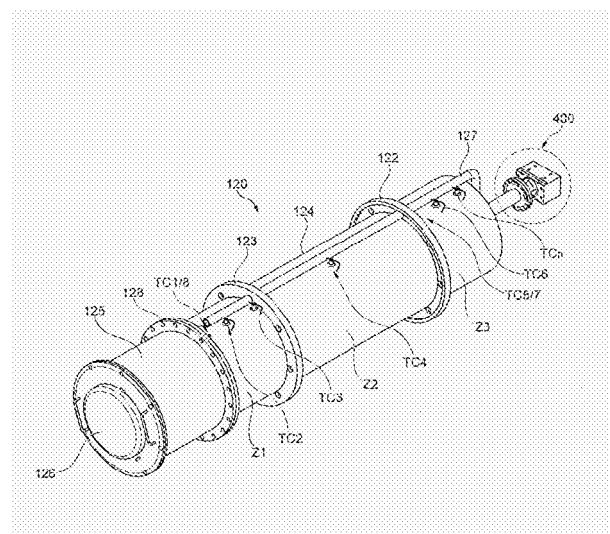


(11) CH 714 908 A1

(51) Int. Cl.: **C23C 10/28** (2006.01)
C23C 10/34 (2006.01)
C23C 10/02 (2006.01)
C23C 10/60 (2006.01)

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) **PATENTANMELDUNG**



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung betrifft eine Anlage zur Durchführung eines Verfahrens und ein Verfahren zum Betrieb einer solchen Anlage für die Aufbringung einer durch einen Thermodiffusionsprozess erstellten Oberflächenbeschichtung auf Substrate. Dabei bestehen solche Substrate teilweise oder ganz aus metallischen, nichtmetallischen, intermetallischen Werkstoffen sowie aus Nichteisenmetalle.

[0002] Wenn hier von Substraten die Rede ist, so werden im Folgenden sowohl Kleinteile, Schüttgut, als auch grössere Produktteile verstanden.

[0003] Die hier durch die zugrundeliegende Vorrichtung durchgeführte Thermodiffusion ist indessen grundsätzlich auf alle Substrate anwendbar, welche sowohl eine metallische, nichtmetallische, als auch eine intermetallische Oberfläche aufweisen, sowie aus Nichteisenmetalle bestehen. Die spezifische Ladung der zu behandelnden Substrate hängt von der Grösse des zur Anlage gehörenden Reaktors, in welchem die gezielte thermische Reaktion zur Durchführung der Thermodiffusion stattfindet.

[0004] Der Betrieb des Reaktors hinsichtlich der physikalischen Werte wird in Abhängigkeit zu dessen Ladung mit einer Steuerung/Regelung durchgeführt. Wenn hier von einer Ladung die Rede ist, so betrifft dies nicht nur die Menge und Art der zu behandelnden Substrate, sondern auch jene zugegebenen Verfahrensmaterialien und anderen komplementären Elemente, auch Verfahrensmaterialien genannt, welche für die Umsetzung der Thermodiffusion, also für die Bildung der Oberflächenbeschichtung, unabdingbar sind.

[0005] Der Betriebsprozess im Reaktor zur Bildung einer Thermodiffusion findet unter Zugrundelegung verschiedener physikalischer Vorgänge statt, wobei im Vordergrund die Bildung einer Dampfphase steht, welche aus den zugegebenen Verfahrensmaterialien gebildet wird, welche wiederum in quantitativer und qualitativer Hinsicht die zugrunde gelegte Thermodiffusion ermöglichen.

[0006] Insbesondere geht es hier um den eigentlichen Betrieb des Reaktors und dessen Einbindung in das durch die Anlage charakterisierte System, wobei der Prozess zur Aufbringung von definierten metallischen Oberflächenbeschichtungen auf die Substrate in einer zum Reaktor gehörenden Prozesskammer, in welcher die Dampfphasenabscheidung (Sublimation) stattfindet, dies gemäss den Ansprüchen.

[0007] Die Erfindung betrifft demnach nicht nur den für die Thermodiffusion zentral wirksamen Reaktor, sondern auch jene komplementären Aggregate, welche prozessrelevant für den Betrieb der ganzen Anlage sind.

[0008] Die Erfindung betrifft demnach:

- a) Die körperliche und geometrische Ausbildung eines Reaktors;
- b) den Betrieb eines Reaktors, insbesondere unter den Aspekten der vorgenommenen thermischen Aufbereitung, welche wiederum in Wirkverbindung mit der Ladung steht;
- c) die wesentlichen Aggregate der gesamten Anlage, worin der Reaktor die zentrale Rolle schlechthin verkörpert;
- d) den Betrieb der wesentlichen Aggregate, soweit sie für die Erfindung relevant sind.

Technische Aspekte der Erfindung

[0009] Unter «Thermodiffusion» oder «Thermophorese» wird speziell die Entmischung (oder auch der Stofftransport) von Gasen oder Flüssigkeiten innerhalb eines Temperaturgefälles bezeichnet, wobei die grösseren Moleküle bevorzugt zu Stellen tieferer Temperatur wandern.

[0010] Im Falle geladener Teilchen treten neben der eigentlichen Entmischung zusätzliche thermoelektrische Effekte (Seebeck-Effekt) auf. Diese kinetische Wechselwirkung von Teilchen- und Wärmefluss ist ein mikroskopisches Phänomen, das von der Wissenschaft noch nicht abschliessend in allen Belangen geklärt werden konnte, weshalb hier auf eine theoretische Darlegung dieses Phänomens zu Recht verzichtet wird. Indessen, phänomenologisch lassen sich diese Überlagerungserscheinungen im Rahmen der linearen irreversiblen Thermodynamik durch das Auftreten von Nicht-diagonalelementen in einer Transport-Koeffizienten-Matrix beschreiben.

[0011] Die Übertragung durch Diffusion von metallischen Elementen in einem realen Festkörper (z.B. Gussbauteil) durch Temperaturgradienten ist nicht direkt möglich. Sie hängt stark von der kristallografischen Gefüge-Ordnung (Ionenbindung oder kovalente, metallische Bindung), Dichtegradienten und Fehlordnungen (Korngrenzen, Seigerungen (Entmischung), Poren, etc.) ab. In jedem Fall ist bei der Thermodiffusion ein Temperatur/Zeit-Verlaufsgradient als treibende Kraft dieses Vorganges notwendig. Das Phasensystem strebt dabei immer, von einem Zustand hoher Enthalpie zu einem Zustand niedriger Enthalpie zu wandern.

[0012] Davon ist das sogenannte «Sherardisieren» zu unterscheiden. Bei diesem Beschichtungsverfahren wird im Prinzip (beispielsweise) nur metallisches Zink aus der Dampfphase auf die Oberfläche des Substrats abgeschieden, was mit Abwandlungen auch auf die hier beschriebene Thermodiffusion angewandt werden kann.

[0013] Die physikalischen Grundlagen zur Thermodiffusion wurden durch Thomas Graham/ Baptist Fourier und die theoretischen Herleitungen durch Adolf Fick und Albert Einstein in Flüssigkeiten erarbeitet. Dabei stellte sich heraus, dass es eine direkte Beziehung zwischen der Wanderung der Moleküle im Gradienten, den sogenannten Diffusionskoeffizienten, gibt:

[0014] Der Diffusionskoeffizient der suspendierten Substanz hängt also, ausser der universellen Konstanten und der absoluten Temperatur, nur noch vom Reibungskoeffizienten der Flüssigkeit und von der Grösse der suspendierten Teilchen ab. Das bedeutet, dass wenn bei einer Gasmischung ein Temperaturunterschied vorhanden ist, so reichert sich durch die Temperatur die leichtere Komponente des Stoffes an der wärmeren, die schwerere an der kälteren Stelle an.

[0015] Die «Zink-Thermo-Diffusion» bezeichnet ein modernes Verfahren für Korrosionsschutz von höchster Qualität, bei welchem die Oberfläche des Werkstoffs thermo-chemisch modifiziert wird. Die dadurch entstehende Schutzschicht geht eine extrem starke (atomare) Verbindung mit dem Trägermaterial ein und gewährleistet so, dass zum einen hervorragenden Langzeit-Korrosionsschutz entsteht, und zum anderen, dass sich daraus eine Veränderung der Eigenschaften des Substrats ergeben, beispielsweise hinsichtlich der Duktilität, die sich bei einem solchen Substrat erst nach erfolgter Thermodiffusion einstellt, wobei die beiden Wirkungen hier erfindungswesentlich sind, und alternativ oder kumulativ zum Tragen kommen. Des Weiteren bildet gerade die «Thermo-Diffusions-Verzinkung» ein umweltfreundliches Verfahren, das ohne die schädlichen Chrom-Verbindungen durchgeführt werden kann.

[0016] Der Beschichtungsvorgang erfolgt in einer geschlossenen Prozesskammer und läuft bei Temperaturen bis zu 380 °C unter definierter Gasatmosphäre ab, wobei diese Temperaturangabe nicht als absolut zu betrachten ist. Dabei wird metallisches Zink aus der oben beschriebenen Dampfphase auf dem Substrat sublimiert und wächst gleichmässig auf der Oberfläche derselben auf. Anders als bei den herkömmlichen Korrosionsschutzverfahren legt sich bei der «Zink-Thermo-Diffusion» das eingesetzte Zink nicht nur platt auf die Oberfläche des zu schützenden Werkstücks nieder, sondern dringt darüber hinaus in offene Hohlräume, zerklüftete Oberflächen, Metallgitterstruktur in der Randzone, je nach Gefüge-Morphologie, ein, und dies in Abhängigkeit der Temperatur- und Dichtegradienten, dergestalt, dass damit eine partielle Zink/Eisenlegierung gebildet wird.

[0017] Gegebenenfalls kann anschliessend optional, zur Oberflächenveredelung, einen speziell für den Einsatz ausgewählten zusätzlichen Überzug zum Einsatz gelangen.

