

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50201/2016
(22) Anmeldetag: 10.03.2016
(45) Veröffentlicht am: 15.03.2018

(51) Int. Cl.: **F02B 23/06** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
CN 103046997 A
CN 201074556 Y
DE 102006020642 A1
CN 202611915 U
WO 2005033496 A1
DE 102011055170 A1
DE 10392141 B4
EP 2708714 A2

(73) Patentinhaber:
AVL List GmbH
8020 Graz (AT)

(72) Erfinder:
Machold Alexander Dipl.Ing.
8020 Graz (AT)
Bürgler Ludwig Dipl.Ing.
8151 Hitzendorf (AT)
Ofner Herwig Dipl.Ing. Dr.
8114 Stübing (AT)
Thelliez Marina
8010 Graz (AT)

(74) Vertreter:
BABELUK M. DIPL. ING. MAG.
WIEN

(54) KOLBEN FÜR EINE LUFTVERDICHTEDE BRENNKRAFTMASCHINE

(57) Die Erfindung betrifft einen Kolben (1) für eine luftverdichtende Brennkraftmaschine mit einer zu einer Kolbenachse (2) im Wesentlichen rotationssymmetrischen Brennraummulde (3), welche einen Muldenboden (4) mit einer im Wesentlichen konusartigen Erhebung (5) und eine umlaufende Muldenwand (6) aufweist, wobei die Muldenwand (6) einen an den Muldenboden (4) anschließenden, im Wesentlichen torusartigen ersten Abschnitt (6a) mit einem maximalen inneren ersten Muldendurchmesser (d1), einen zweiten Abschnitt (6b) mit einem minimalen inneren zweiten Muldendurchmesser (d2), welcher kleiner ist als der innere erste Muldendurchmesser (d1), und einen dritten Abschnitt (6c) ausbildet, wobei - in einem Meridianschnitt des Kolbens (1) betrachtet - der erste Abschnitt (6a) einen konkaven ersten Krümmungsradius (R1) und der zweite Abschnitt (6b) einen konvexen zweiten Krümmungsradius (R2) aufweist, und wobei der dritte Abschnitt (6c) eine an den zweiten Abschnitt (6b) anschließende erste Ringfläche (8) und eine in der Kolbenstirnfläche (7) endende zweite Ringfläche (9) ausbildet, welche zweite Ringfläche (9) mit der ersten Ringfläche (8) einen Winkel (β) aufspannt, wobei die erste Ringfläche (8) und die zweite Ringfläche (9)

geneigt zu einer Normalebene (ϵ) auf die Kolbenachse (2) ausgebildet sind und wobei im Übergang zwischen erster Ringfläche (8) und zweiter Ringfläche (9) eine Kante (11) mit einem definierten dritten Krümmungsradius (R3) ausgebildet ist.

Um Rußbildungserscheinungen zu verhindern ist vorgesehen, dass - in einem Meridianschnitt des Kolbens (1) betrachtet - die erste Ringfläche (8) mit einer Normalebene (ϵ) auf die Kolbenachse (2) einen ersten Winkel (α) zwischen 10° und 20° , vorzugsweise $15,2^\circ$ einschließt.

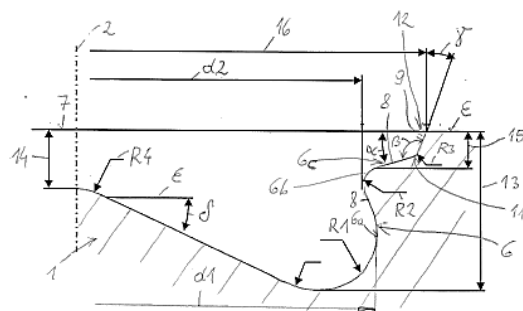


Fig. 2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Kolben für eine luftverdichtende Brennkraftmaschine, insbesondere für drallfreie oder drallarme Verbrennung, mit einer zu einer Kolbenachse im Wesentlichen rotationssymmetrischen Brennraummulde, welche einen Muldenboden mit einer im Wesentlichen konusartigen Erhebung und eine umlaufende Muldenwand aufweist, wobei die Muldenwand einen an den Muldenboden anschließenden, im Wesentlichen torusartigen ersten Abschnitt mit einem maximalen inneren ersten Muldendurchmesser, daran anschließend einen eine Einschnürung ausbildenden zweiten Abschnitt mit einem minimalen inneren zweiten Muldendurchmesser, welcher kleiner ist als der innere erste Muldendurchmesser, und daran anschließend einen einen Muldenrandbereich bildenden dritten Abschnitt ausbildet, wobei - in einem Meridianschnitt betrachtet - der erste Abschnitt einen konkaven ersten Krümmungsradius und der zweite Abschnitt einen konvexen zweiten Krümmungsradius aufweist, und wobei der dritte Abschnitt eine an den zweiten Abschnitt anschließende erste Ringfläche und eine in der Kolbenstirnfläche endende zweite Ringfläche gebildete Stufe ausbildet, welche zweite Ringfläche mit der ersten Ringfläche einen Winkel aufspannt, wobei die erste Ringfläche und die zweite Ringfläche geneigt zu einer Normalebene auf die Kolbenachse ausgebildet sind und wobei im Übergang zwischen erster und zweiter Ringfläche eine Kante mit einem definierten dritten Krümmungsradius ausgebildet ist. Weiters betrifft die Erfindung eine luftverdichtende Brennkraftmaschine mit zumindest einem solchen Kolben, wobei im Bereich der Kolbenachse eine Einspritzeinrichtung so angeordnet ist, dass zumindest ein Kraftstoffstrahl in zumindest einer Hubstellung des Kolbens auf den zweiten Abschnitt trifft und der Kraftstoffstrahl durch den zweiten Abschnitt in einen zum ersten Abschnitt gerichteten ersten Strahlteil und einen zum dritten Abschnitt gerichteten zweiten Strahlteil aufteilbar ist.

