитационно-детонационный распылительный способ получения мелко дисперсионных порошков микронного уровня любых металлов из жидких расплавов. | ВИХРИ ХАОСА \(wordpress.com\)](https://vixri.xaosca.wordpress.com/gravitacionno-detonacionnyj-raspylitelnyj-sposob-polucheniya-melko-dispersionnykh-poroshkov-mikronnogo-urovnya-lyubyx-metall-ov-iz-zhidkix-rasp-lavov/)

#### **ВСТУПЛЕНИЕ**

Получение порошков металлов методом газового распыления является относительно простым и дешевым технологическим процессом. При этом, и это важно — уровень “микронности” ограничен энергетическими характеристиками первичного газового потока:

1. Размер образующихся частиц зависит от скорости газового потока.
2. Размер образующихся частиц зависит от энергетики газового потока.
3. Размер образующихся частиц зависит от температуры газового потока. Наиболее эффективно распыление идёт при температуре газового потока, совпадающего с температурой расплава или выше её, так как вязкость и поверхностное натяжение при этом не претерпевают изменений в процессе дробления струи из-за отсутствия переохлаждения расплава.

#### **ПРЕДЛОЖЕНИЕ**

Анализируя выше поименованные ограничения получается, что для увеличения эффективности процесса получения мелко дисперсионных порошков микронного уровня необходимо увеличивать энергетику, скоростные и температурные характеристики первичного газового потока.

Исходя из выше изложенного, предлагается обратить внимание на детонационные источники энергии в качестве источника первичного высокоскоростного, высокоэнергетического и высокотемпературного. Детонация в атмосферу от одного источника детонационного горения представляет собой взрыв, в котором взрывная волна распространяется со скоростью 2000-3000 м/с, а температура горения достигает 3000-3500 °С. Мощность тепловыделения в детонационном фронте на несколько порядка выше дефлаграционного фронта (обычного горения). Продукты детонации обладают огромной кинетической энергией. Теплопередача от продуктов детонации к теплоносителю существенно выше, чем при использовании обычного горения, ввиду огромной конвективной составляющей.

Наиболее подробно принципы работ, виды, типы, особенности, конструктивные исполнения детонационных источников энергии заявлены здесь: **Детонационные источники энергии и технологии**

**Предлагается для заявленных целей в качестве источника высокотемпературного, высокоскоростного и высокоэнергетического газового потока использовать классическую сферическую детонационно-резонансную горелку, например такого конструктивного исполнения:**

**Детонационно-резонансная горелка или технология управляемой детонации для промышленных целей. (особенности, принцип работы, конструктивные исполнения, варианты использования).**

#### **КОНСТРУКТИВНОЕ ИСПОЛНЕНИЕ ПО ЗАЯВЛЯЕМОМУ СПОСОБУ**

Предлагаемое конструктивное исполнения показано на рис. № 4.1. Сферическая детонационно-резонансная горелка размещена сверху по центру достаточно габаритного пылеуловительного бункера. Сама горелка имеет конструктивное отличие от классики тем, что дополнительно на наружной части сферического резонатора горелки в центральной части установлена ёмкость с жидким металлом. В ёмкости внизу на выходе установлен клапан регулировки потока подачи жидкого металла. Бункер снабжён по середине

пылеуловительными тарелками и нижним затвором для выгрузки мелко дисперсионного порошка металла.

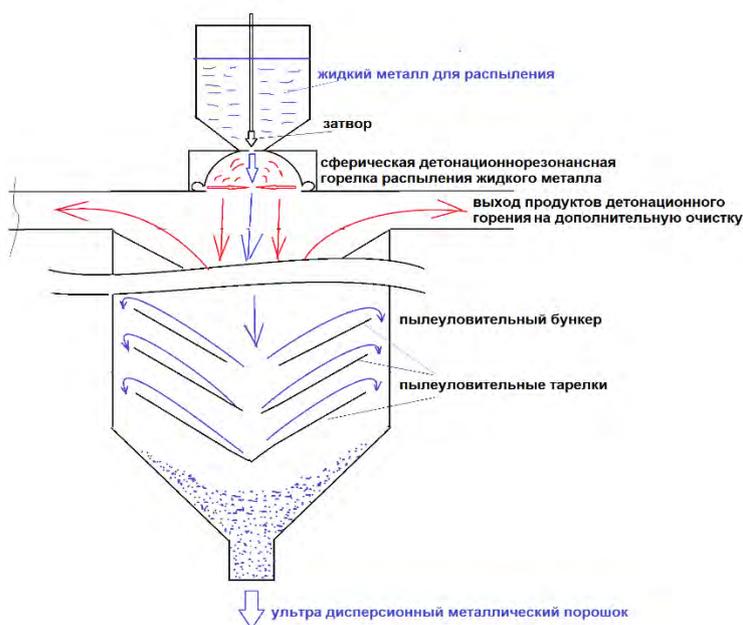


Рис. № 4.1. Гравитационно-детонационный распылительный способ получения мелко дисперсионных порошков металлов.

### ПРИНЦИП РАБОТЫ:

Жидкий металл гравитационным способом подаётся в фокус сжатия/разряжения волн детонационного горения классической детонационно-резонансной горелки. Структура потока определяется клапаном регулировки подачи жидкого металла.

Разрушение жидкого металла начинается непосредственно в фокусе формирования следующих друг за другом волн детонационного горения в детонационно-резонансной горелке. Затем частицам жидкого металла придаётся значительное ускорение следующими друг за другом сверхзвуковыми волнами горения/сжатия.

Происходит высоко энергетическое, высокотемпературное и высокоскоростное распыление жидкого металла. Время пребывания частичек металла в волнах горения несоизмеримо мало, поэтому последние не успевают сгореть с образованием оксидов. Продукт распыления оседает в крупногабаритном бункере с встроенными пылеуловительными тарелками.

## 5. ДЕТОНАЦИОННЫЙ ТЕРМОКИНЕТИЧЕСКИЙ СПОСОБ ОЧИСТКИ СТАЛЬНОГО ЛИСТА ОТ ЦИНКОВОГО ПОКРЫТИЯ

Опубликован: 11.04.2022 года.

Ссылка: [Детонационный термокинетический способ очистки стального листа от цинкового покрытия | вихри хаоса \(wordpress.com\)](https://vortexchaos.wordpress.com/2022/04/11/detonation-thermochemical-cleaning-of-steel-sheet-from-zinc-coating/)

### ПРЕДПОСЫЛКИ СПОСОБА.

Оцинкованный лом как правило закупается металлургическими компаниями со значительной скидкой (дисконтом) по сравнению с стальным ломом. Связано это с дополнительной необходимостью при переработке такого лома улавливать ядовитые высокоактивные пары цинка согласно экологических и технологических нормативов.

Таким образом, существует большой интерес к разработке экономичного способа удаления цинка из оцинкованного лома для целей возврата цинка в технологический процесс и реализация очищенного лома без дисконта на цинковое покрытие.

Анализ предлагаемых способов решения в открытой печати показал, что основной вектор решения проблемы направлен в сторону развития гальванических, электролитических и химических способов, таких как: растворение цинка травильными растворами, растворение раствором карбоната аммония, растворение цинка каустической содой, восстановление в виде хлорида цинка, ускорение удаления цинка окислителями, удаление с помощью электролиза в едком электролите.

Такие решения эффективны на небольших разовых товарах, но совершенно не подходят для промышленной утилизации, когда по объёму работ бракуются целиком стальные рулоны с некачественным оцинкованным покрытием.

При этом хочу подчеркнуть, что на данный момент ни один процесс очистки стального листа от цинкового покрытия не переведен в реальную производственную сферу.

Для понимания объёма работ и визуализации количества цинкового покрытия можно провести небольшой эксперимент, показывающий бесперспективность развития гальванических, электролитических и химических способов массового производства.

Газовой горелкой нагреваем небольшое пятно оцинкованного стального листа до температуры плавления цинка и скребком счищаем с него цинк. Визуализируется достаточно большой объём цинка для маленького пятна. А теперь умножим его в тысячи и десятки тысяч раз и поймём бесперспективность гальванических, электролитических и химических способов. Они заключаются в технологиях сначала растворить, затем обратно выделить такой объём цинка с больших площадей. Количество энергии, химических реагентов и их рециркуляция обесценивают все выше предлагаемые гальванические, электролитические и химические способы утилизации цинковых покрытий.

## СУЩНОСТЬ СПОСОБА.

Способ предполагает одновременное сверхвысокотемпературное и кинетическое воздействие на обе поверхности оцинкованного стального листа внутри детонационной камеры продуктами детонационного горения со скоростями уровня 2000м/с и температурой во фронте уровня 3000°C. Такое воздействие совмещает сразу два технологических этапа: сверхвысокоскоростной нагрев цинкового покрытия до жидкого состояния и одновременный перевод его в аэrorированное состояние (сдувание) с последующим улавливанием продуктов аэrorирования (цинка) классическими способами.

На технологиях улавливания аэrorированного цинка останавливаться не будем. Такие аспирационные установки широко известны и в конструктивном плане давно отработаны.

## ОПИСАНИЕ СПОСОБА

Удаление оцинкованного покрытия с поверхности стального листа продуктами детонационного горения достигается в результате:

- одновременного сверхвысокоскоростного детонационного нагрева поверхностей стального листа с обеих сторон до температур плавления цинка .
- одновременного воздействия на расплав кинетической энергией продуктами детонационного горения топливовоздушной смеси .

- импульсного периодического следования волн детонационного горения. При этом энергетическая эффективность способа зависит непосредственно от частоты следования .

Основой способа удаления цинкового покрытия является детонационная горелка, которая способна обеспечить высокоэнергетические, высоко кинетические, следующие друг за другом потоки волн детонационного горения для заявленных целей.

Конструктивные решения детонационных источников энергии под заявленные цели выбираются на основании рациональной классификации всех возможных и будущих источников детонационного горения, которая заявлена в главе 6 настоящей книги.

Схематически реализация способа очистки стального листа от цинкового покрытия представлена на рис. № 5.1.

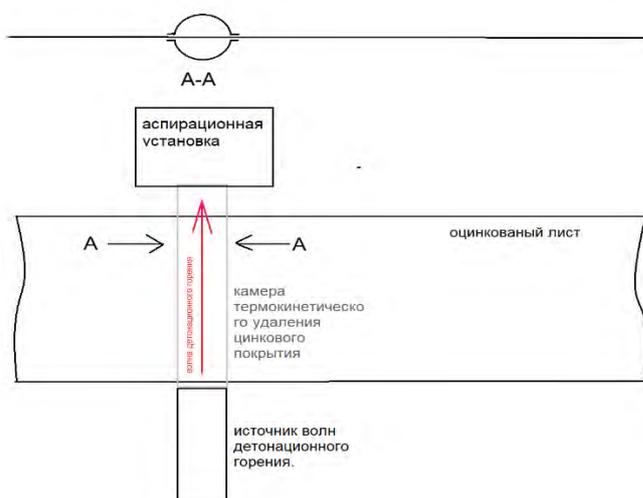


Рис. № 5.1. Детонационный термокинетический способ очистки стального листа от цинкового покрытия

Стальной лист перемещается внутри и поперёк оси трубчатой камеры детонационного воздействия. Трубчатая камера с одной стороны соединена с выходной частью детонационного источника энергии (высокочастотной детонационной горелки). С другой стороны трубчатая камера соединяется с аспирационной установкой, например, мокрого улавливания. Для продолжительной работы в условиях промышленного производства трубчатая камера должна быть оборудована водоохлаждаемым кожухом (на рисунке не показан).

Такое конструктивное исполнение позволяет сформировать в локализованной габаритами трубчатой камере, с обеих сторон

стального листа — два идентичных высокотемпературных и кинетических потока продуктов детонационного горения от источника детонационной энергии (горелки).

Необходимо отметить особенность распространения волны детонационного горения:

В импульсном режиме одна волна детонационного горения распространяется со скоростями уровня 2000 м/с и температурой во фронте уровня 3000°С. В единичных импульсах такие сверхвысокие температуры с точки зрения нагрева поверхности оцинкованного стального листа нивелируются сверхзвуковой скоростью распространения. Т.е. одной волной детонационного горения нагреть поверхность стального листа до температур плавления цинка невозможно. Здесь нужно использовать следующие друг за другом в импульсном режиме волны детонационного горения. Это может быть достигнуто, например, классическими трубчатыми детонационными источниками энергии.

Классические трубчатые источники волн детонационного горения хороши для проведения опытно-конструкторские работ для целей подтверждения заявленного способа удаления цинкового покрытия, работа которого представлена на рис. № 5.2.



Рис. № 5.2. Размещение стального листа в волне детонационного горения.

Как уже было заявлено выше - трубчатые источники энергии хороши, но обладают существенным недостатком. Это низкая частота следования волн детонационного горения, ограниченная 100 Гц. В случае обязательной продувки камеры детонационного горения между импульсами – частота уменьшается до 20-50 Гц.

Наиболее перспективное решение в заявленном способе видится применение квазиимпульсных детонационных источников энергии, способных обеспечить частоты следования волн детонационного горения уровня 1 кГц, которые достаточно подробно изложены в 6 главе настоящей книги.

Например, полусферическая детонационно-резонансная горелка, согласно рис. № 5.3.

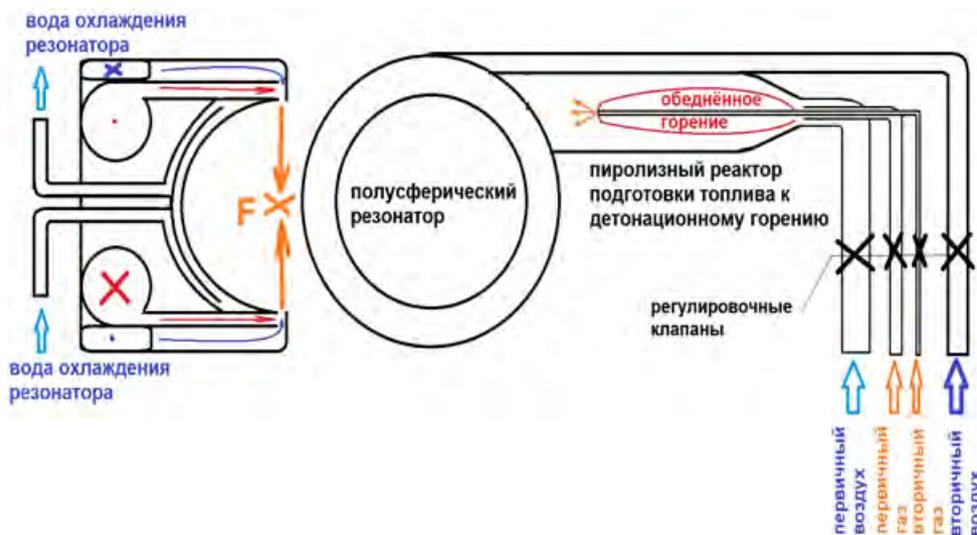


Рис. № 5.3. Детонационно-резонансная полусферическая горелка для заявленных целей

Для примера, в главе 6 настоящей книги представлены различные типы спиновых источников детонационного горения с механическими и электромагнитными системами клапанов управления детонационного горения.

Такие источники волн детонационного горения работают на частотах 1-10 кГц, что вполне достаточно для промышленной очистки оцинкованного стального листа от цинкового покрытия.

### ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ

Для приблизительной оценки эффективности заявленного способа предлагается вариант для случая использования простейшего трубчатого детонационного источника энергии, работающего на частоте следования волн детонационного горения в 100 Гц.

— Камера детонационного воздействия представляет собой трубу с внутренним диаметром 0,1 м и длиной 1.5 метра (ширина стального листа).

— Объём камеры детонационного воздействия 0,0078 м<sup>3</sup>. Для такого объёма нужно 0,004 м<sup>3</sup> газа для одного импульса детонационного горения.

— Две очищаемые поверхности стального листа, расположены внутри трубы и имеют общую площадь – 0,3 м<sup>2</sup>.

— Стальной лист, например, оцинкован по классу П с двух сторон слоем в 60 микрон и имеет общее значение массы цинка при пересчёте на площадь в 0,3 м<sup>2</sup> — 256 грамм.

— Установим, что каждый импульс следования волны детонационного горения нагревает поверхность стального листа на 2 градуса. Для нагрева поверхности стального листа до температур плавления цинка в 420 градусов нужно 210 волн детонационного горения, и это примерно 2.1 секунда работы с частотой следования волн детонационного горения — 100 Гц. Также дополнительно необходимо по времени работы примерно 1- 2 секунды для кинетического перевода поверхностного расплава цинка в аэrorированное состояние (сдувание). Время аэrorирования должно быть точно установлено экспериментальным путём для предотвращения сгорания цинка во взвешенном состоянии. Технологии аспирации рассматривать не будем.

— На основании выше изложенного можно утверждать, что источник волн детонационного горения должен работать с частотой в 100 Гц и продолжительностью 5 секунд. Этого времени работы и количества импульсов достаточно, чтобы полностью аэrorировать весь цинк массой в 256 грамм с поверхности стального листа площадью 0,3 м<sup>2</sup>. Время работы в 5 секунд обеспечат 2 м<sup>3</sup> газа при цене за 1 м<sup>3</sup>- 25 рублей.

Таким образом цинковое покрытие с площади в 1 м<sup>2</sup> стального листа в количестве 768 грамм аэrorируется за 15-20 секунд при основных затратах в 150 рублей на газ (вопросы аспирации не рассматриваются).

**ВЫВОД**

- Заявленный способ является полной противоположностью предлагаемым на современном этапе гальваническим, электролитическим и химическим способам утилизации больших объёмов цинковых покрытий, которые в условиях крупного промышленного производства для удаления цинкового покрытия с больших площадей не эффективны.

- Способ позволяет утилизировать (удалять) большие объёмы бракованной продукции производства оцинкованного листа до первоначального стального рулона до покрытия.

- Утилизация цинка происходит наиболее оптимальным способом с точки зрения экономических и временных затрат.

- Наиболее перспективно для заявленных целей использование спиновых детонационных источников энергии с механическими и электромагнитными системами клапанов управления детонационного горения.

- Реализация на металлолом очищенного таким способ рулона стального листа осуществляется без значительного дисконта на цинковое покрытие.

- Появляется возможность непосредственно вернуть очищенный рулон стального листа обратно для повторного горячего оцинкования.

- Правильность идеи подтверждается практическими работами на простом детонационном стенде, рис. № 5.4.



Рис. № 5.4. Стенд исследования воздействия волн детонационного горения на цинковое покрытие стального листа.

## **6. КВАЗИИМПУЛЬСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ НАПЫЛЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА БОЛЬШИЕ ПОВЕРХНОСТИ (НАПРИМЕР, КАК НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОЦИНКОВАНИЯ, АЛЮМИНИРОВАНИЯ СТАЛЬНОГО ЛИСТА).**

Опубликована: 15.04.2022 года.

Ссылка: [Технология напыления защитных покрытий на большие площади | вихри хаоса \(wordpress.com\)](https://vortexchaos.wordpress.com/technology-of-spraying-protective-coatings-on-large-surfaces/)

### **ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Процесс детонационного напыления защитных покрытий был впервые разработан в 1955 году Х. Б. Сарджентом, Р. М. Пурманом и Х. Миногой.

Этот процесс позволяет наносить очень твердые и плотные поверхностные покрытия, которые полезны в качестве износостойких покрытий. По этой причине детонационное распыление обычно используется для защитных покрытий в авиационных двигателях, штекерных и кольцевых датчиках, режущих кромках (ножах), трубчатых сверлах, лопастях ротора и статора, направляющих рельсах или любом другом металлическом материале, подверженном высокому износу.

Обычно материалами, которые распыляются на детали при детонационном напылении, являются порошки металлов, металлических сплавов и металлокерамики, а также их оксиды (алюминий, медь, железо и др.).

Детонационное распыление покрытий наносится с помощью детонационного пистолета, который состоит из длинного металлического ствола с водяным охлаждением, содержащего впускные клапаны для введения газов и порошков в камеру. Предварительно выбранное количество защитного материала покрытия в виде порошка с размером частиц 5–60 мкм вводят в камеру. В камере кислород и топливо поджигается свечой зажигания для создания сверхзвуковой ударной волны, которая выталкивает смесь расплавленного и/или частично расплавленного и/или твердого сырья (в зависимости от типа используемого материала из ствола на

распыляемый объект. Затем ствол очищается с помощью короткой очереди азота, прежде чем D-пушка готова к повторному выстрелу.

Частота следования волн детонационного горения в данной технологии ограничена 20 Гц.

## ДОСТОИНСТВА СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ

- возможность получения покрытий из большинства порошков, плавящихся при температуре до 2800 °С без разложения.
- возможность нанесения покрытий на различные материалы (металлы, керамику, стекло, пластмассу и др.);
- отсутствие деформации напыляемой поверхности;
- возможность получения покрытий с пористостью 0,5— 1,5% и высокой прочностью сцепления покрытий;
- возможность управлять химическим составом продуктов детонации за счет регулирования газового режима;

## НЕДОСТАТКИ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Детонационное напыление из-за своего импульсного режима работы является не слишком производительным методом (по сравнению, например, с высокоскоростным газопламенным напылением).

Детонационное напыление экономично для напыления поверхностей площадью не более нескольких квадратных сантиметров.

## **ЗАДАЧА**

**Исходя из недостатков детонационного напыления, необходимо предложить технологию промышленного нанесения защитных покрытий на большие площади, например для производства стального листа с цинковым, алюминиевым и т.п. защитным покрытием, которое в разы прочнее классике горячего оцинкования или алюминирования.**

## ПРЕДЛАГАЕМОЕ РЕШЕНИЕ

Классические трубчатые источники волн детонационного горения для заявленных целей нанесения покрытий на большие площади в условиях промышленного производства **не эффективны**. Связано это в первую очередь с частотами следования волн детонационного горения, которые ограничены конструктивными особенностями самих источников волн детонационного горения. В пределе частота следования волн не превышает 20 гц.

Исходя из выше изложенного, предлагается использовать для заявленных технологических целей источники волн детонационного горения, работающие в квазиимпульсном (почти непрерывном) режиме работы с энергетическими характеристиками одной волны детонационного горения со скоростями уровня 2000 м/с и температурой во фронте уровня 3000°С. С частотой следования волн детонационного горения более 1 кГц.

Такие высокочастотные (квазирезонансные) источники энергии, конструктивные особенности, принципы работы и т.п. наиболее подробно изложены в книге: Детонационные технологии как новый технологический тренд в промышленности [2].

К таким высокочастотным источникам волн детонационного горения относятся полусферические детонационно-резонансные горелки и спиновые источники волн детонационного горения с механическими и электромагнитными системами клапанов управления детонационного горения.

Заявленные источники волн детонационного горения работают на частотах 1-10 кГц, что вполне достаточно для заявленных промышленных целей нанесения защитных покрытий на большие площади.

Для примера, схематически, предлагаемое решение на основе полусферической детонационно-резонансной горелки представлено на рис. № 6.1



Рис. № 6.1. Квазиимпульсная технология напыления защитных металлических покрытий.

Полусферическая детонационно-резонансная горелка размещается сверху стального, движущегося листа. Сверху полусферы горелки размещён бункер с клапаном дозатором. В бункере находится жидкий металл.

Подготовленное топливо поступает для смешивания с вторичным воздухом непосредственно перед кольцевым выходным соплом в короткую кольцевую зону смешивания. Смешивание происходит путём инжекции подготовленного топлива вторичным воздухом с большой скоростью.

После инжекции, подготовленная к детонационному горению топливовоздушная смесь поступает в кольцевое сопло. На выходе в фокусе полусферы формируется высокоскоростной поток за счёт кольцевого сопла, которое изготовлено по профилю поперечного сечения сопла Лавалья. Такой профиль позволяет сформировать радиальный центростремительный поток топливовоздушной смеси со сверхзвуковой скоростью. Большая скорости потока топливовоздушной смеси не допускает его самовоспламенения.

Одновременно в эту центральную область поступает порционно жидкий металл из бункера.

Заключительный этап – инициация детонационной волны электроискровым поджогом с частотой, равной частоте следования волн детонационного горения.