[0018] Dessen ungeachtet, das erfindungsgemässe Verfahren ermöglicht ein Resultat, dass aus dem Thermodiffusionsprozess eine dünne und sehr hochleistungsfähige Korrosionsschutzschicht gebildet wird, wodurch sich weitere Massnahmen, wie zum Beispiel «Topcoat», geradezu erübrigt.

[0019] Zur Abrundung der hiesigen Darlegungen sei hervorgehoben, dass bei einer Topcoat-Beschichtung es sich bekanntlich um das Aufbringen einer fest haftenden Schicht aus formlosem Stoff auf Werkstücke handelt. Hierbei kann es sich sowohl um einzelne Schichten als auch um mehrere in sich zusammenhängende Schichten handeln. Solche Beschichtungen können durch chemische, mechanische, thermische und thermomechanische Verfahren erfolgen, wodurch für den Fachmann ersichtlich ist, dass ein solches Verfahren mit dem erfindungsgemässen Thermodiffusionsprozess keine inneren Zusammenhänge zu entfalten vermag.

[0020] Das Zink-Thermodiffusionsverfahren ist insbesondere für jene Substrate geeignet, die unter extremen Korrosionsbedingungen zum Einsatz gelangen, und/oder bewusst auf die physikalischen Eigenschaften des Substrats eingewirkt werden soll, beispielsweise eine positive Veränderung der Duktilitätseigenschaft des Substrats zu erzielen.

[0021] Es lässt sich deshalb schlussfolgern, dass sich, anders als bei den herkömmlichen Korrosionsschutzverfahren, das eingesetzte Zink bei der Zink-Thermodiffusion nicht nur, wie oben bereits erwähnt, platt auf die Oberfläche des zu schützenden Substrats niedersetzt, sondern in die oberflächenseitige Metallgitterstruktur einzudringen vermag, womit dann eine echte Zink/Eisenlegierung oder Zink/Nichteisenlegierung gebildet wird.

[0022] Im Sinne einer Abrundung der hiesigen Darlegungen sei noch darauf hingewiesen, dass das Beschichten eine Hauptgruppe der Fertigungsverfahren nach DIN 8580 als Bezeichnung für eine Gruppe verschiedener Fertigungsverfahren ist, bei denen ein Beschichtungswerkstoff auf ein Werkstück oder auf ein Trägermaterial aufgebracht wird und dort eine fest haftende Schicht bildet.

[0023] Die Oberflächenbeschichtung von Bauteilen findet bevorzugt in der Automobilindustrie Anwendung, und sonst überall dort, wo ein hervorragend Korrosionsschutz angestrebt wird, allenfalls mit anderen funktionsbedingten physikalischen und dekorativen Eigenschaften kombiniert, und genau hiergegen wollen die hier vorgeschlagenen Thermodiffusionsprozesse mindestens eine nachhaltige alternative Technologie schaffen resp. anbieten.

[0024] Zusammenfassend lassen sich aus der Zeitschrift «Zink-Thermo-Diffusion/WOTech Technical Media, Seite 3'' folgende technologische Aspekte erkennen:

[0025] Die durch den ZTD-Prozess (Zink-Thermo-Diffusion) entstandene Randschicht ist auch bei komplizierten Bauteilen (z.B. mit Hohlräumen und Innengewinden) sehr gleichmässig hinsichtlich der Schichtdicke und homogen in der Ma-

struktur feststellbar. Es entsteht eine gleichmässige minimal aufgeraute Oberfläche ohne Zinkhautbildung. Es wird eine Schichthärte von etwa 52 HRC erreicht. Dadurch weisen die so behandelten Bauteile eine sehr hohe Verschleissfestigkeit auf, was mit anderen Korrosionsschutzverfahren unter Einsatz von Zink nicht erreicht wird.

[0026] Daraus lässt sich zu Gunsten der Erfindung erkennen, dass die Gefahr der Wasserstoff-Versprödung vor allem auf Grund von Beizprozessen und galvanischen Beschichtungsprozessen aus wässrigen Elektrolyten nicht mehr besteht. Zwar ist es richtig, dass durch das Eindringen und Einlagern von atomarem Wasserstoff in das Metallgefüge hierbei Änderungen in der Dehnbarkeit (Duktilität) des Materials entstehen, was aber in diesem Fall zu Spröbruch und so genannter Spannungsrisskorrosion und damit zum Versagen solcher Bauteile führen kann. Indessen, durch den erfindungsgemässen trockenen ablaufenden Wärme-ZTD-Prozess kann diese Gefahr der Wasserstoff-Versprödung für die bearbeiteten Bauteile ausgeschlossen werden, wodurch das Verfahren auch besonders für sicherheitsrelevante hochwertige Bauteile geeignet ist.

[0027] Zusammenfassend lässt sich demnach feststellen, dass sich durch das erfindungsgemässe Thermodiffusionsverfahren aufkommende Sauerstoff-Versprödungen reduzieren bzw. nachhaltig beheben, indem die hier zur Anwendung gelangende trockene Wärmebehandlung der Wasserstoff wieder aus dem Substrat herausgelöst werden kann.

[0028] Ein weiterer Vorteil beim Einsatz der Zink-Thermo-Diffusion für sicherheitsrelevante Bauteile ist die Gewährleistung der Masstoleranzen und Anzugsmomente derselben.

[0029] Demgegenüber, durch die Oberflächenbeschichtung mit herkömmlichen Verfahren können sich die definierten Anzugsmomente je nach Schichtdicke verändern. Ausserdem müssen die Gewinde solcher beschichteter Schrauben oder Bolzen oft nachbearbeitet werden, damit sie die geforderten Toleranzen erfüllen. Allerdings wird dann durch die mechanische Nachbearbeitung die aufgebrachte Schutzschicht teilweise wieder zerstört und der Korrosionsschutz verschlechtert sich dadurch nachhaltig.

[0030] Da bei der Zink-Thermo-Diffusion ein homogener und gleichmässiger Schichtaufbau vorliegt und keine zusätzliche Schicht aufgebracht wird, sondern der Korrosionsschutz in den Randbereich des Materials eingebracht wird, ist keine mechanische Nachbearbeitung mehr notwendig und die definierten Masstoleranzen und Anzugsmomente ändern sich nicht. Darüber hinaus kommt es im Gegensatz zu anderen Schichten auch zu keinem Setzverhalten, was bei sicherheitsrelevanten Bauteilen ebenfalls von besonderer Bedeutung ist.

Stand der Technik

[0031] Aus EP 2 271 784 B1 ist ein Verfahren zum Beschichten einer Oberfläche wenigstens eines Substrats mit Zink bekanntgeworden: (i) bei dem das wenigstens eine zu beschichtende Substrat zusammen mit Zink als Beschichtungsmittel bei einer Temperatur zwischen 200° und 500 °C wärmebehandelt wird; (ii) wobei vor dem Beginn der Wärmebehandlung in dem Reaktionsraum, in dem das zu beschichtende Substrat wärmebehandelt wird, der Sauerstoffgehalt in der in dem Reaktionsraum enthaltenen Atmosphäre auf weniger gleich 5 Vol.-% eingestellt wird; (iii) und dann in dem Reaktionsraum in der so hergestellten Atmosphäre die Wärmebehandlung begonnen wird und die Wärmebehandlung in dem Reaktionsraum durchgeführt wird; (iv) wobei während der Wärmebehandlung in den Reaktionsraum kein Gas oder kein Sauerstoff enthaltendes Gas zugeführt wird, oder ein Gas zugeführt wird, welches so vorbehandelt worden ist, dass es einen Sauerstoffgehalt von maximal 100 ppm enthält.

[0032] Um einen noch niedrigen Zinkverbrauch pro zu beschichtender Substratoberfläche zu erreichen, wird der Sauerstoffgehalt in der in dem Reaktionsraum enthaltenen Atmosphäre vor dem Beginn der Wärmebehandlung vorzugsweise auf weniger gleich 1 Vol.-%, bevorzugter auf weniger gleich 0,5 Vol.-%, besonders bevorzugt auf weniger gleich 0,1 Vol.-%, ganz besonders bevorzugt auf weniger gleich 0,05 Vol.-% und höchst bevorzugt auf weniger gleich 0,01 Vol.-% eingestellt.

[0033] Die Einstellung des entsprechenden Sauerstoffgehalts vor Beginn der Wärmebehandlung kann beispielsweise durch Spülen des Reaktionsraums mit einem entsprechend wenig oder gar keinen Sauerstoff enthaltenden Gas bzw. Gasgemisch erfolgen oder durch ein- oder mehrmaliges Evakuieren des Reaktorraums und nachfolgendes Belüften des Reaktorraums mit einem entsprechend wenig oder gar keinen Sauerstoff enthaltenden Gas bzw. Gasgemisch erfolgen. Die letztgenannte Variante kann beispielsweise durch zweimaliges Evakuieren des Reaktionsraumes auf einen Druck von 20 mbar durchgeführt, wobei der Reaktionsraum zwischen den einzelnen Evakuierungsschritten mit Inertgas befüllt wird.

[0034] Was den in dieser Druckschrift beschriebenen stationären Reaktionsraum betrifft, ist dieser umfangsseitig und an der Rückseite durch Wände vollständig umschlossen ist und an dessen Vorderseite eine verschliessbare Tür angebracht ist. Zur Beheizung des Reaktionsraums ist zwischen der Wand des Reaktionsraums und der äusseren Wand des umliegenden Ofens ein Heizelement vorgesehen.

[0035] Der Reaktionsraum wird über ein Heizelement auf eine Temperatur von 400 °C beheizt. Während der Aufheizzeit wird in den Reaktionsraum über den Injektor Beschichtungsmittel in Form von Zinkpulver eingeführt, und zwar in einer Menge, die so bemessen wird, dass das gewünschte Schichtgewicht erreicht wird zuzüglich eines Zinküberschusses, der bezogen auf 1 m³ des Reaktionsraumes nicht mehr als 2 kg beträgt. Während der Wärmebehandlung wird das Gestell in dem Reaktionsraum über die Walzen kontinuierlich gedreht. Zusätzlich dazu kann das Beschichtungsmittel über ein in dem Reaktionsraum angeordnetes Gebläse ständig umgewälzt werden. Die Wärmebehandlung wird für beispielsweise 2 Stunden nach Erreichen der Betriebstemperatur von 400 °C durchgeführt.

