**Модель двигателя Стирлинга**

Двигатель Стирлинга - это двигатель внешнего сгорания, в котором тепловая энергия подводится к рабочему телу (в нашем случае - к воздуху) извне - через стенку цилиндра. Принцип действия его основан на известном физическом законе - расширении и сжатии воздуха при нагревании и охлаждении. Поэтому стирлинг называют еще воздушно-тепловым двигателем. Понять работу двигателя, который Стирлинг разработал еще в 1816 году, нам поможет модель, описанная в книге С. Баранова «Действующие модели тепловых машин» (год издания 1936-й). Сначала о том, как устроена модель стирлинга.

Она собирается из четырех основных частей: двух сообщающихся цилиндров - теплообменного 6 и рабочего 3, камеры нагрева - назовем ее топкой 4 - и резервуара с холодной водой (на схемах I-III он не показан, см. его на общем виде двигателя). В верхней части теплообменного цилиндра 6 герметично впаяна камера 7 для воды. Ее задача - охладить нагретый воздух.

Через эту камеру проходит шток поршня-вытеснителя 5. Вытеснитель установлен в цилиндре 6 с зазором, не касаясь стенок. Рабочий поршень 2, наоборот, плотно подогнан к цилиндру 3 и движется по нему практически без зазора. Между собой вытеснитель 5 и рабочий поршень 2 соединены через кривошипно-шатунный механизм, причем кривошип и эксцентрик установлены относительно друг друга со сдвигом фаз на 90°. Цилиндры соединены между собой трубкой, и поэтому воздух может легко проходить из теплообменного в рабочий цилиндр, и наоборот. Кривошипно-шатунный механизм состоит из кривошипа с шатуном и осью (узел 8), эксцентрика 1 и маховика 9.

Диаметр маховика 80 мм, а расстояние от оси до пальца эксцентрика 14 мм. Итак, предположим, что мы поставили спиртовку в топку 4 и начали нагревать дно цилиндра 6. Через некоторое время воздух под поршнем-вытеснителем нагреется (а значит, расширится) и устремится вверх (напомним: между вытеснителем и стенкой цилиндра имеется зазор). Сдвинем маховик 9 с мертвой точки, и поршень-вытеснитель 5 начнет подниматься вверх, вытесняя при этом холодный воздух сверху вниз. Медленно начнет двигаться и рабочий поршень 2. Холодный воздух, соприкасаясь с раскаленным дном цилиндра 6, нагреется, давление возрастет, и воздух по трубке пойдет в рабочий цилиндр 3. Поршень 2 под его воздействием начнет свой рабочий ход. Поршень движется вверх, а тем временем вытеснитель уже стал опускаться вниз, потому что фазы их, как уже было сказано, сдвинуты на 90°. Поршень занял верхнее положение и под действием инерции маховика 9 начинает опускаться вниз, вытесняя в цилиндр 6 отработанный, потерявший первоначальную теплоту воздух.

Попав в верхнюю часть теплообменного цилиндра, он еще больше охлаждается и уменьшается в объеме. Вытеснитель же при обратном ходе рабочего поршня снова начинает подниматься и снова перегоняет холодный воздух сверху вниз. Соприкасаясь с раскаленным дном цилиндра 6, холодный воздух нагревается, расширяется, и цикл повторяется. Главное в работе такого двигателя - охлаждение воздуха. В нашей модели это делает вода, поступающая из резервуара, установленного рядом с двигателем. Как только вода, находящаяся в камере 7, нагреется горячим воздухом, она устремляется по патрубку вверх и попадает в резервуар. А на ее место, уже по нижнему патрубку, поступает из резервуара холодная вода. В физике это явление называется тепловой конвекцией. Теперь о том, как сделать модель двигателя.