[0002] Aus der DE 10 2011 055 170 A1 ist ein Dieselmotorkolben mit einer Brennkammer bekannt, welcher eine Profilfläche aufweist, die von ihrer Innenwand zu einer Mittelachse der Brennkammer vorsteht und an der Innenwand einen Vorsprung aufweist, der sich mit einer vorbestimmten Länge von der Innenwand erstreckt. Der Vorsprung teilt einen Einspritzkraftstoff, der auf den Vorsprung gespritzt und atomisiert wird, in eine Kraftstoffströmung in einem oberen Abschnitt und eine Kraftstoffströmung in einen unteren Abschnitt der Brennkammer auf. Dabei weist die Brennraummulde einen durch eine zentrale Erhebung gebildeten Kern auf, welcher einen Drall, Wirbel oder Strudel aktiviert, der die Strömung in dem Brennraum bildet. Dadurch wird das Gemisch des Kraftstoffes und der Luft, die in den Brennraum strömen, verbessert und das Mischungsverhältnis kann erhöht werden.

[0003] Die DE 103 92 141 B4 beschreibt einen Kolben für einen Verbrennungsmotor, welcher eine Verbrennungsmulde mit einer Kraftstoffführungsstruktur zum Umleiten zumindest eines Teiles des die Verbrennungsmulde verlassenden Kraftstoffes umfasst. Der Kolben umfasst eine scharfe Kante, die an der äußeren Fläche des Kolbens benachbart zu dem Zugang zu der Verbrennungsmulde angeordnet ist, und eine abgerundete Kraftstoffaufnahmelippe, die innerhalb der Verbrennungsmulde liegt.

[0004] Weiters offenbart die EP 2 708 714 A2 eine Brennkammer für einen Dieselmotor mit einer Brennraummulde, welche eine konkave Form aufweist, so dass ein eingespritzter Kraftstoffstrahl einen Drall oder eine Quetschströmung zur Vermischung mit Luft erzeugt.

[0005] Die Druckschriften CN 103046997A, CN 10 2006 020 642 A1, DE 10 2006 020 642 A1, CN 202611915 U und WO 2005/033496 A1 offenbaren jeweils einen Kolben für eine Brennkraftmaschine mit einer eine konusartige zentrale Erhebung aufweisenden Kolbenmulde. Der Kolben weist dabei einen torusartigen ersten Abschnitt mit einem maximalen inneren ersten Muldendurchmesser, einen daran anschließenden, eine Einschnürung ausbildenden zweiten Abschnitt mit einem minimalen inneren zweiten Muldendurchmesser und einen dritten Abschnitt auf, welcher einen Muldenrandbereich ausbildet. Der zweite Muldendurchmesser ist kleiner als der innere erste Muldendurchmesser. Der dritte Abschnitt bildet eine an den zweiten Abschnitt anschließende erste Ringfläche und eine in der Kolbenstirnfläche endende zweite Ring-

fläche aus. Die zweite Ringfläche spannt mit der ersten Ringfläche einen Winkel auf, wobei die erste Ringfläche und die zweite Ringfläche geneigt zu einer Normalebene auf die Kolbenachse ausgebildet sind.

[0006] Es hat sich gezeigt, dass bei drallfreien Brennverfahren bekannte Kolben zu beträchtlicher Rußbildung neigen, da es im Bereich des ersten Abschnittes und des dritten Abschnittes zu Stagnationszonen und Kraftstoffablagerungen kommt.

[0007] Aufgabe der Erfindung ist es, diese Nachteile zu vermeiden und bei Brennkraftmaschinen der eingangs genannten Art Rußbildungserscheinungen am Kolben insbesondere bei drallfreier Verbrennung zu verringern.

[0008] Erfindungsgemäß erfolgt dies dadurch, dass - in einem Meridianschnitt des Kolbens betrachtet - die erste Ringfläche mit einer Normalebene auf die Kolbenachse einen ersten Winkel zwischen 10° und 20° , vorzugsweise $15,2^\circ$ einschließt, und dass die zweite Ringfläche mit der Kolbenachse einen zweiten Winkel zwischen etwa 15° und 25° , vorzugsweise 21° , aufspannt.