После инициации формируется фронт бегущей волны детонационного горения с сверхвысокой температурой, давлением и сверхзвуковой скоростью. Волна детонационного горения придаёт порции жидкого металла высокую энергетику для заявленных целей формирования защитного покрытия на стальном листе. Затем цикл повторяется с частотой 1 кГц.

Можно сказать, что такая полусферическая детонационно-резонансная горелка работает в квазиимпульсном (почти непрерывном) режиме формирования волн детонационного напыления.

## ВЫВОД

- Переход от классических трубчатых низкочастотных (20 Гц.) источников волн детонационного горения на высокочастотные с частотами 1-10 кГц позволит расширить сферу применения детонационного способа напыления защитных покрытий. Это относится в первую очередь к высокочастотным источникам волн детонационного горения полусферического детонационно-резонансного типа и спинового типа с механическими и электромагнитными системами клапанов управления детонационного горения.

- Заявленный способ обеспечит массовое, площадное нанесение защитных покрытий, и что самое главное, с более высокими характеристиками, которые не доступны, например, горячему способу оцинкования или алюминирования стального листа. Это обеспечивается, в отличие от классических технологий горячего нанесения покрытий, за счёт следующего:

При детонационном воздействии (высоко скоростное, высоко кинетическое, высоко температурное воздействие) расплавленные частицы покрытия ударяются о более холодную поверхность с последующим растеканием и одновременным затвердеванием. По мере растекания уже затвердевшая часть покрытия бомбардируется

новой порцией высоко кинетического жидкого покрытия, обеспечивая большую адгезию с подложкой (стальным листом).

- Процесс детонационного горения в заявленных высокочастотных (квазиимпульсных) источниках и параметры и сочетания различных продуктов детонационного напыления легко регулируются. Таким образом можно получать материалы с новыми характеристиками.

## 7. ТОРОИДАЛЬНО ПОТОЧНАЯ ВИХРЕВАЯ МЕЛЬНИЦА УЛЬТРАТОНКОГО ПОМОЛА ПОРОШКОВ МЕТАЛЛОВ МИКРОННОГО УРОВНЯ.

Опубликована: 15.02.2022 года.

Ссылка: [Тороидальнопоточная вихревая мельница ультратонкого помола порошков металлов микронного уровня | ВИХРИ ХАОСА \(wordpress.com\)](https://vixri-chaosa.wordpress.com)

Принцип работы основан на формировании в замкнутой шаровой полости мельницы и поддержания на должном уровне полноценного тороидального вихревого потока порошка истираемого материала.

Шаровая полость мельницы зафиксирован в вертикальной плоскости на тросовых элементах.

Тороидальный вихревой поток порошка металла внутри шаровой полости мельницы формируется и поддерживается за счёт периодической (бегущей) инициации тангенциальных(!!!) ударных импульсов механическими вибраторами, подводимых к шаровой полости мельницы снаружи. Механические ударные импульсы подводятся снаружи корпуса мельницы в нижней части и в верхней части. Формируются две бегущие ударные волны в нижней и верхней части шаровой полости мельницы, закреплённой в вертикальной полости тросовым способом. Механические ударные импульсы как в нижней части, так и в верхней части шаровой полости строго синхронизированы между собой и позволяют иницировать внутри волновые потоки любых веществ.

Для целей полноценного формирования тороидального вихревого потока любого вещества шаровая полость мельницы оборудована внутри вверху и внизу специальными центростремительными направляющими поток конусами.

Особенностью любого тороидального вихревого потока, в том числе и частиц металла является сложная траектория движения.

В такой вихревой тороидальной порошковой структуре присутствует осевая область, в которой осуществляется непосредственно процесс истирания.

По мере приближения к осевой части тороидального вихря скорость частиц многократно возрастает, радиус вращения

уменьшается. В этом случае вихревой тороидальный поток порошкового металла в осевой части претерпевает значительные сжимающие истирательные воздействия для целей заявляемого.

Конструктивное исполнение заявленной вихревой мельницы и принцип работы наглядно представлен на рис. № 7.1.

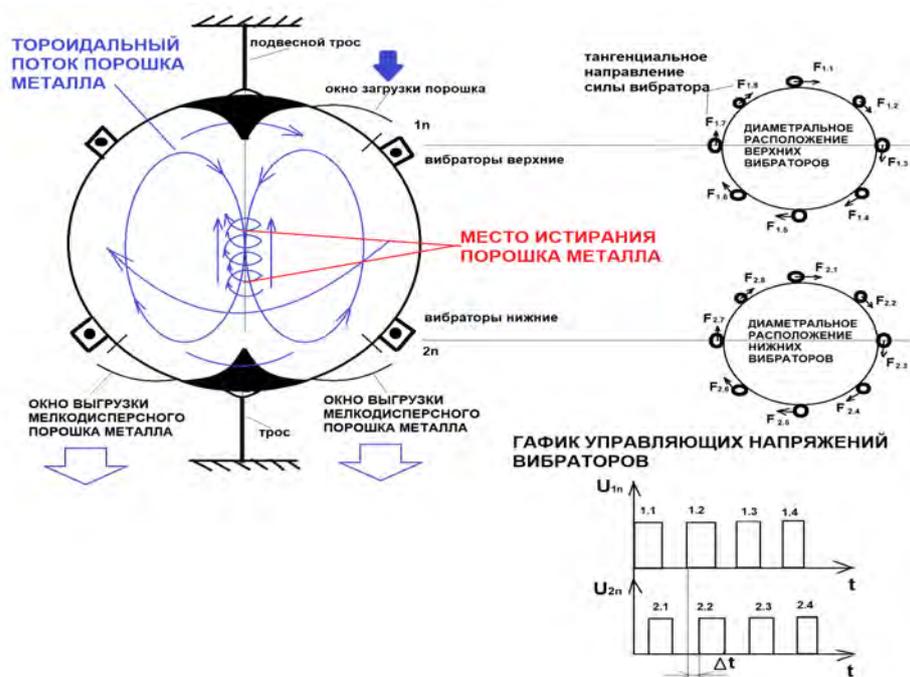


Рис. № 7.1. Тороидально поточная вихревая мельница ультратонкого помола порошков металлов микронного уровня.

Нижние и верхние вибраторы со своими тангенциальными силами приложения при работе формируют в замкнутой шаровой полости мельницы циклическую бегущую дорожку из порошка металла, которая по спирали поднимается вверх. Сверху специальный центростремительный направляющий конус направляет поток порошка в при осевую область вниз. Происходит осесимметричное сжатие потока порошкового металла. Формируется внутренний осевой тороидальный вихревой сверх высокоскоростной противопоток, внутри которого обеспечивается непосредственный ультра дисперсионный помол любых порошков металлов за счёт сверхвысоких сил трения. По оси на выходе снизу шаровой полости мельницы также размещён направляющий конус.

Таким образом, благодаря формированию линейкой вибраторов внутри шаровой полости вихревого порошкового потока, направленного

вверх и двух осесимметричных конусов, изменяющих направление движения потока — формируется полноценный тороидальный вихревой поток с значительными истирательными возможностями в осевой части шаровой полости мельницы.

В заявленном предложении интенсивность вихревого тороидального потока, и как следствие, истирательное осевое усилие мельницы (её эффективность) зависит исключительно от степени согласованности работы линейки вибраторов, их интенсивности, места размещения на внешнем корпусе шаровой полости мельницы и подбирается индивидуально для каждого порошкового материала.

Для наглядности на заявленном выше рисунке вибраторы конструктивно размещены в два яруса. При этом расположение вибраторов может быть и другое, например по спирали с различным шагом или другим.

**В любом случае заявляется главное — все вибраторы должны работать строго согласовано для целей формирования внутри шаровой полости мельницы спирального вихревого восходящего вихревого потока порошкового металла.**

## **ВЫВОД:**

Заявленный способ позволит проводить ультратонкий помол порошков металлов микронного уровня относительно просто и без использования какого либо дополнительного высокоэнергетического оборудования и носителей, по сравнению с классическими существующими способами.

Останавливаться на классике нет смысла, она широко представлена для различных технологических целей, имеет свои достоинства и недостатки.

Отмечу только одно — заявленный способ кардинально отличается от классики. За счёт периодической инициации тангенциальных (!!!) ударных импульсов по типу бегущей волны механическими вибраторами — в подвешенной шаровой полости помола формируется полноценный тороидальный вихревой поток частиц металла. В этом случае сама структура тороидального потока позволяет формировать в осевой центральной части значительные истирательные усилия за счёт значительного сжатия. По мере

приближения к осевой части тороидального вихря скорость частиц в этом случае многократно возрастает, радиус вращения уменьшается. В этом случае вихревой тороидальный поток порошкового металла в осевой части претерпевает значительные сжимающие истирательные воздействия для целей заявляемого.

## **8. САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩИЙСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ СИНТЕЗ (СВС) ОГНЕСТОЙКОГО ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ ГРАФИТОВОГО ЭЛЕКТРОДА ДУГОВОЙ ПЕЧИ.**

Опубликован: 24.12.2020 года.

Ссылка: [Само распространяющийся высокотемпературный синтез \(свс\) покрытия электрода дуговой печи. | вихри хаоса \(wordpress.com\)](#)

Предлагается принципиально новый способ защиты поверхности графитового электрода формированием на его поверхность методом само распространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) высокопрочного, огнестойкого защитного покрытия. При этом само защитное покрытие формируется в момент начала использования самого электрода по назначению. Метод основано на научном открытии советских ученых А.Г. Мержанова с соавторами «Явление твердого пламени». Приоритет открытия — 1967 год.

В настоящее время мероприятия по снижению расхода электродов при электродуговой плавке металлов приобретают актуальное значение.

При горении дуги, вследствие разогрева происходит интенсивное эрозионное разрушение графитового электрода с боковых поверхностей за счет окисления, сублимации зерен графита, разрушения материала связки.

Повышенная эрозия материала электрода в расплав приводит к уменьшению диаметра электрода и как следствие к блужданию дуги с возникновением по этой причине дополнительных потерь, и как следствие -к потреблению дополнительной энергии.

Предлагаемые в настоящее время варианты решения проблемы известны и широко используются в металлургии.

Один из наиболее близких к заявляемому способу это способ нанесения плазменным напылением на боковую поверхность графитового электрода эрозионностойкого электропроводящего покрытия суммарной толщиной не более 0,5 мм из алюминия, ферросилиция, силикокальция или других веществ.

Основной недостаток данного способа также всем известен. Это повышенные трудозатраты, (несколько часов на один электрод), энергозатраты, ручное нанесение, и как следствие неравномерная

толщина покрытия и т.п. Прогорание такого металлического покрытия при высоких температурах происходит очагами и как правило раньше, чем полное прогорание самого электрода. Как следствие – полностью защитить поверхность электрода от окисления таким способом невозможно.

В данной статье предлагается принципиально новый способ защиты поверхности графитового электрода от окисления графита при плавке формированием на его поверхность методом само распространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) высокопрочного, огнестойкого защитного покрытия.

Сам метод само распространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) является одним из перспективных методов получения покрытий. В основе метода само распространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) лежит экзотермическая реакция взаимодействия двух и более химических элементов, протекающая в режиме послыонного направленного горения.

Основными компонентами само распространяющегося высокотемпературного синтеза высокопрочного, огнестойкого защитного покрытия, согласно научного открытия советских ученых “Приоритет открытия — 1967 год.” обязательно должны быть:

1. Порошок металлического алюминия (для алюмотермии).
2. Различные наполнители, т.е. оксиды для так называемого бескислородного горения и восстановления в порошке алюминия. Это могут быть кремнеземы, периклазы, хромитовые концентраты, оксиды железа и т.п.
3. Раствор связующего, в качестве которого можно использовать этилсиликат, растворы жидкого стекла, а также фосфаты натрия, калия, алюминия, магния.

Расчёт количественных характеристик составляющих компонентов смеси для само распространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) ведётся по классических школьным химическим формулам балансов при алюмотермии.

Рациональное сочетание исходных компонентов и добавок дает возможность получать высокопрочные, огнестойкие защитные покрытия с требуемыми характеристиками.

Для примера: исходная смесь (обмазка) для само распространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) высокопрочного, огнестойкого защитного покрытия графитового электрода может состоять из следующих компонентов:

1. Диоксида кремния 70–80 %,
2. Порошок алюминия 20–30 %
3. Раствор жидкого стекла 35 %-ный в количестве 16–18 % от массы.

После перемешивания смесь для само распространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) высокопрочного, огнестойкого защитного покрытия наносят на электрод слоем толщиной 1-3 мм различными способами. Например, погружением в раствор, или нанесением пульверизатором и т.п. Затем электрод сушат в течение 1 часа. Далее электрод используют по назначению.

При зажигании дуги на конце электрода от высокой температуры выше 1000 градусов происходит воспламенение смеси начинает протекать само распространяющийся высокотемпературный синтез, который идёт со скоростью 1 мм/секунда в направлении снизу – вверх электрода, рис. № 8.1.



Рис. № 8.1. Само распространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) огнестойкого защитного покрытия на стальном прутке.

При этом температура в зоне горения достигает более 2000 градусов. Идёт экзотермическая реакция синтеза высокопрочного, огнестойкого защитного покрытия толщиной до 1 мм на поверхности электрода в режиме послойного направленного горения снизу-вверх с одновременной сверхпрочной адгезией с поверхностью электрода.

После завершения стадии горения покрытие практически сразу набирает требуемую прочность. По адгезии покрытие значительно превосходит традиционно полученные методом напыления. Этот эффект обусловлен тем, что в ходе само распространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) из-за развития в зоне горения сверхвысоких температур происходит не только синтез огнеупорного материала покрытия, но и одновременно взаимодействие компонентов смеси само распространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) с поверхностью графитового электрода с образованием прочной связи.

Экспериментируя с различными наполнителями можно подобрать оптимальный состав смеси для само распространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) высокопрочного, огнестойкого защитного покрытия электрода.

Нужно проводить эксперименты на действующем производстве. Это обусловлено тем, что в лабораторных условиях не все параметры само распространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) известны. При начальной стадии дугообразования на конце электрода параметры изменяются пропорционально линейным размерам, температурам, токовым характеристикам и т.п., а некоторые параметры имеют вероятностные характеристики.

В таких условиях только эксперимент на действующем производстве может подтвердить эффективность заявляемого способа защиты поверхности электрода.

В качестве наполнителя мной предлагается начать проводить эксперименты с тестированием бесплатного отхода производства фосфорной кислоты – сверхтонкого порошка фосфогипса, который имеет однородную структуру по всему объёму как по химии, так и по размерности. (см. п.2. настоящего приложения)

При приближённом расчёте экономической эффективности можно ориентироваться на стоимость алюминиевого порошка, который выступает, как маркер по затратам.

Пример, для синтеза высокопрочного, огнестойкого защитного покрытия толщиной 1 мм для одного электрода диаметром 610 мм (“обмазка” всей поверхности электрода компонентами СВС толщиной в 3 мм) нужно примерно 10 кг. порошка алюминия. При цене порошка

алюминия в 120 руб. за килограмм, примерная себестоимость защитного покрытия для одного электрода не превысит 2000,00 рублей.

При этом такое покрытие гарантированно защитит поверхность электрода от окисления в условиях агрессивной высокотемпературной среды на весь срок службы, в отличие от способов плазменного напыления, указанных выше.

Предлагаемая идея применения технологии само распространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) защитного покрытия на поверхности электрода является технологически самой простой, надёжной и наиболее эффективной как по физическим характеристикам электрода, так и по стоимостным.

## **9. СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ И СОСТАВ СМЕСИ ДЛЯ СВС ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛЬНОЙ ЗАГОТОВКИ ОТ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ГАЗОВОЙ КОРРОЗИИ.**

Опубликован: 07.06.2021 года.

Ссылка: [Способ формирования и состав смеси для СВС защитного покрытия поверхности стальной заготовки| ВИХРИ ХАОСА \(wordpress.com\)](https://vixri.xaos.ru/wordpress.com)

Всем известно, что высокотемпературная газовая коррозия и т.п., имеющие место при нагреве стальных заготовок в печи, перед горячей прокаткой ухудшают показатели качества дальнейшего передела и одновременно увеличивают потери металла.

Особенности, причины, классические способы борьбы и т.п. высокотемпературной газовой коррозии здесь рассматриваться не будут. Они довольно широко представлены в открытом доступе.

При этом разработка эффективных и недорогих способов снижения потерь металла является актуальной задачей.

Предлагается состав защитного простого защитного покрытия стальной заготовки, состоящий из экзотермической СВС (Скоростной Высокотемпературный Синтез) смеси термитного типа. Такое покрытие при нагреве стальной заготовки в нагревательной печи выше 850 градусов воспламеняется в режиме теплового взрыва. При более низких температурах горение экзотермической СВС смеси термитного типа не происходит.

В качестве защитного покрытия предлагается использовать масляную краску МА-15 “железный сурик” с добавкой алюминиевой пудры.

Согласно ГОСТ масляная краска МА-15 содержит 50-60 % железного сурика. Остальное — связующие и добавки. В пересчёте на чистый оксид железа, содержание его в краске составляет 45-50 %.

Для протекания термитного горения, согласно температурному балансу достаточно в масляную краску добавить 20% алюминиевой пудры.

Проведённые ОКР по теме подтверждают такую возможность, см. рис. № 9.1.

На рис. № 9.1. видно, что на поверхности стального прутка с обмазкой по выше предлагаемому в пламени газовой горелки при цвете свечения, соответствующем 800-850 градусов начинает протекать СВС (скоростной высокотемпературный синтез) формирования защитного покрытия



Рис. № 9.1. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) защитного покрытия поверхности стальной заготовки от высокотемпературной газовой коррозии.

### **ВЫВОД:**

Практические работы, проведенный по теме подтверждают тот факт, что защитное покрытие на основе масляной краски МА-15 “железный сурик” с добавкой 20 % алюминиевой пудры в качестве экзотермической СВС (скоростной высокотемпературный синтез) смеси термитного типа позволяет создать защитное покрытие из оксида алюминия. Защитное действие покрытия обуславливается образованием на поверхности заготовки плотной окисной пленки с хорошим сцеплением с поверхностью самой стальной заготовки.

### **ПО СУЩЕСТВУ ПРЕДЛАГАЕМОГО:**

Перед нагревом в печи вся поверхность стальной заготовки должна быть покрыта тонким слоем толщиной не менее 1 мм и высушена.

В нагревательной печи на первом этапе нагрева заготовки с покрытием до 850 градусов происходит полное выгорание плёнообразующих веществ и добавок. Остаётся спеченная термитная смесь, которая при нагреве сляба выше 850 градусов инициируется термитным горением.

При достижении такой температуры поверхности заготовки начинает происходить относительно низкотемпературное очаговое восстановления оксида алюминия и железа, при котором отсутствует процесс распространения горения в режиме волнового синтеза. На поверхности раскаленной экзотермической СВС смеси термитного типа начинают наблюдаться кратковременные локальные очаговые области горения, где интенсивность свечения значительно выше общего фона разогретой поверхности шихты. По мере прогрева стальной заготовки происходит преимущественное послойное распространение очагов термитного горения со скоростью примерно 0,5 – 1 см/с.

После прохождения фронта термитного горения с температурой более 2000 градусов на поверхности металлической заготовки образуется защитное покрытие из оксида алюминия.

При дальнейшем нагреве и последующей выдержке заготовки в печи синтезированная таким способом защитное покрытие является буфером для защиты от окисления и обезуглероживания стальных заготовок при высокотемпературном нагреве.

## **ФИНАНСОВЫЕ ЗАТРАТЫ НА ОКР.**

Ориентировочно можно оценить, что одной банки краски МА-15 стоимостью 150 руб. и 200 грамм алюминиевой пудры стоимостью 300 руб. достаточно для нанесения смеси толщиной 1 мм. на всю поверхность одного стального сляба размером 100x100x12000 мм. Себестоимость такой смеси для синтеза огнестойкого защитного покрытия на всей поверхности одного сляба размером 100x100x12000 мм. составит 450 рублей.

К сожалению, провести эксперимент по качеству полученного заявленным способом покрытия в условиях моей мастерской не возможно. При этом возможно нужно пересмотреть после дополнительных экспериментов толщину нанесения смеси для синтеза защитного покрытия.

## **ПРЕДЛОЖЕНИЕ.**

Для подтверждения заявляемого предлагается на действующем металлургическом производстве необходимо провести ОКР с финансовыми затратами уровня нескольких бутылок хорошего импортного пива, и на месте оценить степень влияния высокотемпературной газовой коррозии на качество заготовки с защитным покрытием, сформированным таким образом.

## **10. САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩИЙСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ СИНТЕЗ (СВС) КАК БАЗОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ ОТОПИТЕЛЬНЫХ ПРОСТЕНКОВ КОКСОВОЙ БАТАРЕИ.**

Опубликован: 22.05.2021 года.

Ссылка: [Самораспространяющийся высокотемпературный синтез, как базовая технология изготовления любых огнеупорных изделий | ВИХРИ ХАОСА \(wordpress.com\)](https://vixri.xaosca.wordpress.com)

Предлагаются технологии изготовления огнеупорных изделий любой сложной формы методом скоростного высокотемпературного синтеза (СВС). При этом рецептура смесей и технологии изготовления самих изделий для СВС кардинально отличаются друг от друга в зависимости от использования основных составляющих оксидов, и тем самым — от используемых температур при работе.

Рассмотрим по аналогии с шамотным и динасовым кирпичом две технологии изготовления огнеупорных изделий.

### **1. Синтез огнеупорного изделия с огнеупорностью 1100-1300 градусов.**

Здесь в качестве основного компонента смеси всегда выступает оксид алюминия. Экспериментально доказано, что в смеси с алюминиевой пудрой он прекрасно прессуется в любой форме до готового изделия для СВС. Использовать связующее в этом случае нет необходимости.

### **2. Синтез огнеупорного изделия с огнеупорностью 1700-1800 градусов.**

Здесь в качестве основного компонента смеси всегда выступает оксид кремния и т.п. Экспериментально доказано, что в смеси с алюминиевой пудрой он не прессуется до готового изделия. Здесь необходимо использовать обязательно связующее по типу силикатов и т.п.

Исходя из Выше изложенного предлагается кардинально изменить технологию восстановления отопительных простенок коксовых печей и рассмотреть возможность применения технологии так называемого твёрдого пламени или само распространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) — научное открытие советских ученых 1967 год.

Такая технология позволит создать отопительный простенок по аналогии с огнеупорным литьем, но с учётом того, что при СВС отопительный простенок практически сразу набирает требуемую прочность, огнестойкость и немедленно готов к использованию. А это уже в контексте временных характеристик простоя печей, как я понимаю, для Вас самое главное.

Здесь нет смысла акцентировать внимание на физических основах данного явления. Всё достаточно просто и к тому же одновременно – достаточно сложно. Только экспериментальные работы позволят подобрать состав компонентов, их предварительную обработку и т.п. Это обусловлено тем, что в теории не все параметры СВС однозначны, а некоторые имеют вероятностные характеристики. Скажу только, что для целей заявляемого основными компонентами СВС всегда являются:

1. Порошок металлического алюминия (для алюмотермии).
2. Оксиды для так называемого бескислородного горения и восстановления в порошке алюминия.

Для примера – рецептурный состав для СВС, с которым я лично экспериментировал.

1. Диоксида кремния 75 %,
2. Порошок алюминия 25 %
3. Раствор жидкого стекла 35 %-ный в количестве 16–18 % от массы.

При зажигании дуги внизу сформованной заготовки начинает протекать СВС, который всегда идёт со скоростью примерно 1 мм/секунда в направлении снизу – вверх. При этом температура в зоне горения достигает более 2500 градусов. Идёт экзотермическая реакция синтеза высокопрочного, огнестойкого огнеупора в режиме послойного горения, направленного снизу-вверх, рис. № 10.1.



Рис. № 10.1. Само распространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) огнеупорного изделия.

Остановимся сейчас на самих технологиях применения заявляемого. Их может быть, на мой взгляд, две.