[0036] Um eine optimale Verfahrensführung zu gewährleisten, wird in dieser Druckschrift vorgeschlagen, in dem Reaktionsraum während der Wärmebehandlung den Druck, die Temperatur und den Sauerstoffgehalt zu messen und zu steuern. Hierzu wird des Weiteren vorgeschlagen, in dem Reaktionsraum ein Druckmessgerät, ein Temperaturmessgerät und/oder ein Sauerstoffmessgerät vorzusehen, um so bei der Durchführung des Verfahrens den Druck, die Temperatur und/oder den Sauerstoffgehalt messen und steuern zu können.

[0037] Wie aber eine solche Steuerung/Regelung bewerkstelligt werden soll, geht aus dieser Druckschrift nicht hervor. Gerade die Steuerung und Regelung zur Sicherstellung eines gleichmässigen Temperaturzustandes innerhalb des Reaktionsraumes während des ganzen Verfahrens stellt die schlechthin wesentliche Komponente zur Erzielung einer qualitativ hochstehenden Thermodiffusion dar.

[0038] Wenn also die Offenbarung aus dieser Druckschrift davon ausgeht, dass die Temperaturmessung mit einem Messgerät zu bewerkstelligen sei, so wird damit nicht in Betracht gezogen, dass eine gleichmässige auf die Substrate wirkende Thermodiffusion nur dann qualitativ zu erreichen ist, wenn die vorherrschende Temperatur in allen Zonen des aktiven Reaktionsraumes und über die ganze Dauer des Prozesses in einer engen Temperaturbandbreite gehalten werden kann, unter Berücksichtigung der Tatsache, dass die zu behandelnden Substrate unterschiedliche Volumen aufweisen können und in der Tat auch aufweisen, wodurch die Aufheizung und die Temperaturhaltung von Ladung zu Ladung unterschiedlich geregelt werden muss, wobei offensichtlich in diesem Stand der Technik auch nicht berücksichtigt wird, dass Zonen mit mehr Masse oder durch schwerere Substrate belegt mehr Energie zur Aufheizung benötigen, wobei die angezogene Druckschrift gerade hinsichtlich einer solchen Regelung für eine gezielte, ortsbezogene und fortlaufende Temperaturbeileistung völlig ausschweigt.

[0039] Aus WO 2008/093 335 A2 geht ein Verfahren zur Herstellung einer Oberflächenbeschichtung mit einer dünnen Zinkdiffusionsbeschichtung hervor, wobei diese Diffusionsbeschichtung umfasst: (a) ein eisenbasiertes Substrat; (b) eine intermetallische Zink-Eisen-Schicht, die das Substrat auf Eisenbasis beschichtet, wobei die intermetallische Schicht eine erste durchschnittliche Dicke von weniger als 15 µm aufweist. Die durch Diffusion hergestellte intermetallische Schicht weist eine durchschnittliche Dicke auf, wobei eine Differenz zwischen der ersten mittleren Dicke und der zweiten mittleren Dicke weniger als 4 µm beträgt.

[0040] Aus EP 2 252 719 A1 ist ein Verfahren zur Herstellung von Zink-beschichteten Nichteisenmetall-Bauteilen, insbesondere für die Fertigung korrosionsgeschützter Karosserien in Mischbauweise, bekanntgeworden, das nach folgenden Prozessschritten charakterisiert ist: (i) die Beschichtung auf die Nichteisenmetall-Bauteile wird durch ein Zinkdiffusionsverfahren unter Anwendung einer Zn-Staub-Mischung bei einer Temperatur im Bereich von 300° bis 600 °C unter Bildung einer Zinkdiffusionsschicht aufgebracht. Die Anwendung dieses Verfahrens betrifft Karosseriebauteile, insbesondere für Kraftfahrzeuge, in Metall-Hybrid- oder Mischbauweise, bei dem mindestens ein Leichtmetallbauteil und ein Stahlbauteil aneinandergefügt sind, wobei das Leichtmetallbauteil eine Zinkdiffusionsschicht trägt, welche den unmittelbaren Kontakt zwischen Leichtmetall und Stahl an der Fügestelle unterbindet.

[0041] Aus der Publikation Münnich R., «Zink-Thermo-Diffusion», WOMAG, Bd. 2014, Nr. 3 vom 10. März 2014 (ISSN 2195–5891), Seiten 35–37, geht eine Anlage zur Zink-Thermo-Diffusion hervor, in welcher eine Duplex-Beschichtung hergestellt wird. Weitergehende Hinweise über die Ausgestaltung einer solchen Anlage gehen aber aus dieser Druckschrift nicht hervor.

Darstellung der Erfindung

[0042] Hier will die Erfindung Abhilfe schaffen. Der Erfindung, wie sie in den Ansprüchen gekennzeichnet ist, liegt die Aufgabe zugrunde, mindestens eine Oberflächenbeschichtung auf Substrate aufzubringen, dies vorzugsweise durch ein Thermodiffusionsverfahren in einem abgeschlossenen Innenraum, auch Prozesskammer genannt, eines Reaktors stattfindet.

[0043] Diese Prozesskammer wird so betrieben, dass eine Sollhaltetemperatur von vorzugsweise zwischen 300° und 400 °C erstellt wird, welche während der Dauer des zugrundeliegenden Thermodiffusionsprozesses aufrechterhalten wird, wobei hier Wert darauf gelegt wird, dass während der ganzen thermischen Behandlung, also sowohl bei der Erstellung der Sollhaltetemperatur als auch während der Dauer des zugrundeliegenden Thermodiffusionsprozesses eine Temperaturtoleranzbandbreite von wenigen Graden eingehalten wird. Im Folgenden wird von einem Reaktor gesprochen, wobei nach Bedarf zum besseren Verständnis terminologisch auch auf die vorzugsweise zur Anwendung gelangenden Form eines solchen Reaktors zurückgegriffen wird.

[0044] Der Thermodiffusionsprozess findet sonach vorzugsweise in einem zylinderförmigen auf Rotation ausgelegten Behälter statt, welcher mit den zu behandelnden Substraten oder Produktteilen (auch Schüttgut), unter Beibringung einer Menge Verfahrensmaterialien, auch Hilfsstoffe genannt, im Folgenden vorzugsweise eines Aluminiumgranulats und einer Menge Zinkstaub beladen wird, bevor dieser Behälter dann in den Ofen zur weiteren thermischen Behandlung gefahren wird.

[0045] Der Behälter wird dann während des gesamten Aufheizungszyklus langsam gedreht, wobei aus Durchmischungsgründen die Drehrichtung intermittierend gewechselt werden kann, wobei die jeweilige Drehrichtung intertemporär verschieden lang sein kann. Der Zeitpunkt des Rotationswechsels, also des Drehrichtungswechsels, wird rezeptgesteuert,

und er soll in der Regel alle 1 bis 4 min. erfolgen. Wenn von einer langsamen Drehung die Rede ist, so sind damit Umdrehungen des Behälters in der Grössenordnung von 1–15 U/min gemeint, ausgehend von einem Behälter mit einem Durchmesser von ca. 600 mm und einer Länge von ca. 2500 mm. Andere Grössen des Behälters können andere Drehungsgeschwindigkeiten nötig machen. Aus Durchmischungsgründen und um eine gezieltere sektorielle Aufheizung zu erzielen, lässt sich die Rotation des Behälters in eine oszillierende Bewegung überführen.

[0046] Erfindungsgemäss wird der als Reaktor ausgelegte Behälter thermisch dergestalt betrieben, dass sich die Temperatur der Thermodiffusion der zu behandelnden Produktteile, also die Temperaturen der Substrate und/oder des Schüttgutes in der Prozesskammer des Behälters, auch während der ganzen Aufheizphase zur Beistellung der Sollhaltetemperatur bis zur Nennwerttemperatur zwischen 300° und 400 °C durch Steuerung/Regelung innerhalb einer Temperaturbandbreite von ± 20 °C, vorzugsweise ± 10 °C, insbesondere < 5 °C, bewegen, so dass sichergestellt wird, dass der Aufheizungsprozess innerhalb dieser Toleranzgrenze gleichförmig abläuft.

[0047] Zonen mit mehr Masse oder dickeren Produktteilen benötigen in der Tat mehr Energie für die Temperaturbeistellung, weshalb die zum Ofen gehörenden Heizelemente innerhalb dieser Zonen des Behälters müssen auch mehr thermische Leistung abgeben. Gleichzeitig werden die Heizelemente in den anderen Zonen auf eine kleinere Heizleistung geregelt.

[0048] Sonach wird mit einem gesteuerten/geregelten Heizleistungssystem gefahren, welches eine gleichmässige resp. gleichförmige Temperatur in der Prozesskammer des Behälters hinsichtlich der zu behandelnden Produktteile gewährleistet, und letztlich soll damit eine homogene Temperatur aller Produktteile innerhalb der ganzen Prozesskammer des Behälters sichergestellt werden. Wenn hier von einer homogenen Temperatur für die Umsetzung des Thermodiffusionsprozesses die Rede ist, so ist damit gemeint, dass die Temperaturbandbreite nach der Aufheizphase für die nachfolgende Dauer der Haltephase vorzugsweise ± 10 °C, insbesondere < 5 °C betragen soll.