[0009] Dank der Erfindung wird die Entstehung einer Fettzone während der Verbrennung verhindert, die sich ansonsten, insbesondere beim Auftreten von Drallströmungen, ergibt. Die Rußbildung wird damit deutlich reduziert. Die entstehenden Wirbelzonen führen zu einer thermischen Entlastung des Zylinderkopfes, da eine geringere Wärmeeintragung erfolgt. Unter Meridianschnitt des Kolbens wird ein Schnitt entlang der Kolbenachse des Kolbens verstanden, der normal zur Brennraummulde verläuft. Der Meridianschnitt ergibt damit eine Meridianebene, die normal zur Brennraummulde steht und parallel zur bzw. zusammenfallend mit der Kolbenachse ist.

[0010] In aufwendigen Versuchen und Berechnungen hat sich gezeigt, dass in Kombination mit den eingangs genannten Merkmalen Stagnationszonen an den Muldenwänden im dritten Abschnitt vermieden werden können, wenn der erste Winkel zwischen der ersten Ringfläche und der Normalebene auf die Kolbenachse zwischen 10° und 20° beträgt. Die besten Ergebnisse lassen sich erzielen, wenn der erste Winkel knapp über 15° beträgt. Weiters ist es zur Vermeidung von Rußbildungen im Bereich des dritten Abschnittes besonders vorteilhaft, wenn - in einem Meridianschnitt des Kolbens betrachtet - die erste Ringfläche mit der zweiten Ringfläche einen zweiten Winkel zwischen etwa 100° und 150° , vorzugsweise etwa 125° einschließt. Insbesondere ist es dabei günstig, wenn die zweite Ringfläche mit der Kolbenachse einen zweiten Winkel zwischen etwa 15° und 25° , vorzugsweise 21° , aufspannt.

[0011] Die vorzugsweise als Kegelflächen ausgebildeten ersten und zweiten Ringflächen bilden eine Stufe, welche die Kraftstoffströmung von der radialen Richtung in eine axiale Richtung umlenkt. Die Umlenkung zwischen erster und zweiter Ringfläche erfolgt dabei abrupt. Überraschenderweise hat sich gezeigt, dass dadurch wesentlich weniger Rußbildungserscheinungen beobachtet werden können, als bei stetiger Umlenkung. Diese Beobachtung kann damit erklärt werden, dass durch die abrupte Strömungsumlenkung in axiale Richtung eine Geschwindigkeitserhöhung und eine starke Wirbel- bzw. Walzenbewegung um eine tangentielle Achse auftritt, welche sich ablagernden Kraftstoff sofort mitreißt bzw. eine Ablagerung erst gar nicht ermöglicht. Zumindest ein eingespritzter Kraftstoffstrahl initiiert dabei eine aus jeweils zwei gegenläufigen Wirbelwalzen aus Luft und Kraftstoff bestehende Wirbel- bzw. Walzenbewegung. Um Ablagerungen im Übergang zwischen erster und zweiter Ringfläche zu vermeiden, ist es vorteilhaft, wenn - bezogen auf einen größten Durchmesser des Kolbens - der dritte Krümmungsradius $0,012 \pm 50\%$ beträgt.

[0012] Um eine ausgeprägte Aufteilung in zwei Strahlteile zu erreichen, ist es von Vorteil, wenn der innere zweite Muldendurchmesser maximal etwa 95% des Durchmessers des inneren ersten Muldendurchmessers beträgt. Für eine Aufteilung des Kraftstoffstrahles ist es günstig, wenn - bezogen auf einen größten Durchmesser des Kolbens - der zweite Krümmungsradius $0,02 \pm 50\%$ beträgt.

[0013] Versuche haben gezeigt, dass besonders gute Ergebnisse erzielt werden können, wenn

- bezogen auf den größten Durchmesser des Kolbens - die Brennraummulde im Bereich des ersten Abschnittes einen inneren ersten Durchmesser von etwa $0,7 \pm 20\%$ (d.h., das 0,7-fache des größten Durchmessers des Kolbens) und im Bereich des zweiten Abschnittes einen inneren zweiten Durchmesser von $0,65 \pm 20\%$ (d.h., das 0,65-fache des größten Durchmessers des Kolbens) aufweist.

[0014] Um eine zum Muldenboden gerichtete ausgeprägte erste Wirbelwalze zu erzeugen, ist es vorteilhaft, wenn - bezogen auf einen größten Durchmesser des Kolbens - der erste Krümmungsradius $0,06 \pm 50\%$ (d.h., das 0,06-fache des größten Durchmessers des Kolbens) beträgt.

[0015] Eine zum Zylinderkopf gerichtete ausgeprägte zweite Wirbelwalze wird ermöglicht, wenn die erste Ringfläche und/oder die zweite Ringfläche als Kegelfläche ausgebildet sind. Der gestuft ausgebildete dritte Abschnitt und die abgewinkelten Ringflächen reduzieren die thermische Belastung des Feuerdecks des Zylinderkopfes. Da die Einlasskanäle keinen Drall erzeugen und somit niedrigere Strömungsverluste aufweisen, kann durch sie eine höhere Ladungsmasse in den Brennraum eingetragen werden. Bei gleichbleibendem Luft/ Kraftstoffverhältnis kann somit mehr Kraftstoff zugeführt werden, womit eine Steigerung der maximalen Leistung bei gegebenem Hubraum ermöglicht wird. Darüber hinaus ermöglicht die Kolbengestaltung einen reduzierten Wärmeübergang auf den Kolben und damit verringerte Wärmeverluste am Kolben.