1. Монтируется опалубка с внутренними вертикалами всего отопительного простенка. Вводится смесь компонентов для СВС. Иницируется СВС снизу-вверх. Но здесь нужно решить главную проблему – теплоизоляция поперечных стяжек КБ.
2. Заблаговременно до начала ремонтных работ методом СВС в формах формируются отдельные модули простенка по типу элементов конструктора ЛЕГО для без растворной сборки. Дополнительное прессование компонентов в формах позволит получить модули, которые не требуют дополнительной механической обработки. Размер модулей здесь будет зависеть от существующих возможностей сборки, т.е. от 30 кг для ручной сборки и выше – при использовании какого-либо механического манипулятора. Просматривая мировую практику по этому вопросу, например, одна иностранная компания рассчитала, что для восстановления всего простенка оптимальным является 21 модуль. Только в её работах речь велась о модулях, изготовленных из огнеупорного бетона, а я веду здесь речь о кардинально другой технологии, которая позволяет использовать печь по назначению сразу, после формирования простенка.

При заранее отработанной на стапеле заявленной выше технологии восстановление отопительного простенка “с нуля” можно провести в течении одного дня, а с учётом того фактора, что после СВС простенок практически сразу набирает требуемую прочность, огнестойкость — печь будет готова к работе немедленно.

В качестве основных финансовых затрат в этом случае является порошок алюминия. Остальными затратами для предварительного расчёта можно пренебречь. Возьмём для примера отопительный простенок размером 6,00x15,00 м. Для СВС количество порошка алюминия будет ориентировочно необходимо в количестве 13.5 тонн. Это примерно 1 350 000,00 руб.

Однозначно для отработки технологии затраты возрастут в десятки раз.

Проведённые эксперименты подтверждают возможность с помощью СВС синтеза любых огнеупорных изделий.

В области качественных характеристик получаемых огнеупорных изделий – здесь большое поле для эксперимента.

Экспериментами подтверждено, что:

1. изменения даже в 1 % любого компонента из смеси для СВС,
2. усилие прессования изделия, существенно влияют на качественные характеристики синтезируемого огнеупорных изделий.

К сожалению в настоящее время полноценный математический расчёт качества готовой продукции не возможно, слишком много неопределённостей и вероятностных характеристик.

Таким образом проведение ОКР - единственный способ повышения качества готовой огнеупорной продукции.

PS:

Способом СВС (скоростного высокотемпературного синтеза) была отремонтирована футеровка фехральной электрической печи, в которой со временем раскрошились так называемые «полочки» под нагревательную спираль, рис. № 10.2.



Рис. № 10.2. Само распространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) полочек под нагревательную спираль внутри печи.

Состав смеси для СВС:

1. Диоксида кремния 75 %,
2. Порошок алюминия 25 %
3. Раствор жидкого стекла 35 %-ный в количестве 16–18 % от массы.

В печи болгаркой была убрана полностью спирального вида внутренняя опора для нагревательного элемента.

Была «вылеплена» внутри печи заново так называемая вставка со спиральным углублением по всему внутреннему периметру.

После полного высыхания вставки произведён нагрев и непосредственно инициация СВС снизу вверх .

## 11. АЛЮМОТЕРМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ В КАЧЕСТВЕ АЛЬТЕРНАТИВЫ ОГНЕВОЙ РУЧНОЙ ЗАЧИСТКЕ ДЕФЕКТОВ СЛЯБОВ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА.

Опубликована: 16.01.2021 года.

Ссылка: [Алюмотермическая технология в качестве альтернативы огневой ручной зачистке дефектов слябов литейного производства. | ВИХРИ ХАОСА \(wordpress.com\)](https://vixri.xaosca.wordpress.com)

Предлагаемая технология основывается на полной противоположности классическому способу огневой зачистки пламенем горения газокислородной смеси, при которой удаляемый дефектный слой металла нагревается до высокой температуры, воспламеняется в струе кислорода и сжигается.

Вместо зачистки (удаления) дефекта сляба на глубину до 10 мм предлагается расплавлять локальное место дефекта или всю поверхность сляба известным способом алюмотермии.

При такой обработке поверхность места дефекта или вся поверхность сляба становится однородной.

После механической очистки от шлака оксида алюминия сляб с однородной поверхностью без дефектов литейного производства готов к дальнейшему переделу.

Технический результат достигается размещением на место зачистки прямоугольной пластины из специально подготовленной шихты. Количество шихты рассчитывается по известным формулам теплового баланса для оплавления поверхности сляба на глубин до 10 мм.

После этого шихта поджигается горелкой с одной стороны, происходит алюмотермическая реакция с выделением большого количества тепла, при которой поверхность сляба оплавляется и становится однородной, см. рис. № 11.1.

В этом случае известный состав термитной шихты обеспечивает возможность стабильной экзотермической реакции с выделением количества тепла, достаточного для оплавления поверхностного слоя сляба на глубин до 10 мм.

Подготовка шихты для алюмотермии осуществляется классическим способом. Шихта содержит классические порошки оксида железа и алюминия, а также обязательно соду в качестве технологической добавки для уменьшения разбрызгивания и связующее из силиката натрия (силикатного клея).

Грануляция порошков оксида железа и алюминия составляет также классические 10...40 мкм. При этом оксид железа берётся от дробеструйной обработки стальных деталей, в которой присутствует до 3 % осколков стальной дроби.

Шихта перемешивается с последующей формовкой прямоугольных пластин различного размера с сушкой.

Остаётся только положить такую заранее подготовленную пластину на место дефекта и поджечь газовой горелкой для поверхностного оплавления любого дефекта сляба с последующей механической очисткой от шлака (оксидов алюминия).



Рис. № 11.1. Алюмотермическое горение в качестве альтернативы огневой ручной зачистке дефектов слябов литейного производства.

Экспериментируя с процентным составом шихты и его количеством можно добиться оптимального оплавления любых дефектов поверхности сляба на любую глубину.

## 12. ТЕХНОЛОГИЯ ПРЯМОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ МЕТАЛЛОВ ИЗ ОКСИДОВ (РУДЫ) МЕТОДОМ СВС

Опубликована: 03.05.2020 года.

Ссылка: Технология бездоменного производства стали методом СВС карбида железа из руды | ВИХРИ ХАОСА (wordpress.com)

Металлизация руды - интересное направление ухода от двух стадийного процесса: руда -> чугун -> сталь .

Предлагается обратить внимание на химию окислительно-восстановительной реакции без газового горения смесей по уравнению  $Fe_2O_3 + 2C + 2Al = 2FeC + Al_2O_3$ , а именно: само распространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) карбида железа со скоростью 0.1-20 см/сек из спрессованных порошков. Грубая аналогия - алюмотермия, только реакция протекает спокойно и послойно, без разбрызгивания. Спрессованные брикеты становятся основой при выплавке стали взамен основной части стального лома в кислородных конвертерах или электродуговых печах.

В этом случае выплавка стали будет проходить в два этапа. Сначала СВС карбида железа в так называемом режиме теплового взрыва - самовоспламенения и послойного горения синтеза карбида железа, затем непосредственный процесс производства стали.

В этой технологии есть подводные камни, это экономическая целесообразность. Все процессы СВС относятся к разряду гетерогенных, т.е. скорость реакции и тепловыделения пропорциональны удельной поверхности реагентов. Следовательно, чем меньше размер частиц компонентов смеси СВС, тем выше скорость процесса. Также, на условия протекания СВС влияют параметры окружающей среды. На практике, в любых системах СВС размер частиц порошков не должен превышать 200 мкм. К тому же количество алюминия должно составлять не менее 15-20 % от железной руды для протекания реакции СВС.

Многие скажут, что в промышленных масштабах технология не эффективна. Цена мелко дисперсионного порошка алюминия, например, марки ПА-4 достаточно велика. Что ставит под вопрос экономическую целесообразность самой технологии.

Здесь хочется отметить одну особенность протекания любой

реакции СВС в режиме теплового взрыва (самовоспламенения). Чем выше температура брикетов, тем больший размер фракций порошков компонентов СВС можно использовать в них. А предварительный нагрев брикетов может быть обеспечен в конвертере или электросталеплавильной печи. Размер фракций компонентов может быть увеличен с групп дисперсности до обыкновенных порошков с фракцией, например 1 мм, которые на много дешевле получать из лома алюминия.

Технология производства брикетов для СВС карбида железа показана на рис. № 12.1.



Рис. № 12.1. Технология производства брикетов для СВС карбида железа.

Таким образом, технология производства спрессованных брикетов из порошков железной руды, алюминия и углерода с фракцией 1 мм для конвертерных и электросталеплавильных печей может стать альтернативой двух стадийному процессу производства стали - руда -> чугуна -> сталь.

Без аглофабрик, коксовых и доменных печей.

### 13. МЕХАНИЧЕСКИЙ ПРОВОЛОЧНЫЙ СПОСОБ САМО ОЧИСТКИ ФОРСУНОК ПРОМЫШЛЕННЫХ ГАЗОВЫХ ГОРЕЛОК КОКСОВОГО И ДОМЕННОГО ГАЗА ОТ ОТЛОЖЕНИЙ.

Опубликован: 10.02.2021 года.

Ссылка: [Механический проволочный способ само очистки форсунок промышленных газовых горелок коксового и доменного газа от отложений. | ВИХРИ ХАОСА \(wordpress.com\)](https://vixri.xaosca.wordpress.com)

Вспомним, что в детстве все мы для само очистки втулок колёс велосипеда делали чистящую петлю из тонкого провода или старой велосипедной камеры. Такое кольцо автоматически до блеска полировало втулки при движении. Чем быстрее движение, тем чище втулки.

Такой же подход предлагается и для целей самоочистки форсунок горелок коксового и доменного газа от отложений.

Вместо кольца предлагается использовать свободно развивающуюся стальную тонкую (-ие) проволоку (-ки) в турбулентном потоке коксового газа из газовой форсунки.

В зависимости от конструктивного исполнения газовых горелок, например:

1. С классическим распылением горючего газа — предлагается использовать тонкую стальную проволоку диаметром в разы меньшим по сравнению с проходным диаметром форсунки в самом узком месте. Проволока жёстко закреплена с одной стороны, например к подводящему газовому колену. С другой стороны проволока свободно развивается в турбулентном потоке коксового газа с выходом из сопла форсунки. Таким образом по аналогии с приведённым выше примером из детства происходит само очистка непосредственно проходного сечения форсунки газового сопла. Если использовать дополнительно пучок таких проволок, которые по длине находятся только внутри подводящего патрубка газа, то возможна само очистка не только сопловой части форсунки, но и подводящего патрубка.

2. С вихревым распылением горючего газа — предлагается использовать стальную тонкую полосу ленточного

завихрителя с шагом крутки, равным крутке проходного сечения вихревой форсунки. Полоска жёстко закреплена с одной стороны к подводющему газовому колену. С другой стороны полоска свободно развивается в вихревом потоке коксового газа. Таким образом по аналогии с приведённым выше примером из детства происходит само очистка непосредственно проходного сечения газового сопла. Если использовать дополнительно пучок стальных проволок, которые по длине находятся только внутри подводящего патрубка, то возможна само очистка не только сопловой части форсунки, но и подводящего патрубка.

## ВЫВОД

Практическая реализация способа самоочистки представлена на рис. № 13.1.

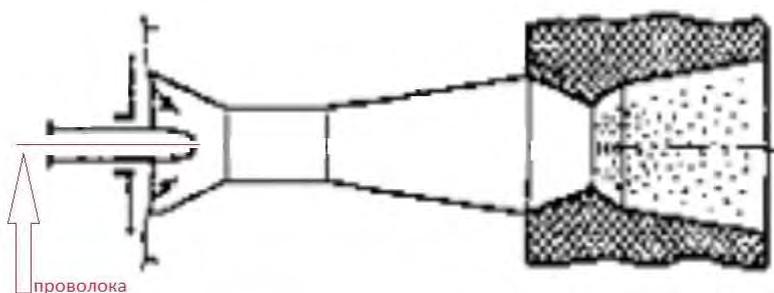


Рис. № 13.1. Механический проволочный способ самоочистки форсунок промышленных газовых горелок коксового и доменного газа от отложений

При этом стоит отметить, что:

1. Сопло форсунки не испытывает достаточно сильного нагрева от дефлаграционного сгорания коксового газа, т.к. сгорание происходит не на срезе сопла, а на небольшом расстоянии от него. Тем самым поток коксового газа непосредственно из сопла можно сказать предотвращает чрезмерный нагрев стальной проволоки. И как следствие – температурное разрушение.
2. Проволока не оказывает существенного значения на расход газа.

3. С точки зрения безопасности максимально, что может произойти, это то, что проволока оторвётся и вылетит под напором газового потока в огневую часть, где с успехом и сгорит.
4. Можно предусмотреть возможность например ручной периодической принудительной подачи проволоки в зону проходного сечения форсунки в случае истирания в ходе работы.

PS:

По аналогии можно предположить аналогичный способ самоочистки внутренних поверхностей трубопроводов коксового газа путём развивания внутри плохо обтекаемых тел на длинных нитях в турбулентном потоке газа. При ударах о стенки такие плохо обтекаемые тела формируют акустические волны, предотвращающие налипания, но об этом позже.

## **14. АКУСТИЧЕСКИЙ СПОСОБ ЗАЩИТЫ ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДОВ ОТ ОБРАЗОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ КОКСОВОГО И ДОМЕННОГО ГАЗОВ НА ОСНОВЕ ЭФФЕКТА РИЙКЕ (ТЕПЛОЙ АВТОГЕНЕРАЦИИ ЗВУКА).**

Опубликован: 10.02.2021 года.

Ссылка: [Акустический способ защиты внутренних поверхностей оборудования и трубопроводов от образования отложений коксового и доменного газов на основе эффекта рийке \(тепловой автогенерации звука\). | вихри хаоса \(wordpress.com\)](#)

Предлагается способ дезактивации внутренних поверхностей технологических трубопроводов на предмет образования центров кристаллизации путем формирования мощного низкочастотного акустического поля с частотой 100-200 герц в объеме транспортируемого энергоносителя (газа).

Акустическое поле в объеме движущегося энергоносителя на границе раздела «трубопровод-энергоноситель» за счет создаваемых объёмных вибраций способствует предотвращению образования центров кристаллизации на границе раздела «трубопровод-энергоноситель» и выносу их непосредственно в объем самого энергоносителя.

Недостатки этого метода — сложность конструкции, а также то, что он не предотвращает образования отложений, а лишь переносит их энергоносителем.

Способов формирования низкочастотного акустического поля в объеме энергоносителя множество. Все классические электрические и механические способы рассматривать нет смысла.

Предлагается рассмотреть один необычный способ формирования мощного низкочастотного акустического поля в объеме транспортируемого энергоносителя (газа), основанный на эффекте Рийке — тепловой автогенерации звука. Непосредственно с термической генерацией звука сталкивались практически мы все. Например, работа реактивного двигателя, сопровождается возбуждением весьма интенсивного звука или так называемое “поющее” пламя печи или дымохода.

На основании моих проведённых многочисленных экспериментов с возбуждением звуковых волн в различных трубах на основе эффекта Рийке (Тепловой автогенератор звука Рийке (теория и практика)) можно сказать что тепловая автогенерация требует уточнения для заявляемого способа возбуждения низкочастотной звуковой волны в трубопроводе.

Конструктивно генератор звуковой волны будет представлять отрезок трубы с  $P_1, S_1, V_1$  и с двумя идентичными расширительными каналами с  $P_2, S_2, V_2$ .

Рассмотрим отрезок трубопровода, который будет являться автогенератором звуковых волн в объёме движущегося энергоносителя.

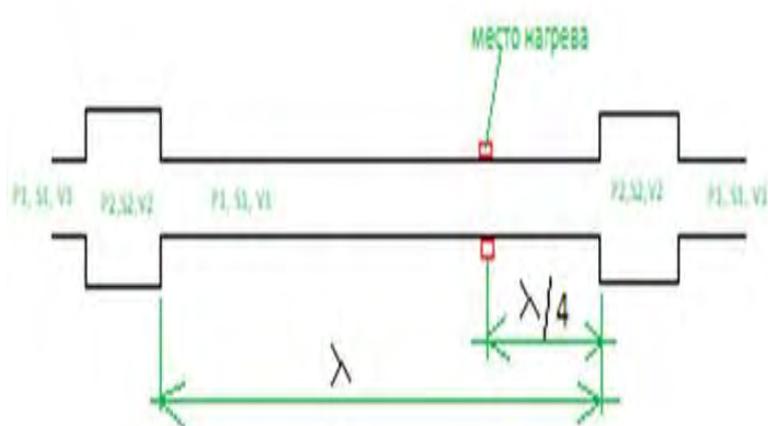


Рис. № 14.1. Схема термоакустического генератора.

Где:

- $P_1, S_1, V_1$  – давление, сечение и скорость газа в генераторном канале.
- $P_2, S_2, V_2$  – давление, сечение и скорость газа в расширительной зоне, в которой соблюдаются условия акустической генерации –  $P_2 > P_1, S_2 > S_1, V_2 < V_1$ .
- $\lambda/4$  – зона нагрева (возбуждения колебаний).

При возникновении в трубе длиной  $\lambda$  стоячей звуковой волны на концах трубы всегда образуются узлы давления  $P_2 > P_1$  (точнее, изменений давлений) и пучности смещений (а значит, и скоростей)

частиц колеблющегося газа  $V_2 < V_1$ . Частота основного собственного колебания определяется соотношением:

$$F = C/2*L \text{ (Гц.)}$$

Где:

C – скорость звука в воздухе.

L – длина трубы.

Для работы теплового автогенератора необходимо, чтобы максимум теплоподвода в систему происходил в момент наибольшего сжатия газа в ней. Это так называемый критерий Рэлея, который равен  $\lambda/4$ .

Тепло в зону  $\lambda/4$  можно подводить различными способами, например путём теплообмена с кольцевым теплообменником, через который пропускается горячая вода или другими способами нагрева. В любом случае на основании проведённых многочисленных экспериментов с возбуждением звуковых волн в трубах — существует строго пропорциональная зависимость значения расхода газа в генераторе от тепловой энергии, которую необходимо подводить в зону  $\lambda/4$ .

## **ВЫВОД:**

Сформированное низкочастотное акустическое поле частотой 100-200 герц в объёме движущегося энергоносителя на границе раздела «трубопровод-энергоноситель» за счет создаваемых объёмных вибраций способствует предотвращению образования центров кристаллизации на границе раздела «трубопровод-энергоноситель» и выносу их непосредственно в объём самого энергоносителя не только в пределах  $\lambda$ , но и далеко за пределами от самого источника.

В первую очередь это связано с низкими, частотами, для которых трубопроводное технологическое оборудование не является преградой, а наоборот выступает в качестве направляющего туннеля для распространения.

Акустическое поле в объёме движущегося энергоносителя на границе раздела «трубопровод-энергоноситель» за счет создаваемых объёмных вибраций способствует предотвращению образования центров кристаллизации на границе раздела «трубопровод-энергоноситель» и выносу их непосредственно в объём самого энергоносителя.

**PS:**

Рассмотрим достоинства и недостатки генераторных труб из различных материалов:

1. Полимерные трубы. Из достоинств — не нагреваются по всей длине. Из недостатков — очень медленно нагревают зону генерации  $\lambda/4$ . Очень низкий КПД. Генерация практически не возможна при большом расходе газа.
2. Стальные трубы. Из достоинств — быстро нагревают зону генерации  $\lambda/4$ . Большой КПД. Из недостатков — быстро нагреваются по всей длине и как следствие — уменьшается КПД. Недостаток может быть достаточно просто устранён локализацией места нагрева расположением рядом с кольцевым патрубком нагрева по обеим сторонам по одному кольцевому патрубку охлаждения, по которым пропускать обыкновенную техническую воду.

## 15. УДАРНО-ВОЛНОВОЙ ПРОТИВОПОТОЧНЫЙ СПОСОБ СКОРОСТНОГО ТОРМОЖЕНИЯ РОТОРА ЦЕНТРОБЕЖНОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО (ГОРНОГО) ВЕНТИЛЯТОРА ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Опубликован: 22.08.2021 года.

Ссылка: [Ударно-волновой \(детонационный\) противопоточный способ скоростного торможения ротора центробежного шахтного вентилятора для технического обслуживания. | ВИХРИ ХАОСА \(wordpress.com\)](https://vixri.xaosca.wordpress.com/ударно-волновой-детонационный-противопоточный-способ-скоростного-торможения-ротора-центробежного-шахтного-вентилятора-для-технического-обслуживания/)

### ВСТУПЛЕНИЕ

В настоящее время техническое обслуживание в том числе и балансировка шахтных вентиляторов занимает продолжительное время. Это связано с большой запасённой энергией вращения массивным ротором вентилятора и как следствие со значительным временем выбега самого ротора до полной его остановки.

В этом случае простой шахтного вентилятора непосредственно связан с остановкой работ всей шахты и оказывает непосредственное влияние на экономическую эффективность.

Для сокращения времени выбега до полной остановки, как правило, применяют искусственные методы преобразования кинетической энергии, запасённой в роторе.

**К сожалению, все известные механические и электрические способы торможения массивных роторов вентиляторов с мощностями уровня 500 кВт и выше мало эффективны и потенциально опасны. (см. ВЫВОД)**

### ПРЕДЛОЖЕНИЕ

Предлагается принципиально новый по сравнению с существующими противопоточный способ скоростного торможения ротора центробежного вентилятора.

Основой способа является взаимодействие высокоэнергетического фронта высокоскоростного воздушного потока с воздушным противопотоком, который формируется непосредственно радиальными лопатками решетки

рабочего колеса центробежного вентилятора и с последующим воздействием непосредственно на сами радиальные лопатки решетки рабочего колеса центробежного вентилятора. Высокоэнергетический фронт высокоскоростного воздушного потока в этом случае должен формироваться за счёт классической импульсно-детонационной горелки, о чём будет сказано ниже.

Сейчас рассмотрим свободную воздушную струю, которая развивается линейно во встречном потоке.

Известно, что воздушная струя под действием встречного потока разворачивается и изгибается, образуя осесимметричный купол, рис. № 15.1.

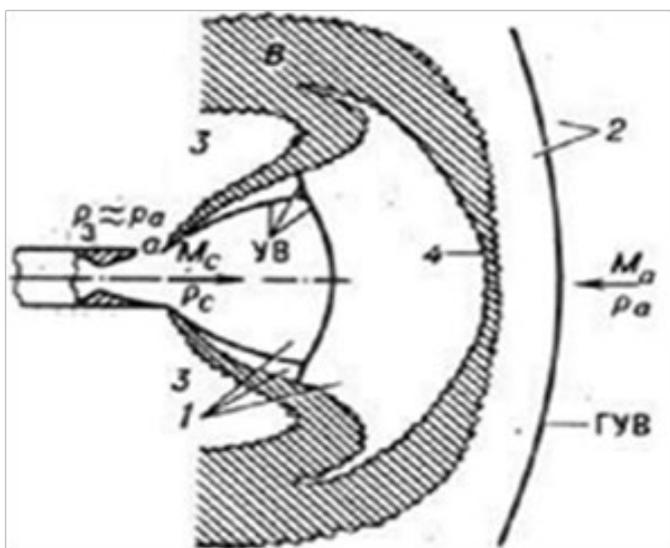


Рис. № 15.1 Газодинамический противопоточный купол.

Где:

1. область встречного потока.
2. область застойного течения.
3. «критическая» точка – ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЙ КУПОЛ.
- В- область вязкого перемешивания.

Обладая определенной упругостью, газодинамический купол в передней его части является препятствием по отношению ко встречному потоку.

В нашем случае за счёт использования в качестве воздушного тормоза детонационной горелки будет всегда присутствовать условие, когда скорость и энергия тормозящего воздушного потока будет на порядок больше скорости воздушного потока и энергии формируемого

одной лопатки решетки рабочего колеса центробежного вентилятора. Сформированный таким образом высокоэнергетический газодинамический купол как раз и будет тем препятствием, который одновременно воздействует на воздушный поток вентилятора и непосредственно на сами радиальные лопатки решетки рабочего колеса центробежного вентилятора.

## **НЕМНОГО О ДЕТОНАЦИОННОМ ГОРЕНИИ.**

Известно, что при детонации химическая реакция окисления горючего протекает при более высоких значениях температуры и давления за сильной ударной волной, бегущей с высокой сверхзвуковой скоростью. Мощность тепловыделения в детонационном фронте на несколько порядка выше дефлаграционного фронта. Кроме того, в отличие от продуктов медленного горения, продукты детонации обладают огромной кинетической энергией.