[0049] Zum Erreichen dieses Zieles lassen sich grundsätzlich die folgenden Aufheizungskonzepte vorsehen:

- a) Bei einem ersten Konzept wird die Länge des rohrförmigen als Reaktor ausgebildeten Behälters zum einen in verschiedene Zonen, beispielsweise drei, aufgeteilt, welche zu Regelungszwecken mit den sektoriellen Aufteilungen der Heizzonen des Ofens übereinstimmen. Zum anderen lässt sich eine Temperaturregelung fahren, welche eine Vergleichsmässigung der Oberflächentemperatur des Behälters sicherstellt. Eine solches Verfahrens ist wegen seiner Einfachheit immer dann anzustreben, wenn diese Oberflächentemperatur allmählich mit der vorherrschenden Temperatur in der Prozesskammer des Behälters innerhalb einer verhältnismässig kleinen Toleranzbandbreite übereinstimmt. Das ist sicher dann der Fall, wenn die Produktmassen und deren örtliche Verteilung innerhalb der Prozesskammer des Behälters gleichmässig vorliegen, so dass davon ausgegangen werden kann, dass die Aussentemperatur des Behälters nach einer gewissen Zeit effektiv mit der Temperatur in der Prozesskammer übereinstimmt.
- b) Liegen bei dem vorangehenden Konzept a) solche Verhältnisse aber nicht vor, oder es ist zu befürchten, dass sich eine solche Annahme als nicht zutreffend erweist, dann ist eine weitergehende Temperaturregelung vorzusehen, bei welcher die Temperaturzufuhr so lange aufrechterhalten wird, bis der ganze Behälter samt Inhalt einen sicheren monolithischen Temperaturstand erreicht hat, was dann eine längere Zeitspanne beansprucht.
- c) Bei einem weiteren Konzept geht es darum, dass vielfach eine gleichmässige Verteilung der einzelnen Produktmassen im Behälter (Reaktor) über den ganzen Thermodiffusionsprozess nicht garantiert werden kann, sei es, weil sich die Substrate geometrisch und gewichtsmässig sehr voneinander unterscheiden, es sei es, dass sie innerhalb des Behälters unterschiedlich disponiert sind, oder wegen ihrer Grössen disponiert werden mussten. Bei Produktteilen, die als Schüttgut bezeichnet werden, ist zudem zu berücksichtigen, dass eine gleichmässige Temperaturverteilung über den ganzen Thermodiffusionsprozess ohnehin nicht leicht zu erreichen ist. Bei solchen Vorgaben muss daher eine Temperaturregelung vorgesehen werden, welche nicht nur allein auf die Wandtemperatur des Behälters abstellt, sondern sie muss die effektiv vorhandenen Temperaturen in der Prozesskammer des Behälters an verschiedenen Stellen ebenfalls berücksichtigen.

[0050] Mit Konzept c) wird zum einen erreicht, dass die benötigte Zeit für die Aufheizung minimiert werden kann, und zum anderen wird damit sichergestellt, dass dünne Teilen, beispielsweise Unterlagscheiben, durch eine länger andauernde Aufheizung bei einer örtlich überschüssenden Temperatur nicht durch «Verbrennungen» beschädigt werden können.

[0051] Konzept c) hat demnach den finalen Zweck, dass alle beladenen Teile, unabhängig ihrer Grösse und Gewicht, einer gleichmässigen Aufheizung unterworfen sind, so dass das Erreichen der definierten Haltetemperatur über das ganze System des Reaktors konform stattfindet, also verlaufen alle von den Thermoelemente ausgelösten Temperaturkurven im Wesentlichen asymptotisch entlang einer zugrunde gelegten Temperaturlinie mit einer Temperaturtoleranz von vorzugsweise resp. insbesondere < 5 °C, allenfalls auf höchstens ± 5 °C zulässig.

[0052] Beim Konzept c) ist die Temperaturregelung demnach so ausgelegt, dass es in der Prozesskammer des Behälters zu keiner örtlichen Überhitzungsstellen kommt. Sind solche auf Grund der inneren Temperaturmessungen zu befürchten, so greift die Temperaturregelung jeweils ein, indem die sektoriellen Ofenheizungszone entsprechend geregelt werden.

Diese können einzeln so gesteuert/geregelt werden, dass die Sektoren des Behälters unterschiedlich beheizt werden können.

[0053] Zu diesem Zweck werden für die Messung der Temperatur in der Prozesskammer des Behälters sonach eine Reihe von Thermoelementen vorgesehen, welche robust und abdichtungssicher eingebaut sind, und welche im Störfall von aussen leicht repariert oder ausgetauscht werden können. Diese Thermoelemente müssen zudem so konzipiert werden, dass sie beim Betrieb auf Grund der in der Prozesskammer vorherrschenden staubgesättigten Atmosphäre und der darin taumelnden Metallteile keine Schäden erleiden.

[0054] Die von den Thermoelementen gemessenen Temperaturwerte werden korrekturfrei fortlaufend an eine zentrale Steuerung weiter geleitet, welche dann die dafür notwendigen Regelungsinputs auslöst. Diese ganze Regelungskette muss in der Lage sein, die Temperatur der Produktteile in allen Zonen der Prozesskammer auf höchstens $< 5^{\circ}\text{C}$ gegenüber der eingestellten Sollhaltetemperatur zuverlässig zu regeln.

[0055] Ein erster Messvorgang setzt voraus, dass der Behälter nach bestimmten Intervallen für kurze Zeit (ca. 10s) angehalten wird, worauf die effektiv gemessenen Temperaturwerte dann direkt abgerufen werden können. Ein weiterer Messvorgang setzt auf eine fortlaufende Temperaturmessung durch den Einbau von entsprechenden dem Fachmann bekannten Übertragungsvorkehrungen.

[0056] Was die Anzahl und die örtliche Disposition dieser Thermoelemente in Längsrichtung des Behälters betrifft, gilt folgendes:

[0057] Erfindungsgemäss soll der Behälter vorzugsweise eine runde Form aufweisen, wobei eine solche aber nicht zwingend zu verstehen ist. Intermediär weist dieser Behälter, je nach Länge, runde konzentrisch und zueinander beabstandete vorstehende Ringe auf, welche in Verbindung mit den in den Ofen integrierten Rollen die drehende, allenfalls oszillierende Bewegung des Behälters ermöglichen, wobei sich die oszillierende Bewegungen über bestimmte Bogenmasse bewegen kann.

[0058] Die radiale konzentrische Höhe dieser Ringe gegenüber der äusseren Wand des Behälters wird minimiert, damit die äussere Wand des Behälters maximiert an die Heizkörperaggregaten des Ofens angenähert werden kann, wobei diese Heizkörperaggregate vorzugsweise die Form von Heizserpentinaen aufweisen, welche die Zonen zwischen den einzelnen vorstehenden Ringen des Behälters erfassen.

[0059] Die nachfolgend beschriebene Konfiguration des Behälters und der Einbau der Thermoelemente sind aus umfangreichen Versuchen und komplizierten Rechenprogrammen hervorgegangen, welche die Grundlage geliefert haben, um zu erkennen, wie sich im Verlaufe der Aufheizung signifikante Temperaturunterschiede in den einzelnen Zonen einstellen und verhalten, wobei diese Temperaturunterschiede sich unweigerlich auf die effektiven Temperaturen der zu behandelnden Produktteile niederschlagen.

[0060] Zum einen konnte erkannt werden, dass sich Temperaturunterschiede insbesondere im Bereich der vorstehenden Ringe einnisten, wobei diese Temperaturunterschiede mit zunehmender Anzahl dieser Ringe in Abhängigkeit zu der Länge des Behälters tendenziell zunehmen, so dass bei solchen Konfigurationen die Temperaturunterschiede auch überproportional zunehmen und sich dann negativ auf eine stabile Temperatur in der Prozesskammer des Behälters auswirken können.

[0061] Zum anderen konnte festgestellt werden, dass Teile an den Extremitäten des Behälters, insbesondere im Bereich des Deckels, ebenfalls Temperaturunterschieden resp. Schwankungen ausgesetzt sind, welche zu allgemeinen prozessmässigen Perturbationen innerhalb der Prozesskammer führen können, von daher werden in diesem Bereich nachhaltige Isolationsvorkehrungen getroffen.

[0062] Erfindungsgemäss wird nunmehr ein Temperaturabnahmesystem vorgeschlagen, bei welchem die Thermoelemente nach einer bestimmten Aufteilung entlang einer Ebene in Längsrichtung und/oder optional in Umfangsrichtung des Behälters angeordnet sind. Andererseits teilen sich die zum Einsatz gelangenden Thermoelemente in mindestens zwei Kategorien und Teilmengen auf:

- a) Bei den Kategorien geht es darum, einerseits eine erste Anzahl Thermoelemente vorzusehen, welche die Temperatur in der Prozesskammer des Behälters messen (Innenraumthermoelemente), und andererseits eine zweite Anzahl Thermoelemente zu disponieren, welche die Wandtemperatur (Wandtemperaturthermoelemente) messen, wobei die letzteren vorzugsweise innerhalb der Behälterwand angeordnet sind. Beispielsweise bei einer Wandstärke von 8 mm werden die Wandtemperaturthermoelemente bis zu 4 mm, also bis zur Hälfte, darin eingelassen.
- b) Was die Teilmengen der zum Einsatz gelangenden Thermoelemente betrifft, so ist die Anzahl der ersten und zweiten Thermoelemente zueinander unterschiedlich gehalten, vorzugsweise ist die Anzahl der ersten Elemente kleiner als diejenige der zweiten Elemente.
- c) Erfindungsgemäss wird des Weiteren disponiert, dass die ersten Thermoelemente, also diejenigen, welche die Temperatur in der Prozesskammer des Behälters messen (Innenraumthermoelemente), dort platziert werden, wo

die grössten temperaturbedingten Perturbationen auf die zu behandelnden Teile zu erwarten sind, dies also sicher im Bereich des Deckels des Behälters und im Bereich der vorstehenden Ringe.

- d) Die übrigen zum Einsatz gelangenden zweiten Thermoelemente (Wandthermoelemente) werden vorzugsweise mittig innerhalb zweier benachbarter Ringe platziert, wobei ebenfalls Wandthermoelemente vorgesehen sind, welche speziell den Temperatureinfluss der vorstehenden Ringe bei der Drehung des Behälters auf die umliegenden Zonen messen.