Оба цилиндра 3 и 6, топку 4 проще всего спаять из жести. Сначала вырежьте заготовку для цилиндра 6 (ширина ее примерно 223 мм), просверлите в ней отверстия 0 4,2 мм для оси, а затем согните на круглой болванке. Спаяйте цилиндр. С внешних сторон его ушек напаяйте втулки с внутренним диаметром не менее 4,2 мм - они выполняют функции подшипников. Затем приступайте к изготовлению водяной камеры 7. По диаметру получившегося цилиндра вырежьте из жести два кружочка. В центре их просверлите отверстия под трубку с внутренним диаметром примерно 3 мм (длина ее 32 мм). Впаяйте трубку в кружочки так, чтобы расстояние между ними было 30 мм. Получившуюся деталь закрепите пайкой внутри цилиндра, отступив от его нижнего края на 35 мм. Постарайтесь выполнить эту операцию как можно аккуратнее, камера 7 должна быть герметичной, и вода не должна просачиваться через стенки.

Вытеснитель 5 собирается из легкого деревянного цилиндрика, диаметр которого примерно на 2,5 мм меньше внутреннего диаметра цилиндра 6 (высота его подбирается экспериментальным путем) и штока, сделанного из спицы 0 2,8 мм. С обеих сторон обейте цилиндрик жестяными кружочками. По диаметру штока просверлите в центре цилиндрика отверстие и плотно вставьте в него шток. А чтобы он от нагревания не выскочил, припаяйте его к жестяным кружочкам. Шток должен свободно ходить по трубке камеры 7, без излишнего трения. В верхней части штока просверлите отверстие для пальца шатуна. Особое внимание уделите цилиндру 3 и поршню 2. От их качества зависит работа всей модели. Цилиндр можно изготовить из обрезка латунной или медной трубки длиной 40 мм и 0 18-20 мм, запаяв ее снизу латунным кружочком.

В готовом цилиндре не забудьте просверлить отверстие для сообщения его с большим цилиндром. Поршень желательно выточить на токарном станке. Шток закрепляется в верхней части поршня шарнирно. Заготовку топки 4 тоже нужно выгнуть на круглой болванке, предварительно проделав в ней отверстия для воздуха и крепежных винтов. Спаивать ее желательно прямо на готовом цилиндре 6. Теперь нужно собрать модель: припаять цилиндр 3, подогнать к нему поршень 2, впаять в цилиндры трубку для сообщения между собой, смонтировать кривошипно-шатунный механизм, запаять дно цилиндра 6. Готовый корпус двигателя установите на топку 4 и закрепите пайкой. Резервуар для водяного охлаждения - это жестяная банка с впаянными снизу и сверху патрубками, на которые надеты резиновые шланги.

Закрепляется резервуар рядом с двигателем на деревянной подставке. Подытоживая, заметим, что двигатель Стирлинга действует на таком физическом явлении: работа, совершаемая горячим воздухом при расширении, больше работы, которую надо потратить на его сжатие. Поэтому постарайтесь получше отладить кинематику модели, чтобы до минимума уменьшить трение в движущихся узлах. Несколько слов о современных стирлингах. Двигатели внешнего сгорания строят и сейчас, причем по некоторым параметрам они опережают другие двигатели. Сегодня они уже не такие громоздкие, как в прошлом столетии. В качестве рабочего тела в них применяется легкий газ: гелий или водород (у Роберта Стирлинга, как вы помните, использовался воздух). На работу современного стирлинга не влияет внешняя среда: газ, закачанный в корпус под давлением, находится в замкнутом объеме. Поэтому современные стирлинги можно применять практически всюду: и в воде, и под землей, и в открытом космосе, то есть там, где обычные двигатели работать не могут.

* Зарубежная мастерская (сделай сам)

Представляю вашему вниманию перевод вот этой статьи. Прошу простить, если я что-то перевела не так - я не очень сильна в английском техпереводе и специфических терминах. Надеюсь, что всё будет понятно и никто не пострадает. Текст получился слишком большой и в одну статью не влез. Вторая часть тут. Как сделать двигатель Стирлинга из баночек от колы.

