

5

Wärmeisulationskörper und Verfahren zu dessen Herstellung

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Wärmeisulationskörper aus einem carbonisierte Fasern und/oder graphitierte Fasern umfassenden Werkstoff, wie insbesondere Hartfilz, insbesondere zum Auskleiden eines Hochtemperaturofens, wobei der Wärmeisulationskörper aus wenigstens zwei Einzelteilen zusammengefügt ist.

15 Hochtemperaturprozesse, welche beispielsweise bei über 800°C unter inerter Atmosphäre ablaufen, stellen hohe thermische und mechanische Anforderungen an die verwendeten Isolierwerkstoffe. Als Werkstoff für Isolierkörper, welche z.B. einen Innenraum eines Hochtemperaturofens auskleiden und damit die Heizkammer von der gekühlten Außenwand trennen, werden häufig carbonisierte und
20 gegebenenfalls graphitierte Filze eingesetzt. Gegenüber der Herstellung eines Wärmeisulationskörpers an einem Stück, was beispielsweise durch Wickeln von ungehärteten, harz imprägnierten Filzlagen auf einen Dorn und anschließendes Aushärten des Filzmaterials erfolgen kann, bietet die Herstellung eines Wärmeisulationskörpers aus mehreren Einzelteilen den Vorteil eines geringeren Rohstoff-
25 verschnitts sowie einer effizienteren Hochtemperatur-Nachbehandlung des Filzmaterials.

Aus der EP 1 852 252 B1 ist ein Verfahren zur Herstellung von hochtemperaturbeständigen Isolierkörpern bekannt, bei welchem u.a. mehrere gekrümmte Seg-
30 mente aus einem auf einem auf eine Dichte zwischen 0,02 und 0,3 g/cm³ verdichteten Graphitexpandat basierten Werkstoff zu einem hohlzylindrischen Bauteil zusammengesetzt werden. Der Zusammenhalt der einzelnen Segmente wird dabei durch einen carbonisierbaren Binder gewährleistet, welcher flächige anisotrope

- 5 Graphitpartikel enthält. An der Innenfläche des hohlzylindrischen Isolierkörpers wird ferner eine Graphitfolie angeordnet.

In der WO 2011/106580 A2 wird ein aus einem Kohlenstofffasermaterial hergestellter Isolierkörper für einen Reaktor offenbart, der aus mehreren plattenartigen Einzelbauteilen zusammengesetzt ist. Die Einzelbauteile können durch "Nut-und-Feder"-Steckverbindungen unter Verwendung weiterer Verbindungselemente gekoppelt sein.

15 Ein Problem bei den bekannten, aus mehreren Einzelteilen zusammengesetzten Wärmeisulationskörpern besteht jedoch darin, dass an den Übergangsstellen zwischen aneinandergrenzenden Einzelteilen, d.h. an den Fügeflächen, die mechanischen und thermischen Eigenschaften des Bauteils nicht aufrechterhalten werden können. Dies gilt selbst dann, wenn die Einzelteile miteinander verklebt sind oder ineinandergreifen. Somit besteht die Gefahr, dass durch die Übergangsstellen Wärmeleitungsverluste auftreten und die mechanische Stabilität geschwächt wird, was grundsätzlich unerwünscht ist. Um entsprechende Wärmeleitungsverluste zu verhindern und die mechanische Stabilität aufrechtzuerhalten, können an den Fügeflächen zusätzliche Elemente aus Graphit, aus kohlenstofffaserbasierten Verbundwerkstoffen oder aus Metall vorgesehen werden. Hierdurch kommt es jedoch zu Materialanhäufungen und/oder zu einer Ansammlung von unterschiedlichen Materialien, was mit einem hohen Aufwand und dementsprechend erhöhten Herstellungs- und Lagerkosten verbunden ist. Außerdem werden aufgrund der konstruktiven Trennung von mechanischer Stabilität und thermischer Beständigkeit die Materialeigenschaften der einzelnen Bauteile lokal nicht in optimaler Weise ausgenutzt.

Es ist daher eine Aufgabe der Erfindung, einen einfach und kostengünstig aus mehreren Einzelteilen herstellbaren Wärmeisulationskörper anzugeben, welcher auch in den Übergangsbereichen zwischen den verschiedenen Einzelteilen eine

- 5 zuverlässige Isolierwirkung sowie eine ausreichend hohe mechanische Stabilität aufweist.

Die Lösung der Aufgabe erfolgt durch einen Wärmeisulationskörper mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und insbesondere durch einen Wärmeisulationskörper aus
10 einem carbonisierte Fasern und/oder graphitierte Fasern umfassenden Werkstoff, insbesondere zum Auskleiden eines Hochtemperaturofens, wobei der Wärmeisulationskörper aus wenigstens zwei Einzelteilen zusammengefügt ist, wobei wenigstens zwei zusammengefügte Einzelteile jeweils mindestens ein Verbindungselement aufweisen und die Verbindungselemente der wenigstens zwei zusammengefügten Einzelteile unter Ausbildung einer Hinterschneidung zumindest
15 formschlüssig oder gar form- und kraftschlüssig ineinandergreifen.