[0063] Im Sinne einer Lehre zum technischen Handeln für den Fachmann hinsichtlich der Platzierung der Thermoelemente wird vorliegend die folgende Konstellation fokussiert, welche strikte als eine nicht einschränkende Ausführungsvariante zu verstehen ist:

[0064] Werden für einen bestimmten Behälter insgesamt acht Thermoelemente eingesetzt, so teilt sich deren Platzierung und Wirkung wie folgt auf:

- 1) Ein erstes Thermoelement (TC1) ist im Bereich des Deckels des Behälters angeordnet und misst die Prozesskammertemperatur in diesem Bereich, und mitunter misst es den temperaturabhängigen Einfluss des Deckels auf die Substrate in dessen Nähe;
- 2) Ein zweites Thermoelement (TC2) misst die Wandtemperatur vorzugsweise mittig innerhalb einer ersten Zone (1), welche sich zwischen Deckel und dem ersten vorstehenden Ring erstreckt;
- 3) Ein drittes Thermoelement (TC3) misst die Wandtemperatur im Bereich des ersten Ringes und erfasst den temperaturabhängigen Einfluss dieses Ringes in seiner Gesamtheit;
- 4) Ein viertes Thermoelement (TC 4) misst die Wandtemperatur vorzugsweise mittig einer zweiten Zone (2), welche sich zwischen dem ersten und dem zweiten vorstehenden Ring erstreckt;
- 5) Ein fünftes Thermoelement (TC 5) misst die Temperatur in der Prozesskammer im unmittelbaren Bereich des ersten und/oder zweiten vorstehenden Ringes, und mitunter und mitunter misst es den temperaturabhängigen Einfluss dieser Ringe auf die Substrate in deren Nähe;
- 6) Ein sechstes Thermoelement (TC 6) misst die Wandtemperatur vorzugsweise mittig einer dritten Zone (3), welche sich zwischen dem zweiten vorstehenden Ring und dem Ende des Behälters erstreckt;
- 7) Ein siebtes Thermoelement (TC7) misst die Wandtemperatur im Bereich des vorstehenden Ringes zwischen der zweiten (2) und der dritten Zone (3);
- 8) Ein achttes Thermoelement (TC8) misst die Wandtemperatur, um den temperaturabhängigen Einfluss des vorstehenden Ringes und des Deckels zu erfassen.

[0065] Die Gesamtregelung unter Zugrundelegung aller erfassten Werte aus den hier zum Einsatz gelangenden Thermoelementen erfolgt in der Weise, dass festgestellte Unterschiede zwischen den einzelnen Thermoelemente TC1 bis TC8 im Sinne einer adaptiven Regelung geregelt werden, die zwar zu einer gewissen Verlängerung der Wärmehaltephase führen kann, dies aber das finale Ziel erfüllt, mit einer gleichmässigen und stabilen Prozesskammertemperatur für alle Produktteile operieren zu können.

[0066] Eine solche temperaturstabilisierende Verlängerung der Wärmezuführung greift immer dann ein, wenn beim Hochfahren vorzugsweise bis zu einer Sollhaltetemperatur zwischen 280° und 380 °C festgestellt wird, dass die vorgegebene Temperaturtoleranz von ± 10 °C, vorzugsweise < 5 °C, bei bestimmten Verhältnissen höchstens ± 20 °C, bei einem oder mehreren Thermoelementen nicht quittiert, also in unserem Fall nicht eingehalten wird. Ist einmal die Sollhaltetemperatur unter Einhaltung der Temperaturtoleranzen erreicht, so sind dann jene Bedingungen für die Durchführung der Thermodiffusion erreicht, welche innerhalb der vorgegebenen Haltedauer auf diesem Temperaturniveau die Thermodiffusion integral sicher stellen, wobei während dieser Prozessphase die Temperaturregelung fortlaufend eingreift, um die Sollhaltetemperatur in der Prozesskammer integral innerhalb der qualitätssichernden Toleranzgrenze von maximal ± 5 °C, insbesondere < 5 °C zu halten.

[0067] Allgemein gilt, dass der Reaktor anhand einer Steuerung nach folgenden Kriterien betreibbar ist:

- a) Die Steuerung operiert mit abgelegten Steuerungsprofilen, welche bei der Eingabe der Betriebsdaten hinsichtlich des zugrunde gelegten Betriebs des Reaktors in Wirkverbindung mit dem Betrieb des Ofens abgerufen werden können. Vorzugsweise lösen diese Steuerungsprofile einen festgelegten Regelungsablauf aus.

- b) Die Steuerung operiert mit freiwirkenden Steuerungsprofilen, welche sich auf Grund der von den Thermoelementen und weiteren Sensoren jeglicher Art erfassten Informationen für den Betrieb des Reaktors in Wirkverbindung mit dem Ofen fortlaufend nach festgelegten Algorithmen oder adaptiv anpassen;
- c) Die Steuerung weist Steuerungsprofile auf, welche auf Grund der eingehenden Information prädiktive Regelungseingriffe vornehmen. Dies gilt insbesondere dann, wenn temperaturbedingte Perturbationen in der Prozesskammer festgestellt werden, und diese durch die Adaptiv-Regelung nicht unmittelbar aufgefangen werden können. Erweisen sich die prädiktiven Regelungseingriffe als überschüssend oder suboptimal, so passen sie sich entsprechend an.

[0068] Die Hauptsteuerung für den Betrieb des Reaktors greift gleichzeitig auf den Betrieb des Ofens ein, wobei die beiden Aggregate in enger thermischer Wirkverbindung zueinander stehen. Diese Hauptsteuerung des Reaktors, welche also mindestens in Wirkverbindung mit dem Ofen steht, ist auf mindestens folgende Parameter programmiert:

[0069] Fertigungsauftrag, Projektreihe, Projektnummer; b) Laufnummer des Auftrages; Material der Substrate; Art der Substrate; Gewicht der Substrate; Volumen der Substrate; Rezeptur für die Thermodiffusion; Art der Teile (Bulk Teile (Massengut), manuelle Teile oder Rack-Teile); Art der Belastung, kombiniert oder individuell, wobei kombinierte bedeutet, dass Teile, Granulat und Pulver für die Beladung bereit vorgemischt sind; Gewicht der Teile pro Reaktor; Maximale Dickenabmessung der Teile (auch Eingabe unterschiedlicher Abmessungen); Anzahl der Teile (jeder Art) pro Reaktor; Gesamtmasse der Teile (berechnet aus bis zu 20 verschiedenen Teile); Gesamtmasse der Racks, die die Teile unterstützen, unter der Annahme, dass es sich um metallische Teile handelt); Die Gesamtmasse des eingeführten Granulats; Gesamtpulvermasse des für die Thermodiffusion eingesetzten Materials; Sollhaltetemperatur; Wärmehaltezeit; Zugelassene Toleranz der Sollhaltetemperatur; Benötigte Zeit für das Hochfahren bis die Zieltemperatur korrespondiert; Benötigte Zeit für den Durchlauf innerhalb Kriterien a) (siehe oben); Benötigte Zeit für den Durchlauf innerhalb Kriterien b) (siehe oben); Eingabe der maximalen operativen Temperatur für Kriterien a), b), c) (siehe oben); Datum und Uhrzeit des Laufes Start- und Laufstopp;

Gesamtzykluszeit zwischen Lauf Start- und Laufstopp; Energieaufwand für den Heizkreislauf (in kWh); Energieaufwand für den Kühlzyklus (in kWh); Anfangsparameter für den Betrieb der übrigen Stationen des Systems, beispielweise bezogen auf den Reaktor, dessen Drehzahl, Neigungswinkel, etc.

[0070] Die Steuerung des Reaktors muss so programmierbar sein, dass alle notwendigen Prozessdaten und Prozessabläufe als Steuerungsprofile für die verschiedenen Reaktorprozesse und für die interdependenten Aggregate der Anlage, insbesondere die des Ofens, abgelegt oder laufend neu erfasst werden, und diese ihrerseits abgelegt werden können, welche dann immer als Memory Access zur Verfügung stehen.

[0071] Diese Steuerungsprofile lassen sich durch Eingabe mindestens eines Parameters identifizieren und können so gezielt abgerufen werden, wobei die Software so konzipiert ist, dass bereits bei der Eingabe verschiedener Parameter fortlaufend zutreffende, mögliche, wahrscheinliche, prädiktive Steuerungsprofile aufgezeigt resp. angeboten werden, welche dann entweder quittiert oder abgelehnt werden.

[0072] Die aktuellen Temperaturwerte sowohl für die Wandtemperatur als auch für die Prozesskammer des Behälters werden fortlaufend erfasst und unmittelbar charttechnisch sichtbar gemacht, und während des gesamten Heizungsprozesses sichtbar gemacht. Vorzugsweise ist diese Wiedergabe auch so konzipiert, dass die Temperaturwerte aller aktiven Messzonen im Reaktor fortlaufend sichtbar gemacht werden.

[0073] Alle Zonen innerhalb der Prozesskammer des Behälters sollen die angesteuerte Sollhaltetemperatur von vorzugsweise zwischen 280° und 380 °C, und die dann fixierte Temperatur soll mit einer Temperaturtoleranz von maximal ± 5 °C, vorzugsweise < 5 °C, aufrechterhalten werden. Von daher lässt es sich nach jetzigem Erkenntnisstand ohne weiteres verantworten, die Heizelemente auf eine maximale Heiztemperatur von 650 °C zu begrenzen. Aber auch bei einer solchen reduzierten Temperatur lässt sich immer noch eine breite Palette von Thermodiffusionsprozessen mit verschiedenen Werkstoffen durchführen.

[0074] Der als rohrförmig ausgebildete Reaktor ist, wie bereits erwähnt, während der Heiz- und Kühlphasen in einem entsprechend ausgelegten Supportwagen platziert, der so ausgebildet ist, dass sich dieser Reaktor darin über die vorstehenden Ringe bereits unbeschränkt frei drehen kann. Diese Drehbarkeit wird nach Bedarf auch während der Be- und Entladung beibehalten. Dieser Supportwagen mit dem darin platzierten Reaktor ist so konzipiert, dass eine Einschiebung in ein nachgeordnetes thermisch betreibbares Prozessaggregat leicht vonstattengehen kann, wobei in diesem Prozessaggregat die Aufheizung und/oder die anschliessende Abkühlung unter prozessoptimierten Schritten abschliessend stattfinden kann.