Двигатель Стирлинга - это тепловой двигатель, придуманный Робертом Стирлингом в 1816 году. Он отличается от автомобильного, так как топливо сжигается вне двигателя – поэтому машину Стирлинга гораздо легче построить. Существуют двигатели Стирлинга, которые могут работать даже от тепла ваших рук, хотя их будет тяжелее собрать. Двигатель Стирлинга станет отличным дополнением к любой коллекции «вещей, которые я построил сам»! Как он работает? Этот двигатель использует воздух, который попеременно нагревается и охлаждается. Чтобы осуществить процесс нагревания-охлаждения, в банке находится свободный вытеснитель, который может перемещаться вверх и вниз, создавая движение воздуха в двигателе. Когда воздух нагревается, он расширяется и давит на диафрагму (воздушный шар), которая приводит в движение рычаги. Когда рычаги поворачиваются, они двигают вытеснитель вниз так, что воздух перемещается в верхнюю часть, где он охлаждается, заставляя ее сокращаться и тянуть назад рычаги, которые, разумеется, тянут вверх вытеснитель и позволяют воздуху переместиться в нижнюю часть и нагреться. Это повторяется снова и снова. Что понадобится: 3 банки из-под колы 1 воздушный шарик2 ниппеля для крепления велосипедных спиц5 электрических клемм (контактные колодки) 5A Стальная вата. Стальная проволока сечением 1мм (около 30см). Толстая (сечение 1.6-2 мм) медная или стальная проволока. Пластиковая крышка от бутылки Деревянный штырь диаметром 20 мм (нам понадобится длина всего лишь 1см). Суперклей 30см электрической проводки Рыболовная леска около 30 см длиной. Кусочек вулканизированной резины - около 2 квадратных сантиметров. Маленькие грузы для балансировки (например, никелевые и т.д.). 3 CD-диска. Жестяная баночка для топки. Канцелярская кнопка. Красный термоустойчивый силикон. Консервная банка для кожуха водяного охлаждения.

Шаг 1: Подготовка 2 банок из-под колы. Во-первых, вам нужно две банки с отрезанными верхушками. Если резать ножницами, останутся опасные зазубрины, которые придётся сточить, используя напильник или дремель. Затем вырежьте дно банки с помощью ножа. Старайтесь не помять металл, это уменьшит герметичность. Некоторые используют для этих целей консервный нож, но я обнаружил, что он повреждает стенки банки. Впрочем, вам может и повезти.

Шаг 2: Делаем диафрагму. Диафрагма этого двигателя выполнена из обычного воздушного шарика, усиленного вулканизированной резиной. В первую очередь отрежьте горловину шарика и натяните его на банку. Затем вырежьте кусок вулканизированной резины площадью 1 см и приклейте его в центр шарика. После того, как клей высохнет, вы можете использовать канцелярскую кнопку, чтобы пробить в центре диафрагмы отверстие для проволоки, на которой будет закреплён вытеснитель. Оставьте кнопку в отверстии, пока не придёт время вставить проволоку.

Шаг 3: Вырезаем и сверлим крышку от бутылки. Просверлите отверстия диаметром 2 мм (для поворотной оси рычагов) в обеих стенках крышки, а также отверстие в донышке крышки (для проволоки, держащей вытеснитель). Затем вырежьте обе стороны крышечки, придав им изогнутую форму. Это делается потому, что иногда держатель проволоки отходит в сторону и задевает крышечку. Это больше раздражает, чем доставляет хлопоты, но всё равно лучше этого избежать. Кроме того, я думаю, что так лучше смотрится. Я пользовался хозяйственными ножницами – они очень хорошо режут толстый пластик. Теперь снимите диафрагму с баночки и натяните её снова, но так, чтоб вулканизированная резина находилась внутри банки. Приклейте крышечку к диафрагме, на ту сторону, где нет резины. Я слегка подшлифовал крышечку, потому что клей не схватывался с пластиком. При этом кнопка должна остаться на месте, чтоб все отверстия, через которые будет продета проволока, находились на одной линии.