При этом детонация в атмосферу от одного источника детонационного горения представляет собой взрыв, в котором взрывная волна распространяется со скоростью 2000-3000 м/с, а температура горения достигает 3000-3500 °С.

Принцип работы любого детонационного устройства достаточно прост и известен давно. Топливо закачивается в камеру сгорания при небольшом давлении. В процессе сгорания топлива образуется фронт, который уплотняет смесь и происходит по сути взрыв. Здесь мы получаем локальное увеличение давления не доступное классическими способами сгорания топлива.

**Наиболее подробно о принципе работы, технологиях и конструктивному исполнению различных видов и типов детонационных источников энергии можно ознакомиться здесь: [Детонационные источники энергии и технологии](#)**

## **ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПРЕДЛОЖЕНИЯ**

В конструктивном плане предлагается доработать улитку вентилятора. Необходимо приварить дополнительный тангенциально размещённый к улитке патрубок с фланцем и установленной заглушкой, см. рис. № 15.2. Доработка улитки вентилятора, таким

образом, не будет влиять на энергетические характеристики, пока патрубок закрыт заглушкой.

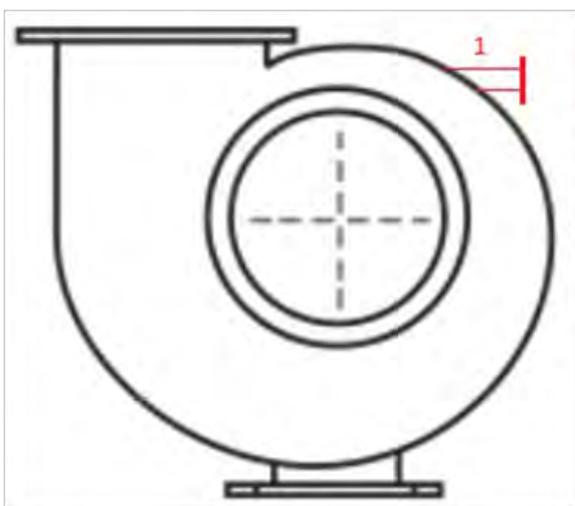


Рис. № 15.2. ответный фланец крепления детонационного источника энергии для газодинамического торможения ротора.

Где:

1. Тангенциальный фланец ударно волнового торможении ротора.

К работающему вентилятору перед его отключением болтовым контр фланцевым способом монтируется ударно волновой тормоз – классическая детонационная горелка формирования высокоэнергетического воздушного волнового фронта, рис. № 15.3.

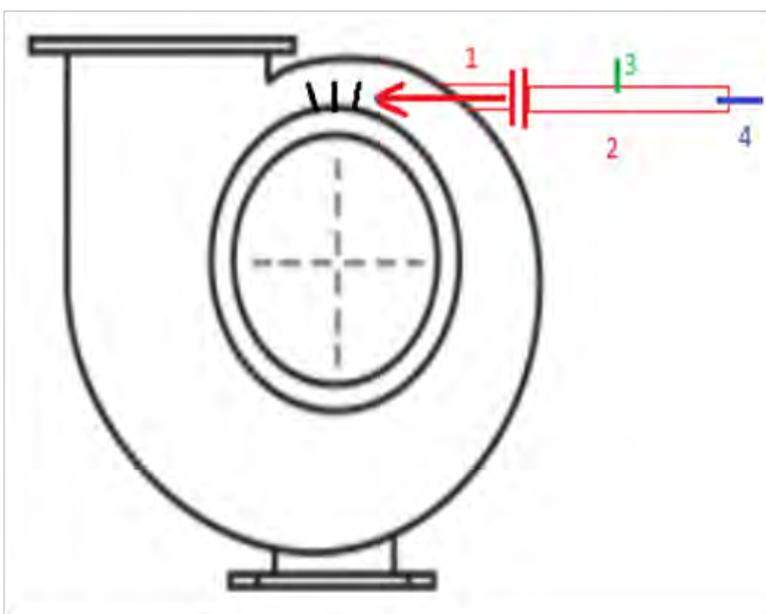


Рис. № 15.3. Реализация ударно-волнового противопоточного способа скоростного торможения ротора центробежного вентилятора.

Где:

- 1-Тангенциальный фланец ударно волнового торможения ротора.
- 2-Классический источник ударной волны – детонационная труба.
- 3-Газовая форсунка.
- 4-Свеча зажигания.

## УДАРНОВОЛНОВОЙ ИСТОЧНИК

Особенности конструктивного исполнения, принцип работы, характеристики высокоэнергетических ударно волновых источников энергии наиболее подробно изложены здесь: (**Детонационные источники энергии и технологии**)

Один из возможных внешних видов ударноволнового источника представлен на рис. № 15.4. На основании практических работ основным требованием к такому источнику является расположение газовой форсунки строго по центру детонационной трубы.

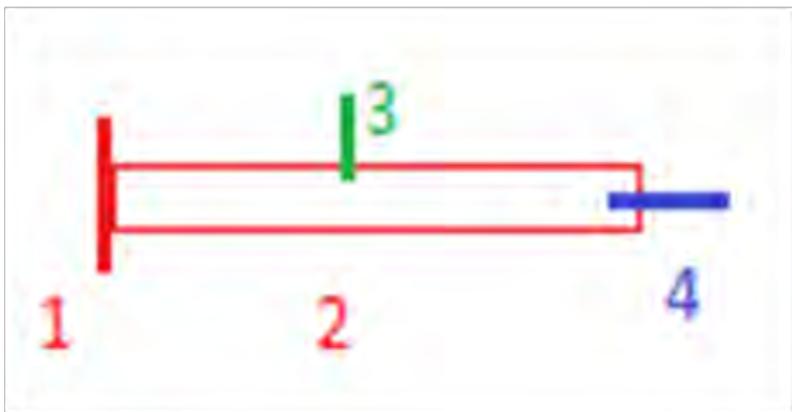


Рис. № 15.4. Классический трубчатый источник волн детонационного горения.

Детонационный источник высокоэнергетического волнового фронта (детонационная труба)

Где:

1. Соединительный фланец.
2. Детонационная труба.
3. Газовая форсунка.
4. Свеча зажигания.

С учётом выше сказанного, конструктивное исполнение детонационной трубы в этом случае на много проще, чем все рассматриваемые виды источников детонационной энергии согласно исследованиям (**Детонационные источники энергии и технологии**)

Это связано с тем, что так называемая принудительная вентиляция трубы детонационного горения после каждого детонационного импульса не нужна. Вентиляция трубы происходит за счёт существующего воздушного напора, который формируется самим центробежным вентилятором.

При этом формирование топливовоздушной смеси для детонационного горения происходит в пределах самой детонационной трубы. Это обеспечивается газовой форсункой, которая размещена строго по центру детонационной трубы. Как только сформируется так называемая готовая топливовоздушная смесь внутри трубы за счёт подачи природного газа – свечи зажигания инициирует детонационное горение.

Пример конструктивного исполнения представлен на рис. № 15.5 и 15.6.

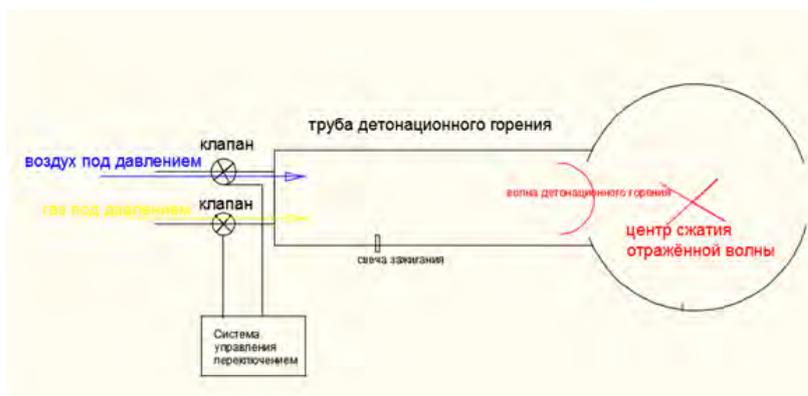


Рис. № 15.5. Трубчатый источник волн детонационного горения с сферическим резонатором на выходе.

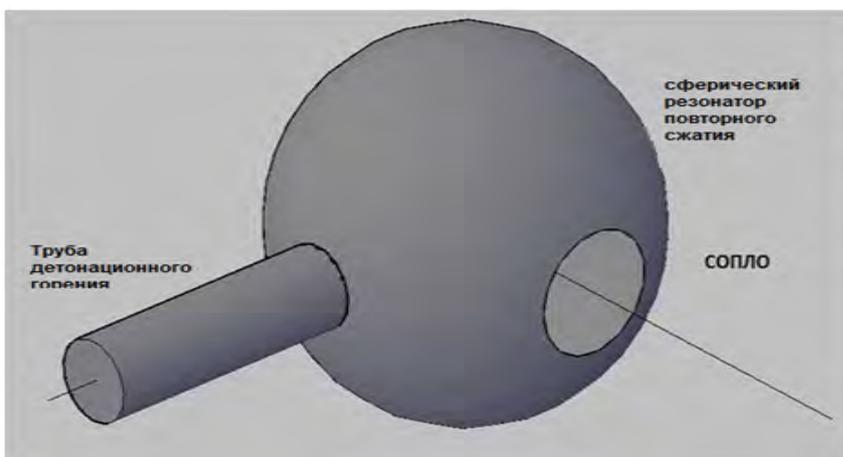


Рис. № 15.6. 3-Dвид трубчатого источника волн детонационного горения с сферическим резонатором на выходе.

## ВЫВОД

Приблизительно оценить эффективность заявленного способа можно следующим образом.

Например шахтный вентилятор обеспечивает ежесекундный расход воздуха 100 м<sup>3</sup>/сек. Мощность привода 450 кВт. Диаметр ротора 1,8 м. Вес ротора 400 кг. Скорость вращения – 20 об/сек. (1200 Об/мин). Привод вентилятора отключается.

Количество запасаемой энергии ротора — более 1 Мдж. !!! Время свободного пробега до полной остановки ротора – 40 минут. Все известные механические и электрические способы скоростного торможения таких массивных роторов с такими энергетическими характеристиками мало эффективны и к тому же — потенциально опасны.

Предлагаемый способ позволит в разы уменьшить скорость свободного пробега ротора вентилятора до полной его остановки.

Рассмотрим один источник детонационной волны в виде детонационной трубы диаметром 100 мм и длиной 1 м. Такой источник детонационной волны обеспечивает ежесекундный противопоток с расходом 1 м<sup>3</sup>/сек. Работает в импульсном режиме с частотой 1 Гц (для простоты расчёта). Время остановки ротора в таком случае без учёта запасённой кинетической энергии массивного ротора будет составлять 100 секунд.

С учётом запасённой кинетической энергии вращения массивного ротора время его полной остановки увеличится и будет зависеть от

энергетических характеристик источника (-ков) детонационной волны и частоты работы.

Можно предположить, что непосредственное противопоточное взаимодействие фронта детонационной волны с воздушным потоком вентилятора и одновременно с радиальными лопатками решетки рабочего колеса центробежного вентилятора увеличит время свободного пробега ротора до полной его остановки не более 3-х минут. Здесь уместно привести аналогию с процессами, происходящими в турбинах, турбореактивных двигателях. Принципиальное отличие здесь только одно. Детонация в атмосфере от одного источника детонационного горения представляет собой взрыв, в котором взрывная волна распространяется со скоростью 2000-3000 м/с, а температура горения достигает 3000-3500 °С. Такие температуры во фронте детонационной волны в классических турбинах, турбореактивных двигателях приведут к быстрому перегреву лопаток и выходу из строя.

В заявляемом противопоточном способе скоростной остановки ротора ситуация другая. Так называемый газодинамический купол, сформированный двумя противопотоками (о чём было сказано выше) является одновременно и термо-изолирующим буфером. Газодинамический купол предотвращает непосредственный контакт фронта детонационной волны с температурами порядка 3000-3500 °С с радиальными лопатками решетки рабочего колеса центробежного вентилятора.

В упрощённом расчёте рассмотрен только один источник детонационной волны. При этом в конструктивном плане нет ограничений в количестве тангенциальных источников детонационных волн, смонтированный на улитке вентилятора.

Таки образом заявленный способ позволит в десятки раз сократить время свободного пробега ротора вентилятора до полной его остановки.

## 16. ДТОНАЦИОННЫЕ ГОРЕЛКИ, КАК ЛУЧШАЯ АЛЬТЕРНАТИВА ДЕФЛАГРАЦИОННОЙ КЛАССИКЕ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Опубликована: 25.11.2020 года.

Ссылка: [Высокочастотные сверхзвуковые детонационные горелки, как лучшая альтернатива дефлаграционной \(дозвуковой\) классике | вихри хаоса \(wordpress.com\)](#)

Известно, что классические дефлаграционные (дозвуковые) горелки в технологическом нагревательном оборудовании всех современных производственных процессов, это устройства, которые обеспечивают устойчивое сгорание топлива с возможностью регулирования процесса горения.

Эффективность таких дозвуковых горелочных устройств в любом случае ограничена физическими законами дозвукового горения.

Выход один! Нужно переходить от дозвукового горения к сверхзвуковому управляемому детонационному горению.

Известно также, что управляемое детонационное (сверхзвуковое) горение имеет следующие неоспоримые преимущества по сравнению с классическим дефлаграционным (дозвуковым):

1. Детонация в атмосферу от одного источника детонационного горения представляет собой взрыв, в котором взрывная волна распространяется со скоростью 2000-3000 м/с, температура горения достигает 3000-3500 °С.
2. Детонация в атмосферу нескольких источников с линейным распространением взрывных волн в одну точку сжатия формируют запредельные давления и температуры.
3. При таких температурах в продуктах детонационного горения происходит разрыв прочной связи атомов углерода с атомами кислорода, т.е. термическое разложение CO<sub>2</sub>. (зелёная энергетика).
4. При детонации химическая реакция окисления горючего протекает при более высоких значениях температуры и давления за сильной ударной волной, бегущей со сверхзвуковой скоростью.
5. Мощность тепловыделения в детонационном фронте на несколько порядка выше дефлаграционного фронта (обычного горения).

6. При прочих равных условиях детонационное сгорание горючей смеси позволяет получить максимальную полезную работу по сравнению с дефлаграционным горением, т.е. позволяет получить максимальный термодинамический КПД.

7. Продукты детонации обладают огромной кинетической энергией.

8. Теплопередача от продуктов детонации к теплоносителю существенно выше, чем при использовании обычного горения, ввиду огромной конвективной составляющей.

9. Снижен расход топлива по сравнению с существующими горелками равной тепловой мощности, т.к. работают в импульсном режиме с частотой от 1 Гц до 1 кГц и выше.

К сожалению в настоящее время технологии детонационного горения в промышленности широко не используются, не развиваются и не систематизируются. Единственное, где такие технологии “развиваются” – это только оборонка. Но об этом мы говорить не будем.

На основании систематизации и анализа всех существующих и будущих источников детонационного горения, которые подробно изложены в книге № 2 настоящего многотомника “ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАСТЕЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ” предлагаются к применению высокочастотные детонационные горелки, как лучшая альтернатива классическим дефлаграционным (дозвуковым) горелкам нагревательного оборудования промышленного производства.

Предлагаются несколько типов высокочастотных источников детонационного горения:

#### **(А.8) ДЕТОНАЦИОННЫЙ ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ С МЕХАНИЧЕСКОЙ СВЕРХ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ СИСТЕМОЙ КЛАПАНОВ ТОРЦЕВОГО ВВОДА ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ.**

Известно, что классические импульсные детонационные источники энергии представляют собой длинные трубы (детонационные камеры), по которым с небольшой частотой следуют ударные волны. В таких двигателях труба заполняется смесью топлива/окислителя, а затем инициируется детонационное горение с формированием ударной волны.

Слабым звеном в такой цепочке выступает форсунка формирования топливовоздушной смеси в объёме трубы детонационного горения.

Распылительная форсунка с закрытого торца классической детонационной трубы формирует топливовоздушную смесь со скоростями потоков, при которых ещё возможна инициация детонационного горения не во всём объёме детонационной трубы. Необходимо учесть, что высокие скорости формирования топливовоздушной смеси вызывают неполное сгорание, снижая устойчивость детонационной волны, снижая эффективность самого источника детонационной энергии.

Уменьшить скоростные характеристики формирования топливовоздушной смеси и использовать для этих целей весь внутренний объём трубы детонационного источника энергии возможно путём ввода компонентов непосредственно и одновременно в весь объём трубы детонационного горения.

Для этих целей предлагается изменить способ ввода топливовоздушной смеси с одно форсуночного на много форсуночный. Ввод осуществлять по всей площади торцевой части трубы детонационного горения с механической регулировкой формирования топливовоздушной смеси непосредственно во всём объёме трубы детонационного горения.

Таким образом, непосредственно во всём объёме трубы детонационного горения будет формироваться готовая топливовоздушная смесь.

Это может быть обеспечено с помощью специальной механической вращающейся высокоскоростной клапанной системы.

Сама идея механической высокоскоростной клапанной системы опубликованы в 2008 году в статье: [ССЫЛКА](#).

Геометрия скоростной механической клапанной системы представлена на рис. № 16.1.

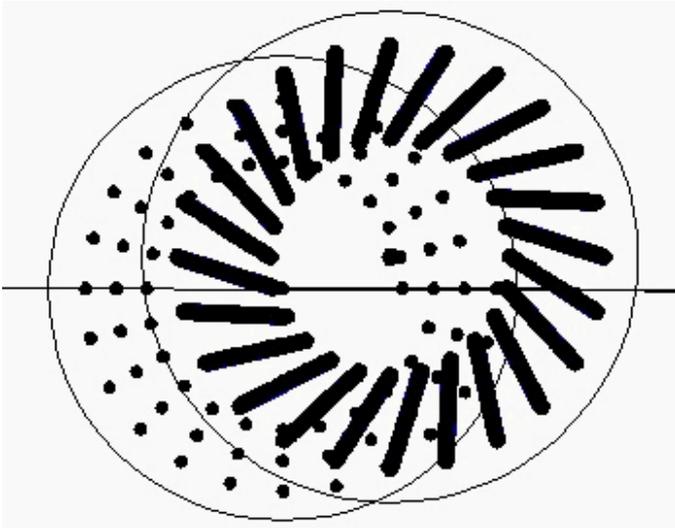


Рис. № 16.1. Механическая дисковая много клапанная система формирования сверх высокоскоростного волнового фронта топливовоздушной среды.

Механическая много клапанная скоростная система формирования топливовоздушной смеси представляет собой два вращающихся на одной оси диска, которые вращаются с минимально возможным расстоянием друг относительно друга. На одном и на другом диске определённым образом по кругу, спирали расположены диафрагмы (технологическое окна) заданной формы (круг, квадрат, прямоугольник и т.п.), которые формируют скоростную бегущую дорожку открытия/закрытия таких диафрагм. Условием работы такой системы является отличие как минимум на единицу количество диафрагм на одном и на другом диске.

При вращении одного диска относительно другого создаётся так называемая скоростная беговая дорожка, скорость на которой чередования открытия/закрытия полно проходных диафрагм во много раз превышает линейную скорость вращения системы.

В такой конструкции при повороте одного диска относительно другого на один сегмент в любую сторону, все сегменты (окна) спирали последовательно полностью откроются/закроются по типу бегущей дорожки.

Механическая много клапанная скоростная система управляет работой открытия закрытия диафрагм, через которые вводится воздух внутрь заявленного детонационного источника энергии.

В свою очередь топливо подводится непрерывно с заданным значением по давлению и расходу к каждой диафрагме через радиальное отверстие согласно рис. № 16.2.

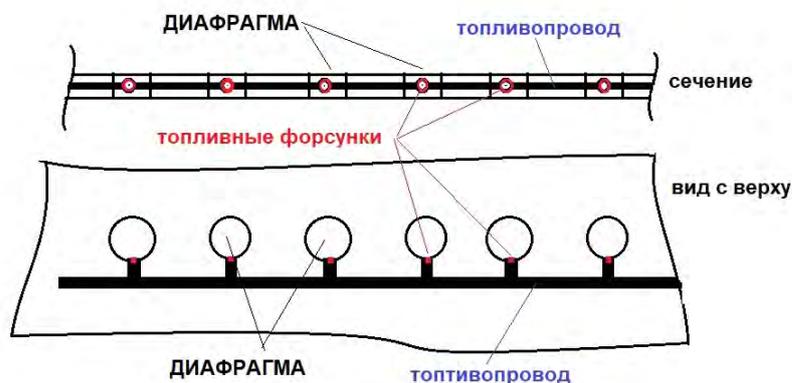


Рис. № 16.2. Вариант подвода топлива в механическую много клапанную систему формирования сверх высокоскоростного волнового фронта.

Таким образом при полно проходном открытии одной диафрагмы с одновременным радиальным подводом газа и аксиальным подводом воздуха - диафрагма превращается в сопло формирования топливовоздушной смеси внутри заявленного детонационного источника энергии.

В свою очередь механическая много клапанная скоростная система управляет работой открытия закрытия всех диафрагм и формирует внутри заявленного детонационного источника энергии скоростную бегущую волну заполнения топливовоздушной смесью непосредственно весь объём трубы детонационного горения.

#### ПРИМЕР.

Труба детонационного горения длиной 0.5 метра, диаметр 0,05 м.

На торцевой части диаметром 0,05 м размещены через равные промежутки по спирали диафрагмы диаметром 3 мм. Спираль имеет 5 витков. Общая длинна спирали 0,5 м. Количество диафрагм по диаметру 10.

С такими начальными геометрическими условиями при принудительном совершении диска с диафрагмами одного полного оборота за одну секунду ( 1 об/сек) детонационная труба будет заполняться 20 раз. Т.е. частота следования детонационных волн при скорости вращения клапанной системы со скоростью 1 Гц составит 20 Гц.

При скорости вращения клапанной системы с частотой 50 об/сек частота следования волн детонационного горения в такой системе составит 1 кГц.

Конструктивное исполнение предлагаемого решения представлено на рис. № 16.3.



Рис. № 16.3. Вариант установки много клапанной системы в торцевую часть трубчатого детонационного источника энергии.

Классический трубчатый детонационный источник энергии, у которого с торцевой части размещена механическая скоростная система клапанов. Такая механическая система клапанов при относительно низкой частоте вращения формирует внутри трубы детонационного горения скоростную бегущую волну топливовоздушной смеси скоростного заполнения всего объёма.

#### ДОСТОИНСТВА:

- Частота следования волн детонационного горения –более 1000 Гц.
- квазинепрерывная работа источника детонационной энергии, которая приближается к непрерывной за счет высокочастотных волн детонационного горения.
- Высокий КПД единичного импульса.
- Высокий общий КПД системы.

## НЕДОСТАТКИ:

- Недолговечность работы.
- Механическая система клапанов подвержена истиранию.
- Необходима синхронизация работы свечи зажигания с моментом, когда все диафрагмы механически закрыты.

### **(А.8) ДЕТОНАЦИОННЫЙ ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ С МЕХАНИЧЕСКОЙ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ СИСТЕМОЙ КЛАПАНОВ ОБЪЁМНОГО ВВОДА ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ.**

Известно, что классические импульсные детонационные источники энергии представляют собой длинные трубы (детонационные камеры), по которым с небольшой частотой следуют ударные волны. В таких двигателях труба заполняется смесью топлива/окислителя, а затем инициируется детонационное горение с формированием ударной волны.

Слабым звеном в такой цепочке выступает форсунка формирования топливовоздушной смеси в объёме трубы детонационного горения.

Распылительная форсунка с закрытого торца классической детонационной трубы формирует топливовоздушную смесь со скоростями потоков, при которых ещё возможна инициация детонационного горения не во всём объёме детонационной трубы. Необходимо учесть, что высокие скорости формирования топливовоздушной смеси вызывают неполное сгорание, снижая устойчивость детонационной волны, снижая эффективность самого источника детонационной энергии.

Уменьшить скоростные характеристики формирования топливовоздушной смеси возможно путём ввода компонентов непосредственно и одновременно в весь объём трубы детонационного горения.