[0016] Um Rußbildungserscheinungen im dritten Abschnitt zu vermeiden kann vorgesehen sein, dass - bezogen auf einen größten Durchmesser des Kolbens - der dritte Krümmungsradius $0,012 \pm 50\%$ (d.h., das 0,012-fache des größten Durchmessers des Kolbens) beträgt.

[0017] Der Kolben eignet sich insbesondere für Brennkraftmaschinen mit einer drallfreien oder drallarmen Einlasskanalstruktur, wobei eine Drallzahl der Strömung im Brennraum um die Kolbenachse maximal 1 beträgt. Unter Einlassstruktur ist die Form und Anordnung der als Niedrigdrallkanälen ausgebildeten Einlasskanäle im Zylinderkopf gemeint, welche so ausgebildet sind, dass beim Einstromen der Luft in den Brennraum wenig oder kein Drall generiert wird.

[0018] In einer bevorzugten Ausführung der Erfindung arbeitet die Brennkraftmaschine nach einem drallfreien Brennverfahren. Darunter ist ein Brennverfahren zu verstehen, bei welchem kein oder nur ein geringer Einlassdrall zugelassen bzw. notwendig ist, und welches im Wesentlichen keine Ladungsdrehung um die Zylinderachse aufweist.

[0019] Eine drallfreie- bzw. drallarme Einlassstruktur hat im Vergleich mit einer drallerzeugenden Einlassstruktur den Vorteil, dass Strömungsverluste reduziert und damit der Liefergrad verbessert werden können. Dies ermöglicht eine höhere maximale Leistung bei gegebenem Hubraum. Die Einlasskanäle können einfacher und kürzer gestaltet werden.

[0020] Die Erfindung wird im Folgenden an Hand eines in den Figuren gezeigten nicht einschränkenden Ausführungsbeispiels näher erläutert.

[0021] Darin zeigen:

[0022] Fig. 1 einen erfindungsgemäßen Kolben in einem Meridianschnitt,

[0023] Fig. 2 ein Detail dieses Kolbens,

[0024] Fig. 3 diesen Kolben in einer Draufsicht,

[0025] Fig. 4 eine drallfreie bzw. drallarme Einlasskanalstruktur in einer Draufsicht,

[0026] Fig. 5 die Strömungssituation im Brennraum des erfindungsgemäßen Kolbens in dessen oberem Totpunkt,

[0027] Fig. 6 die Strömungssituation im Brennraum des erfindungsgemäßen Kolbens bei 10° nach dessen oberem Totpunkt,

[0028] Fig. 7 die Strömungssituation im Brennraum des erfindungsgemäßen Kolbens bei 20° nach dessen oberem Totpunkt,

- [0029]** Fig. 8 die Strömungssituation im Brennraum des erfindungsgemäßen Kolbens bei 40° nach dessen oberem Totpunkt,
- [0030]** Fig. 9 die Russbildungssituation im Brennraum des erfindungsgemäßen Kolbens in dessen oberem Totpunkt,
- [0031]** Fig. 10 die Russbildungssituation im Brennraum des erfindungsgemäßen Kolbens bei 10° nach dessen oberem Totpunkt,
- [0032]** Fig. 11 die Russbildungssituation im Brennraum des erfindungsgemäßen Kolbens bei 20° nach dessen oberem Totpunkt und
- [0033]** Fig. 12 die Russbildungssituation im Brennraum des erfindungsgemäßen Kolbens bei 40° nach dessen oberem Totpunkt.

[0034] Fig. 1 zeigt einen Kolben 1 einer nicht weiter dargestellten luftverdichtenden Brennkraftmaschine. Der Kolben 1 eignet sich besonders für Brennkraftmaschinen mit drallfreier oder drallarmer Einlasskanalstruktur 20, insbesondere für Brennkraftmaschinen mit einer Drallzahl im Brennraum von maximal 1, bezogen auf die Kolbenachse 2. Ein Beispiel für eine mögliche drallarme bzw. drallfreie Einlassstruktur mit als Niedrigdrallkanälen ausgebildeten Einlasskanälen 21, 22 ist in Fig. 4 gezeigt. Die beiden Einlasskanäle 21, 22 sind dabei symmetrisch ausgebildet, sodass sich die Drallkomponenten der beiden Einlasskanäle 21, 22 aufheben.

