**Анализ**

**Сравнение с двигатели с вътрешно горене**

За разлика от двигателят с вътрешно горене, двигателят на Стърлинг има потенциала, по-лесно да използва възобновяеми топлинни източници, да бъде по-тих и да бъде по-надежден с по-малко поддръжка. Тяхното приложение е предпочитано в случаите, когато от значение за тези уникални предимства, особено ако цената за единица генерирана енергия е от по-голямо значение, от капиталовия разход за единица мощност. Въз основа на тези твърдения може да се каже, че двигателят на Стърлинг е ценово конкурентен до нива на мощност от около 100 kW.

В сравнение с двигателите с вътрешно горене със същата мощност, двигателите на Стърлинг в момента са по-скъпи и обикновено е са по-големи и по-тежки. Въпреки това, те са по-ефективни, отколкото повечето двигатели с вътрешно горене. Техните по-ниски изисквания за поддръжка правят цялостният енергиен разход сравним. Топлинната ефективност също е сравнима (за малки двигатели), с вариация от 15% до 30%. За приложение като micro-CHP, двигателят на Стърлинг също е предпочитан пред двигател с вътрешно горене. Като други приложения могат да се посочат: при изпомпване на вода, в космонавтиката и генериране на електричество от много и разнородни източници на енергия, които са несъвместими с двигателя с вътрешно горене (като слънчева енергия, биомаса, селскостопански отпадъци и битови отпадъци). Този тип двигатели, също се използват за задвижване на шведските подводници – клас Gotland. Въпреки всичко двигателите на Стърлинг в общия случай не са ценово конкурентни, като двигатели за автомобили, заради високата цена единица мощност и високата цена на материалите за изработка.

Базовият анализ се основана на анализ на Schmidt от тип затворена форма.

**Предимства**

* Двигателят на Стърлинг може да работи директно с всички налични източници на топлина, не само тези използващи горене. От това излиза, че двигателя може да бъде задвижван от топлина отдаване от геотермални, биологични и ядрени източници, от слънчева енергия и дори от отпадъчна топлина на различни индустриални процеси.
* Може да бъде използване непрекъснат процес на горене за доставяне на топлина, така че могат да бъдат намалени вредните емисии наблюдавани в двигателите с вътрешно горене, свързани с постоянното запалване и изгасване на горивно-въздушната смес.
* При някой видове двигатели на Стърлинг лагерите и уплътненията са изнесени от към по-студената чест на двигателя (нещо което не може да се направи при двигателите с вътрешно горене), поради което тези елементи издържат на повече работа и се нуждаят от по-малко количество смазка.
* В някои отношения механизма на работа на двигателя на Стърлинг е по-прост от този на други видове бутални двигатели. Не са необходими никакви клапани, а системата на горелката може да бъде направена сравнително проста. Базов двигател на Стърлинг може да бъде сглобен с помощта на материали, налични във всяко домакинство.
* Двигателят на Стърлинг използва работен флуид в едно агрегатно състояние, което поддържа вътрешното налягане сравнително постоянно, в следствие от което при добре проектирана система, рискът от експлозия (или друга авария породена от резките промени в налягането) е минимален. За сравнение, парният двигател, който използва работен флуид в две агрегатни състояния (течно и газообразно) може да експлодира от дефект в някой от предпазните му клапани.
* В някои случаи, ниско работно налягане позволява използването на олекотени цилиндри.
* Този пит двигатели могат да проектирани така, че да работят тихо, без нужда от осигуряване на приток на въздих за работният им цикъл (използва се за изграждане на въздушно-независими двигателни системи, прилагани в подводниците).
* Двигателите на Стърлинг могат да бъдат стартирани лесно и работят по-ефективно в студено време, още преди да достигнат оптимална работна температура, за разлика от двигателите с вътрешно горене, които имат влошено КПД когато не са загрели.
* Когато се използва за изпомпване на вода, двигател на Стърлинг може да бъде проектиран така, че водата да охлажда частта от двигателя, създаваща компресия. Това повишава ефективността му при изпомпване на студена вода.
* Те са много гъвкави. Могат да бъдат използвани за комбинирано производство на топлинна и електрическа енергия през зимата и за охлаждане през лятото.
* Не използваната топлинна енергия е сравнително лесна за събиране (в сравнение с тази при двигателя с вътрешно горене), което прави двигателя на Стърлинг полезен при нужда от системи с два изхода – на топлина и на електрическа енергия.
* През 1986 г. НАСА конструира двигател на Стърлинг за автомобил и го монтира на Chevrolet Celebrity. Разхода на гориво бил подобрен с 45% и вредните емисии били значително намалени. Ускорението било еквивалентно на това при стандартните двигатели с вътрешно горене. Този двигател (обозначен с названието Mod 11) обезсмисля аргументите, че двигателите на Стърлинг са тежки, скъпи, ненадеждни и слаби резултати. При дози двигател също отпада нуждата от ауспуси и от честа смяна на маслото.