Erfindungsgemäß sind an wenigstens zwei zusammengefügten Einzelteilen jeweils mindestens ein Verbindungselement vorgesehen - also zumindest an einzelnen Abschnitten der Fügeflächen, an welchen die Einzelteile zusammengefügt
20 sind - Verbindungselemente vorgesehen, welche unter Ausbildung einer Hinterschneidung zumindest formschlüssig ineinandergreifen. Aufgrund der Hinterschneidung werden die Einzelteile an den sich berührenden Fügeflächen - vorzugsweise in 5 der 6 orthogonal aufeinander stehenden Raumrichtungen - sicher
25 zusammengehalten und können auch unter den Einsatzbedingungen in einem Hochtemperaturofen nicht mehr getrennt werden. Auf eine aufwändige Verklebung der Einzelteile kann somit verzichtet werden. Die Bewegung in die 6. Raumrichtung wird vorzugsweise über eine kraftschlüssige Verbindung gehemmt. Auch eine Bereitstellung von zusätzlichen Verstärkungselementen, wie Stahlbändern, kann
30 so entfallen, wodurch die Herstellungs- und Lagerkosten beträchtlich gesenkt werden können. Ein weiterer besonderer Vorteil der Erfindung besteht darin, dass die Hinterschneidung eine Barriere gegen Wärmeleitungsverluste an den Fügeflächen bildet und somit auch zusätzliche Isolierbauteile zur Überdeckung der Fugen eingespart werden können. Da keine Häufung von unterschiedlichen Werkstoffen

- 5 auftritt, können zudem Unstetigkeiten hinsichtlich der maßgeblichen Materialeigenschaften, wie Wärmeleitfähigkeit, Dichte, Druckfestigkeit oder Biegefestigkeit, zuverlässig vermieden werden. Daher ermöglicht die Erfindung einen einfach herzustellenden, selbsttragenden und hinsichtlich der maßgeblichen Materialparameter homogenen Wärmeisulationskörper, welcher aufgrund des Aufbaus aus
10 Einzelteilen leicht an unterschiedliche Anwendungsvorgaben, z.B. an unterschiedliche Ofengeometrien, angepasst werden kann.

Vorzugsweise werden die Einzelteile an den sich berührenden Fügeflächen in 5 der 6 orthogonal aufeinander stehenden Raumrichtungen zumindest formschlüssig zusammengehalten. Eine Bewegung in der 6. Raumrichtung wird vorzugsweise durch eine rein kraftschlüssige Verbindung gehemmt.
15

Um eine besonders hohe Stabilität des Wärmeisulationskörpers zu erzielen, ist es bevorzugt, dass alle Einzelteile, aus denen der Wärmeisulationskörper zusammengefügt ist, jeweils mindestens ein Verbindungselement aufweisen, wobei die
20 Verbindungselemente von jeweils mindestens zwei zusammengefügt Einzelteilen unter Ausbildung einer Hinterschneidung ineinandergreifen.

Vorzugsweise sind die Einzelteile ausschließlich mittels der Verbindungselemente
25 zusammengefügt, d.h. es werden keine Verklebungen, Verklammerungen oder dergleichen eingesetzt. Dadurch werden Fremdmaterialien in dem Wärmeisulationskörper vermieden, die zu unerwünschten Unstetigkeiten der Materialeigenschaften und zu Wärmeleitungsverlusten führen können.

30 Bevorzugt greifen die Verbindungselemente der wenigstens zwei zusammengefügt Einzelteile zusätzlich unter Ausbildung eines Presssitzes kraftschlüssig ineinander. Durch den Presssitz wird zusätzlich zu der formschlüssigen Verbindung auch eine kraftschlüssige Verbindung geschaffen, welche die Stabilität der Verbindung gegenüber einem unbeabsichtigten Trennen weiter erhöht. Eine sol-

5 che Kombination aus formschlüssiger und kraftschlüssiger Verbindung ergibt eine Fügung, welche selbst bei hoher thermischer und mechanischer Beanspruchung einen zuverlässigen und dauerhaften Zusammenhalt der betreffenden Einzelteile gewährleistet.

10 Die Verbindungselemente der wenigstens zwei zusammengefügt Einzelteile sind gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung direkt an die Einzelteile des Wärmeisulationskörpers angeformt. D.h. die Verbindungselemente bilden jeweils einen integralen Bestandteil des betreffenden Einzelteils des Wärmeisulationskörpers. Somit kann auf das kostspielige Anbringen zusätzlicher Bauteile ver-
15 zichtet werden. Außerdem ist die Festigkeit der Fügung besonders hoch, wenn zwischen den Einzelteilen und den zugehörigen Verbindungselementen eine stoffschlüssige Verbindung besteht.

Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist wenigstens eines der Einzelteile und sind bevorzugt alle Einzelteile einschließlich der Verbindungselemente aus einem homogenen und aus carbonisierten Fasern und/oder graphitierten Fasern zusammengesetzten Filz gefertigt. Derartige Filze weisen eine hohe Temperaturbeständigkeit und gleichzeitig eine hohe mechanische Festigkeit auf, so dass sie sich als Werkstoff für Wärmeisolierungen
20 in Hochtemperaturumgebungen in besonderer Weise eignen.

Weiterhin ist es bevorzugt, dass wenigstens eines der Einzelteile und bevorzugt alle Einzelteile einschließlich der Verbindungselemente aus jeweils dem gleichen Werkstoff, welcher bevorzugt ein aus carbonisierten Fasern und/oder graphitierten Fasern zusammengesetzter, insbesondere imprägnierter, Weichfilz oder ein aus carbonisierten Fasern und/oder graphitierten Fasern zusammengesetzter Hartfilz
30 ist, gefertigt ist/sind. Dadurch werden unerwünschte Unstetigkeiten hinsichtlich der Wärmeleitfähigkeit oder der Festigkeit vermieden und es ist sichergestellt, dass

- 5 über die Kontaktstellen zwischen zwei zusammengefügt Einzelteilen kein unerwünschter Wärmeverlust auftritt.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist wenigstens eines der Einzelteile und sind bevorzugt alle Einzelteile aus Filz mit
10 einer Dichte zwischen $0,01$ und $0,50 \text{ g/cm}^3$, bevorzugt zwischen $0,10$ und $0,25 \text{ g/cm}^3$ und besonders bevorzugt zwischen $0,13$ und $0,20 \text{ g/cm}^3$ gefertigt. Filze mit derartigen Eigenschaften haben sich als besonders günstig zur Herstellung von Wärmeisulationskörpern der vorstehend beschriebenen Art erwiesen.