[0035] In den Kolben 1 ist eine zur Kolbenachse 2 rotationssymmetrisch ausgebildete Brennraummulde 3 eingeformt. Die zumindest einen großen Teil des Brennraumes bildende Brennraummulde 3 des Kolbens 1 besteht aus einem Muldenboden 4 mit einer konusartigen zentralen Erhebung 5, und einer umlaufenden Muldenwand 6. Beginnend vom Muldenboden 4 weist die Muldenwand 6 einen ersten Abschnitt 6a, einen daran anschließenden zweiten Abschnitt 6b, sowie einen an den zweiten Abschnitt 6b anschließenden dritten Abschnitt auf 6c, wobei der dritte Abschnitt 6c an die dem nicht weiter dargestellten Zylinderkopf zugewandte Kolbenstirnfläche 7 grenzt und einen Muldenrandbereich 12 bildet.

[0036] Im ersten Abschnitt 6a ist die Muldenwand 6 zumindest teilweise kreistorusförmig gestaltet, wobei - in einem Meridianschnitt des Kolbens 1 betrachtet - der konkave erste Krümmungsradius $R1$ des ersten Abschnittes 6a etwa $0,06 \pm 50\%$ des größten Durchmesser D des Kolbens 1 beträgt. Im Bereich des ersten Abschnittes 6a weist die Brennraummulde 3 einen inneren ersten Durchmesser $d1$ auf, welcher etwa $0,7 \pm 20\%$ des maximalen Durchmessers D des Kolbens 1 beträgt. Im Bereich des im zweiten Abschnitt 6b ist die Muldenwand 6 eingezogen und überhängend ausgebildet, wobei der im Bereich des zweiten Abschnittes 6b gemessene innere zweite Muldendurchmesser $d2$ maximal etwa 95% des inneren ersten Muldendurchmessers $d1$ beträgt. Bezogen auf den maximalen Kolbendurchmesser D beträgt der innere erste Muldendurchmesser $d1$ etwa $0,65 \pm 20\%$.

[0037] In den in den Fig. 1 und 2 gezeigten Meridianschnitten des Kolbens 1 betrachtet ist die Muldenwand 6 im zweiten Abschnitt 6b konvex gekrümmt und weist einen zweiten Krümmungsradius $R2$ von etwa $0,02 \pm 50\%$ mal dem größten Durchmesser D des Kolbens 1 auf. Die Muldenwand 6 ist zwischen dem ersten Abschnitt 6a und dem zweiten Abschnitt 6b verlaufend ausgeführt, wobei zwischen dem ersten Krümmungsradius $R1$ und dem zweiten Krümmungsradius $R2$ gegebenenfalls auch noch ein gerader Abschnitt 8 ausgebildet sein kann. Alternativ dazu kann der erste Krümmungsradius $R1$ direkt über einen Wendepunkt in den zweiten Krümmungsradius $R2$ übergehen.

[0038] Der dritte Abschnitt 6c der Muldenwand 6 besteht aus einer ersten Ringfläche 8 und einer zweiten Ringfläche 9, wobei die erste Ringfläche 8 direkt, also verlaufend und übergangslos, an den zweiten Krümmungsradius $R2$ des zweiten Abschnittes 6b anschließt und in der Kolbenstirnfläche 7 endet. Die Schnittlinie zwischen der zweiten Ringfläche 9 und der Kolbenstirnfläche 7 weist im Ausführungsbeispiel einen Durchmesser 16 auf, welcher etwa 80% des größten Durchmessers des Kolbens 1 beträgt. Bevorzugt sind die ersten Ringflächen 8 und zweiten Ringflächen 9 durch Kegelflächen gebildet. Im in den Fig. 1 und 2 dargestellten Meridi-

anschnitt des Kolbens 1 betrachtet spannt die erste Ringfläche 8 mit einer Normalebene ε auf die Kolbenachse 2 einen ersten Winkel α zwischen etwa 10° und 20° , vorzugsweise $15,2^\circ$, auf. Die an die erste Ringfläche 8 anschließende zweite Ringfläche 9 ist zur ersten Ringfläche 8 geneigt ausgeführt, wobei die erste Ringfläche 8 mit der zweiten Ringfläche 9 einen zweiten Winkel β zwischen etwa 100° und 150° , vorzugsweise etwa 125° , einschließt. In Bezug auf die Kolbenachse 2 bzw. auf eine Parallele zur Kolbenachse 2 ist die zweite Ringfläche 8 um einen dritten Winkel γ zwischen etwa 15° und 25° , vorzugsweise von etwa 21° , geneigt ausgebildet.

[0039] Zwischen der ersten Ringfläche 8 und der zweiten Ringfläche 9 ist eine definierte Kante 11 ausgebildet. Ein durch die Kante 11 gebildeter abrupter Übergang zwischen der ersten Ringfläche 8 und der zweiten Ringfläche 9 ist vorteilhaft, um die thermische Belastung am Zylinderkopf zu vermindern. Andererseits müssen aber Stagnationszonen vermieden werden, in welchen sich Kraftstoff anlagern könnte. Versuche haben gezeigt, dass die besten Ergebnisse erzielt werden können, wenn der dritte Krümmungsradius R_3 zwischen der ersten Ringfläche 8 und der zweiten Ringfläche 9 maximal etwa $0,012 \pm 50\%$ des größten Durchmessers D des Kolbens 1 beträgt.