**Недостатъци**

**Въпроси свързани с размер и стойността**

* За да работи, двигателят на Стърлинг, използва обмяна на топлина при входа и изхода на топлина от системата. Това се осъществява посредством флуида, който се намира под налягане, което е пропорционално на изходната мощност на двигателя. В допълнение топлообменника в който се извършва разширяването на флуида често оперира при много високи температури, така че материалът от който е изграден трябва да издържа тези условия. Обикновено такива материали довеждат да значително увеличаване на цената на двигателя. Материалите и монтажните разходи за топлообменника издържащ на висока температура типично възлиза на 40% от общата стойност на двигателя.
* Всички термодинамични цикли изискват големи температурни разлики за ефективна работа. В двигател с външно горене, температурата на нагревателя винаги е равна или превишава температурата на разширяване. Това означава, че металургичните изискванията към материал за съответния нагревател са много високи. Положението е подобно при **газовите турбини,** но е коренно различно например от дизеловите двигатели, където температурата на разширяване може да превишава значително металургичния лимит на материала от който е изграден двигателя, защото там тази температура не се предава по корпуса на целия двигател, а се отнася извън него. Цикълът Стърлинг не е реално постижим, реалният цикъл на Стърлинг машини е по-малко ефективен от теоретичния. Също ефективността на цикъла е по-ниска, когато температурите на околната среда са със средни стойности, а дава най-добрите резултати в студена среда, като зимите в северните страни.
* Отвеждането на неизползваната топлина е особено сложен процес, защото междувременно температурата на охлаждащата течност трябва да се поддържа възможно най-ниска, за да се постигне максимална термална ефективност. Това увеличава размера на радиаторите, което от своя страна увеличава размера на целия двигател. Заедно с високата стойност на материалите за изграждането му, това е един от факторите затрудняващи използването на двигател на Стърлинг, като двигател за масовите автомобили.

**Въпроси свързани с мощността и въртящия момент**

* Двигателите на Стърлинг, особено тези, които работят с малки температурни разлики, са доста големи за количеството енергия, което те произвеждат. ). Това се дължи предимно на коефициента на топлопредаване на газообразни конвекция, която ограничава потока топлина, която може да бъде постигната в типичен студен топлообменник до около 500 W / (m 2.K), и в гореща топлообменник до около 500- 5000 W / (m 2.K). В сравнение с двигателите с вътрешно горене, това превръща в предизвикателство трансфера на топлина от и към работния флуид за инженерите. Заради топлинната ефективност необходимия трансфер на топлина расте с по-ниска температурна разлика, и повърхността на топлообменника (и разходите за създаването му) за 1 кВт изходна мощност расте с **1/DeltaT** на втора степен. Следователно, стойност на двигатели на Стърлинг с много ниската температурна разлика е много висока.
* Двигател на Стърлинг не може да започне незабавно работа. Той буквално трябва да "загрее". Това е вярно за всички двигатели с външно горене, но времето за загряване на такъв двигател може да бъде по-дълъг, отколкото за други от този тип, например парните двигатели. Двигателите на Стърлинг най-често са използвани като двигателите с постоянна скорост.
* Изходната мощност на двигател на Стърлинг почти винаги е константна и точното и регулиране обикновено изисква внимателно планиране и добавянето на допълнителни механизми. В различните случаи промяната на изходната мощност се постига чрез използването на специални колянови валове, чрез промяна количеството на работния флуид, а в някой случаи и чрез промяна на товара на двигателя. Константната мощност на двигателя всъщност се оказва че не е недостатък, ако двигателя е използван като елемент от хибриден електрически двигател, където постигането на постоянна мощност е желан ефект.

**Въпроси свързани с избора на газ**

Използваният газ трябва да има такива свойства, че при минимално прехвърлено количество топлина, да види до голямо увеличение на налягането. Като се има в предвид това, излиза че хелият ще бъде идеалният кандидат за целта. По принцип и въздуха може да бъде считан за кандидат, но кислорода, който се намира в него може да доведе до експлозия, когато е в силно компресирана форма, и се комбинира със смазочните материали в двигателя. След подобен инцидент Philips стават пионери в проучването и използването на други газове, за да избегнат повторни експлозии.

* Водородът е с нисък вискозитет и висока топлопроводимост, което го прави много мощен като работен газ за двигателя на Стърлинг. Въпреки това, поради ниската си молекулярна маса и свойствата, които придобива при висока температура, газа успява да премине през солидните, метални стени на нагревателя, от което се получават загуби. Тази дифузия през въглеродна стомана е твърде висока, за да бъде практична, но може да се окаже в приемливи параметри при материали като алуминий или дори неръждаема стомана. При някой видове керамика, дифузията също се намалява значително. От казаното до тук се вижда, че за поддържане на налягането в двигателя е необходима херметически запечатана система. За двигатели с голяма разлика в работната температура, може да се окаже необходимо проектиране на допълнителни системи за поддържане на налягането. Тези системи, могат да представляват бутилки за съхранение на газ или генератори на газ.
* В повечето двигатели на Стърлинг, разработени по съвременни технологии (като тези създадени за държавните лаборатории на САЩ), се използва хелий, като работен газ, заради близките му свойства до водорода, но с по-малко рискове при съхранението му. Хелият е инертен газ, от което следва че не е лесно запалим, като водорода. Като недостатък може да се посочи че хелия е сравнително скъп. Има тест, който показва че двигател с водород, като работен газ е с 5% по-ефективен, от такъв с хелий. Теоретично е доказано, че добре проектиран въздушен двигател може да се доближи до ефективността на такъв с хелий или водород.
* Има двигатели, използващи въздух или азот. Тези газове имат много по-лоши показатели от тези на гореспоменатите, което увеличава разхода на енергия при работа. От друга страна при тях е по-лесно снабдяването с работния газ и ограничаването на загубите му. За по-голяма безопасност при работа с въздух, той може да се подложи на процес на окисляване и по този начин да се премахне почти напълно кислорода от него, превръщайки го в почти инертен газ.
* Други възможни леки газове, за използване в двигателя на Стърлинг са метана и амоняка.