Для этих целей предлагается изменить способ подвода топливовоздушной смеси с однофорсуночного на многофорсуночный по всей поверхности трубы детонационного горения с механической регулировкой формирования топливовоздушной смеси непосредственно во всём объёме трубы детонационного горения.

Таким образом, непосредственно во всём объёме трубы детонационного горения будет формироваться готовая топливовоздушная смесь.

Это может быть обеспечено с помощью специальной механической вращающейся высокоскоростной клапанной системы.

Сама идея механической высокоскоростной клапанной системы опубликованы в 2008 году в статье: <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/9155.html>

Геометрия такой скоростной механической клапанной системы представлена на рис. № 16.4.

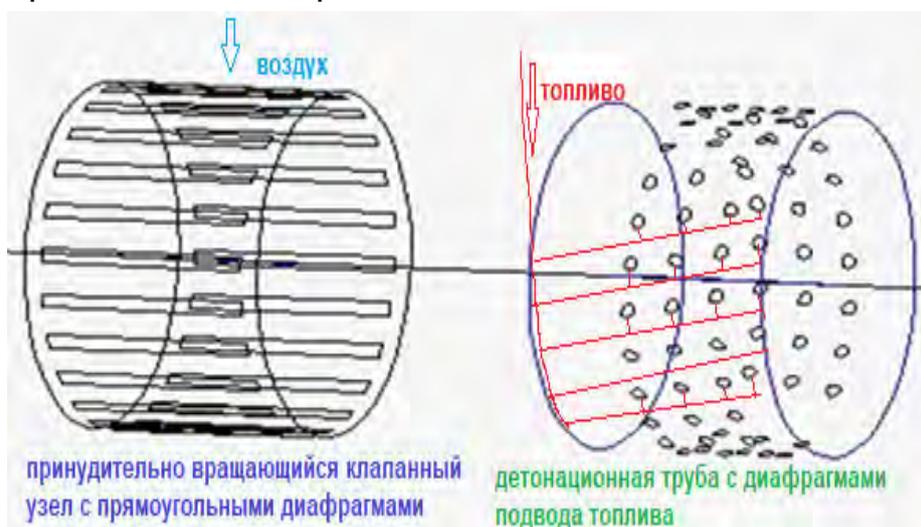


Рис. № 16.4. Цилиндрическая механическая много клапанная система формирования высоко скоростного волнового фронта среды.

Закон, по которому определяется направление подвода воздуха к каждой диафрагме (геометрия размещения диафрагм) определяет способ движения волны или волн детонационного горения и основывается на высокоскоростной механической клапанной системе.

Работа системы клапанов основывается на том, что в открытом положении, когда диафрагмы обоих цилиндров совпадают - формируются полно проходные отверстия в детонационную трубу. Труба детонационного горения заполняется топливовоздушной смесью. После смещения внешнего шторчатого цилиндра на пол длины между диафрагмами – последние закрываются и происходит инициация детонационного горения. Затем цикл повторяется с частотой, пропорциональной частоте вращения внешнего шторчатого цилиндра скоростной клапанной системы.

В этом случае продувка детонационной трубы от остатков неполного сгорания топлива предыдущего цикла детонационного горения осуществляется одновременно с последовательным высокоскоростным заполнением детонационной трубы от заглушенной торцевой части к соплу топливовоздушной смесью.

Внешний вид предлагаемого конструктивного решения представлен на рис. № 16.5.

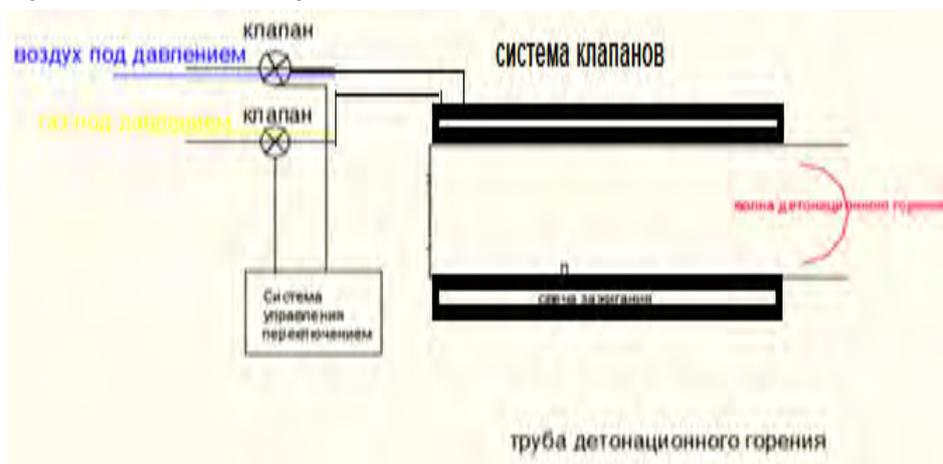


Рис. № 16.5. Вариант установки цилиндрической много клапанной системы по всей поверхности трубчатого детонационного источника энергии.

В конструктивном плане сверхвысокоскоростная механическая клапанная система представляет собой наружный полый вращающийся цилиндр со шторами (диафрагмами) - сквозными отверстиями прямоугольной формы, размещённые по диаметру, рис. № 16.6.



Рис. № 16.6. Конструкция цилиндрической много клапанной системы формирования сверх высокоскоростного волнового фронта.

Такой внешний цилиндр принудительно вращается коаксиально снаружи внутренней неподвижной трубы детонационного горения. Сама труба детонационного горения также в конструктивном плане имеет множество сквозных отверстий (диафрагм), которые выполняют роль форсунок формирования топливовоздушной смеси в объеме трубы детонационного горения.

Закон чередования открытия / закрытия определяется геометрическим расположением отверстий (диафрагм) по спирали.

Механическая много клапанная скоростная система управляет работой открытия закрытия диафрагм, через которые вводится воздух внутрь заявленного детонационного источника энергии.

В свою очередь топливо подводится непрерывно с заданным значением по давлению и расходу к каждой диафрагме через радиальное отверстие согласно рис. № 16.7.

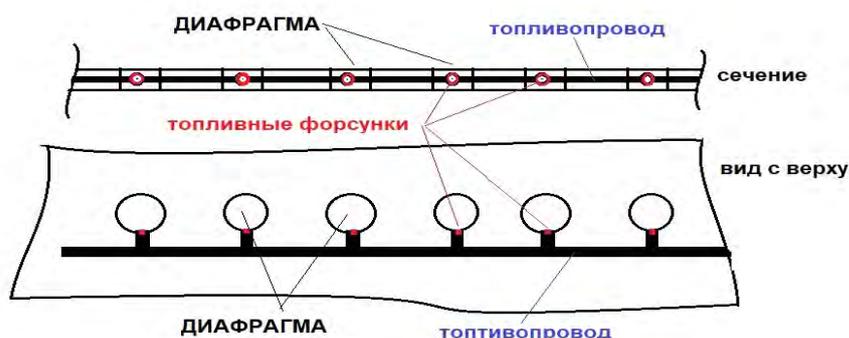


Рис. № 16.7. Вариант подвода топлива в механическую много клапанную систему формирования сверх высокоскоростного волнового фронта.

Такая механическая система клапанов при относительно низкой частоте вращения формирует внутри трубы детонационного горения скоростную бегущую волну топливовоздушной смеси скоростного заполнения всего объема.

#### ПРИМЕР.

Труба детонационного горения длиной 0.5 метра, диаметр 0,05 м.

Диафрагмы диаметром 3 мм в количестве 20 штук размещены через равные промежутки по диаметру и 15 штук по длине трубы.

Общее число диафрагм на всей поверхности детонационной трубы 225.

С такими начальными геометрическими условиями при принудительном совершении внешним клапанным узлом одного полного оборота за одну секунду( 1 об/сек) детонационная труба будет заполняться 20 раз. Т.е. частота следования детонационных волн при скорости вращения клапанной системы со скоростью 1 Гц составит 20 Гц.

При скорости вращения клапанной системы с частотой 50 об/сек частота следования волн детонационного горения в такой системе составит 1 кГц.

#### ДОСТОИНСТВА:

- Частота следования волн детонационного горения – более 1000 Гц.
- квазинепрерывная работа источника детонационной энергии, которая приближается к непрерывной за счет высокочастотных волн детонационного горения.
- Высокий КПД единичного импульса.
- Высокий общий КПД системы.

#### НЕДОСТАТКИ:

- Недолговечность работы.
- Механическая система клапанов подвержена истиранию.
- Необходима синхронизация работы свечи зажигания с моментом, когда все диафрагмы механически закрыты.

### **(А.8) СПИНОВЫЙ ДЕТОНАЦИОННЫЙ ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ ДИСКОВОЙ ФОРМЫ С МЕХАНИЧЕСКОЙ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ СИСТЕМОЙ КЛАПАНОВ.**

Спиновый детонационный источник энергии дисковой формы с механической высокоскоростной системой клапанов является

дальнейшим продолжением развития много трубных источников детонационного горения.

Предположим, что множество трубчатых источников детонационного горения размещено на одной плоскости радиально с направлением детонационного горения в общий центр.

А теперь заменим систему таких трубчатых источников детонационного горения с соблюдением всех геометрических величин на дисковый цилиндр с центральным соплом вывода детонационной энергии.

Геометрия такого источника меняется на противоположную классическим трубчатым источникам детонационной энергии.

#### ПРИМЕР:

Были множество трубчатых источников детонационной энергии длиной 500 мм и диаметром 50 мм. Стал один широкий узкий дисковый цилиндр диаметром 1 метр и высотой 50 мм. По периметру диска размещены 500 диафрагм (форсунок) формирования бегущей топливовоздушной смеси.

В таком конструктивном решении можно организовать бегущую по кругу волну квазинепрерывного детонационного горения от периферии к общему центру по аналогии с процессами, протекающими в классическом спиновом детонационном источнике энергии.

Классический спиновый источник детонационной энергии характеризуется наличием бегущих одной или нескольких волн детонационного горения в кольцевой камере с открытым концом. В конструктивном плане спиновый источник энергии представляет собой две трубы, размещённые коаксиально одна в другой. В закрытой торцевой части установлены последовательно размещённые по кругу небольшое количество форсунок формирования топливовоздушных смесей по типу бегущей дорожки. Каждая форсунка управляется отдельным высокоскоростным электромагнитным клапаном по определённому закону. Система таких высокоскоростных клапанов формирует между цилиндрами постоянно вращающуюся бегущую волну топливовоздушной смеси со скоростью Чепмена-Жуге (примерно 1500 м/сек, зависит от многих факторов).

Условием работы является синхронизация формирования готовой топливоздушной смеси по типу бегущей дорожки в следующей форсунке перед распространяющейся волной детонационного горения от предыдущей форсунки.

К сожалению классический клапанный электромагнитный способ формирования топливоздушной смеси для заявленных целей конструктивно исполним, но сложен и достаточно избыточен. Это связано с тем, что нужно управлять синхронной работой одновременно более чем 500 диафрагм (форсунок) формирования топливоздушной смеси, которые размещены по всей поверхности внешней цилиндрической части такого источника детонационной энергии.

Решение проблемы видится в применении механической сверхвысокоскоростной системы клапанов. Идея механической сверхвысокоскоростной клапанной системы может быть организована на механических принципах, заявленных ещё в 2008 году в статье: [ССЫЛКА](#)

На основании выше изложенного предлагается спиновый детонационный источник энергии дисковой формы с механической высокоскоростной системой клапанов.

В конструктивном плане спиновый детонационный источник энергии дисковой формы с механической высокоскоростной системой клапанов представлен на рис. № 16.8.

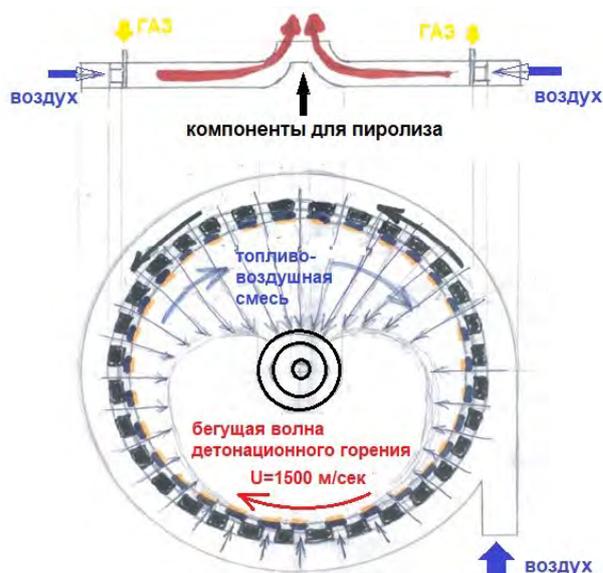


Рис. № 16.8. Спиновый детонационный источник энергии дисковой формы с механической высокоскоростной системой клапанов.

Основа конструкции - механическая много клапанная сверхвысокоскоростная система формирования топливовоздушной смеси по типу бегущей волны перед бегущей волной детонационного горения. Представляет собой два цилиндра, которые вращаются коаксиально один в другом с минимально возможным расстоянием. На одном и на другом цилиндрах определённым образом по кругу расположены диафрагмы (технологическое окна) заданной формы (круг, квадрат, прямоугольник и т.п.), которые формируют сверхвысокоскоростную бегущую дорожку открытия/закрытия таких диафрагм. Условием работы такой системы является отличие как минимум на единицу количество диафрагм на одном и на другом цилиндрах.

При вращении одного цилиндра относительно другого создаётся так называемая сверхвысокоскоростная беговая дорожка, скорость на которой чередования открытия/закрытия полно проходных диафрагм во много раз превышает линейную скорость вращения системы.

В такой конструкции при повороте одного цилиндра относительно другого на один сегмент в любую сторону, все сегменты (окна) одной геометрической фигуры последовательно пробегут полностью по всем сегментам другого цилиндра.

Механическая много клапанная сверхвысокоскоростная система управляет работой открытия закрытия диафрагм, через которые вводится воздух внутрь заявленного детонационного источника энергии.

В свою очередь топливо подводится непрерывно с заданным значением по давлению и расходу к каждой диафрагме через радиальное отверстие согласно рис. № 16.9.

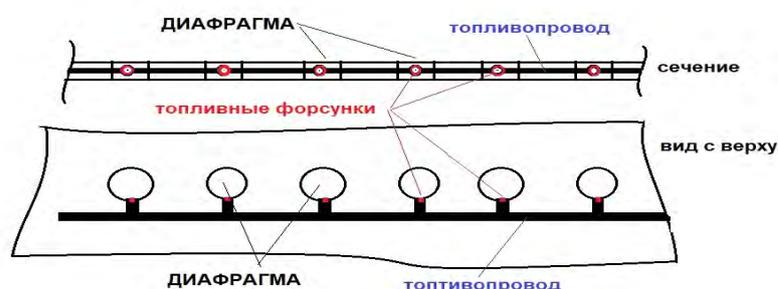


Рис. № 16.9. Вариант подвода топлива в механическую много клапанную систему формирования сверх высокоскоростного волнового фронта.

Таким образом при полно проходном открытии одной диафрагмы с одновременным радиальным подводом газа и аксиальным подводом воздуха - превращает каждую диафрагму в сопло формирования топливовоздушной смеси внутри заявленного детонационного источника энергии.

В свою очередь механическая много клапанная сверхвысокоскоростная система управляет работой открытия закрытия диафрагм формирует внутри заявленного детонационного источника энергии бегущую волну топливовоздушной смеси непосредственно перед бегущей волной детонационного горения.

Для работы такого детонационного источника энергии необходимо выполнить следующие условия.

1. Первая инициация (запуск) волны детонационного горения должна происходить в той области внутреннего пространства детонационного источника энергии, в которой все диафрагмы механически закрыты.
2. Необходима строгая синхронизация скорости вращения механической клапанной системы со скоростью распространения волны детонационного горения, со скоростью Чепмена-Жуге.

Можно привести следующие технические характеристики механической сверхвысокоскоростной клапанной системы применительно к выше заявленному примеру .

1. Диаметр цилиндра – 1 метр.
2. Высота цилиндра – 50 мм.
3. Периметр цилиндра – 3.14 м.
4. Диаметр одной диафрагмы – 5 мм.
5. Количество диафрагм по периметру – 300 штук.
6. Скорость открытия/закрытия диафрагм при частоте вращения внешнего цилиндра клапанной системы в 1 об/сек составляет 942 м/сек.

Таким образом, вращающаяся система клапанов диаметром 1 м и высотой 50 мм с частотой в 1 об/сек обеспечивает почти сверхзвуковые скорости бегущей дорожки открытия/закрытия диафрагм.

С учётом того, что волна детонационного горения для каждого вида топлива распространяется с скоростями уровня 1500 м/сек, такое конструктивное решение способно достаточно просто формировать бегущую топливовоздушную смесь перед бегущей волной

детонационного горения для её подпитывания и квазинепрерывного бега по кругу. А с учётом того, что частота вращения механической клапанной системы диаметром 1 м и высотой 50 мм составляет порядка 2-3 об/сек – обеспечить строгую синхронизацию такого вращения со скоростями детонационного горения достаточно просто существующими технологиями.

#### ДОСТОИНСТВА.

- Высокая частота вращения волн детонационного горения - 10 кГц.
- Высокий КПД единичного детонационного горения.
- Общий высокий КПД.
- Квазинепрерывная работа, которая приближается к непрерывной работе за счет высокочастотных вращений волн детонационного горения.

#### НЕДОСТАТКИ.

- Механическая вращающаяся система.
- Необходима строгая синхронизация скорости вращения механической клапанной системы со скоростью распространения волны детонационного горения, со скоростью Чепмена-Жуге.

#### **(С.12) СПИНОВЫЙ (ВРАЩАЮЩИЙСЯ) ДЕТОНАЦИОННЫЙ ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ, КЛАПАННЫЙ С ЭЛЕКТРОМАНИТНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ.**

Этот тип источника детонационной энергии характеризуется наличием бегущих одной или нескольких волн детонационного горения в кольцевой камере с открытым концом.

В конструктивном плане спиновый источник энергии представляет собой две трубы, размещённые коаксиально одна в другой, см. рис. № 16.10.

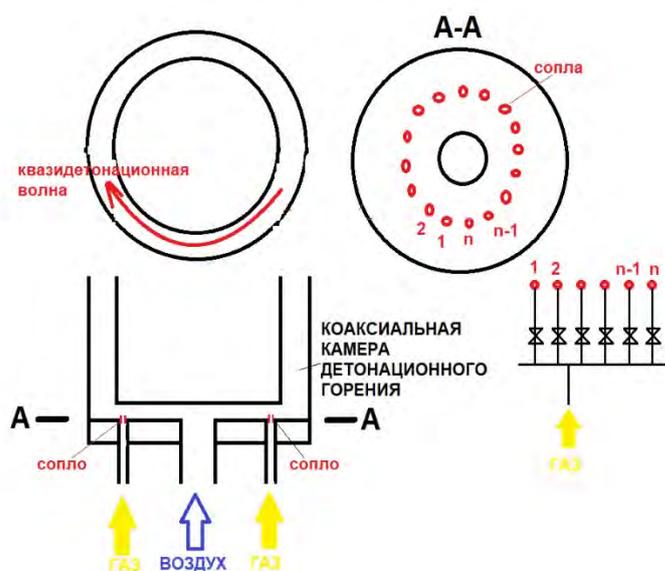


Рис. № 16.10. Спиновый (вращающийся) детонационный источник энергии, клапанный с электромагнитным управлением.

В закрытой торцевой части установлены последовательно размещённые по кругу форсунки формирования топливовоздушных смесей по типу бегущей дорожки.

Каждая форсунка управляется отдельным высокоскоростным клапаном по определённому закону. Система таких высокоскоростных клапанов формирует между цилиндрами постоянно вращающуюся бегущую волну топливовоздушной смеси со скоростью Чепмена-Жуге.

Это скорость распространения волны детонационного горения ориентировочно 1500–2500 м/с и зависит от многих факторов, в том числе и от конкретной топливовоздушной смеси.

В начальный момент производится инициация детонационного горения топливовоздушной смеси от одной форсунки.

Условием работы является синхронизация формирования готовой топливовоздушной смеси по типу бегущей дорожки в следующей форсунке перед распространяющейся волной детонационного горения от предыдущей форсунки. За это отвечают датчики давления по числу форсунок.

Схема исполнения такой горелки представлена на рис. № 16.11.

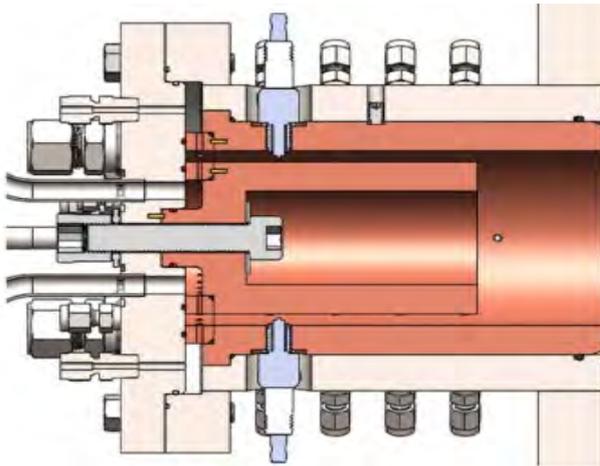


Рис. № 16.11. Вариант конструктивного исполнения спинового детонационного источника энергии.

### ДОСТОИНСТВА.

- Считается, что спиновые источники энергии являются самым перспективным направлением развития детонационного горения.
- Квазинепрерывная работа, которая приближается к непрерывной работе за счет высокочастотных вращений волн детонационного горения.
- Высокая частота вращения волн детонационного горения - 10 кГц.
- Высокий КПД.

### НЕДОСТАТКИ.

- Практика показала, что доля детонационного горения не превышает 15 % от объема камеры сгорания. Остальное – медленное горение в условиях, далеких от оптимальных.
- Практика показала, что детонационное горение возникает и успешно поддерживается, но только в ограниченном объеме. В остальном объеме мы имеем дело с обычным медленным горением, причем за неоптимальной системой ударных волн, что приводит к значительным потерям полного давления.
- предлагающиеся сегодня схемы спиновых детонационных двигателей неработоспособны для целей применения в технологиях. Детонационное горение возникает и успешно поддерживается, но только в ограниченном объеме. В остальном объеме мы имеем дело с обычным медленным горением, причем за неоптимальной системой

ударных волн, что приводит к значительным потерям полного давления.

- Практика показала, что давление оказывается также ниже в разы, чем необходимо для идеальных условий горения при стехиометрическом соотношении компонентов топливной смеси. В результате удельный расход топлива на единицу тяги оказывается на 30–40 % выше, чем у двигателей традиционных схем.

- Самой главной проблемой является сам принцип организации непрерывной детонации. Как показали исследования непрерывной круговой детонации, выполненные еще в 60-е годы, фронт детонационного горения представляет собой сложную ударно-волновую структуру, состоящую как минимум из двух тройных конфигураций. Такая структура с присоединенной зоной детонации, как и любая термодинамическая система с обратной связью, оставленная в покое, стремится занять положение, соответствующее минимальному уровню энергии. В результате тройные конфигурации и область детонационного горения подстраиваются друг под друга так, чтобы фронт детонации перемещался по кольцевому зазору при минимально возможном для этого объеме детонационного горения. Это прямо противоположно той цели, которую ставят перед детонационным горением конструкторы двигателей.

## **6.16. (D.1) ДЕТОНАЦИОННО - РЕЗОНАНСНЫЕ ПОЛУСФЕРИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ.**

Этот тип источника детонационной энергии характеризуется наличием высокочастотной волны детонационного горения, формируемой за счёт формы камеры детонационного горения, а именно – за счёт полусферического резонатора.

Принцип работы детонационно-резонансной горелки основывается на следующих этапах:

1. Подготовка топлива (газа) к детонации (высокотемпературное разложение топлива на активные составляющие для облегчения инициаций детонационных волн.
2. Смешивание подготовленного топлива с вторичным высокоскоростным потоком воздуха разбавления.

3. Радиальное сопловое расширение топливовоздушной смеси в фокус (центр) полусферического резонатора.
4. Сжатие топливовоздушной смеси в фокусе полусферического резонатора и инициация волны детонационного горения.

В упрощённом виде детонационно-резонансная горелка представляет собой камеру детонационного горения в виде металлической сферы с различной степенью кривизны, согласно рис. № 16.12.