[0040] Im dargestellten Ausführungsbeispiel beträgt die maximale Muldentiefe 13 etwa 0,16 mal dem maximalen Durchmesser D des Kolbens 1 und die im Bereich der zentralen Erhebung 5 gemessene minimale Muldentiefe 14 etwa 0,061 mal dem maximalen Durchmesser D des Kolbens 1. Die von der Kolbenstirnfläche 7 in Richtung der Zylinderachse 2 weg gemessene Höhe des zweiten Abschnittes 6b beträgt etwa 4% des maximalen Durchmessers D des Kolbens 1. Die konische Erhebung 5 spannt mit einer Normalebene auf die Kolbenachse 2 einen Winkel δ von etwa 20° bis 30° - im Beispiel etwa 23° - auf. Die Erhebung weist einen vierten Krümmungsradius R_4 auf, welcher etwa 6% des größten Durchmessers D des Kolbens 1 beträgt.

[0041] Wie in Fig. 1 angedeutet, wird Kraftstoff über eine zentral im Zylinder angeordnete Einspritzeinrichtung 10 eingespritzt, wobei der Kraftstoff in zumindest einer Hubstellung des Kolbens 1 auf den zweiten Abschnitt 6b der Muldenwand 6 auftrifft. Durch den fehlenden bzw. stark reduzierten Drall besteht keine Gefahr, dass die Kraftstoffstrahlen ineinander verweht werden, was zu hoher Rußbildung führen würde. Dadurch können beim vorliegenden drallreduzierten Verfahren mehr Strahlen als bei vergleichbaren bekannten drallbehafteten Verfahren vorgesehen werden, beispielsweise mehr als neun, was zusätzlich die Gemischbildung Kraftstoff/ Luft unterstützt.

[0042] Dabei wird der Kraftstoffstrahl S durch den nasenartigen Vorsprung des zweiten Abschnittes 6b in einen unteren ersten Strahlteil S_1 und einen oberen zweiten Strahlteil S_2 aufgeteilt, wobei eine erste Wirbelwalze T_1 und eine zweite Wirbelwalze T_2 mit unterschiedlichen Drehrichtungen entstehen. Die Strahlaufteilung ermöglicht eine ideale Ausnutzung der vorhandenen Frischluft für die Verbrennung. Durch den konvex abgerundeten überhängenden zweiten Abschnitt 6b kann die kinetische Energie des Kraftstoffstrahls S möglichst verlustarm in die Brennraummulde 3 umgelenkt werden. Strahlimpuls des Kraftstoffstrahls S und Form der Muldenwand 6 erzeugen eine doppelte Wirbel- bzw. Walzen-Bewegung in der Brennraummulde 3, die eine optimale Ausnutzung der Frischluft ermöglicht. Die stufenförmige Ausführung zwischen der ersten Ringfläche 8 und der zweiten Ringfläche 9 in Richtung des Zylinderkopfes verteilt das Auftreffen der heißen Verbrennungszone auf den Zylinderkopf auf eine größere Fläche, dadurch wird eine örtlich sehr hohe thermische Belastungs-Spitze verhindert bzw. reduziert wodurch die thermische Belastung am Zylinderkopf vermindert werden kann.

[0043] Die Fig. 5 bis 8 zeigen die Strömungssituation in der Kolbenmulde 3 für unterschiedliche Kurbelwellenwinkel, wobei Geschwindigkeitsvektoren v für die Luftströmung und die Kraftstoffströmung eingezeichnet sind. Das Luft/Kraftstoffverhältnis ist dabei durch Graustufen angedeutet, wobei die Kraftstoffkonzentration f höher ist, je dunkler die Graustufen gefärbt sind. Fig. 5 zeigt die Strömungssituation im Bereich des oberen Totpunktes des Kolbens 1, Fig. 6 bei 10° nach dem oberen Totpunkt, Fig. 7 bei 20° nach dem oberen Totpunkt und Fig. 8 bei 40° nach dem oberen Totpunkt des Kolbens 1. Deutlich ist zu erkennen, dass in Fig. 8 nur mehr

geringe Kraftstoffkonzentrationen f durch eine deutliche Gemischabmagerung innerhalb der Brennraummulde 3 festzustellen sind.

[0044] Die Fig. 9 bis 12 zeigen die Rußbildungssituation in der Kolbenmulde 3 für unterschiedliche Kurbelwellenwinkel, wobei die Rußkonzentration ST durch Graustufen angedeutet ist. Die Rußkonzentration ST ist umso höher, je dunkler die Graustufen gefärbt sind. Fig. 9 zeigt die Rußsituation im Bereich des oberen Totpunktes des Kolbens 1, Fig. 10 bei 10° nach dem oberen Totpunkt, Fig. 11 bei 20° nach dem oberen Totpunkt und Fig. 12 bei 40° nach dem oberen Totpunkt des Kolbens 1. In Fig. 12 ist praktisch keine Rußkonzentration ST mehr innerhalb der Brennraummulde 3 festzustellen.