Шаг 4: Сверлим отверстия для подшипников. Я взял длинное 3,5 мм сверло, чтоб просверлить отверстия для подшипников. Я сверлил на глаз, измерять и вычислять тут не обязательно. Они должны быть в верхней части баночки, там, где стенки скошены. Убедитесь в том, что они находятся на одном уровне.

Шаг 5: Вырезаем смотровое окошко. Обозначьте круг примерно в центре баночки, с тем расчётом, чтоб через него можно было видеть рычаги и вытеснитель. Можно и не круг, просто так легче вырезать. Шаг 6: Сверлим электрические клеммы. Теперь вам нужно где-нибудь достать электрические клеммы и удалить с них пластиковую защиту. Лучший способ это сделать – открутить винты, насколько возможно, и отогнуть пластик плоскогубцами. Теперь просверлите отверстие диаметром 2 мм прямо через конец каждой из них, как показано на картинке. Вы должны просверлить три из них. Чтобы удобнее было сверлить, я держал их плоскогубцами. Кроме того, необходимо оставить две клеммы непросверленными.

Шаг 7: Делаем рычаги. Для рычагов я использовал медную проволоку диаметром около 1,88 мм - вы можете использовать старые спицы или стальную проволоку, если у вас нет медной. Я использовал медную, потому что её легче гнуть и вообще, она мне нравится. Если вам нужно выпрямить проволоку, можно зажать один конец в дрель, а другой захватить плоскогубцами - вращение дрели должно выпрямить проволоку. На всякий случай защитите лицо и руки – проволока может выскользнуть и поранить вас. Ниже представлены фотографии каждого шага изготовления рычагов. Центральный участок должен выступать примерно на 20мм, а два боковых - на 5мм каждый, но особой точности тут не требуется. Центральный участок располагается под углом 90 градусов к боковым - это лучший угол для такого двигателя.

Шаг 8: Изготавливаем подшипники. Я использовал два велосипедных ниппеля для изготовления подшипников. Вы можете найти их в магазинах или снять со старых велосипедных колёс. Проверьте отверстия – возможно, их совсем не обязательно сверлить. Я просверлил ниппели насквозь двухмиллиметровым сверлом.

Шаг 9: Устанавливаем рычаги и подшипники. Теперь вы можете установить рычаги. Например, через смотровое окошко. Если вы не можете их вставить, подтачивайте один конец проволоки до тех пор, пока она не войдёт в подшипник. Оставьте один конец проволоки подлиннее – потом вы закрепите на нём маховое колесо. Подшипники должны очень плотно сидеть в предназначенных для них отверстиях, но если они «плавают», вы можете их приклеить.

Шаг 10: Делаем вытеснитель. Вытеснитель я сделал из стальной полировочной ваты, обмотанной вокруг куска стальной проволоки. Согните небольшой крюк в конце проволоки и намотайте на неё стальную вату. Как только вы приблизитесь к размеру баночки из-под колы, обрежьте вату. Обрежьте вату так, чтоб вытеснитель был не более 2 дюймов (около 5 см) высотой. Другой конец проволоки смотайте в спираль, так, чтоб нельзя было вытащить её из мотка стальной ваты. Также обрежьте моток ваты так, чтоб его верхняя часть была скошена так же, как и стенки банки.

Проверьте положение вытеснителя в банке - он должен свободно падать под собственным весом. Попробуйте сделать вытеснитель идентичным банке по форме. Когда вы будете довольны движением вытеснителя, привяжите к крюку на проволоке рыболовную леску. Лучше всего добавить немного клея, чтоб узелок не смог сместиться при движении устройства.

Теперь вы можете удалить кнопку из диафрагмы и продеть сквозь неё свободный конец лески так, чтобы вулканизированная резина находилась внутри резервуара.