По диаметру сферы размещено кольцевое сопло, и направлено в геометрический фокус сферы.

Сфера может включать дополнительный резонатор в виде полузамкнутой полости определённого размера.



Рис. № 16.12. Упрощённый вид детонационно-резонансной горелки.

От конструктивного исполнения камеры сгорания зависит частота следования волн детонационного горения, и как следствие – энергетическая эффективность самой детонационно-резонансной горелки.

Остановимся на конструктивном исполнении камеры детонационного горения. Такая камера имеет следующие основные геометрические характеристики, согласно рис. № 16.13.

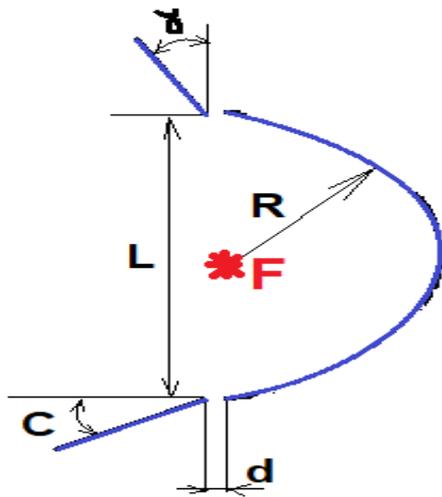


Рис. № 16.13. Геометрия полусферического резонатора

Где:

$r$  – радиус резонатора.

$b$  – кривизна резонатора.

$a$  – угол ввода топливовоздушной смеси.

$d$  – ширина кольцевого сопла

$l$  – диаметр сопла

$c$  – угол расходимости сопла

Согласно опубликованным практическим данным по тематике: Hao ZENG, Li-ming HE, Wei CHEN. Center for Combustion energy, Tsinghua University; Institute of Engineering, Air Force Engineering University заявляется следующее:

— с увеличением радиуса ( $r$ ) сферического резонатора — частота следования детонационных волн уменьшает .

— с увеличением кривизны резонатора ( $b$ ) — частота следования детонационных волн увеличивается.

— с увеличением угол ( $a$ ) ввода топливовоздушной смеси в резонатор — частота следования детонационных волн увеличивается.

— с увеличением ширина ввода топливовоздушной смеси ( $d$ ) частота следования детонационных волн уменьшает .

— угол ( $a$ ) ввода топливовоздушной смеси в резонатор  $30^\circ$  — амплитуда динамического давления на дне резонатора — максимальна.

-с увеличением диаметр сопла ( $l$ ) — частота следования детонационных волн увеличивается.

— с увеличением угла расходимости сопла ( $\alpha$ ) — частота следования детонационных волн увеличивается. Учитывая амплитуду динамического давления дна резонатора, расхождение угла не должно быть не слишком большим и не слишком маленьким; когда расходящийся угол сопла  $30^\circ$  — амплитуда динамического давления дна резонатора максимальна.

Описания процесса распространения детонационного горения в таком полусферическом резонаторе в открытых источниках противоречивы. Это связано с тем, что данное направление считается перспективным для развития.

При этом к выше изложенному дополнительно можно привести аналогию с интересным явлением, которое проявляется в том, что если взять обычный баллон со сжатым воздухом и пустить через кольцевое сопло в полусферический рефлектор (резонатор), то на выходе энергетические характеристики потока вырастут даже при отсутствии горения, без использования топлива. Это явление до сих пор до конца не объяснено.

Основой работы горелки является подготовка топлива к детонационному горению.

В идеале, первичное топливо необходимо полностью разложить на простые, высоко энергетические летучие составляющие, которые достаточно легко подвержены детонационному горению. Такими являются в первую очередь  $H_2$ ,  $C_2H_2$ ,  $CO$  с температурами более  $1000$  градусов.

Практически реализовать полное разложение топлива теоретически возможно, но практически чрезвычайно трудно.

Все работы в данном направлении основываются на предварительном высокотемпературного нагрева первичного топлива без доступа кислорода. Происходит разложением топлива на высокоактивные составляющие.

Исходя из Выше изложенного, подготовка топлива к детонации может быть обеспечена следующим образом:

#### **а) Одно этапный окислительный пиролиз**

Протекает при горении газа в условиях недостатка кислорода. Температура процесса при этом составляет  $1400$  —  $1600^\circ C$ , время

пребывания компонентов в реакционной зоне – несколько миллисекунд. Схема реализации способа представлена на рис. № 16.14.

Например, таким способом получается ацетилен из углеводородов в промышленных условиях. Общее уравнение реакции представлено ниже:



Выход ацетилена составляет 30-32 %. Дополнительно образуется ещё синтез газ — оксид углерода (CO) и водород (H<sub>2</sub>). Обязательной стадией процесса является так называемая “закалка” продуктов, которая представляет собой их резкое охлаждение до температуры ниже 300 градусов. Закалка необходима для предотвращения разложения получаемого ацетилена на углерод и водород. Это обеспечивается уже при резком расширении таких продуктов из сопла в фокус полусферического резонатора.

Вариант реализации одно этапного окислительного пиролиза представлен ниже.

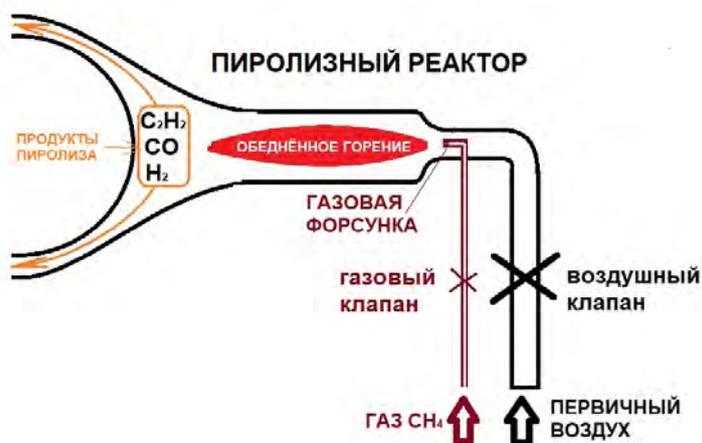


Рис. № 16.14. Схема одно этапного окислительного пиролиза (не полное сгорание топлива).

Согласно классическим данным по пиролизу газов в горелках, например для мартеновских печей, газ сжигают (вернее подвергают пиролизу) с 40% теоретически необходимым воздухом, где развивается температура 1200—1300° С. При этих условиях

происходит интенсивный распад газа на выше поименованные составляющие.

На выходе получают высокотемпературные легко детонирующие летучие компоненты, такие как  $H_2$ ,  $C_2H_2$ ,  $CO$ .

**b) Двух этапный окислительный пиролиз не полного предварительного сгорания.**

Первый этап – не полное сжигание первичного газа с недостатком кислорода в реакторе. Второй этап — ввод вторичного газа в продукты не полного сгорания в зону догорания первого этапа.

Схема реализации способа представлена на рис. № 16.15.

Вариант реализации с смещённым вводом газов для двух этапов окислительного пиролиза представлен ниже.



Рис. № 16.15. Двух этапный окислительный пиролиз (не полное сгорание топлива с вводом в продукты не полного сгорания новой порции топлива).

Вариант реализации с коаксиальным вводом газов для двух этапов окислительного пиролиза представлен на рис. № 16.16.

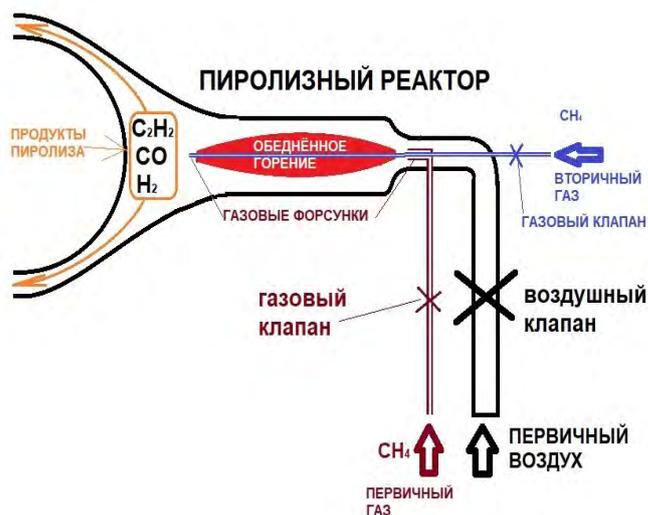


Рис. № 16.16. Двух этапный окислительный пиролиз (не полное сгорание топлива с коаксиальным вводом в продукты не полного сгорания новой порции топлива.

Согласно классическим данным по пиролизу газов в горелках, например для мартеновских печей, первичный газ в количестве от 30 до 40% общего расхода газа сжигают (вернее подвергают пиролизу) с 40% теоретически необходимого воздуха. Затем в зону догорания пламени вводят различными способами вторичный газ 60 – 70 % от общего расхода, где развивается температура 1200—1300° С. При этих условиях происходит интенсивный распад газа на выше поименованные составляющие.

На выходе получают высокотемпературные легко детонирующие летучие компоненты, такие как  $H_2$ ,  $C_2H_2$ ,  $CO$ .

**с) Двухэтапный окислительный пиролиз полного предварительного сгорания.**

Первый этап – полное сжигание первичного газа с избытком кислорода в реакторе. Второй этап — ввод вторичного газа в продукты сгорания в зону догорания первого этапа.

Вариант реализации с смещённым вводом газов для двух этапов окислительного пиролиза представлен на рис. № 16.17.



Рис. № 16.17. Двухэтапный окислительный пиролиз с вводом в продукты полного сгорания новой порции топлива.

Вариант реализации с коаксиальным вводом газов для двух этапов окислительного пиролиза представлен на рис. № 16.18.

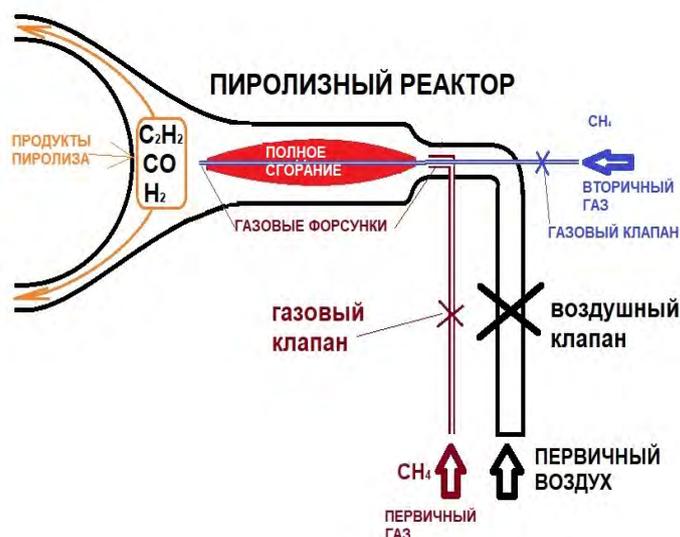


Рис. № 16.18. Двухэтапный окислительный пиролиз с вводом в продукты полного сгорания новой порции топлива.

Согласно классическим данным по пиролизу газов в горелках, например для мартеновских печей, первичный газа в количестве от 100-110% общего расхода газа сжигают полностью. Затем в зону догорания пламени вводят различными способами вторичный, где развивается температура 1600-1800° С. При

этих условиях происходит интенсивный распад газа на выше поименованные составляющие.

На выходе получаются высокотемпературные легко детонирующие летучие компоненты, такие как  $H_2$ ,  $C_2H_2$ ,  $CO$ .

#### d) **Сухой пиролиз топлива.**

Представляет собой изолированный нагрев газа в замкнутом теплообменнике без доступа кислорода. Согласно классическим данным по пиролизу газов в горелках — в этом случае теплообменники приходится исполнять сравнительно громоздкими, а опасность отложения в трубах сажи дает основание сомневаться в эксплуатационной надежности их работы. Поэтому такой метод едва ли найдет широкое применение в ближайшее время.

Вариант выбора способа в данном случае зависит от энергетической эффективности детонационно-резонансной горелки для конкретных технологических целей.

Следующий этап — подготовленное топливо поступает для смешивания с вторичным воздухом непосредственно перед кольцевым выходным соплом в короткую кольцевую зону смешивания. Смешивание происходит путём инъекции подготовленного топлива вторичным воздухом с большой скоростью.

После инъекции подготовленная к детонационному горению топливовоздушная смесь поступает в кольцевое сопло. На выходе формируется высокоскоростной поток за счёт кольцевого сопла, которое изготовлено по профилю поперечного сечения сопла Лавалья. Такой профиль позволяет сформировать радиальный центростремительный поток топливовоздушной смеси со сверхзвуковой скоростью. Большая скорости потока топливовоздушной смеси не допускает его самовоспламенения.

Завершающий этап подготовки топливовоздушной смеси к детонации, это сверхзвуковое радиальное схлопывание в геометрическом фокусе сферы с значительным повышением давления.

Заключительный этап – инициация детонационной волны. В данном случае детонация может инициироваться как самопроизвольно, так и принудительно, например — электроискровым поджогом. Самопроизвольно детонация происходит посредством струйного

взаимодействия и ударной фокусировки (сжатии). Зависит от скоростных, энергетических характеристик топливовоздушной смеси. Самопроизвольная детонация ударной фокусировкой в фокусе сжатия сферы для данного типа горелок – нестабильна.

Для данного типа горелок предпочтительнее принудительный электроискровой поджог.

После инициации формируется фронт бегущей волны детонационного горения с характеристиками, заявленными выше. Затем цикл повторяется. Частота следования циклов зависит в основном от энергетических характеристик подготовленной топливовоздушной смеси и конструктивных характеристик исполнения горелки.

Исходя из Выше изложенного, конструктивное исполнение детонационно-резонансной горелки для технологических целей представлено на рис. № 16.19.

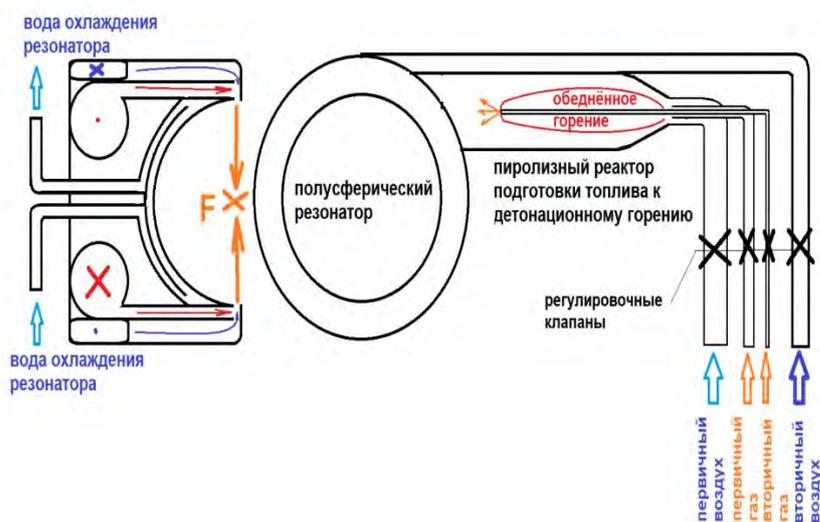


Рис. № 16.19. Конструктивное исполнение детонационно-резонансной горелки

Управление работой горелки (управление детонационным горением) для целей достижения заданных характеристик по частоте следования, температуре, скорости распространения и давлению детонационных волн осуществляется регулировкой расхода первичного и вторичного газа и воздуха под.

В связи с тем, что детонационно-резонансная горелка работает продолжительное время с запредельными рабочими температурами

для существующих конструкционных материалов, последние обязательно должны быть оборудованы проточным охлаждением. Это относится только к стенке сферы камеры детонационного сгорания.

Предложенный вариант конструкции детонационно-резонансной горелки достаточно прост и повторим.

НИР и ОКР, проводимые в этом направлении публикуются периодически в соответствующих разделах сайта [vihrihaosa.wordpress.com](http://vihrihaosa.wordpress.com) и подтверждают заявленные в п.1 настоящей публикации энергетические характеристики управляемого детонационного горения. Могут быть применены для различных технологических целей, как более эффективная замена классическим (дефлаграционным) горелкам.

#### ДОСТОИНСТВА:

- Высокая энергетика единичного детонационного горения.
- Квазинепрерывная работа, которая приближается к непрерывной работе за счет высокой частоты следования волн детонационного горения.
- Высокая частота работы - 1 кГц.
- Высокий КПД.

#### НЕДОСТАТКИ:

- Требуется предварительной подготовки топлива (пиролиза) к детонации.

## **17. ДЕТОНАЦИОННО-ВИХРЕВАЯ ГОРЕЛКА СВЕРХ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Опубликована: 07.02.2022 года. Ссылка: [Детонационно-вихревой способ получения сверхвысоких температур | ВИХРИ ХАОСА \(wordpress.com\)](https://wordpress.com/детонационно-вихревой-способ-получения-сверхвысоких-температур-|-вихри-хаоса)

### **ВСТУПЛЕНИЕ**

Вихревой эффект Ранка – Хилша хорошо известен и практически давно используется для технологических целей нагрева и охлаждения. На самом эффекте останавливаться не будем, он и так достаточно широко представлен, за исключением одного из его парадоксов.

Парадоксальность эффекта Ранка известна и заключается в том, что горячий вихревой поток располагается в вихревой коаксиальной противопоточной структуре снаружи, при этом холодный вихревой поток концентрируется внутри.

При этом, как известно, более тёплый поток газа имеет меньшую плотность и центробежными силами должен стремиться к центру, а более холодный поток газа имеет большую плотность и, соответственно, должен стремиться к периферии. В реальности всё происходит в точности наоборот. Внешний поток имеет большую температуру, чем внутренний.

### **СВЕРХВЫСОКИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ПРОБЛЕМА С ВЫБОРОМ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Рассматривая классическое применение эффекта Ранка – Хилша для целей получения и применения в промышленности сверхвысоких температур уровня 3000 градусов и сверхзвуковых скоростей наружного вихревого потока — сталкиваемся с проблемой выбора конструкционных материалов. Тангенциальные сверхзвуковые скорости при таких температурах приводят к "вымыванию" со временем любого существующего конструкционного материала.

Вот если бы сверх высокотемпературный вихревой поток находился как в матрёшке снаружи относительно более холодного вихревого потока,

тогда проблема с выбором конструкционных материалов не была бы актуальной.

Оказывается такое возможно с учётом обратного вихревого эффекта.

## **ОБРАТНЫЙ ВИХРЕВОЙ ЭФФЕКТ**

В ходе экспериментальных работ с распространением сверхзвуковых аксиально-радиальных волн детонационного горения в вихревых трубках обнаружен весьма любопытный, можно назвать — обратный вихревой эффект классике Ранка – Хилша.

Эффект заключается в строго противоположном нагреве внутреннего потока и охлаждении наружного потока. Обеспечивается за счёт формирования двух высокоскоростных высокотемпературных вихревых противотоков путём распространении периодически следующих друг за другом волн детонационного горения и сжатия.

В прямоточную вихревой трубу классического исполнения тангенциально вводятся периодически следующие друг за другом волны детонационного горения, от одного или нескольких источников. В вихревой трубе формируются два авто волновых высокоскоростных высокотемпературных вихревых противотока следующих друг за другом волн детонационного горения и сжатия.

Фронт каждой волны детонационного горения имеет температуру 1500-2000 градусов, сверхвысокое давление и скорость распространения порядка 2000 м/сек. Наружный вихревой поток имеет температуру уровня 1000 градусов и скорость уровня сверхзвука. Внутренний вихревой поток имеет температуру уровня 3000 градусов и скорость уровня сверхзвука.

Таким образом обеспечивается локализация одного высокотемпературного вихревого потока внутри второго относительно холодного внешнего вихревого потока. В этом случае решается задача с выбором конструкционных материалов.

## **КАК ЭТО РАБОТАЕТ**

Первоначально предполагалось, что проявление эффекта обеспечивается за счёт аксиально-тангенциального высокоскоростного

распространения периодически следующих друг за другом волн детонационного горения и сжатия, которые формируют два соосных вихревых противотока.

На основании многочисленных экспериментов по вихревому температурному разделению, заявленных на сайте <https://vihrihaosa.wordpress.com> можно заявить, что при формировании на начальной стадии двух коаксиальных вихревых противотоков в вихревой трубе температурного разделения нет!!!.

**Формирующиеся два вихревых противотока температурно нейтральны!!!.**

Какому потоку быть холодным, а какому горячим определяется тем, какая первичная температура теплообмена подводится к внешнему вихревому потоку по отношению к температуре самого потока.

Рассмотрим два варианта формирования вихревых противотоков:

#### **1. Тангенциальный ввод газа под давлением с его расширением (классика).**

При классическом истечении сжатого воздуха в вихревую трубу его температура уменьшается. При этом стенки вихревой трубы имеют большую температуру. Теплообмен от стенок вихревой трубы повышает температуру внешнего вихревого потока совсем не значительно. Этого вполне достаточно для начала полноценного проявления вихревого терморазделительного процесса в вихревой трубе.

Происходит лавинообразное увеличение температуры внешнего вихревого потока с одновременным понижением температуры внутреннего вихревого противотока. Степень изменения температур двух потоков зависит от конструктивных особенностей исполнения самой вихревой трубы и энергетике первичного потока.

#### **2. Тангенциальный ввод высокоскоростного высокотемпературного газового потока (обратный вихревой эффект)**

В вихревую трубу подаётся уже сформированный скоростной высокотемпературный поток детонационного горения, рис. № 17.1. В этом случае относительно холодная стенка вихревой трубы первоначально придаёт импульс охлаждению внешнему вихревому потоку. Тем самым происходит лавинообразное уменьшение температуры внешнего вихревого потока с одновременным нагревом внутреннего вихревого потока.

Степень изменения температур двух потоков также зависит от конструктивных особенностей исполнения самой вихревой трубы и энергетике первичного потока.



Рис. № 17.1. Тангенциальное распространение волны детонационного горения.

### **Рассмотрим заявленное подробно.**

Парадоксальность эффекта Ранка известна и заключается в том, что горячие слои располагаются в вихревой коаксиальной противопоточной структуре снаружи, а холодные концентрируются аксиально по центру вихревой структуры. При этом, как известно, более тёплый поток газа имеет меньшую плотность и центробежными силами должен стремиться к центру, а более холодный поток газа имеет большую плотность и, соответственно, должен стремиться к периферии. В реальности всё происходит в точности наоборот.

На основании многочисленных экспериментов по вихревому температурному разделению, заявленные на сайте <https://vihrihaosa.wordpress.com> можно заявить, что при

формировании на начальной стадии двух коаксиальных вихревых противопотоков в вихревой трубе температурного разделения нет.

Изначально два противопотока температурно нейтральны, Направление начала терморазделения зависит от того, какая первичная температура теплообмена подводится к внешнему вихревому потоку.

При классическом истечении сжатого воздуха в вихревую трубу его температура уменьшается. При этом стенки вихревой трубы имеют большую температуру. Теплообмен от стенок вихревой трубы повышает температуру внешнего вихревого потока совсем не значительно. Этого вполне достаточно для начала полноценного проявления вихревого терморазделительного процесса в вихревой трубе. Происходит лавинообразное увеличение температуры внешнего вихревого потока с одновременным понижением температуры внутреннего вихревого противопотока. В этом случае степень изменения температур двух потоков зависит от конструктивных особенностей исполнения самой вихревой трубы и энергетических характеристик первичного потока.

Исходя из выше изложенного при начальных противоположных условиях происходит следующее.

В вихревую трубу подаётся уже сформированный скоростной высокотемпературный поток. В этом случае относительно холодная стенка вихревой трубы первоначально придаёт импульс охлаждению внешнему вихревому потоку. Тем самым происходит лавинообразное уменьшение температуры внешнего вихревого потока с одновременным нагревом за счёт трения внутреннего вихревого потока.

Данное заключение основано на том, что изначально в ходе экспериментальных работ с распространением сверхзвуковых аксиально-радиальных волн детонационного горения в трубах, в том числе и в классическом понимании — вихревых трубах Ранка-Хилша обнаружен весьма любопытный, и можно назвать – обратный вихревой эффект температурного разделения вихревых потоков.