- 15 Gemäß einer noch weiteren bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist wenigstens eines der Einzelteile und sind bevorzugt alle Einzelteile aus Filz mit einer Dicke zwischen 5 und 500 mm , bevorzugt zwischen 20 und 250 mm und besonders bevorzugt zwischen 40 und 120 mm gefertigt. Filze mit derartigen Eigenschaften haben sich als besonders günstig zur Herstellung von Wärmeisola-
20 tionskörpern der vorstehend beschriebenen Art erwiesen.

Weiterhin werden besonders gute Ergebnisse hinsichtlich der Stabilität und der Isolierwirkung erzielt, wenn wenigstens eines der Einzelteile und bevorzugt alle Einzelteile aus Filz gefertigt ist/sind, welcher aus carbonisierten Fasern und/oder
25 graphitierten Fasern zusammengesetzt ist, welche eine Länge von weniger als 10.000 mm , bevorzugt von weniger als 1.000 mm und besonders bevorzugt von weniger als 100 mm aufweisen.

In Weiterbildung des Erfindungsgedankens wird es vorgeschlagen, dass wenigstens eines der Einzelteile und bevorzugt alle Einzelteile aus Filz gefertigt ist/sind,
30 welcher ein kohlenstoffhaltiges Bindemittel enthält. Grundsätzlich können für diesen Zweck alle bekannten Bindemitteln eingesetzt werden, wobei insbesondere mit Bindemitteln gute Ergebnisse erhalten werden, welche aus der Gruppe ausgewählt sind, welche aus Phenolharzen, Pechen, Furanharzen, Phenylestern,

- 5 Epoxidharzen und beliebigen Mischungen von zwei oder mehr der vorgenannten Verbindungen besteht. Filze mit derartigen Bindemitteln stellen besonders günstige Werkstoffe für Isolierungen dar.

10 Weiterhin sieht eine vorteilhafte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung vor, dass wenigstens eines der Einzelteile und bevorzugt alle Einzelteile aus Filz gefertigt ist/sind, welcher eine gemäß der DIN 51936 gemessene Wärmeleitfähigkeit bei 2000°C von höchstens 1,5 W/(m·K) und bevorzugt von höchstens 0,8 W/(m·K) aufweist. Somit werden Wärmeleitungsverluste in Hochtemperaturanlagen in ausreichendem Maße verhindert.

15 Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung ist wenigstens eines der Einzelteile und sind bevorzugt alle Einzelteile des Wärmeisulationskörpers aus Filz gefertigt, welcher eine gemäß der DIN EN 658-3 gemessene Druckfestigkeit und/oder eine gemäß der DIN EN 658-2 und der
20 DIN 51910 gemessene Biegefestigkeit von mindestens 0,2 MPa, bevorzugt von mindestens 0,5 MPa und besonders bevorzugt von mindestens 0,8 MPa aufweist.

Desweiteren hat es sich im Rahmen der vorliegenden Erfindung als vorteilhaft erwiesen, den Wärmeisulationskörper als Hohlprofil und bevorzugt als Hohlzylinder
25 auszubilden. Ein solches Hohlprofil eignet sich in besonderem Maße zur Auskleidung der Heizkammer eines Hochtemperaturofens. Dabei wird die Heizkammer durch einen an ihren Innenwänden angeordneten hohlprofilartigen Wärmeisulationskörper gegenüber einem Wärmeverlust über die Innenwände geschützt. Hochtemperaturöfen weisen häufig eine zylindrische Heizkammer auf, welche
30 durch einen in der Größe passenden wärmeisolierenden Hohlzylinder leicht durch Einsetzen des Hohlzylinders, z.B. über eine obere Öffnung, isoliert werden kann.

Vorzugsweise sind die Einzelteile flächig ausgebildet und bilden eine Wandung des Hohlprofils, wobei die Hinterschneidung jeweils quer zu einer Flächennormale

5 der Wandung wirksam ist. Durch die quer zu der Flächennormale wirksame Hinterschneidung wird ein "Auseinanderreißen" der Wandung zuverlässig vermieden. Besonders bevorzugt ist die Hinterschneidung ausschließlich quer zu der Flächennormale der Wandung wirksam. Dies eröffnet die Möglichkeit, die jeweiligen Einzelteile in einer Richtung, in welcher die Hinterschneidung nicht wirksam ist,
10 zusammenzuführen oder zusammenzustecken, wodurch die Montage vereinfacht wird.

Ferner wird es in Weiterbildung des Erfindungsgedankens vorgeschlagen, wenigstens zwei der Einzelteile und bevorzugt alle Einzelteile des Wärmeisulationskörpers mittels formschlüssig Schwalbenschwanzverbindungen zusammenzufügen.
15 Schwalbenschwanzverbindungen können aufgrund der schrägen Flanken eines Zinkens eine kraftverstärkende Keilwirkung entfalten und bieten daher eine vergleichsweise hohe Festigkeit. Insbesondere können sie sowohl Querkräfte als auch Zugkräfte übertragen.

20 Der Öffnungswinkel der Schwalbenschwanzverbindungen kann hierbei jeweils zwischen 5° und 85° , bevorzugt zwischen 15° und 75° und besonders bevorzugt zwischen 30° und 60° betragen. Derartige Öffnungswinkel haben sich als besonders günstig hinsichtlich der Verbindungsfestigkeit erwiesen.

25 Gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung sind die Verbindungselemente als längliche Nuten und in diese passende Federn ausgeführt, welche zur Bildung der Hinterschneidung jeweils zueinander geneigte Flanken aufweisen. Durch das Vorsehen geneigter Flanken kann eine lediglich zur Aufnahme von Querkräften geeignete "Nut-und-Feder"-Verbindung zu einer schwalbenschwanzähnlichen Verbindung mit Hinterschneidung erweitert werden, welche
30 sowohl Querkräfte als auch Zugkräfte aufnimmt.