Итак, продолжаем наше занимательное стирлингостроение. Увы, весь перевод у меня не влез в одну статью, поэтому приходится плодить. Первая часть вот.

Шаг 11: Делаем резервуар под давлением. Вырежьте донышко банки, оставляя примерно 1 дюйм (около 2,5 см) от основания. Поместите вытеснитель и диафрагму в резервуар, а затем установите всё это устройство в конец банки. Убедитесь, что вытеснитель перемещается свободно. После этого натяните диафрагму. Она должна быть натянута ровно настолько, чтоб не провисать. Смотрите не переборщите, её нельзя натягивать чересчур сильно!

Возьмите клемму, которую вы не просверлили, и протяните через неё леску – при этом убедитесь, что вытеснитель находится в нижней части сосуда. Приклейте узелок так, чтоб он не мог двигаться. Смажьте проволоку маслом [я уже начинаю теряться, но там так и написано! – прим. перев.] и убедитесь, что вытеснитель свободно движется и тянет за собой леску.

Шаг 12: Делаем толчковые стержни. Теперь вы можете сделать толчковые стержни, соединяющие диафрагму с рычагами. Начните с куска медной проволоки (около 15см в длину), протяните его через два отверстия в стенках бутылочной крышечки. Затем загните проволоку внутрь. Вам нужно будет отрезать её, оставив концы такой длины, чтоб они доставали до клемм, обращённых вниз. Убедитесь в том, что проволока свободно вращается в отверстиях.

Шаг 13: Делаем маховик. Для того, чтобы сделать маховик, я использовал сантиметровый кусок деревянного стержня 20 мм в диаметре. Я вставил его в центр трёх старых компакт-дисков. Стержень даже оказался слишком широким, и мне пришлось его немного подточить. Просверлите отверстие диаметром 2 мм сквозь центр стержня. Рядом с ним, ближе к внешней стороне, проделайте другое отверстие – диаметром около 3 мм, глубиной 5 мм. Оно нужно для того, чтоб продеть в него проволоку, удерживающую рычаги, после того, как вы её согнёте. Диски, если они будут плохо держаться, можно просто приклеить.

Шаг 14: Прикрепляем маховик. Маховик держится за счёт крюка, согнутого на конце коленчатого вала. Крюк вставляется в дополнительное отверстие, просверленное в деревянном стержне.

Шаг 15: Собираем всё вместе и находим баланс. Теперь вы можете собрать все части воедино. Банка с рычагами вставляется в верхнюю часть сосуда под давлением. Лучше всего вставлять банку снизу, потому что иначе вы рискуете помять или сломать основную ёмкость. Вам необходимо вдавить её примерно на 4 мм. Первое, что нужно сделать, это присоединить и сбалансировать вытеснитель. Я отрезал кусочек медной проволоки (около 30 мм), чтоб подсоединить проволоку, удерживающую вытеснитель, к одному из рычагов. Это нужно затем, чтоб нижняя клемма могла двигаться вверх-вниз и удерживать вытеснитель от ударов по верхней или нижней части сосуда. [Боже, храни королеву! Я надеюсь, что вы понимаете, о чём тут речь. – прим. перев.] Когда вы присоедините вытеснитель, можно добавить противовес к маховику. Противовес должен тянуть рычаг, соединённый с вытеснителем, в горизонтальное положение – убедитесь, что это так. В моём случае противовес сделан из монетки. Толчковые стержни ввинчиваются во внешние ниппели. Установите рычаги в самое нижнее положение и закрепите стержни в ниппелях.

Шаг 16: Делаем топку. Для топки я взял жестяную баночку из-под сиропа, у которой есть окантовка на крышке и донышке. Вырежьте спереди отверстие в виде арки и просверлите 8 отверстий диаметров 8 мм для вентиляции. Вы также можете использовать любую жестяную банку, сопоставимую по диаметру с баночкой из-под колы. Главное – вырежьте в ней отверстие.