[0045] Auf diese Weise können auch bei Brennkraftmaschinen, welche für drallfreie Brennverfahren ausgebildet sind, Rußbildungs- und Verkokungserscheinungen am Kolben 1 wirksam verhindert werden. Der Kolben 1 ermöglicht bei Brennkraftmaschinen mit drallfreier Einlassstruktur eine optimale Gemischbildung und eine rauchfreie Verbrennung des Kraftstoffes.

Patentansprüche

1. Kolben (1) für eine luftverdichtende Brennkraftmaschine, insbesondere für drallfreie oder drallarme Verbrennung, mit einer zu einer Kolbenachse (2) im Wesentlichen rotationssymmetrischen Brennraummulde (3), welche einen Muldenboden (4) mit einer im Wesentlichen konusartigen Erhebung (5) und eine umlaufende Muldenwand (6) aufweist, wobei die Muldenwand (6) einen an den Muldenboden (4) anschließenden, im Wesentlichen torusartigen ersten Abschnitt (6a) mit einem maximalen inneren ersten Muldendurchmesser (d_1), daran anschließend einen eine Einschnürung ausbildenden zweiten Abschnitt (6b) mit einem minimalen inneren zweiten Muldendurchmesser (d_2), welcher kleiner ist als der innere erste Muldendurchmesser (d_1), und daran anschließend einen einen Muldenrandbereich bildenden dritten Abschnitt (6c) ausbildet, wobei - in einem Meridianschnitt des Kolbens (1) betrachtet - der erste Abschnitt (6a) einen konkaven ersten Krümmungsradius (R_1) und der zweite Abschnitt (6b) einen konvexen zweiten Krümmungsradius (R_2) aufweist, und wobei der dritte Abschnitt (6c) eine an den zweiten Abschnitt (6b) anschließende erste Ringfläche (8) und eine in der Kolbenstirnfläche (7) endende zweite Ringfläche (9) ausbildet, welche zweite Ringfläche (9) mit der ersten Ringfläche (8) einen Winkel (β) aufspannt, wobei die erste Ringfläche (8) und die zweite Ringfläche (9) geneigt zu einer Normalebene (ϵ) auf die Kolbenachse (2) ausgebildet sind und wobei im Übergang zwischen erster Ringfläche (8) und zweiter Ringfläche (9) eine Kante (11) mit einem definierten dritten Krümmungsradius (R_3) ausgebildet ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass - in einem Meridianschnitt des Kolbens (1) betrachtet - die erste Ringfläche (8) mit einer Normalebene (ϵ) auf die Kolbenachse (2) einen ersten Winkel (α) zwischen 10° und 20° , vorzugsweise $15,2^\circ$ einschließt, und dass die zweite Ringfläche (9) mit der Kolbenachse einen dritten Winkel (γ) zwischen etwa 15° und 25° , vorzugsweise 21° , aufspannt.
2. Kolben (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass - in einem Meridianschnitt betrachtet - die erste Ringfläche (8) mit der zweiten Ringfläche (9) einen zweiten Winkel (β) zwischen etwa 100° und 150° , vorzugsweise etwa 125° einschließt.
3. Kolben (1) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der innere zweite Muldendurchmesser (d_2) maximal etwa 95% des inneren ersten Muldendurchmessers (d_1) beträgt.
4. Kolben (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass - bezogen auf den größten Durchmesser (D) des Kolbens (1) - die Brennraummulde (3) im Bereich des ersten Abschnittes (6a) einen inneren ersten Muldendurchmesser (d_1) von etwa $0,7 \pm 20\%$ aufweist.
5. Kolben (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass - bezogen auf den größten Durchmesser (D) des Kolbens (1) - die Brennraummulde (3) im Bereich des zweiten Abschnittes (6b) einen inneren zweiten Durchmesser (d_2) von etwa $0,65 \pm 20\%$ aufweist.
6. Kolben (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass - bezogen auf einen größten Durchmesser (D) des Kolbens (1) - der erste Krümmungsradius (R_1) etwa $0,06 \pm 50\%$ beträgt.
7. Kolben (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass - bezogen auf einen größten Durchmesser (D) des Kolbens (1) - der zweite Krümmungsradius (R_2) etwa $0,02 \pm 50\%$ beträgt.
8. Kolben (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass - bezogen auf einen größten Durchmesser (D) des Kolbens (1) - der dritte Krümmungsradius (R_3) maximal etwa $0,012 \pm 50\%$ beträgt.
9. Kolben (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Ringfläche (8) und/oder die zweite Ringfläche (9) als Kegelfläche ausgebildet ist bzw. sind.

10. Luftverdichtende Brennkraftmaschine mit zumindest einem hin- und hergehenden Kolben (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei im Bereich der Kolbenachse (2) eine Einspritzeinrichtung (10) so angeordnet ist, dass zumindest ein Kraftstoffstrahl (S) in zumindest einer Hubstellung des Kolbens (1) auf den zweiten Abschnitt (6b) trifft und der Kraftstoffstrahl (S) durch den zweiten Abschnitt (6b) in einen zum ersten Abschnitt (6a) gerichteten ersten Strahlteil (S1) und einen zum dritten Abschnitt (6c) gerichteten zweiten Strahlteil (S2) aufteilbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Brennkraftmaschine eine drallfreie oder drallarme Einlasskanalstruktur aufweist, wobei eine Drallzahl der Strömung im Brennraum um die Kolbenachse (2) maximal 1 beträgt.