[0075] Demnach muss der Aufbau dieses Prozessaggregats (Aufheizung/Kühlung) so gestaltet sein und eine Infrastruktur aufweisen, welche die von der Aufheizung des Reaktors erwärmte Luft abgeführt werden kann; andererseits weist das Prozessaggregat eine weitere Infrastruktur auf, welche sicherstellt, dass nach Beendigung des Thermodiffusionsprozesses eine erste Kühlung des Reaktors nach vorgegebenen Parametern einsetzen kann, bevor der Reaktor dann in die dafür vorgesehene Kühlvorrichtung transferiert wird.

[0076] Sowohl die Abführung der erwärmten Luft als auch die Zuführung des zur Kühlung benötigten Luftstromes soll vorzugsweise über mehrere örtlich angeordnete Ein-/Auslässe um den Reaktor stattfinden. Um die Kühlung des Reaktors von einer Prozesstemperatur von beispielweise 380 °C auf mindestens 50 °C während einer bestimmten Zeitspanne (siehe oben) zu reduzieren, muss eine entsprechende Luftgebläse-Leistung zur Verfügung stehen. Zu diesem Zweck lässt sich im Normalfall Umgebungsluft verwenden. Ansonsten ist die Einleitung gekühlter Luft vorzusehen.

[0077] Demnach lässt sich sagen, dass der Verlauf aller thermischen Prozesse innerhalb des Reaktors kontinuierlich regelmässig, gleichförmig/ungleichförmig, adaptiv oder prädiktiv stattfinden, dies auf Grund der laufend erhobenen und gemessenen Prozesswerte und Parameter.

[0078] Nach vollzogenem Thermodiffusionsprozess geht der als Behälter ausgebildeten Reaktor demnach auf Kühlbetrieb über, wobei diese Kühlung, welche sich nach der Innenraumtemperatur richtet, vorzugsweise integral nach einer e-Funktion erfolgt, deren asymptotischen Verlauf bei einer Innenraumtemperatur von 50–80° C beendet wird. Der Behälter verlässt die Kühlstufe erst dann, wenn die Kühlsolltemperatur im Innenraum uniform erreicht ist.

[0079] Bei dem hier erfindungsgemäss zugrunde gelegten Thermodiffusionsprozess gilt, dass eine intermetallische Verbindung (genauer intermetallische Phase) durch eine homogene chemische Verbindung gebildet ist, welche aus zwei oder mehr Metallen bestehen kann. Solche Verbindungen weisen im Unterschied zu Legierungen Gitterstrukturen auf, die sich von denen der konstituierenden Metalle unterscheiden. In ihrem Gitter herrscht eine Mischbindung aus einem metallischen Bindungsanteil und geringeren Atombindungs- bzw. Ionenbindungsanteilen, die in Überstrukturen resultiert.

[0080] Zur Optimierung dieser Prozesse innerhalb des Reaktors durchlaufen die zu behandelnden Gross- resp. Kleinteile vor und nach deren Behandlung im Reaktor verschiedene qualitätssichernde Behandlungen, auf welche weiter unten näher eingegangen wird.

[0081] Mit dem vorangehend beschriebenen Reaktor, vorzugsweise in Form eines rotationsfähigen Behälters, wird sonach ein Verfahren zur Aufbringung einer Oberflächenbeschichtung durch Thermodiffusion auf eine metallische, nichtmetallische, intermetallische Oberfläche eines Substrats oder sonstigen Schüttgutes in einem gesteuerten und/oder geregelten («open-loop control processes/closed-loop control processes») durchgeführt.

[0082] Die aufgebrachte Schichtstruktur besteht aus wenigstens einer Oberflächenbeschichtung eines im Reaktor eindiffundierten Werkstoffs. Wenn von mindestens einer Oberflächenbeschichtung die Rede ist, so wird damit spezifisch darauf hingedeutet, dass man in vielen Fällen aus betrieblichen Bedürfnissen auf die Aufbringung einer mehrfachen Oberflächenbeschichtung angewiesen sein könnte, wobei die zweite Oberflächenbeschichtung dann in vielen Fällen, aber nicht immer zwingend, durch einen differenten Werkstoff gebildet wird. Bei mehrschichtigen Strukturen können die einzelnen Oberflächenbeschichtungen auch unterschiedliche Dicken zueinander aufweisen.

[0083] Die der Thermodiffusion unmittelbar exponierte Oberfläche des Substrats weist ihrerseits mindestens eine Schicht auf, welche im Reaktorprozess die unmittelbare Substratbasis bildet, wobei die Wärmezufuhr im Reaktor darüber hinaus auf Grund der eingeführten Verfahrensmaterialien jene metallische und/oder nichtmetallische und/oder intermetallische Dampfphase auslöst, über welche die Thermodiffusion zur Erzeugung der Oberflächenbeschichtung stattfindet.

[0084] Kommen subsequent zwei eindiffundierte Oberflächenbeschichtungen zum Tragen, so haben sie den finalen Zweck, dass die erste Oberflächenschicht vorzugsweise auf Antikorrosion ausgelegt ist, und die dann folgende Oberflächenschicht eine spezielle Härte gegen mechanische Verschleiss-Einwirkungen aufweist. Grundsätzlich können diese Oberflächenschichtungen aus gleichen oder unterschiedlichen Werkstoffen oder Legierungen bestehen und gleiche oder unterschiedliche Schichtdicken aufweisen.

[0085] Was die Aufbringung mehrerer Oberflächenschichten betrifft, besteht das naheliegende zur Anwendung gelangende Verfahren darin, die Thermodiffusion durch eigenständige subsequent erfolgende Prozesse durchzuführen, indem der Reaktor, also dessen Prozesskammer, nach erfolgter erster Oberflächenbeschichtung für die zweite Lageschicht neu mit den spezifischen Verfahrensmaterialien für einen erneuten Thermodiffusionsprozess beladen wird, wobei die Produktteile aus dem ersten Prozess dann in den zweiten Prozess übergeführt werden. Eine Beschleunigung des zweiten Prozesses lässt sich dadurch erreichen, dass die vorhandene Restwärme aus dem ersten Prozess für den subsequent folgenden zweiten Prozess genutzt wird.

[0086] Ein weiteres Verfahren zwecks Aufbringung mehrerer Oberflächenbeschichtung lässt sich insoweit durchführen, indem die Prozesskammer des Reaktors auf einmal sowohl mit Substraten als auch mit verschiedenen Verfahrensmaterialien beladen wird, womit die Grundlage geschaffen wird, dass sich die subsequence Aufbringung der ersten als auch der zweiten Oberflächenbeschichtung durch eine subsequence Thermodiffusion erzielen lässt. Allenfalls lässt sich eine solche subsequence Thermodiffusion anhand einer gesteuerten Wärmeaufbereitung der Prozesskammer durchführen, und wahlweise soll die Einbringung gasförmiger oder fester Katalysatoren während des jeweiligen Thermodiffusionsprozess vorgesehen werden.

[0087] Ein weiterer Prozess zwecks Aufbringung mehrerer Oberflächenbeschichtungen lässt sich dahingehend durchführen, dass diese Oberflächenbeschichtungen über ein Durchlaufverfahren stattfinden, dergestalt, dass nach erfolgter Aufbringung der ersten Oberflächenschicht allein die zu behandelnden Teile (Substrate) als solche von einer ersten Prozess-

kammer des Reaktors unmittelbar in eine zweite entsprechend beladene Prozesskammer desselben transferiert werden, wo dann die Aufbringung der zweiten Oberflächenschicht stattfindet.

[0088] Ein solches Durchlaufverfahren lässt sich innerhalb eines Reaktors mit mehrstufigen in sich abgeschlossenen Prozesskammern durchführen. Besonders vorteilhaft ist ein solches Durchlaufverfahren dann, wenn die Produktteile ihr Wärmepotential aus der ersten Prozesskammer des Reaktors in die zweite Prozesskammer überbringen können, und dieses Wärmepotential dann dort verfahrenswirksam wird, wobei diese zweite Prozesskammer bereits schon mit den für die Thermodiffusion beladenen Verfahrensmaterialien beladen ist, und wobei diese Prozesskammer vorgängig bereits auf Prozesstemperatur gebracht wurde.

[0089] Bei einem Durchlaufverfahren zur Aufbringung mehrerer Oberflächenschichten über subsequent operierende Prozesskammern eines Reaktors lässt sich ferner vorsehen, dass statt zinkhaltige Verfahrensmaterialien eine zinkhaltige Dampfmenge unmittelbar in die Prozesskammer(n) eingebracht wird, wobei diese zinkhaltige Dampfmenge in Verbindung mit den physikalischen vorherrschenden Bedingungen in der Prozesskammernämlich Temperatur, Druck, Zinkgehalt des Dampfes, zeitliche Komponenten, und mehr die angestrebte Thermodiffusion sicher stellen.

[0090] Es lassen sich des Weiteren nach demselben Verfahren auch anderweitige werkstoffhaltige Dampfmenngen zur Durchführung eines Thermodiffusionsprozesses vorsehen. Der wesentliche Vorteil dieses Ansatzes ist darin zu sehen, dass sogar anhand einer einzigen Prozesskammer mehrere Oberflächenschichten nacheinander aufgebracht werden können, indem nach der erfolgten ersten Oberflächenbeschichtung die restliche erste Dampfmenge aus der Prozesskammer abgesogen wird, und dieselbe Prozesskammer darauf mit einer zweiten Dampfmenge für die Aufbringung einer zweiten Oberflächenschicht aufgeladen wird. Soll aber auf eine intensive Bewirtschaftung des Reaktors wert gelegt werden, so lässt sich dann vorteilhaft mit beispielsweise zwei autonom betreibbaren Prozesskammern arbeiten, in welchen die Thermodiffusionsprozesse individuell durchgeführt werden.

[0091] Als Beispiel einer zweilagigen Oberflächenbeschichtung lässt sich die Kombination aufführen, bei welcher eine erste Oberflächenschicht aus einer Zinkschicht besteht, um gegen Korrosion zu wirken, und eine zweite Oberflächenschicht aus einer Phosphatschicht besteht, um die betriebsweise Verschleissfestigkeit des Substrats zu erhöhen.