Шаг 17: Прикрепляем окантовку. Чтоб никто не порезался об острые края смотрового окошка, я сделал для него окантовку из оболочки электрического кабеля. Я разрезал её по центру, вынул провод и приклеил оболочку на края отверстия.

Шаг 18: Вот и готово! Тестируем и ищем неисправности. Наконец вы можете испытать двигатель! Зажигаем свечу и пробуем! Надеемся, что он заработает с первого раза. Если нет – вот пара советов, которые могут помочь. Не забудьте хорошенько смазать все движущиеся части – это поможет механизму двигаться более плавно.

Утечки воздуха: Если вы подозреваете утечки воздуха, можно поместить всю конструкцию в горячую воду, и любая утечка тут же станет очевидной. Именно в горячую воду! Это важно, поскольку воздух внутри начнёт расширяться, и утечка скорее обнаружится. Не забудьте потом тщательно просушить двигатель и откачать воду, иначе образующийся пар просто разорвёт баночку. Слишком много трения: достаточно ли свободно двигается механизм? Определённое сопротивление со стороны диафрагмы будет наблюдаться всегда, но если вы попытаетесь раскрутить маховик рукой, он должен свободно повернуться один-два раза. Двигатель чересчур герметичен: Если двигатель прекрасно герметичность, то воздух в неподвижном пространстве будет расширяться и мешать движению. Симптомом этого является выпуклость диафрагмы. Проблема решается так: подложите под край диафрагмы кусочек лески, это создаст небольшой люфт, и избыточного давления можно будет избежать. Со временем отверстие, через которое проходит проволока вытеснителя, расширится, и вы сможете убрать искусственный люфт. Если вы сделали такой люфт, не наполняйте промежуток между двух банок водой, потому что она начнёт просачиваться.

Шаг 19 [Опционально] Добавляем кожух водяного охлаждения Вы можете заставить свой двигатель работать лучше, добавив кожух охлаждения для увеличения разности температур. Для этого вам понадобится консервная банка диаметром немного больше, чем баночка из-под колы. Нарисуйте круг на дне банки и вырежьте его хозяйственными ножницами. Возможно, придётся отполировать края отверстия. Поместите сосуд под давлением в подготовленную консервную банку и запечатайте водостойким силиконовым герметиком.

**Цикл Стирлинга**

В двигателях внутреннего сгорания (ДВС) распыленное топливо соединяется с окислителем, как правило, воздухом, до фазы сжатия или после этой фазы, и образовавшаяся горючая смесь отдает свою энергию во время кратковременной фазы горения. В двигателе Стирлинга энергия поступает в двигатель и отводится от него через стенки цилиндра или теплообменник. Еще одним существенным различием между двигателем внутреннего сгорания и двигателем Стирлинга является отсутствие в последнем клапанов, поскольку рабочее тело (газ) постоянно находится в полостях двигателя. Цикл Стирлинга основан на последовательном нагревании и охлаждении газа (его называют рабочим телом) в замкнутом объеме. Рабочее тело нагревается в горячей части двигателя, расширяется и производит полезную работу, после чего перегоняется в холодную часть двигателя, где охлаждается, сжимается и снова подается в горячую часть двигателя. Цикл повторяется. Количество рабочего тела остается неизменным, меняется его температура, давление и объем. Весь цикл условно разделен на четыре такта. Условность заключается в том, что четкое разделение на такты в цикле отсутствует, процессы переходят один в другой. Это обусловлено отсутствием в конструкции двигателей Стирлинга клапанного механизма (стирлинг-двигатели с клаппаным механизмом называются двигателями Эриксона). С одной стороны данный факт резко упрощает конструкцию, с другой стороны вносит сложность в теорию расчета. Но об этом позже. Рассмотрим принцип работы на примере гама-стирлинга. Этот тип наиболее часто применяют в моделировании. Двигатель состоит из двух цилиндров. Большой цилиндр - теплообменный. Его задача поочередно разогревать и охлаждать рабочее тело. Для этого один торец цилиндра разогревают (на схеме он закрашен розовым цветом), другой торец - охлаждают (на схеме он закрашен синим цветом). Большой поршень выполненный из теплоизоляционного материала, свободно перемещается в теплообменном цилиндре (зазор между стенками цилиндра и поршня составляет 1-2 мм) и выполняет роль теплового клапана, пегегоняющего рабочее тело то к холодному, то к горячему торцу. Малый цилиндр является рабочим. Поршень плотно подогнан к цилиндру.