- 5 In Weiterbildung des Erfindungsgedankens wird vorgeschlagen, dass der Winkel zwischen zwei gegenüberliegenden geneigten Flanken einer Feder bzw. einer Nut zwischen 15° und 30° und besonders bevorzugt zwischen 20° und 24° beträgt. Hierdurch lassen sich besonders stabile Verbindungen schaffen.
- 10 Weiterhin beträgt das Verhältnis der Breite einer Feder zur Breite des zugehörigen Einzelteils bevorzugt zwischen 1:1,5 und 1:5 und besonders bevorzugt zwischen 1:2 und 1:3. Diese Ausgestaltung ist besonders günstig hinsichtlich der thermischen und mechanischen Eigenschaften des gefertigten Wärmeisolationskörpers.
- 15 Eine weitere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung sieht vor, dass die Nuten und die Federn in Längsrichtung gesehen abschnittsweise keine Hinterschneidung und vorzugsweise auch keinen Pressitz bilden. Die Einzelteile können dann so zueinander versetzt zusammengeführt werden, dass die Hinterschneidungen gewissermaßen umgangen werden und erst bei einem Zurückversetzen
- 20 der Einzelteile in zusammengeführtem Zustand wirksam werden. Hierdurch ist eine besonders einfache Montage möglich, denn die Wege, welche die beiden zu montierenden Teile relativ zueinander zurücklegen müssen, sind beträchtlich verkürzt. Besonders vorteilhaft ist das abschnittsweise Weglassen der Hinterschneidung bei einem zusätzlichen Einsatz einer Presspassung, durch deren Kraft-
- 25 schluss eine zusätzliche Hemmwirkung erzeugt wird. Hier bewirken die verkürzten Wege auch einen verminderten Abrieb innerhalb der Presspassung.

Die Nuten und die Federn definieren hierbei bevorzugt in regelmäßigen Abständen Bereiche ohne Hinterschneidung und vorzugsweise auch ohne Pressitz. Bei-

30 spielsweise können entlang einer Einzelteilseite gesehen alle 150 mm bis 250 mm Bereiche ohne Hinterschneidung und vorzugsweise auch ohne Pressitz vorgesehen sein.

- 5 Der Wärmeisulationskörper kann eine Längsachse definieren und aus mehreren Reihen von entlang der Längsachse hintereinander angeordneten Einzelteilen zusammengesetzt sein, wobei die Fügeflächen zweier benachbarter Reihen bezogen auf die Längsachse zueinander versetzt sind, und vorzugsweise um eine halbe Einzelteillänge zueinander versetzt sind. Hierdurch ergibt sich ein stabiler
- 10 Verband der Einzelteile ähnlich einem Mauerwerksverband mit versetzten Steinen. Im Prinzip können auf diese Weise beliebig lange Hohlprofile oder Rohre aufgebaut werden.

- Vorzugsweise sind die Einzelteile einer Reihe ohne Ausbildung einer Hinterschneidung zusammengefügt. Dies erleichtert das Zusammenführen der Einzelteile im Rahmen der Montage.
- 15

- Aus Gründen der einfacheren Fertigung und Handhabung sowie zur Erhöhung der mechanischen Stabilität hat es sich als vorteilhaft erwiesen, die Kanten zwischen vorspringenden und zurückversetzten Abschnitten jedes der Verbindungselemente abgerundet auszuführen, wobei vorzugsweise der Krümmungsradius der abgerundeten Kanten zwischen 1 mm und 10 mm und bevorzugt zwischen 3 mm und 7 mm beträgt.
- 20

- 25 Weiterhin ist es bevorzugt, dass die Einzelteile als Platten ausgebildet sind, wobei die Verbindungselemente zumindest an zwei entgegengesetzten Schmalseiten und vorzugsweise an allen vier Schmalseiten jeder Platte vorgesehen sind. Das Vorsehen von Verbindungselementen ausschließlich an zwei entgegengesetzten Schmalseiten jeder Platte ermöglicht hierbei eine besonders einfache Herstellung.

30

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung sind die Platten eben, wobei sich die Fügeflächen rechtwinklig zu den Flachseiten der Platten erstrecken. Dies kommt insbesondere dem Aufbau von ausgedehnten

- 5 wandartigen Strukturen entgegen, wie sie bei Wärmeisulationskörpern häufig erforderlich sind.

Gemäß einer alternativen Ausführungsform der Erfindung sind die Platten ebenfalls eben, die Fügeflächen erstrecken sich jedoch in einer Ebene, welche mit den
10 Flachseiten der Platten einen Winkel zwischen 1° und 85° , bevorzugt zwischen 30° und 75° , und besonders bevorzugt 45° , einschließt. Dadurch können beispielsweise auf einfache Weise Hohlprofile mit einem polygonalen Querschnitt aufgebaut werden. Durch solche Hohlprofile mit polygonalem Querschnitt können insbesondere auch komplexere, gekrümmte Profilstrukturen angenähert werden, um
15 so den Umstand auszunutzen, dass ebene Einzelteile leichter herzustellen sind und flexibler einsetzbar sind als gekrümmte Einzelteile.

Die Fügeflächen der flächig ausgebildeten Einzelteile können auch in Richtung der Flächennormale gesehen zumindest eine Stufe ausbilden. Durch eine solche
20 gestufte Ausführung der Fügefläche, an welcher zwei Einzelteile zusammengefügt sind, kann die Isolierwirkung und die Festigkeit des Wärmeisolierkörpers weiter gesteigert werden.

Als besonders günstig hat sich dabei eine Ausführungsform erwiesen, bei welcher
25 die Fügeflächen jeweils in Richtung der Flächennormale gesehen durch die Stufe oder durch die mehreren Stufen in gleich breite Fügezonen aufgeteilt sind.

Es können auch in zumindest einer der Fügezonen einer bestimmten Fügefläche keine Verbindungselemente vorgesehen sein. In diesem Fall ist es bevorzugt,
30 dass in Richtung der Flächennormale gesehen die Breite der Fügezone oder der mehreren Fügezonen, in welchen Verbindungselemente vorgesehen sind, zu der Breite der Fügezone oder der mehreren Fügezonen, in welchen keine Verbindungselemente vorgesehen sind, mindestens 1:1 und bevorzugt 2:1 oder 3:1 beträgt. Somit weist z.B. die verzahnte Fügezone bezogen auf die Bauteildicke

- 5 bevorzugt eine größere Ausdehnung auf als die unverzahnte Fügezone, sodass eine ausreichende Stabilität sichergestellt ist.