[0092] Sonach, mindestens die letzt aufgebrachte Oberflächenschicht weist physikalische und/oder chemische Eigenschaften auf, welche einen maximierten Korrosionsschutz und/oder Verschleissfestigkeit gewährleisten.

[0093] Es soll des Weiteren Wert darauf gelegt werden, dass mindestens die letzt aufgebrachte Oberflächenschicht aus einem Werkstoff besteht, der eine hohe Tenazität gegen biegebedingte Rissbildungen oder Abblätterung aufweist, wobei diese Tenazität mindestens gleich oder grösser ist als die aus der thermischen Behandlung des Substrats resultierende Duktilitätszunahme der Teile, d.h. die thermisch bedingte Duktilitätszunahme des Substrats soll nicht grösser als die Tenazität der Oberflächenschicht ausfallen, damit es bei den Substraten im Betrieb zu keinen oberflächenbezogenen Rissbildungen kommt, wobei bei Struktur- und Sicherheitsbauteilen die Maximierung des Faltenwurfes oberste Priorität hat.

[0094] Vorliegend wird also unter Tenazität lediglich das Haftungsvermögen der aufgetragenen Schichtstruktur verstanden, resp. deren Zähigkeit gegen mechanische und/oder chemische Einflüsse, Belastungen, Biegungen, etc.

[0095] Es hat sich somit überraschend gezeigt, dass durch das erfindungsgemässe Verfahren eine wesentliche Steigerung der Streckgrenze erreicht werden konnte. Insbesondere bei der Anwendung der Substrate für Karosseriebauteile, aber nicht nur, bleibt die dabei einhergehende Abnahme der Zugfestigkeit ohne Bedeutung, denn diese spielt bekanntlich für die Auslegung der Konstruktion auf Grund des Einsatzes hochwertiger Materialien mit gesicherten physikalischen Materialwerten nur eine untergeordnete Rolle. Die Bruchdehnung nimmt durch das erfindungsgemässe Verfahren nur unwesentlich ab, dies in der Grössenordnung von wenigen Prozentpunkten. Dagegen zeigt sich aber eine deutliche Verminderung der Rissempfindlichkeit im Vergleich der Brucheinschnürungswerte.

[0096] Damit lassen sich Karosseriebauteile, aber nicht nur, zur Verfügung stellen, welche hinsichtlich des eingesetzten Materials nach wie vor das Prädikat «Hochfest» haben, aber sich grösstmöglich duktil verhalten, damit sie sich bei hohen Crashkräften Faltenbeulen (Faltenwurf) ausbilden können, anstatt schlicht zu reissen oder Risse zu bilden, welche dann auch die Struktur der Oberflächenbeschichtung in Mitleidenschaft ziehen würden (siehe auch oben unter dem Begriff «Tenazität»). Diese Resultate konnten durch eingehende Versuche für alle Struktur- und Sicherheitsbauteile bestätigt werden.

[0097] Wenn von einem Hochfesten Teil die Rede ist, so wird nicht abschliessend auf einen Hochfesten Stahl hingewiesen, dessen Zusammensetzung die folgenden Gewichtsprozent aufweisen kann: Kohlenstoff (C) 0,18% bis 0,3%; Silizium (Si) 0,1% bis 0,7%; Mangan (Mn) 1,0% bis 2,5%; Phosphor (P) maximal 0,025%; Chrom (Cr) bis 0,8%; Molybdän (Mo) bis 0,5%; Schwefel (S) maximal 0,01%; Titan (Ti) 0,02% bis 0,05%; Bor (B) 0,002% bis 0,005%; Aluminium (Al) 0,01% bis 0,06%; Rest Eisen einschliesslich schmelzungsbedingter Verunreinigungen, wobei dieses Material nach der Wärmebehandlung bei 320° bis 400° C eine Zugfestigkeit R_m von 1200 bis 1400 N/mm², eine Streckgrenze $R_{p0.2}$ von 950 bis 1250 N/mm² und eine Dehnung A_5 von 6–12% aufweist. Nicht abschliessend in diesem Kontext heisst, dass auch andere Metalle/Materialien mit denselben Vorteilen zum Einsatz gelangen können.

[0098] Die Betriebstemperatur für die Wärmebehandlung des Substrats im Reaktor und für die Durchführung der Thermodiffusion erfolgt zwischen 200° und 500 °C, vorzugsweise zwischen 280°–380 °C. Versuche haben darüber hinaus ergeben, dass der thermische Betrieb unter Anwendung der letztgenannten Spanne (280°–380 °C) die besten Resultate

hinsichtlich einer Maximierung der Duktilität bei Substraten für den Einsatz als Struktur- und Sicherheitsbauteile und hinsichtlich der Erzielung einer haftungssicheren tenazitätskonformen Aufbringung der Schichtstruktur liefert.

[0099] Weitere Versuche haben darüber hinaus auch noch aufgezeigt, dass bei bestimmten metallischen Schichtstrukturen mit einer wertmässigen Wärmebehandlung ausserhalb der letztgenannten Spanne gearbeitet werden muss, um eine haftungssichere tenazitätskonforme Schichtstruktur zu erzielen, wobei die Versuche ferner aufgezeigt haben, dass bei höheren Temperaturen über 350°–380 °C die Problematik einer zu starken Herabsetzung der Zugfestigkeit und Härte beim Substrat auftreten kann. Durch eine metallurgische Anpassung des Materials lassen sich aber diese Nachteile leicht beheben.

[0100] In diesem Zusammenhang sei hervorgehoben, dass es bei zwei oder mehreren Oberflächenschichten vorteilhaft ist, wenn die metallische Zusammensetzung der ersten unmittelbar auf die metallische Oberfläche des Substrats aufgebraachte Schicht durch ein maximiertes metallisches Haftungsvermögen charakterisiert ist, und dass sich diese metallische Zusammensetzung auch haftungsmässig dann optimal gegenüber der nachfolgenden Schicht verhalten soll. Können diese gegenseitigen Haftungserwartungen (untere Schicht gegenüber oberer Schicht) nicht optimal erfüllt werden, so kann mit Zwischenschichten gearbeitet werden, welche wiederum im fortlaufenden Betrieb eines mehrstufigen Reaktors aufgebracht werden können. Dieselben Überlegungen lassen sich auch bei Nichtmetallischen Substraten anstellen.

[0101] Was die Zusammensetzung der einzelnen Schichten betrifft, so kann mindestens eine Schicht aus einem metallischen Dreiphasensystem bestehen, nämlich aus Al/Zn/Mg, wobei Zn als Hauptreaktionspartner einen Anteil $\geq 60\%$ aufweist, Al 1–39% und Mg die Restanz zu nahezu 100% oder auch zu 100%, wobei mindestens eine Lage der Schichtstruktur aus einem individuellen oder zusätzlichen metallischen Phasensystem bestehend aus Ti und/oder Sn zusammengesetzt oder mindestens eine Lage der Schichtstruktur aus einem individuellen oder zusätzlichen metallischen Phasensystem aus Al_3Ni_2 oder Al_3Ni ergänzt werden kann.

[0102] Demnach lassen sich auch Verfahren zur Herstellung von Zink-beschichteten Nichteisenmetall-Bauteilen (NE Metall) vorsehen (siehe oben im Zusammenhang mit den Ausführung hinsichtlich eines Hochfesten Stahls), welche sich insbesondere für die Fertigung korrosionsgeschützter Karosseriebauteile in Mischbauweise eignen, wobei die Oberflächenbeschichtung auf die Nichteisenmetall-Bauteile grundsätzlich auch durch ein Zinkdiffusionsverfahren unter Anwendung einer Zn-Staub-Mischung bei einer Temperatur im Bereich von 300° bis 600° C, vorzugsweise von 280°–380 °C, unter Bildung einer Zinkdiffusionsschicht aufgebracht werden kann. Als Nichteisenmetall wird beispielsweise, aber nicht abschliessend, eine Leichtmetalllegierung auf der Basis einer Al-, Ti-, oder Mg-Legierungen angewendet. Die Leichtmetalllegierung weist einen Al-Gehalt oberhalb 55 Gew.-% auf.

[0103] Im Nachgang lässt sich nach Bedarf, wie oben bereits erwähnt, auf Zn-Thermodiffusionsschicht eine Phosphatierungsbeschichtung aufbringen. Als Nichteisenmetallbauteile lassen sich auch Kupfer oder Cu-Legierungen, ebenso Al-, Ti-, Mg-Legierungen vorsehen. Die blechförmigen Nichteisenmetallbauteile können nach der Beschichtung durch Tiefziehen weiter umgeformt oder fertig erstellt werden. Eine Warmumformung dieser Nichtmetallbauteile ist auch möglich, sowohl vor als auch nach der Beschichtung, wobei diese Umformung an Luft oder unter Schutzgasatmosphäre durchgeführt werden kann.

[0104] Dadurch, dass das Leichtmetallbauteil selbst eine Zinkdiffusionsschicht trägt, wird der unmittelbare Kontakt zwischen Leichtmetall- und Stahlbauteile an den Fügstellen unterbunden. Sollte aber die Reibung bei diesen Kontaktstellen grösser ausfallen als berechnet, so liesse sich beispielweise dadurch Abhilfe schaffen, indem die Fügstellen zusätzlich lackbeschichtet werden. In allen Fällen lassen sich die Leichtmetall- und Stahlbauteile durch ein Schweissverfahren zu einer Einheit bilden.

[0105] Die Betriebstemperatur im Reaktor für die Wärmebehandlung der Teile und für Durchführung der Thermodiffusion liegt, wie bereits oben dargelegt, zwischen 200° und 500 °C, vorzugsweise zwischen 280° und 380 °C. Diese Thermodiffusion beansprucht in der Regel eine Zeitspanne von < 0.5 h bis 4.0 h. Diese Zeitspanne umfasst eine Aufheizphase und eine Haltephase, wobei sich die Aufheizphase über einen Zeitraum von 0.5 h bis 2 h, und sich die Haltephase über einen Zeitraum von 0 h bis 2 h erstrecken.