Эффект заключается в строго противоположном нагреве внутреннего вихревого потока и охлаждении наружного вихревого потока.

### **Известно, что:**

1. Вихревые течения в классической вихревой трубе отличаются интенсивной турбулентностью с присутствием радиальных пульсации скоростей распространений.
2. Практические работы по изучению турбулентной структуры потоков в вихревых трубах затруднены. Это связано в первую очередь с их относительно малыми габаритами.
3. Термодинамическая эффективность процесса терморазделения в вихревых трубах зависит в первую очередь от степени расширения первичного вихре образующего потока, т.е.:

$$\pi = P_1/P_0.$$

Где:

$P_1$  – давление в потоке на входе в вихревую трубу ( $T$  потока =  $\uparrow$ ).

$P_0$  – давление среды, в которую происходит истечение ( $T$  потока =  $\downarrow$ ).

### **А теперь немного о детонационном горении.**

Известно:

1. Детонация в атмосферу от одного источника детонационного горения представляет собой взрыв, в котором взрывная волна распространяется со скоростью 2000-3000 м/с, температура горения достигает 3000-3500 °С.
2. Последовательное следование волн детонационного горения формирует авто волновой высокоскоростной высокотемпературный поток следующих друг за другом волн детонационного горения и сжатия
3. В соответствующих разделах сайта <https://vihrihaosa.wordpress.com> представлены различные типы детонационных источников энергии с частотами следования от 1 гц до 1 кГц и выше.

С учётом выше изложенного были проведены практические работы с вихревыми течениями волн детонационного горения.

### **Ход работ:**

1. Был сделан стапель с диаметрами труб 100 мм и 32 мм и съёмным затвором, рис. № 17.2.



Рис. № 17.2. Стапель исследования тангенциального распространения волны детонационного горения.

2. В качестве источника волн детонационного горения в экспериментах использовалась самая простая конструкция детонационной бесклапанной горелки трубчатой формы с непосредственной инжекцией воздуха газом (пропаном), рис. № 17.3. Частота следования волн детонационного горения 1 гц.



Рис. № 17.3. Трубчатый источник вол детонационного горения.

3. В соответствующих разделах сайта <https://vihrihaosa.wordpress.com> представлен структурированный перечень различных типов детонационных источники энергии, характеристики, достоинства и недостатки для выбора под заданные

требования технологических целей в зависимости от формы канала распространения детонационной волны. В любом случае все типы детонационных источников формируют взрывные волны детонационного горения, распространяющиеся со скоростями уровня 2000-3000 м/с и температурами во фронте каждой волны уровня 3000-3500 °С, рис. № 17.4.



Рис. № 17.4. Волна детонационного горения.

4. В первую очередь проверялась возможность формирования в трубе вихревого потока на скоростях входного линейного потока 2000 м/с. Было сомнение, что на таких скоростях вместо вихревого потока в трубе будет идентифицироваться сильно турбулентный аксиальный поток.

На рис. № 17.5. визуализируется огненный вихрь продуктов детонационного горения с температурой по свечению 1600 градусов.



Рис. № 17.5. Тангенциальное распространение волны детонационного горения.

5. Завещающий этап в подготовке проведения эксперимента по детонационно-вихревому распространению в классике Ранка-Хилша.

Для эксперимента была выбрана прямоточный тип вихревой трубы. Использовались три конуса с углом раскрытия в 45 градусов и диаметрами проходных сечений: 60, 50 и 40 мм, рис. № 17.6.



Рис. № 17.6. Схема вихревой трубы с питанием от источника волн детонационного горения.

Визуализация двух детонационно-вихревых потоков на выходе из прямоточной трубки Ранка-Хилша представлена ниже для трёх проходных сечений конуса соответственно 60, 50 и 40 мм и одинаковом расстоянии выноса конуса из трубы, рис. № 17.7.



Рис. № 17.7. Визуализация двух потоков детонационного горения с выхода “холодной” и “горячей” части вихревой трубы.

Приблизительно оценить температуры выходных двух вихревых потоков можно по цвету пламени.

Центральный “белый” внутренний вихревой поток имеет температуру уровня 1500 градусов. Периферийный внешний вихревой поток имеет температуру намного ниже центрального.

## **ВЫВОД:**

1. За счёт особенностей вихревого эффекта можно практически формировать области сверх высоких температур для технологических целей.
2. Предлагается конструктивная локализация сверх высокотемпературной области вихревого нагрева уровня 3000 градусов внутри относительно более холодной области вихревого охлаждения с температурами уровня 1000 градусов. С такими температурами легко справятся существующие конструкционные материалы.
3. Температурную локализацию может обеспечить заявленный обратный вихревой эффект за счёт первичного высокоскоростного высокотемпературного потока следующих друг за другом волн детонационного горения и сжатия с частотами следования от 1 Гц до 1 кГц и выше в классической вихревой трубе.
4. **Последовательное использование нескольких вихревых труб в таком процессе позволит освоить для технологических нужд температуры уровня начала протекания ядерного синтеза. (будет заявлено в следующей публикации).**

## 18. ДЕТОНАЦИОННО-ВИХРЕВАЯ СИСТЕМА ГОРЕЛОК СВЕРХ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Опубликован: 08.02.2022 года.

Ссылка: [Многостадийный детонационно-вихревой способ освоения сверхвысоких температур | ВИХРИ ХАОСА \(wordpress.com\)](https://vixri.xaosca.wordpress.com)

На основании заявленной выше технологии по п. 16 – предлагается объединить последовательно по схеме “горячий выход — следующий вход” несколько прямооточных вихревых труб с пропорционально уменьшающимися размерами в единую систему многоступенчатого повышения и локализации сверхвысоких температур.

Последняя ступень будет содержать осевой сверх высокотемпературный вихревой поток например уровня начала протекания ядерного синтеза водорода в гелий. Он будет локализован в относительно более холодном внешнем вихревом потоке последней ступени.

За счёт такой локализации решается задача выбора конструкционных материалов, которые непосредственно контактируют с относительно более холодными вихревыми потоками.

Источником первичной энергии (горелки) для этих целей являются следующие друг за другом волны детонационного горения и сжатия с частотами следования от 1 Гц до 1 кГц, температурами во фронте волны детонационного горения уровня 2000-3000 градусов и сверхзвуковыми скоростями уровня 2000 м/сек.

Сверхзвуковая скорость вихре образующего первичного потока позволяет соединить вихревые трубы последовательно по схеме “горячий выход — следующий вход” без значительного снижения эффективности терморазделения следующих ступеней.

За счёт уменьшения размеров последующих ступеней вихревых труб в том числе и проходных сечений подводных и отводных труб обеспечивается равномерное распространение в общей системе.

**ЗАМЕЧАНИЕ!!!**

Одновременно для второй и следующих ступеней, так называемый, первичный вихреобразующий поток, уже сам будет являться вихревым потоком, т.е. будет иметь дополнительную орбитальную ось вращения. В этом случае во второй и последующих ступенях за счёт взаимодействия между собой уже многомерных вихревых противотечений эффективность терморазделения будет увеличена.

### **ВАРИАНТ ИСПОЛНЕНИЯ:**

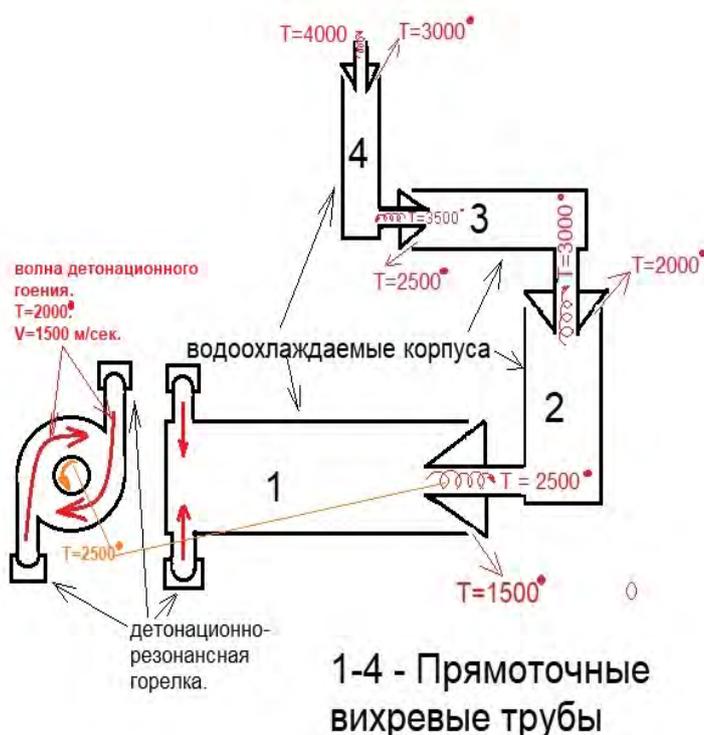


Рис. № 18.1. Четырёх стадийный детонационно-вихревой способ получения сверх высоких температур для технологических целей металлургического производства.

Всего четыре ступени. Четыре прямоточные вихревые трубы соединены последовательно по схеме “горячий выход — следующий вход”. Первая ступень запитана от источника следующих друг за другом волн детонационного горения с температурой 2000 градусов и скоростью 1500 м/сек. На “горячем” выходе первой ступени температура внутреннего вихревого потока будет 2500 градусов. В каждой ступени температура повышается на 500 градусов.

В итоге на выходе четвёртой ступени в значительно меньшем объёме по сравнению с первой ступенью в относительно более холодном наружном вихре будет локализована сверх высокотемпературная вихревая область с температурой уровня 4000 градусов.

## 19. ТЕРМОБАРИЧЕСКИЙ СПОСОБ РАЗЛОЖЕНИЯ ОКСИДОВ МЕТАЛЛОВ ДО МЕТАЛЛОВ ВО ФРОНТЕ ДЕТОНАЦИОННОЙ ВОЛНЫ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ СЖАТИЕМ

Опубликован: 27.07.2021 года.

Ссылка: [Термобарический способ разложения оксидов \(отходов\) в волне детонационного горения с дополнительным сжатием \(зелёная металлургия, утилизация отходов, и т.п.\). | ВИХРИ ХАОСА \(wordpress.com\)](https://vixri.xaos.ru/termobaric-method-of-decomposition-of-oxides-of-waste-in-the-wave-of-detonation-combustion-with-additional-compression-green-steel-metallurgy-waste-utilization-and-others-vixri-xaos-wordpress-com/)

Термобарический способ разложения химических соединений заключается в воздействии на химические соединения мелко дисперсионной структуры сверх высокой температурой и продуктами детонационного горения топливовоздушной смеси (ТВС).

При этом нужно учитывать, что в качестве химических соединений может выступать абсолютно любые мелко дисперсионные, вязкие или жидкие химические, органические минеральные смеси в том числе и ядовитые для утилизации или получения новых продуктов.

Термобарический способ разложения любых химических соединений на простые составляющие осуществляется непосредственно во фронте детонационного горения топливовоздушной смеси (ТВС). Химические соединения мелко дисперсионной структуры вводятся непосредственно во фронт распространения детонационного горения ТВС. При этом сам фронт детонационного горения сжимается центростремительно в одной точке – в фокусе полусферического резонатора, за счёт конструктивных особенностей источника детонационного горения.

Главным достоинством такого конструктивного решения является тот факт, что фокус полусферического резонатора, т.е. центр формирования сверхвысоких температур и давлений, в котором происходит основное термобарическое воздействие на вещество непосредственно не контактирует с конструкционным материалом. Таким образом в фокусе полусферического резонатора формируются сверхвысокие давление и температура для заявляемых целей.

При этом классические способы нагрева не способны обеспечить нужные температуры и давления для протекания термобарических процессов разложения химических соединений. Это связано с

особенностью классического дефлаграционного горения, а именно в том, что при распространении дефлаграционного горения фронт волны не встречает на своём пути препятствий и распространяется от зон с высоким давлением в зоны низкого давления. Распространение горения в этом случае происходит с относительно низкой скоростью, которая зависит от температуры процесса горения, и всегда ниже 2000 °С.

В отличие от классического горения — детонация в атмосфере от одного источника детонационного горения представляет собой взрыв, в котором взрывная волна распространяется со скоростью 2000-3000 м/с, а температура горения достигает 3000-3500 °С. При этом нужно учесть тот факт, что детонация не в атмосферу (расширение), а сжатие центростремительно в фокусе полусферического резонатора обеспечивает формирование на много больших температур.

Детонация представляет собой фронт расширяющихся изломов ударных волн, которые постоянно растут и сталкиваются друг с другом. В местах столкновения изломов ударных волн возникают зоны очень высокого давления, в которых горение происходит с более высокими температурами, если бы оно происходило на границе между областью высокого и низкого давлений (как при классическом горении).

Анализ литературы открытого доступа показал, что методы термобарического разложения химических веществ на основе использования детонационного горения ни кем ещё не рассматривался.

Практические работы в области детонационного горения для интенсификации или создания новых технологических процессов в настоящее время практически не используются в промышленном производстве.

После публикаций в открытом доступе работ, связанных с гиперзвуковыми ракетами и в частности с их двигательными установками на основе управляемого детонационного сгорания топливовоздушной смеси появилась возможность использовать такие технологии в промышленности.

Исходя из выше изложенного предлагается следующее практическое решение заявляемой идеи термобарического разложения химических соединений на отдельном примере так называемой зелёной металлургии, а именно: непосредственного термобарического

разложения оксида железа (железной руды) в чистое железо минуя классическое доменное производство.

Известен факте, что если оксид железа Fe (III) нагреть до температуры +675°C (точка Нееля), то произойдёт фазовый переход: антиферромагнитные свойства оксида сменятся парамагнитными. При дальнейшем нагревании до +1565°C оксид сначала расплавится, превратившись в оксид железа Fe (I), а затем при увеличении температуры начнёт разлагаться на простые вещества по схеме:  $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \Rightarrow 4\text{Fe} + 3\text{O}_2$ . Что нам как раз и нужно.

При этом скорость разложения будет зависеть от количества смеси (скорости её нагрева), температуры и давления. Т.е. для осуществления технологии так называемой зелёной металлургии нужно выполнить следующие условия:

1. Температура более 2000 градусов.
2. Сверхвысокое давление.
3. Высокодисперсная структура реакционной смеси.

На этом примере следует ввести коэффициент, который бы показывал эффективность заявленного способа разложения оксида железа (железной руды) в чистое железо минуя классическое доменное производство.

Таким коэффициентом в данном примере может выступать “степень металлизации”, которая показывает объём кислорода, выделенного из оксида железа в ходе реакции термобарического разложения.

Этот показатель отражает эффективность термобарического разложения в зависимости от различных режимов работы детонационного горения и количества химических соединений и его фракционного (гранулометрического) состава.

При заданном объёме расхода мелко дисперсионной железной руды “степень металлизации” всегда будет зависеть от её гранулометрического состава, частоты следования детонационных волн, а также от количества и степени подготовки топливовоздушной смеси.

В заявленном отчёте по опытно-конструкторским работам (ОКР) коэффициент — “степень металлизации” составляла меньше процента. Это связано с тем, что ОКР проводились исключительно для подтверждения самой возможности термобарического разложения

оксида железа на железо и кислород с относительно низкой частотой следования детонационных волн и т.п.

Функциональная схема заявляемого способа представлена на рис. № 19.1.

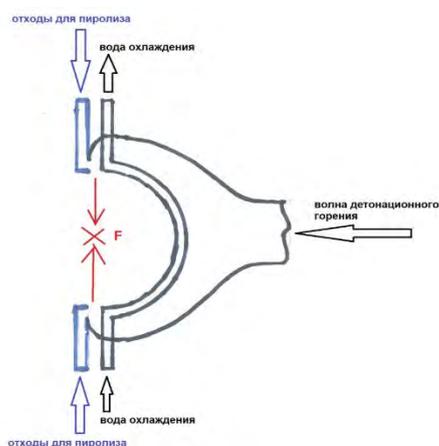


Рис. № 19.1. Схема термобарического способа разложения оксидов металлов до металлов во фронте детонационной волны с дополнительным сжатием в фокусе полусферического резонатора.

Принцип работы основан на том, что отдельно сформированная детонационная волна детонационного горения топливовоздушной смеси (источник на схеме не представлен) вводится радиально центростремительно в так называемый полусферический резонатор. Одновременно в резонатор также радиально и принудительно подаётся в импульсном режиме синхронно с частотой детонации мелко дисперсионное химическое соединение для термобарического разложения.

Таким образом сформированная детонационная волна детонационного горения топливовоздушной смеси перед входом в так называемый полусферический резонатор имеет сверхвысокую скорость распространения и температуру. В импульсном режиме согласно отчёта температура может достигать 2500-3000 градусов. Это значение относится к классической детонационной волне. При этом, как было заявлено выше — она ещё дополнительно центростремительно сжимается в фокусе полусферического резонатора.

Исходя из выше изложенного можно предположить, что температура и давление в таком фокусе будет ориентировочно в 2 и

более раза выше, примерно– 4000-5000°С. Этого вполне достаточно для целей заявляемого.

### **Практические работы по заявляемому.**

На примере проверки возможности термобарического разложения оксида железа (так называемая зелёная металлургия) заявленным способом провёл эксперимент с добавлением во фронт детонационного горения мелко дисперсионного порошка оксида железа. Был приобретён порошок железного сурика, который не обладает магнитными свойствами.

Взял мелкоячеистую сетку. Согнул в кольцо и окунул край в порошок оксида железа, рис. № 19.2.



Рис. № 19.2. Пример ввода порошка оксида металла во фронт детонационного горения посредством стальной сетки.

Изготовил стенд для изучения разложения оксидов металлов до металлов во фронте детонационной волны с дополнительным сжатием в фокусе полусферического резонатора.

Конструктивно стенд представляет собой классический трубчатый источник волны детонационного горения, на выходе которого установлено кольцевое сопло с истечением в фокус полусферы.

Для сбора продуктов детонационного горения использовалась труба из нержавеющей стали с зеркальными внутренними стенками, чтобы легче было собирать продукты термического разложения.

Мелкоячеистую сетку разместил внутри детонационной горелки в кольцевом сопловом месте выхода детонационной волны для дополнительного сжатия в фокусе полусферы.

Внешний вид стенда изучения разложения оксидов металлов до металлов во фронте детонационной волны с дополнительным сжатием в фокусе полусферического резонатора представлен на рис. № 19.3.



Рис. № 19.3. Внешний вид стенда изучения разложения оксидов металлов до металлов во фронте детонационной волны с дополнительным сжатием в фокусе полусферического резонатора.



Рис. № 19.4. Разложение оксидов металлов до металлов во фронте детонационной волны с дополнительным сжатием в фокусе полусферического резонатора.

Затем пыль с внутренних стенок трубы была собрана и проверены её магнитные свойства. Собранная пыль продуктов детонационного горения проявляет магнитные свойства.

Это подтверждает, что происходит термобарическое разложение не магнитного оксида железа до чистого железа.

На основании таких работ и предлагается заявленный выше термобарический способ разложения любых химических соединений на простые составляющие непосредственно во фронте детонационного горения топливовоздушной смеси (ТВС).

## **ВЫВОД:**

Заявленный термобарический способ с достижимыми температурами в зоне реакции в 3000 — 4000°C и сверхвысоким давлением способен наиболее эффективно проводить химические реакции температурного разложения химических соединения на простые составляющие. Степень эффективности в этом случае зависит всегда от гранулометрического (фракционного) состава, частоты следования и объёма детонационных волн. При этом нужно учитывать, что в качестве химических соединений может выступать абсолютно любые мелко дисперсионные, вязкие или жидкие химические, органические минеральные смеси в том числе и ядовитые для утилизации или получения новых продуктов.

## 20. ТЕРМОБАРИЧЕСКИЙ СПОСОБ РАЗЛОЖЕНИЯ ОКСИДОВ МЕТАЛЛОВ ДО МЕТАЛЛОВ В ВОЛНЕ ДЕТОНАЦИОННОГО ГОРЕНИЯ.

Опубликован: 27.07.2021 года.

Ссылка: [Термобарический способ разложения оксидов \(отходов\) в волне детонационного горения | ВИХРИ ХАОСА \(wordpress.com\)](https://vixri.xaosca.wordpress.com/termobaric-method-of-decomposition-of-oxides-of-waste-in-the-wave-of-detonation-combustion/)

Термобарический способ разложения химических соединений заключается в воздействии на химические соединения мелко дисперсионной структуры сверх высокой температурой и давлением продуктами детонационного горения топливовоздушной смеси (ТВС). При этом нужно учитывать, что в качестве химических соединений может выступать абсолютно любые мелко дисперсионные, вязкие или жидкие химические, органические минеральные смеси в том числе и ядовитые для утилизации или получения новых продуктов.

Термобарический способ разложения любых химических соединений на простые составляющие осуществляется детонацией смеси в фокусе полусферического резонатора, состоящей из топлива-окислитель и мелко дисперсионных химических соединений. Химические соединения мелко дисперсионной структуры вводятся непосредственно в подготовленную для детонационного горения топливовоздушную смесь.

Главным достоинством такого конструктивного решения является тот факт, что фокус полусферического резонатора, т.е. центр формирования сверхвысоких температур и давлений, в котором происходит основное термобарическое воздействие на химические вещества непосредственно не контактирует с конструкционным материалом.

Таким образом в фокусе полусферического резонатора формируются сверхвысокие давление и температура для заявляемых целей.

При этом классические способы нагрева не способны обеспечить нужные температуры и давления для протекания термобарических процессов разложения химических соединений. Это связано с особенностью классического дефлаграционного горения, а именно в том, что при распространении дефлаграционного горения фронт волны

не встречает на своём пути препятствий и распространяется от зон с высоким давлением в зоны низкого давления. Распространение горения в этом случае происходит с относительно низкой скоростью, которая зависит от температуры процесса горения, и всегда ниже 2000 °С.

В отличие от классического горения — детонация в атмосферу от одного источника детонационного горения представляет собой взрыв, в котором взрывная волна распространяется со скоростью 2000-3000 м/с, а температура горения достигает 3000-3500 °С. При этом нужно учесть тот факт, что детонация не в атмосферу (расширение), а сжатие центростремительно в фокусе полусферического резонатора обеспечивает формирование на много больших температур.

Детонация представляет собой фронт расширяющихся изломов ударных волн, которые постоянно растут и сталкиваются друг с другом. В местах столкновения изломов ударных волн возникают зоны очень высокого давления, в которых горение происходит с более высокими температурами, если бы оно происходило на границе между областью высокого и низкого давлений (как при классическом горении).

Анализ литературы открытого доступа показал, что методы термобарического разложения химических веществ на основе использования детонационного горения ни кем ещё не рассматривался.

Практические работы в области детонационного горения для интенсификации или создания новых технологических процессов в настоящее время практически не используются в промышленном производстве.

После публикаций в открытом доступе работ, связанных с гиперзвуковыми ракетами и в частности с их двигательными установками на основе управляемого детонационного сгорания топливовоздушной смеси появилась возможность использовать такие технологии в промышленности.

Исходя из выше изложенного предлагается следующее практическое решение заявляемой идеи термобарического разложения химических соединений на отдельном примере так называемой зелёной металлургии, а именно: непосредственного термобарического разложения оксида железа (железной руды) в чистое железо минуя классическое доменное производство.

Известен факте, что если оксид железа Fe(III) нагреть до температуры +675°C (точка Нееля), то произойдёт фазовый переход: антиферромагнитные свойства оксида сменятся парамагнитными. При дальнейшем нагревании до +1565°C оксид сначала расплавится, превратившись в оксид железа Fe(I), а затем при увеличении температуры начнёт разлагаться на простые вещества по схеме:  $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \Rightarrow 4\text{Fe} + 3\text{O}_2$ . Что нам как раз и нужно.

При этом скорость разложения будет зависеть от количества смеси (скорости и технологии её сверх нагрева), температуры и давления. Т.е. для осуществления технологии так называемой зелёной металлургии нужно выполнить следующие условия:

1. Температура более 2000 градусов.
2. Сверхвысокое давление.
3. Высокодисперсная структура реакционной смеси.

На этом примере следует ввести коэффициент, который бы показывал эффективность заявленного способа разложения оксида железа (железной руды) в чистое железо минуя классическое доменное производство.