Ein weiterer Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zum Herstellen eines Wärmeisulationskörpers und insbesondere eines Wärmeisulationskörpers der vorstehend beschriebenen Art. Erfindungsgemäß werden wenigstens
10 zwei Einzelteile aus einem carbonisierte Fasern und/oder graphitierte Fasern umfassenden Werkstoff bereitgestellt, wobei an wenigstens zwei zusammenzufügenden Einzelteilen jeweils mindestens ein Verbindungselement für einen formschlüssigen Eingriff unter Ausbildung einer Hinterschneidung vorgesehen sind.
15 Die Einzelteile werden dann zu einem Wärmeisulationskörper zusammengefügt, indem die Verbindungselemente ineinander gesteckt werden. Durch das Ineinanderstecken der Einzelteile bildet sich eine formschlüssige Verbindung mit Hinterschneidung, welche ein unbeabsichtigtes Trennen der beiden Einzelteile während des späteren Einsatzes des Wärmeisulationskörpers zuverlässig verhindert. Die
20 Verbindung kann optional mit einem kraftschlüssigen Presssitz unterstützt werden.

Vorzugsweise werden die Verbindungselemente durch Bearbeiten der Oberfläche von Einzelteil-Rohlingen aus einem homogenen Filzmaterial, bevorzugt aus, insbesondere imprägniertem, Weichfilz oder aus Hartfilz, erzeugt. Die Bearbeitung
25 kann beispielsweise mittels Schleifen, Fräsen, Sägen, Bohren oder Schneiden erfolgen. Bei dieser Art des Vorgehens ist es nicht notwendig, separate Verbindungselemente herzustellen und an den Einzelteilen anzubringen, sodass die Herstellung des Wärmeisulationskörpers vereinfacht ist. Darüber hinaus ergibt sich gewissermaßen automatisch eine Vermeidung von Fremdmaterialien und
30 somit ein besonders gleichmäßiges Wärmeleitungsverhalten des Wärmeisulationskörpers.

Bevorzugt wird bei dem Bereitstellen der Einzelteile an den Verbindungselementen ein Übermaß für einen Presssitz vorgesehen, welches bevorzugt höchstens

5 0,5 mm, besonders bevorzugt höchstens 0,25 mm, und am meisten bevorzugt zwischen 0,01 mm und 0,2 mm, beträgt. Der Presssitz schafft zusätzlich zu der vorhandenen formschlüssigen Verbindung eine kraftschlüssige Verbindung, welche nicht nur die mechanische Festigkeit erhöht, sondern auch eine gleichmäßige Wärmeleitfähigkeit im Bereich der Fügefläche gewährleistet.

10

In Weiterbildung des Erfindungsgedankens wird es vorgeschlagen, bei dem Zusammenfügen jeweils zwei Einzelteile entlang einer ersten Fügerichtung gleitend zusammenzustecken und danach entlang einer von der ersten Fügerichtung verschiedenen zweiten Fügerichtung derart gegeneinander zu verschieben, dass sich
15 an den Verbindungselementen eine entlang der ersten Fügerichtung wirksame Hinterschneidung bildet. Dies erleichtert den Zusammenbau des Wärmeisolationkörpers, da das Zusammenführen der Einzelteile ohne übermäßigen Kraftaufwand erfolgen kann.

20 Nachfolgend wird die Erfindung anhand von einem diese erläuternden, diese aber nicht einschränkenden Beispiel unter Bezugnahme auf die Zeichnungen weiter beschrieben.

Fig. 1A ist eine perspektivische Ansicht eines Wärmeisolationkörpers gemäß
25 einer ersten Ausführungsform der Erfindung.

Fig. 1B ist eine Seitenansicht des Wärmeisolationkörpers gemäß Fig. 1A.

Fig. 2 ist eine perspektivische Ansicht eines Wärmeisolationkörpers gemäß
30 einer zweiten Ausführungsform der Erfindung.

Fig. 3 ist eine perspektivische Ansicht eines Wärmeisolationkörpers gemäß einer dritten Ausführungsform der Erfindung.

5 Fig. 4A ist eine perspektivische Ansicht eines Einzelteils eines Wärmeisolationkörpers gemäß einer vierten Ausführungsform der Erfindung.

Fig. 4B zeigt mehrere zusammengefügte Einzelteile gemäß Fig. 4A.

10 Fig. 5A ist eine perspektivische Ansicht eines Einzelteils eines Wärmeisolationkörpers gemäß einer fünften Ausführungsform der Erfindung.

Fig. 5B zeigt mehrere zusammengefügte Einzelteile gemäß Fig. 5A.

15 Gemäß Fig. 1A und 1B dient ein hohlzylindrischer, eine Zylinderlängsachse L aufweisender Wärmeisulationskörper 11 dazu, in einer Hochtemperaturanlage Wärmeverluste zu minimieren. Der Wärmeisulationskörper 11 ist aus mehreren Einzelteilen 13 aus jeweils einem Hartfilz auf Basis von carbonisierten Fasern gefertigt. Beispielsweise weist der Hartfilz eine Dichte von $0,2 \text{ g/cm}^3$, eine Druckfestigkeit von 1 MPa, eine Biegefestigkeit von 1 MPa und eine Wärmeleitfähigkeit in radialer Richtung bei 2000° C von $0,8 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ auf.

20

Die in Fig. 1A und 1B dargestellte erste Ausführungsform der Erfindung sieht vor, dass an den radialen Stirnseiten 14 der Einzelteile bzw. Zylindersegmente 13

25 Verbindungselemente 17 in Form von Schwalbenschwanzverzahnungen vorgesehen sind, welche unter Ausbildung einer Hinterschneidung 19 formschlüssig ineinandergreifen. An den axialen Stirnseiten 16 der Zylindersegmente sind hingegen keine Schwalbenschwanzverzahnungen 17 vorgesehen.