**Гамма стирлинг. Первый такт**

Первый такт - такт сжатия при постоянной температуре рабочего тела: поршень теплообменного цилиндра находится вблизи нижней мертвой точки (НМТ) и остается условно неподвижным. Газ сжимается рабочим поршнем малого цилиндра. Давление газа возрастает, а температура остается постоянной, так как теплота сжатия отводится через холодный торец теплообменного цилиндра в окружающую среду.

ОБРАТИТЕ ВНИМАНИЕ: Под условной неподвижностью подразумевают малую высоту перемещения поршня при прохождении коленвалом расстояния вблизи верхней или нижней мертвой точки.

**Гамма стирлинг. Второй такт**

Второй такт – такт нагревания при постоянном объеме: рабочий поршень рабочего цилиндра находится вблизи НМТ и полностью перемещает холодный сжатый газ в теплообменный цилиндр, поршень которого движется к верхней мертвой точки (ВМТ) и вытесняет газ в горячую полость. Так как при этом суммарный внутренний объем цилиндров двигателя остается постоянным, рабочее тело разогревается давление повышается и достигает максимального значения. Это в теории. На практике прирост давления идет параллельно с выталкиванием рабочего поршня. В результате давление не достигает теоретически рассчитанного максимума. Данный факт также объясняет хороший к.п.д. на малых оборотах двигателя. Рабочее тело прогревается лучше и прирост давления приближается к максимуму.

**Гамма стирлинг. Третий такт**

Третий такт - такт расширения при постоянной температуре газа: поршень теплообменного цилиндра находится вблизи верхней мертвой точки (ВМТ) и остается условно неподвижным. Поршень рабочего цилиндра под действием давления газа движется к верхней мертвой точке. Происходит расширение горячего газа в полости рабочего цилиндра. Полезная работа, совершаемая поршнем рабочего цилиндра, через кривошипно-шатунный механизм передается на вал двигателя. Давление в цилиндрах двигателя при этом падает, а температура газа в горячей полости остается постоянной, так как к нему подводится тепло от источника тепла через горячую стенку цилиндра. В моделях двигателей Стирлинга, где теплообменный цилиндр не имеет качественного нагревателя рабочее тело разогревается не полностью, но поскольку давление в газах распространяется равномерно во все стороны его изменение оказывает действие и на рабочий поршень, заставляя его двигаться и совершать работу.

**Гама стирлинг. Четвертый такт**

Четвертый такт - такт охлаждения при неизменном объеме: поршень рабочего цилиндра находится вблизи ВМТ и остается условно неподвижным. Поршень теплообменного цилиндра движется к НМТ и перемещает газ, оставшийся в горячей части в холодную часть цилиндра. Так как при этом суммарный внутренний объем цилиндров двигателя остается постоянным, давление газа в них продолжает падать и достигает минимального значения. В моделях, содержащих рабочее тело при атмосферном давлении четвертый такт также является рабочим, поскольку давление падает резко и возникает кратковременное разряжение. В результате рабочий поршень с усилием втягивается в цилиндр, совершая дополнительную работу. Из четырех тактов два - рабочие!