Таким коэффициентом в данном примере может выступать “степень металлизации”, которая показывает объём кислорода, выделенного из оксида железа в ходе реакции термобарического разложения.

Этот показатель отражает эффективность термобарического разложения в зависимости от различных режимов работы детонационного горения и количества химических соединений и его фракционного (гранулометрического) состава.

При заданном объёме расхода мелко дисперсионной железной руды “степень металлизации” всегда будет зависеть от её гранулометрического состава, частоты следования детонационных волн, а также от количества и степени подготовки топливовоздушной смеси.

Функциональная схема заявляемого способа термобарического способа разложения химических соединений детонационно-резонансным горением совместно с топливовоздушной смесью в фокусе полусферического резонатора представлена на рис. № 20.1.

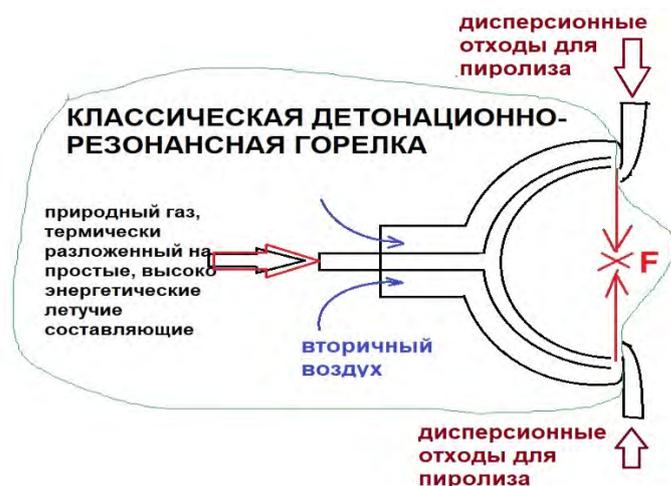


Рис. № 20.1. Схема реализации термобарического способа разложения оксидов металлов до металлов в волне детонационного горения в начальной стадии распространения.

Конструктивное исполнение полусферического резонатора с дополнительным вводом продуктов для термического разложения представлено на рис. № 20.2.



Рис. № 20.2. Конструкция полусферического резонатора с дополнительным вводом продуктов для термического разложения.

Принцип работы основан на том, что химические соединения вводятся в готовую для детонации топливовоздушную смесь (ТВС), смешиваясь с ней. Затем происходит инициация детонации и центростремительное сжатие детонационной волны в фокусе полусферического резонатора с резким увеличением температуры и давления. В фокусе полусферического резонатора протекают

термобарические процессы разложения химических соединений на простые составляющие.

ОКР:



Рис. № 20.3. Детонационно-резонансное разложения оксидов металлов до металлов в волне детонационного горения в начальной стадии распространения.

ВЫВОД:

Заявленный термобарический способ с сверхвысокими температурами и давлением способен наиболее эффективно проводить химические реакции температурного разложения химических соединения на простые составляющие. Степень эффективности в этом случае зависит всегда от гранулометрического (фракционного) состава, частоты следования и объема детонационных волн.

## 21. ТЕРМОБАРИЧЕСКИЙ СПОСОБ РАЗЛОЖЕНИЯ ОКСИДОВ МЕТАЛЛОВ ДО МЕТАЛЛОВ В ЦЕНТРЕ СЖАТИЯ ДЕТОНАЦИОННЫХ ВОЛН ОТ НЕСКОЛЬКИХ ДЕТОНАЦИОННО-РЕЗОНАНСНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Опубликован: 26.04.2020 года.

Ссылка: [Термобарический способ разложения любых химических соединений в центре сжатия детонационных волн от нескольких источников \(зелёная металлургия, утилизация отходов и т.п.\) . | ВИХРИ ХАОСА \(wordpress.com\)](https://vixri.xaosca.wordpress.com/termobaric-method-for-decomposition-of-any-chemical-compounds-in-the-center-of-compression-of-detonation-waves-from-several-sources/)

Термобарический способ разложения химических соединений заключается в воздействии на химические соединения мелко дисперсионной структуры сверх высокой температурой и давлением продуктами детонационного горения топливовоздушной смеси (ТВС). При этом нужно учитывать, что в качестве химических соединений может выступать абсолютно любые мелко дисперсионные, вязкие или жидкие химические, органические минеральные смеси в том числе и ядовитые для утилизации или получения новых продуктов.

Достигается это за счёт формирования зоны сверхвысокого давления и сверхвысокой температуры в локализованном месте (реакционный центр) центростремительного синхронного схлопывания (сжатия) фронтов детонационного горения топливовоздушных смесей (ТВС) от трёх и более детонационно-резонансных источников.

В реакционный центр вводят химические соединения для термобарического разложения на простые составляющие. Главным достоинством такого конструктивного решения является тот факт, что реакционный центр центростремительного синхронного схлопывания (сжатия) фронтов детонационного горения (центр протекания реакции термобарического разложения) непосредственно не контактирует с конструкционным материалом.

При этом классические способы нагрева не способны обеспечить нужные температуры и давления для протекания термобарических процессов разложения химических соединений. Это связано с особенностью классического дефлаграционного горения, а именно в том, что при распространении дефлаграционного горения фронт волны не встречает на своём пути препятствий и распространяется от зон с

высоким давлением в зоны низкого давления. Распространение горения в этом случае происходит с относительно низкой скоростью, которая зависит от температуры процесса горения, и всегда ниже 2000 °С.

В отличие от классического горения — детонация в атмосферу от одного источника детонационного горения представляет собой взрыв, в котором взрывная волна распространяется со скоростью 2000-3000 м/с, а температура горения достигает 3000-3500 °С. При этом нужно учесть тот факт, что детонация не в атмосферу (расширение), а сжатие центростремительно в фокусе полусферического резонатора обеспечивает формирование на много больших температур.

Детонация представляет собой фронт расширяющихся изломов ударных волн, которые постоянно растут и сталкиваются друг с другом. В местах столкновения изломов ударных волн возникают зоны очень высокого давления, в которых горение происходит с более высокими температурами, если бы оно происходило на границе между областью высокого и низкого давлений (как при классическом горении).

Анализ литературы открытого доступа показал, что методы термобарического разложения химических веществ на основе использования детонационного горения ни кем ещё не рассматривался.

Практические работы в области детонационного горения для интенсификации или создания новых технологических процессов в настоящее время практически не используются в промышленном производстве.

После публикаций в открытом доступе работ, связанных с гиперзвуковыми ракетами и в частности с их двигательными установками на основе управляемого детонационного сгорания топливовоздушной смеси появилась возможность использовать такие технологии в промышленности.

Исходя из выше изложенного предлагается следующее практическое решение заявляемой идеи термобарического разложения химических соединений на отдельном примере так называемой зелёной металлургии, а именно: непосредственного термобарического разложения оксида железа (железной руды) в чистое железо минуя классическое доменное производство.

Известен факте, что если оксид железа Fe(III) нагреть до температуры +675°C (точка Нееля), то произойдёт фазовый переход: антиферромагнитные свойства оксида сменятся парамагнитными. При дальнейшем нагревании до +1565°C оксид сначала расплавится, превратившись в оксид железа Fe(I), а затем при увеличении температуры начнёт разлагаться на простые вещества по схеме:  $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \Rightarrow 4\text{Fe} + 3\text{O}_2$ . Что нам как раз и нужно.

При этом скорость разложения будет зависеть от количества смеси (скорости её нагрева), температуры и давления. Т.е. для осуществления технологии так называемой зелёной металлургии нужно выполнить следующие условия:

1. Температура более 2000 градусов.
2. Сверхвысокое давление.
3. Высокодисперсная структура реакционной смеси.

Функциональная схема заявляемого способа термобарического способа разложения химических соединений представлена на рисунке № 21.1.

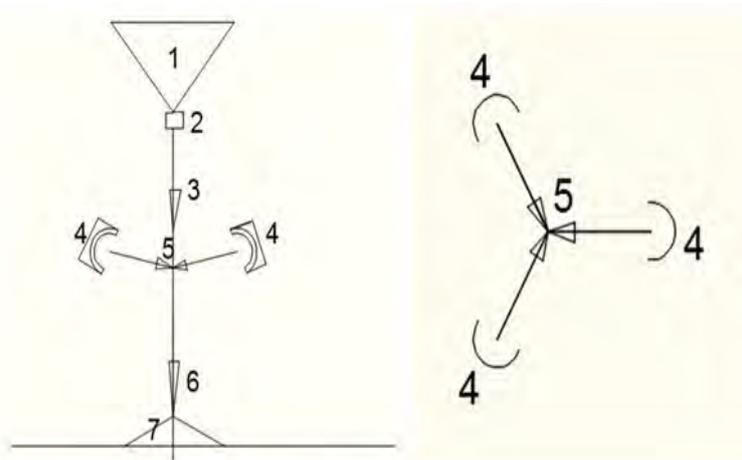


Рис. № 21.1. Схема термобарического способа разложения оксидов металлов до металлов в центре сжатия детонационных волн от нескольких детонационно-резонансных источников.

Где:

1. Бункер с химическим соединением.
2. Дозатор.
3. Подача химического соединения в зону термобарического разложения.

4. Детонационно-резонансные горелки (источники детонационной энергии) с полусферическими резонаторами.
5. Зона термобарического разложения химических соединений.
6. Гравитационное удаление продуктов термобарического разложения химических соединений.
7. Продукты термобарического разложения химических соединений.

Согласно схемы химическое соединения (в данном примере — мелко дисперсионный порошок оксида железа — руда) подаётся равномерно в реакционную термобарическую зону п. 5. Это есть зона центростремительного сжатия (схлопывания) детонационных волн от продуктов детонационного горения 3-х и более детонационно-резонансных горелок (источников энергии). Горелки (источники энергии) размещены навстречу друг другу на одной общей горизонтальной плоскости. Также каждая горелка имеет небольшой наклон вниз в вертикальной плоскости для целей облегчения ввода в зону термобарического восстановления порошков оксидов металлов, например, гравитационным способом и предотвращения их выдувания. При центростремительном синхронном сжатии (схлопывании) детонационных волн от продуктов детонационного горения 3-х и более детонационно-резонансных горелок в центральной части возникает сферическая зона сверх высокого давления, с намного более высокой температурой и давлением.

Мелко дисперсионный химическое соединения проходя эту зону сверхвысокого давления и сверхвысокой температуры мгновенно разлагается на простые составляющие.

В данном примере на выходе сферической зоны сверх высокого давления образуется мелко дисперсионный порошок чистого железа и кислород.

Практические работы подтверждают заявленное. Был создан стенд из двух источников детонационных волн по типу трубчатой формы с сферическим резонатором и непосредственной инжекцией воздуха газом (пропаном), рис. № 21.2.



Рис. № 21.2. Стенд исследования схлопывания двух волн детонационного горения.

Интересные эффекты проявляются в зависимости от расстояния, на котором находятся друг от друга источники детонационного горения.

4. Расстояние между горелками =  $2 \cdot (0,9 \cdot L)$ , рис. № 21.3.

Где:  $L$  – длина видимого сходящегося клина детонационного горения одного источника детонационного горения.



Рис. № 21.3. Визуализация схлопывания двух волн детонационного горения на расстоянии между горелками =  $2 \cdot (0,9 \cdot L)$ .

В этом случае место сжатия сверхвысоких температур и давлений локализовано в центре на расстоянии  $0,9 \cdot L$  относительно небольшой областью по объёму.

5. Расстояние между горелками =  $L$ , рис. № 21.4.

Где:  $L$  – длина видимого сходящегося клина детонационного горения одного источника детонационного горения.



Рис. № 21.4. Визуализация схлопывания двух волн детонационного горения на расстоянии между горелками =  $L$ .

В этом случае место сжатия имеет форму шара сверхвысоких температур и давлений с диаметром, равным  $= L$ . По аналогии с шаровой молнией, с одним исключением – полученный шар “рождается” и “умирает” несравнимо быстрее, чем шаровая молния. Таким образом сверх быстрый нагрев газа может быть реализован встречным “схлопыванием” в общем центре двух и более источников детонационных волн детонационного горения топливовоздушной смеси. При этом объём зоны сверхвысоких температур и давлений зависит исключительно от расстояния, на котором размещены друг от друга источники детонационного горения.

#### ВЫВОД:

Заявленный термобарический способ с достижимыми температурами в зоне реакции в  $3000 — 4000^{\circ}\text{C}$  и сверхвысоким давлением способен наиболее эффективно проводить химические реакции температурного разложения химических соединения на простые составляющие. Степень эффективности в этом случае зависит всегда от гранулометрического (фракционного) состава, частоты следования и объёма детонационных волн. При этом нужно учитывать, что в качестве химических соединений может выступать абсолютно любые мелко дисперсионные, вязкие или жидкие химические, органические минеральные смеси в том числе и ядовитые для утилизации или получения новых продуктов.

## **22. ТОПЛИВНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ ВОДНАЯ СУСПЕНЗИЯ КАК ИСТОЧНИК ТЕПЛА И “ГУБЧАТОГО” ЖЕЛЕЗА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ КАПЕЛЬНОГО ГОРЕНИЯ**

Опубликован: 02.02.2024 года.

Ссылка: [Топливо-металлургическая водная суспензия как одновременный источник тепла и “губчатого” железа.](#)

Предлагается восстановление железной руды до железа проводить в капельном (1-5 мм) горении специально подготовленной топливно-металлургической водной суспензии. Сжигание топливно-металлургической водной суспензии должно проводиться в классической печи, которая переоборудована для работы на водоугольном топливе.

Предлагается топливно-металлургическая водная суспензия, как смесь воды с порошком угля и реагентом (железная руда), средним фракционным составом 75-150 мкм.

**Ответ на вопрос, сколько железа восстановится за время окислительно-восстановительной реакции горения капли топливно-металлургической водной суспензии - может дать только эксперимент.**

**В этом случае теоретический расчёт скорости восстановления мельчайших частиц руды на основе известного ступенчатого механизма провести невозможно, т.к. не учитываются размеры и количество частиц руды в капле и т.п. Например, ориентировочный вес одной частицы руды с содержанием 78% оксида железа размером 100 мкм составляет 0,005 мкг и содержит 0,002 мкг железа.**

Размер и содержание частиц угля и руды в капле, средний размер капли и время горения в печи будут определять зольность топливно-металлургической водной суспензии, и как результат - выход “губчатого” железа.

Топливо-металлургическая водная суспензия напоминает водоугольное топливо, только без реагента. Имеет подобный механизм капельного горения.

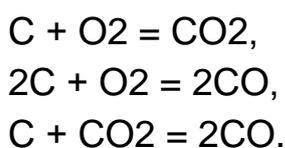
Механизм капельного горения водоугольного топлива в топке печи существенно отличается от горения классического жидкого, газообразного или пылевидного топлив.

### **Капельное горение водоугольного топлива.**

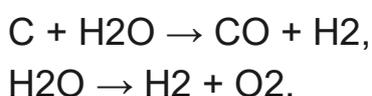
Известно, что водоугольное топливо (ВУТ) представляет собой дисперсную смесь, состоящую из угля с размерами частиц 75-150 мкм. и воды.

Известно, что при сгорании капля водоугольного топлива образуются полые сферические частицы более крупного размера, чем исходный фракционный состав водоугольного топлива.

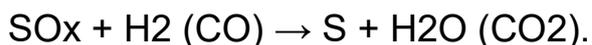
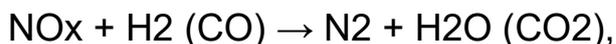
Известно, что каждая капля водоугольного топлива в среднем содержит до 200 частичек угля. Практика показала, что при распылении водоугольной суспензии формируются капли (сфера, эллипсоид и др.) 3-5 мм. При попадании каждой капли водоугольного топлива в горячую печь сначала вода с поверхности капли мгновенно испаряется. В след за этим происходит испарение влаги внутри капли и одновременное воспламенение микрочастиц угля на поверхности капли. Начинается горение наружных микрочастиц угля капли по следующим схемам:



Одновременно с процессом воспламенения наружных микрочастиц угля капли проходит другой и самый интересный процесс, в том числе, для заявленных целей восстановления металла из руды. Перегретый пар изнутри капли взаимодействует с углеродом по следующим схемам:



**Образуются восстановители (водород и углерод). Восстановители приводят к более экологическому горению водоугольной смеси по сравнению с традиционными топливами. Восстановители удаляют почти все оксида азота и серы в уходящих газах за счёт протекания следующих реакций восстановления:**



Таким образом, резкому уменьшению образования летучей золы, оксидов серы и азота, способствует классический процесс восстановления оксидов азота и серы водородом и углеродом.

На основании вышеизложенного можно предположить следующее:

## **ГИПОТЕЗА**

**Капельное горение топливно-металлургической водной суспензии как одновременный источник тепла и “губчатого” железа в одном технологическом процессе.**

Капельное горение топливно-металлургической водной суспензии необходимо проводить в обыкновенной печи, которая переоборудована для работы на классическом водо-угольном топливе. Переоборудование печи заключается в простой замене форсунки, которая позволяет формировать воздушно-капельное облако с средним размером капель в 1-5 мм.

Топливо-металлургическая водная суспензия формируется из порошков угля и реагента - руды со средним фракционным составом 75-250 мкм.

В каждой капле топливно-металлургической водной суспензии в среднем содержится смесь из 100 частичек угля и 100 частичек руды.

При попадании капли топливно-металлургической водной суспензии в горячую печь - сначала мгновенно испаряется вода с поверхности капли. В след за этим происходит испарение влаги внутри

капли с одновременным воспламенением внешних микрочастиц угля капли. Перегретый пар внутри капли взаимодействует с углеродом капли, с образованием  $\text{CO}$  и  $\text{H}_2$  (восстановитель). Восстановитель, выходя из капли, взаимодействует с частицами руды внутри капли и восстанавливает их до железа, см. рис. № 1.

Этому способствует “лабиринтный” (более медленный) выход восстановителя с вовлечением в реакцию восстановления всех частиц руды.

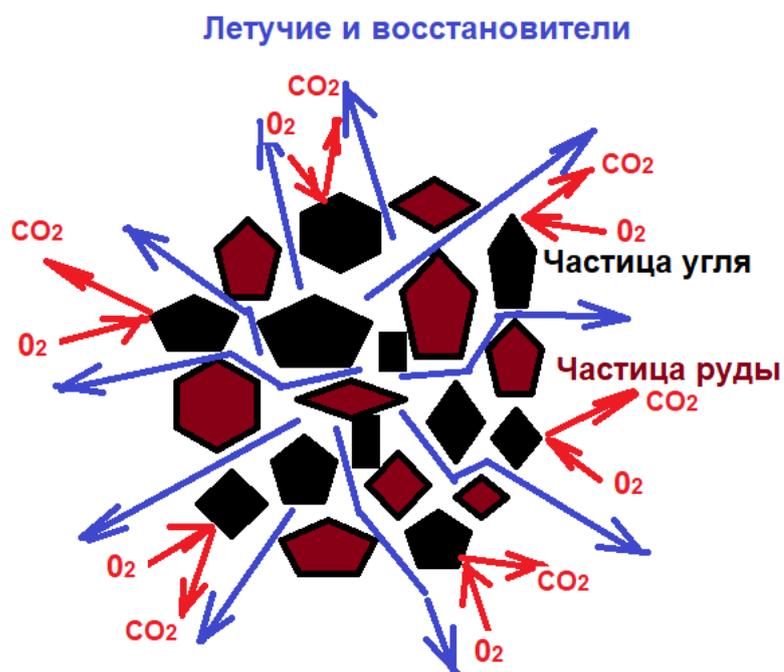


Рис. № 1. Стадия горения частиц угля на поверхности “капли” с выходом летучих и восстановителей ( $\text{CO}$  и  $\text{H}_2$ ).

Необходим эксперимент, подтверждающий предложенную идею, т.к. теоретический расчёт скорости восстановления мельчайших частиц руды на основе известного ступенчатого механизма провести невозможно, т.к. не учитываются размеры и количество частиц руды в капле и т.п.

В этом случае должно быть выполнено условие по верхнему пределу температуры горения топливно-металлургической водной суспензии – не выше 1000 градусов. Необходимо предотвратить начало спекания частиц руды в капле. Температура горения топливно-металлургической водной суспензии определяется процентным содержанием воды, и может соответствовать 850-900 градусов.

## ВЫВОД:

1. Использование топливно-металлургической водной суспензии в классической печи, которая переоборудована для работы на водо-угольном топливе (оборудована распылителем под заявленный размер капель) - решает две задачи:
  - энергетическая – получение тепла для различных целей.
  - металлургическая – получение “губчатого” железа в зольном виде.
2. Ответ на вопрос, сколько железа восстановится за время окислительно-восстановительной реакции горения капли топливно-металлургической водной суспензии - может дать только эксперимент.
3. Теоретический расчёт скорости восстановления мельчайших частиц руды в этом случае, на основе известного ступенчатого механизма провести невозможно, т.к. не учитываются размеры и количество частиц руды в капле и т.п.
4. Предполагается, что простой эксперимент может подтвердить заявленную гипотезу. В этом случае, любая тепловая электростанция и ее разновидность - теплоэлектроцентраль (ТЭЦ), при незначительных доработках – превратиться в тепло-электрометаллургический завод. Коксоаглодоменное производство, как основная экологическая нагрузка на природу уйдёт в историю. История технологий производства меди в доказательство сказанному. В древности породу, обогащенную медью, перемешивали с углем и помещали в глиняный горшок. Далее массу в горшке поджигали. Выделяющийся угарный газ восстанавливал породу до меди. По аналогии, все в точности, как сейчас происходит в доменной печи. При этом, металлургия меди вышла на совершенно новый технологический тренд в виде пирометаллургии, гидрометаллургии и электролиза меди. А металлургия железа из прошлого, в виде коксоаглодоменного производства - осталась без изменения.

## 23. ПРИЛОЖЕНИЕ

Добро пожаловать в авторский проект инновационных идей и экспериментов, а также творчество в различных областях науки и техники - ВИХРИ ХАОСА.

vihrihaosa.ru

vihrihaosa.wordpress.com

### Проект предлагает:

- инновационные не патентованные идеи, научно-исследовательские, опытно-конструкторские работы и творчество в различных областях науки и техники.
- инновационные идеи и решения технических задач по заявкам сторонних лиц.
- научно-техническая оценка инновационных идей, решений, проектов сторонних лиц.
- раскрытие ноу-хау, конструкций, моделей и услуг технологического содержания.
- авторские книги в различных областях науки и техники ([ссылка](#)).
- видео отчёты результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ ([ссылка](#)).
- новый формат взаимодействия изобретателей – краудсорсинговая площадка изобретателей ([ссылка](#)).

## 24. ЛИТЕРАТУРА

1. Инновационные идеи и решения для различных областей науки и техники. **Электрическая генерация.**  
Книга 1 из 11. Издание 2020 год.
2. Инновационные идеи и решения для различных областей науки и техники. **Экология.**  
Книга 2 из 11. Издание 2020 год.
3. Инновационные идеи и решения для различных областей науки и техники. **Диагностика, контроль и управление.**  
Книга 3 из 11. Издание 2020 год.
4. Инновационные идеи и решения для различных областей науки и техники. **Металлургия.**  
Книга 4 из 11. Издание 2020 год.
5. Инновационные идеи и решения для различных областей науки и техники. **Двигатели силовые установки и привода.**  
Книга 5 из 11. Издание 2020 год.
6. Инновационные идеи и решения для различных областей науки и техники. **Транспорт.**  
Книга 6 из 11. Издание 2020 год.
7. Инновационные идеи и решения для различных областей науки и техники. **Аэродинамика.**  
Книга 7 из 11. Издание 2020 год.
8. Инновационные идеи и решения для различных областей науки и техники. **Сверхлёгкие самодельные вертолёты.**  
Книга 8 из 11. Издание 2020 год.
9. Инновационные идеи и решения для различных областей науки и техники. **Самодельное оборудование для НИОКР.**  
Книга 9 из 11. Издание 2020 год.
10. Инновационные идеи и решения для различных областей науки и техники. **Смешивание, перемешивание, измельчение.**  
Книга 10 из 11. Издание 2020 год.
11. Инновационные идеи и решения для различных областей науки и техники. **Идеи, эксперименты и технологии прочие.**  
Книга 11 из 11. Издание 2020 год.