30 Zum Herstellen der Schwalbenschwanzverzahnungen 17 werden die Zylindersegmente 13 vorzugsweise nach dem Härten und thermischem Behandeln, wie Carbonisieren und gegebenenfalls Graphitieren, des Filzmaterials an den entsprechenden gegenüberliegenden Stirnseiten 14 mechanisch bearbeitet. Die Schwalbenschwanzverzahnungen 17 sind also direkt an die Zylindersegmente 13 ange-

5 formt. Bei der Bearbeitung wird an den entsprechenden Flächen ein geometrisches Übermaß von 0,01 mm bis 0,2 mm vorgesehen. Nach Abschluss der Bearbeitung werden die Zylindersegmente 13 in einer rechtwinklig zur Zylinderlängsachse L verlaufenden Fügerichtung F1 zusammengeführt, wobei die Schwalbenschwanzverzahnungen 17 in Eingriff gelangen. Hierbei bilden die geneigten Flanken 21 der Schwalbenschwanzverzahnungen 17 eine in Umfangsrichtung wirksame Hinterschneidung 19, welche ein Lösen der Zylindersegmente 13 sicher verhindert. Aufgrund des bei der Bearbeitung vorgesehenen Übermaßes wird zusätzlich eine Presspassung erzeugt, welche mit der Hinterschneidung 19 zusammenwirkt. Es hat sich überraschend gezeigt, dass eine derartige Fügung die gleiche
10 Wärmeleitfähigkeit aufweist wie das restliche Filzmaterial der Zylindersegmente 13. Somit entsteht durch die Kombination aus formschlüssiger und kraftschlüssiger Verbindung eine besonders zuverlässige Fügung, welche auch unter den hohen thermischen und mechanischen Anforderungen in einer Hochtemperaturanlage eine gleichbleibend hohe Stabilität des Wärmeisulationskörpers 11 gewährleistet. Da die Fügung außerdem aus dem gleichen Werkstoff besteht wie das Bauteil an sich, werden unerwünschte Unstetigkeiten in den Werkstoffeigenschaften, wie z.B. der Wärmeleitfähigkeit oder der Biegefestigkeit, vermieden. Durch die einstückige Ausbildung von Zylindersegment 13 und Schwalbenschwanzverzahnung 17 werden außerdem die Herstellungs- und Lagerkosten gesenkt. Darüber
20 hinaus wird die Ausdehnung der Fügeflächen 15 gering gehalten.

Der hohlzylindrische Wärmeisulationskörper 11 ist wie in den Fig. 1A und 1B dargestellt aus mehreren Reihen 23 von entlang der Zylinderlängsachse L hintereinander angeordneten Zylindersegmenten 13 zusammengesetzt, wobei die Fügeflächen 15 zweier benachbarter Reihen 23 um eine halbe Segmentlänge axial zueinander versetzt sind. Hierdurch können auf einfache Weise rohrartige Wärmeisulationskörper 11 in beliebiger Länge aufgebaut werden.
30

- 5 Die Schwalbenschwanzverzahnungen 17 weisen bevorzugt einen Öffnungswinkel zwischen 30° und 60° auf. Weiterhin hat sich eine gleichmäßige Verteilung der Schwalbenschwanzverzahnungen 17 auf die beiden betreffenden Zylindersegmente 13 als vorteilhaft erwiesen.
- 10 Die Kanten 25 zwischen vorspringenden und zurückversetzten Abschnitten der Schwalbenschwanzverzahnungen 17 sind mit einem Krümmungsradius von 5 mm abgerundet ausgeführt, was in den Darstellungen von Fig. 1A und 1B jedoch nicht sichtbar ist.
- 15 Mit den vorstehend beschriebenen Schwalbenschwanzverzahnungen 17 lassen sich anstelle von Zylindersegmenten 13 auch plattenartige ebene Einzelteile 13' miteinander verbinden, um so einen plattenartigen ebenen Wärmeisulationskörper 11' zu erhalten. Zwei solchermaßen miteinander verbundene ebene Einzelteile 13' sind in der Fig. 2 dargestellt. Ein weiterer Unterschied zu der Ausführungsform gemäß den Fig. 1A und 1B besteht hierbei darin, dass die Fügeflächen 15' gestuft ausgeführt sind, d.h. durch eine Stufe 27 in zwei gleich breite Fügezonen 28, 29 aufgeteilt sind. Bei dem in der Fig. 2 dargestellten Ausführungsbeispiel sind lediglich in einer der beiden Fügezonen 28, 29 Schwalbenschwanzverzahnungen 17 vorgesehen. Alternativ könnten auch in beiden Fügezonen 28, 29 Schwalbenschwanzverzahnungen 17 vorgesehen sein.
- 20
- 25

Sollte die jeweilige Anwendung eine komplexere Geometrie vorgeben, so können auch ebene Einzelteile 13' gemäß der Fig. 2 mit Zylindersegmenten 13 gemäß den Fig. 1A und 1B kombiniert werden. Weiterhin können auch komplex geformte, beliebig gekrümmte Einzelteile bereitgestellt und mit Zylindersegmenten 13 bzw. ebenen Einzelteilen 13' in geeigneter Weise kombiniert werden.

30

Fig. 3 zeigt eine Ausführungsform der Erfindung, bei der anstelle von Schwalbenschwanzverbindungen 17 Nut-und-Feder-Verbindungen 17' vorgesehen sind.