**Плюсы стирлингов**

- КПД двигателя Стирлинга может достигать 65-70% КПД от цикла Карно при современном уровне проектирования и технологии изготовления. Кроме того крутящий момент двигателя почти не зависит от скорости вращения коленвала. В двигателях внутреннего сгорания напротив максимальный крутящий момент достигается в узком диапазоне частот вращения. - В конструкции двигателя отсутствует система высоковольтного зажигания, клапанная система и, соответственно, распредвал. Грамотно спроектированный и технологично изготовленный двигатель Стирлинга не требует регулировки и настройки в процессе всего срока эксплуатации. - В ДВС сгорание топливо-воздушной смеси в цилиндре двигателя является, по сути, взрывом со скоростью распространения взрывной волны 5-7 км/сек. Этот процесс дает чудовищные пиковые нагрузки на шатуны, коленчатый вал и подшипники. Стирлинги лишены этого недостатка. - Двигатель не будет "капризничать" из-за потери искры, засорившегося карбюратора или низкого заряда аккумулятора, поскольку не имеет этих агрегатов. Понятие "двигатель заглох" не имеет смысла для Стирлингов. Стирлинг может остановиться, если нагрузка превышает расчетную. Повторно запуск осуществляется однократным поворотом маховика коленчатого вала.

Простота конструкции позволяет длительно эксплуатировать Стирлинг в автономном режиме.

- Двигатель Стирлинга может использовать любой источник тепловой энергии, начиная с дров и заканчивая ядерным топливом!

- Сгорание топлива происходит вне внутреннего объема двигателя (в отличии от ДВС), что позволяет обеспечить равномерное горение топлива и полное его дожигание (т.е. отбор максимума содержащейся в топливе энергии и минимизация выброса токсичных компонентов).

**Минусы стирлингов**

- Поскольку сгорание топлива происходит вне двигателя, а отвод тепла осуществляется через стенки радиатора (напомним, что Стирлинги имеют замкнутый объем) габариты двигателя увеличиваются. - Еще один минус - материалоемкость. Для производства компактных и мощных Стирлинг-машин требуются жаропрочные стали, выдерживающие высокое рабочее давление и в то же время, обладающие низкой теплопроводностью. Обычная смазка для Стирлингов не годится - коксуется при высокой температуре, по этому необходимы материалы с низким коэффициентом трения.- Для получения высокой удельной мощности в качестве рабочего тела в Стирлингах используют водород или гелий (почему именно эти газы - читайте в разделе "ТЕОРИЯ"). Водород взрывоопасен, при высоких температурах растворяется в металлах, образуя металлогидриды - т.е. разрушает цилиндры двигателя. К тому же водород, как и гелий обладает высокой проникающей способностью и просачивается через уплотнения подвижных частей двигателя, снижая рабочее давление.

Для того чтобы окрасить алюминий, его необходимо анодировать. Очищенную и обезжиренную деталь опустите на 2-3 минуты в 5% р-р едкого натра, промойте, а затем опустите в слабый раствор азотной кислоты (20-30мл. кислоты на 100г. воды) и снова промойте. Дотрагиваться до нее руками нельзя. Опустите деталь в ванну для анодирования, к детали подсоедините положительный электрод. Электролит-20мл. серной кислоты на 100мл воды. Ток 20-25мА на 1см2.Процес длится около часа. Дальше деталь на 5-10 минут поочередно погружают в два раствора, промывая каждый раз в проточной воде. Составы красящих растворов: (концентрация в гаммах на 100 г. воды).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Цвет**  | **1-й Раствор**  | **2-й Раствор**  |
| Синий,Голубой  | Ферроцианид калия (1-5)  | Хлорид железа III (1-10)  |
| Коричневый  | Ферроцианид калия (1-5)  | Медный купорос(1-10) |
| Черный  | Ацетат кобальта(5-10)  | Перманганат калия(1-5) |
| Желтый  | Бихромат калия(5-10)  | Ацетат свинца(1-5) |
| Золотисто-Желтый  | Гипосульфат натрия(1-5) | Перманганат калия(1-5) |
| Белый  | Ацетат свинца(1-5) | Сульфат натрия(1-5) |