Hierzu 2 Blatt Zeichnungen

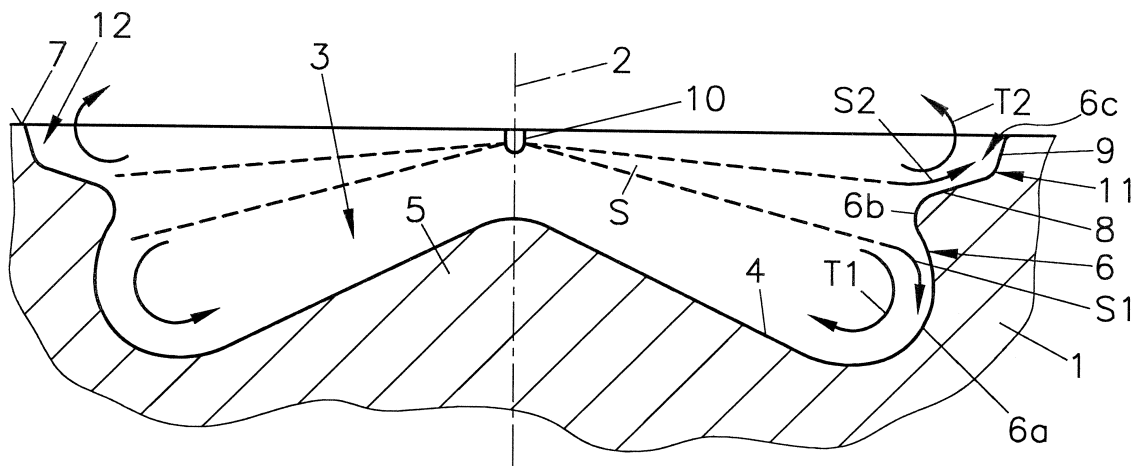


Fig.1

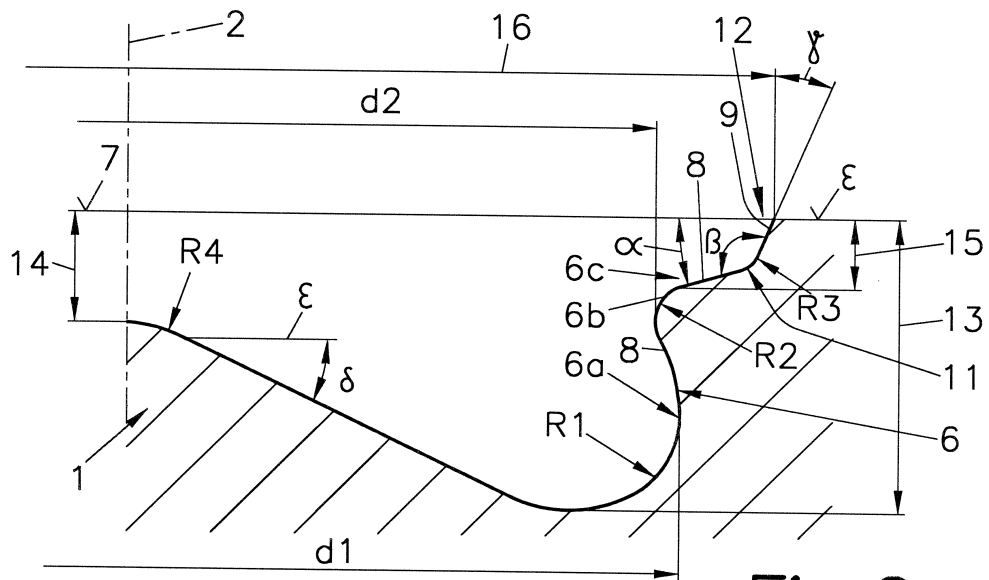


Fig.2

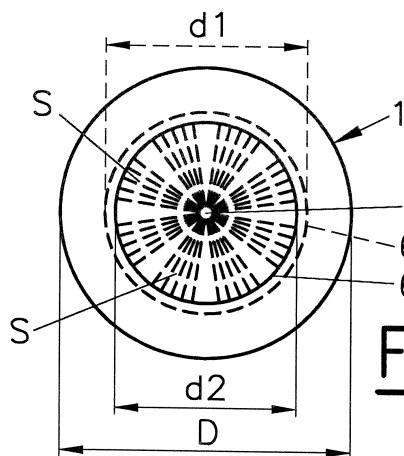


Fig.3

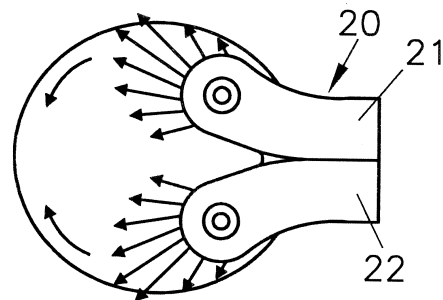


Fig.4