5 Konkret sind längliche, sich über die gesamte Fügefläche 15 erstreckende Nuten 30 und in diese passende Federn 31 vorgesehen, wobei zur Bildung einer Hinterschneidung 19 die Flanken 21 der Nuten 30 und der Federn 31 jeweils gemäß einem Öffnungswinkel von 20° bis 24° zueinander geneigt sind. Die dadurch gebildete Hinterschneidung 19 verhindert ebenso wie bei der Ausführungsform gemäß der Fig. 2 ein Trennen der ebenen Einzelteile 13'. Beim Herstellen der Nuten 30 und der Federn 31 wird jeweils ein Übermaß von 0,01 mm bis 0,2 mm vorgesehen, wodurch sich beim Zusammenführen der ebenen Einzelteile 13' entlang der Fügerichtung F1 eine Presspassung ergibt. Diese ergänzt sich mit der Hinterschneidung 19 zu einer stabilen und wärmeisolierenden Fügung. Vorzugsweise beträgt das Verhältnis der Breite einer Feder 31 zu der Dicke des zugehörigen ebenen Einzelteils 13' zwischen 1:2 und 1:3.

Die Hinterschneidung 19 ist in regelmäßigen Abständen unterbrochen, d.h. die Nuten 30 und die Federn 31 weisen abwechselnd Bereiche 33 mit Hinterschneidung und Bereiche 34 ohne Hinterschneidung auf. Bei der Montage können daher jeweils zwei Einzelteile 13' derart zueinander versetzt angeordnet werden, dass zwei Bereiche 34 ohne Hinterschneidung aufeinandertreffen. Bei dieser Anordnung ist ein gleitendes Zusammenführen der Einzelteile 13' entlang einer ersten Fügerichtung F1 möglich, wobei die Fügeflächen 15 zunächst lose aufeinander zu liegen kommen. Durch anschließendes paralleles Verschieben der Einzelteile 13' entlang einer rechtwinklig zu der ersten Fügerichtung F1 verlaufenden zweiten Fügerichtung F2 gelangen die Hinterschneidungen 19 in Eingriff, sodass sich wiederum eine Kombination aus formschlüssiger und kraftschlüssiger Verbindung zwischen den betreffenden Einzelteilen 13' ergibt.

30

Bei der in den Fig. 4A und Fig. 4B gezeigten weiteren Ausführungsform der Erfindung sind wie bei der Ausführungsform gemäß Fig. 3 längliche Nuten 30 und zugehörige Federn 31 an gegenüberliegenden Stirnseiten eines jeweiligen ebenen Einzelteils 13' vorgesehen. Auch hier ist die Hinterschneidung 19 in regelmäßigen

- 5 Abständen unterbrochen, d.h. die Nuten 30 und die Federn 31 weisen abwechselnd Bereiche 33 mit Hinterschneidung und Bereiche 34 ohne Hinterschneidung auf.

Wie in der Fig. 4A erkennbar ist, erstrecken sich diejenigen Fügeflächen 15, in
10 welchen eine Nut 30 ausgebildet ist, in einer rechtwinklig zu der Plattenebene weisenden Ebene. Diejenigen Fügeflächen 15, welche eine Feder 31 aufweisen, schließen jedoch mit der Plattenebene einen Winkel zwischen 1° und 85° ein. Dadurch lassen sich leicht Hohlprofile aus ebenen Einzelteilen 13' aufbauen, wie in der Fig. 4B verdeutlicht ist. Als günstig hat sich bei einer solchen Herstellung
15 geschlossener Profile, wie Rohre und Zylinder, eine gerade Zahl von Einzelteilen 13' herausgestellt. Dadurch ist insbesondere einerseits eine symmetrische Verlängerung gleicher mechanischer Belastbarkeit möglich, andererseits lassen sich auch zunächst zwei Halbschalen aus Einzelelementen aufbauen, die in einem abschließenden Fügeprozess durch Verschieben entlang einer Ebene miteinander
20 verbunden werden.

Bei der in den Fig. 5A und Fig. 5B gezeigten weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung sind wie bei den Ausführungsformen gemäß den Fig. 3, 4A und 4B längliche Nuten 30 und zugehörige Federn 31 an gegenüberliegenden Stirnseiten eines jeweiligen Einzelteils 13' vorgesehen. Wiederum ist die Hinterschneidung 19 in regelmäßigen Abständen unterbrochen, d.h. die Nuten 30 und die
25 Federn 31 weisen abwechselnd Bereiche 33 mit Hinterschneidung und Bereiche 34 ohne Hinterschneidung auf. Die Einzelteile 13 weisen bei dieser Ausführungsform jedoch eine zylindrische Krümmung auf, welche das Zusammensetzen mehrerer Einzelteile 13 zu einem hohlzylindrischen Bauteil wie in Fig. 5B dargestellt
30 ermöglicht.

5

Bezugszeichenliste:

	11, 11'	Wärmeisulationskörper
	13, 13'	Einzelteil/Zylindersegment
10	14	radiale Stirnseite
	15, 15'	Fügefläche
	16	axiale Stirnseite
	17, 17'	Verbindungselement
	19	Hinterschneidung
15	21	Flanke
	23	Reihe
	25	Kante
	27	Stufe
	28	erste Fügezone
20	29	zweite Fügezone
	30	Nut
	31	Feder
	33	Bereich mit Hinterschneidung
	34	Bereich ohne Hinterschneidung
25		
	L	Zylinderlängsachse
	F1	erste Füge-richtung
	F2	zweite Füge-richtung

30

5

Patentansprüche:

1. Wärmeisulationskörper (11, 11') aus einem carbonisierte Fasern und/oder
10 graphitierte Fasern umfassenden Werkstoff, insbesondere zum Auskleiden
eines Hochtemperaturofens, wobei der Wärmeisulationskörper (11, 11') aus
wenigstens zwei Einzelteilen (13, 13') zusammengefügt ist, wobei wenigstens
zwei zusammengefügte Einzelteile (13, 13') jeweils mindestens ein
15 Verbindungselement (17, 17') aufweisen und die Verbindungselemente (17,
17') der wenigstens zwei zusammengefügten Einzelteile (13, 13') unter
Ausbildung einer Hinterschneidung (19) formschlüssig ineinandergreifen.
2. Wärmeisulationskörper nach Anspruch 1,
dadurch g e k e n n z e i c h n e t , dass
20 die Verbindungselemente (17, 17') der wenigstens zwei zusammengefügten
Einzelteile (13, 13') zusätzlich unter Ausbildung eines Presssitzes kraft-
schlüssig ineinandergreifen.
3. Wärmeisulationskörper nach Anspruch 1 oder 2,
25 dadurch g e k e n n z e i c h n e t , dass
die Verbindungselemente (17, 17') der wenigstens zwei zusammengefügten
Einzelteile (13, 13') direkt an die Einzelteile (13, 13') des Wärmeisulations-
körpers (11, 11') angeformt sind.
- 30 4. Wärmeisulationskörper nach zumindest einem der vorstehenden Ansprü-
che,
dadurch g e k e n n z e i c h n e t , dass
wenigstens eines der Einzelteile (13, 13') und bevorzugt alle Einzelteile (13,
13') einschließlich der Verbindungselemente (17, 17') aus einem homoge-

- 5 nen und aus carbonisierten Fasern und/oder graphitierten Fasern zusammen-
 gesetzten Filz gefertigt ist/sind.
5. Wärmeisulationskörper nach Anspruch 4,
 dadurch g e k e n n z e i c h n e t , dass
10 wenigstens eines der Einzelteile (13, 13') und bevorzugt alle Einzelteile (13,
 13') einschließlich der Verbindungselemente (17, 17') aus jeweils dem glei-
 chen Werkstoff, welcher bevorzugt ein aus carbonisierten Fasern und/oder
 graphitierten Fasern zusammengesetzter, insbesondere imprägnierter,
 Weichfilz oder ein aus carbonisierten Fasern und/oder graphitierten Fasern
15 zusammengesetzter Hartfilz ist, gefertigt ist/sind.
6. Wärmeisulationskörper nach zumindest einem der vorstehenden Ansprü-
 che,
 dadurch g e k e n n z e i c h n e t , dass
20 der Wärmeisulationskörper (11) als Hohlprofil und bevorzugt als Hohlzylin-
 der ausgebildet ist.
7. Wärmeisulationskörper nach Anspruch 6,
 dadurch g e k e n n z e i c h n e t , dass
25 die Einzelteile (13, 13') flächig ausgebildet sind und eine Wandung des
 Hohlprofils bilden, wobei die Hinterschneidung (19) jeweils quer zu einer
 Flächennormale der Wandung wirksam ist.
8. Wärmeisulationskörper nach zumindest einem der vorstehenden Ansprü-
30 che,
 dadurch g e k e n n z e i c h n e t , dass
 wenigstens zwei der Einzelteile (13, 13') und bevorzugt alle Einzelteile (13,
 13') mittels Schwalbenschwanzverbindungen zusammengefügt sind.

- 5 9. Wärmeisulationskörper nach zumindest einem der vorstehenden Ansprüche,
dadurch g e k e n n z e i c h n e t , dass
die Verbindungselemente als längliche Nuten (30) und in diese passende
Federn (31) ausgeführt sind, welche zur Bildung der Hinterschneidung (19)
10 jeweils zueinander geneigte Flanken (21) aufweisen.
10. Wärmeisulationskörper nach Anspruch 9,
dadurch g e k e n n z e i c h n e t , dass
die Nuten (30) und die Federn (31) in Längsrichtung gesehen abschnitts-
15 weise keine Hinterschneidung und vorzugsweise auch keinen Pressitz bilden.
11. Wärmeisulationskörper nach zumindest einem der vorstehenden Ansprüche,
20 dadurch g e k e n n z e i c h n e t , dass
die Einzelteile (13, 13') als Platten ausgebildet sind, wobei die Verbindungselemente (17, 17') zumindest an zwei entgegengesetzten Schmalseiten (14) und vorzugsweise an allen vier Schmalseiten jeder Platte vorgesehen sind.
- 25 12. Wärmeisulationskörper nach zumindest einem der vorstehenden Ansprüche,
dadurch g e k e n n z e i c h n e t , dass
die Fügeflächen (15, 15') der flächig ausgebildeten Einzelteile (13, 13') in
30 Richtung der Flächennormale gesehen zumindest eine Stufe (27) ausbilden.

- 5 13. Verfahren zum Herstellen eines Wärmeisulationskörpers (11, 11'), insbesondere eines Wärmeisulationskörpers nach zumindest einem der vorstehenden Ansprüche, umfassend die nachfolgenden Schritte:
- Bereitstellen von wenigstens zwei Einzelteilen (13, 13') aus einem carbonisierte Fasern und/oder graphitierte Fasern umfassenden
10 Werkstoff , wobei an wenigstens zwei zusammenzufügenden Einzelteilen (13, 13') jeweils mindestens ein Verbindungselement (17, 17') für einen formschlüssigen Eingriff unter Ausbildung einer Hinterschneidung (19) vorgesehen sind, und
 - Zusammenfügen der Einzelteile (13, 13') zu einem Wärmeisulationskörper (11, 11'), indem die Verbindungselemente (17, 17') ineinandergesteckt werden.
15
14. Verfahren nach Anspruch 13,
dadurch g e k e n n z e i c h n e t , dass
20 die Verbindungselemente (17, 17') durch Bearbeiten der Oberfläche von Einzelteil-Rohlingen aus einem homogenen Filzmaterial, bevorzugt aus, insbesondere imprägnierten, Weichfilz oder aus Hartfilz, erzeugt werden.
15. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14,
25 dadurch g e k e n n z e i c h n e t , dass
bei dem Bereitstellen der Einzelteile (13, 13') an den Verbindungselementen (17, 17') ein Übermaß für einen Presssitz vorgesehen wird, welches bevorzugt höchstens 0,5 mm, besonders bevorzugt höchstens 0,25 mm und am meisten bevorzugt zwischen 0,01 mm und 0,2 mm beträgt.
30