[0106] Die beiden Phasen lassen sich auch intertemporär gestuft aufeinander folgend betreiben, so dass eine strenge zweiphasige Folge dann nicht mehr im Vordergrund steht. Der wesentliche Vorteil einer solchen Vorgehensweise besteht darin, dass die Thermodiffusion gezielter durchgeführt werden kann.

[0107] Die nachfolgende Abkühlungsphase des Substrats erfolgt dann in einem individuell festgelegten Zeitraum (siehe oben im Zusammenhang mit dem Betrieb des als Reaktor ausgebildeten Behälters), der in einem Fall kleiner oder gleich 1 h und in einem anderen Fall grösser 5 h betragen kann.

[0108] Die Prozesskammer des Reaktors, in dem das oder die Substrate einer Wärmebehandlung unterworfen sind, und diese Substrate durch Thermodiffusion mit einer Schichtstruktur versehen werden, wird bei einer Betriebstemperatur zwischen 280° und 380 °C mit einem anfänglichen Sauerstoffgehalt von > 1 Vol. % gefahren, wobei der Reaktor mit einem Überdruck oder mit einem Unterdruck betrieben wird, d.h. kontinuierlich mit einem leichten Überdruck, deutlich unter 1.5 bar, vorzugsweise zwischen 1,01 und 1.5 bar, oder kontinuierlich mit einem Unterdruck zwischen 1 und 20mbar.

[0109] Mindestens eine Oberflächenbeschichtung weist eine Dicke von 1–120 µm, vorzugsweise 1–20 µm, auf. Bei mehreren Schichten verlaufen diese bandmässig zueinander regelmässig, quasi-regelmässig oder unregelmässig in X/Y/Z-

Richtung des Substrats. Die Schichten können zueinander regelmässig oder unregelmässig verlaufen; von regelmässig wird gesprochen, wenn die Schichten einen im Wesentlichen flachen Verlauf aufweisen.

[0110] Der thermische Diffusionsprozess betreffend eine Oberflächenschicht erfolgt innerhalb eines vorzugsweise festgelegten Temperaturbereiches von 280° C bis 380 °C (siehe oben), und dies während einer Zeitdauer von < 30 bis 240 min. Eine typische Gesamtzykluszeit beträgt bis zu 120 min.

[0111] Eine wichtige Interdependenz zwischen der für den Prozess bedingten Höchsttemperatur und Umfang der Beladung des Reaktors mit Substraten besteht darin, dass sich die Diffusionstemperatur immer innerhalb kürzester Zeit gleichmässig innerhalb der Prozesskammer des Reaktors einstellen kann. Dies bedingt, dass die Beistellung der für die Thermomodiffusion optimalen Temperatur stark von der Art und Weise abhängt, wie der Reaktor thermisch aufgeladen wird, also insbesondere daran, wie die Wärmezuführung über die Heizschlangen resp. Heizelemente erfolgt, welche den Reaktor teilweise oder ganz umschliessen. In diesem Zusammenhang liegt es auf der Hand, dass die Wanddicke des Reaktors einen wesentlichen Parameter für das Verfahren darstellt. Vorzugsweise soll für die Temperaturbeistellung eine Halbkreisgeometrie sowohl für die Heizelemente als auch für die Isolierung verwendet werden, dies um den Abstand zwischen den Heizelementen und der Aussenfläche des dort eingelassenen Reaktors zu optimieren.

[0112] Die effektive Heizzone muss vorzugsweise an der unteren Hälfte des rohrförmig ausgebildeten Reaktors konzentriert werden, wo die Substrate und die für die Thermomodiffusion eingebrachten Verfahrensmaterialien, namentlich Eisen- und/oder Nichteisenmetallpulver und Granulate, konzentriert vorliegen. Von daher sollten Heizelemente in dem oberen Bereich des Reaktors nur mit Bedacht angeordnet werden. Die Heizelemente und die Isolierung sollten wartungsoptimal ausgelegt werden, wobei eine einfache Austauschbarkeit anzustreben ist.

[0113] Allgemein lassen sich die Hauptstationen der Anlage, welche die Verfahrensprozesse definieren, wie folgt zusammenfassen:

- a) Optional: Station zur Reinigung der Oberfläche der Substrate resp. Erzeugnisse (der eigentliche Thermomodiffusionsprozess beginnt mit b)
- b) Station zum Laden der Substrate resp. Erzeugnisse in einen vorzugsweise rohrförmigen Reaktor.
- c) Station (Ofen) für die thermische Durchführung der Thermomodiffusion, unter Beistellung einer thermischen auf den Reaktor wirkenden Energie.
- d) Vornahme einer gezielten Abkühlung des Reaktors.
- e) Überführung des Reaktors zu einer Entladestation.
- f) Anschliessende Vornahme einer Reinigung, beispielsweise Ultraschallreinigung, und Passivierung der Substrate resp. Erzeugnisse in mindestens einer Station.
- g) Recycling der wärmeleitenden Verfahrensmaterialien und/oder des Sättigungsgemisches aus dem vorangehenden Prozess und Einleitung derselben in b).

[0114] Die Erfindung betrifft des Weiteren eine Anwendung des Verfahrens, welche auf die Herstellung von Bauteilen, insbesondere Struktur und Sicherheitsbauteile, gerichtet ist, deren Einsatz eine hohe Korrosionsschutzfähigkeit und eine hohe Duktilität voraussetzen. Diese Bauteile werden aus warm- oder kaltumformbaren Rohlingen hergestellt, und sind vorzugsweise für Transportmittel zu Strasse, zu Bahn, zu Luft, zu Wasser bestimmt. Bei den Transportmitteln zu Strasse handelt es sich vorzugsweise um Kraftfahrzeuge, in welchen solche Struktur- und Sicherheitsbauteile mit Vorteil eingebaut werden, und es sei auch nur darum, um die strengen Crash-Normen zu erfüllen. Vorzugsweise handelt es sich bei diesen Erzeugnissen um Hochfeste Stahl- (Eisen Metall) oder Al-Bauteile (NE Metall), welche, wie oben dargelegt, insbesondere bei Kraftfahrzeugen zum Einsatz gelangen.

[0115] Im Wesentlichen lassen sich durch die erfindungsgemässe Thermomodiffusion folgende Vorteile erzielen:

- a) Bei höchstem anorganischem Korrosionsschutz, hält die Korrosionsschutzfestigkeit mindestens zweimal länger als dies beispielsweise bei der Feuerverzinkung oder bei ähnlich gelagerten Verfahren der Fall ist;
- b) Es wird eine starke Adhäsionsverbindung der aufgetragenen Schichten gewährleistet, ohne Rissbildungen, Ablösungen (Abblätterung) und Brüche, und dies über die ganze Bandbreite der möglichen Schichtdicken von 1–120 µm;
- c) Wenn in dieser Beschreibung dann aus praktischen Überlegungen hinsichtlich einer schlanken Diktion von einer Schichtdicke die Rede ist, so darf damit niemals die Meinung aufkommen, dass damit auch anderweitige Überzüge verstanden werden könnten, denn gerade das Wesen der hier verfolgte Thermomodiffusion besteht darin, dass sich das – beispielsweise – eingesetzte Zink nicht nur auf die zu schützende Oberfläche niederschlägt, sondern

dieses Element darüber hinaus in gewundene Metallstrukturen des Substrats eindringt, womit dann eine echte Zink/Eisenlegierung gebildet wird.

- d) Durch die thermodiffusionsbedingte metallstrukturbezogene Verbindung finden auch bei Biege-, Zug-, Druck-, oder Scherbeanspruchungen des Teils keine Rissbildungen und/oder Ablösungen (Abblätterung) dieser Schicht statt, auch weil eine maximierte Adhäsion der eindiffundierten Elemente stattgefunden hat, wobei diese Vorteile auch bei grossen Reibungsbeanspruchungen des Grundmaterials feststellbar sind. Diese Vorteile lassen sich insbesondere bei Verbindungs- oder Strukturteilen beobachten, was auch bei kraftübertragenden Teilen (Schrauben, Nieten, Muttern, etc.) festzustellen ist.
- e) Beim Einsatz der erfindungsgemässen Thermodiffusion lässt sich erzielen, dass bei sicherheitsrelevanten Bauteilen die Gewährleistung der Masstoleranzen und Anzugsmomente gesichert ist.
- f) Beim Einsatz der erfindungsgemässen Thermodiffusion lässt sich des Weiteren erzielen, dass die damit behandelten Teile eine Erhöhung ihrer Duktilität erfahren, welche die Teile «elastischer» macht, ohne damit die ursprünglichen Festigkeitswerte dieser Teile für ihren weiteren Gebrauch wesentlich negativ zu beeinflussen.
- g) Grundsätzlich ist es so, dass sich die zwei genannten Ergebnisse aus der erfindungsgemässen Thermodiffusion, nämlich Korrosionsschutz und Duktilität, alternativ oder kumulativ innerhalb einer grossen Schicht-Bandbreite alternativ oder kumulativ erzielen lassen.

[0116] Weitere Vorteile der Erfindung sind darin zu sehen:

- h) Es wird eine gleichmässige Schichtdicke auch bei komplizierten Geometrien über die ganze Ausdehnung der Teile gewährleistet.
- i) Verschleisschutz, Schutz vor Festfressen, glatter Überzug sind gewährleistet.
- j) An sich sind die durch Thermodiffusion erstellten Schichten gut geeignet, zum Einsatz zu gelangen, wenn im Nachgang punktuelle Flächen mit anderweitigen Überzügen, beispielsweise von organischen Verbindungen (Lacke, Vulkanisation der Teile, etc.) gefragt sind. Indessen, falls eine durch Thermodiffusion erstellte Schicht mit einem solchen zusätzlichen Überzug ergänzt werden sollte, so ist darauf zu achten, dass die hierfür eingesetzten Temperaturen nicht über die Schmelzgrenze von Zink gehen, damit schliesslich keine nachteilige thermische Belastung auf die eindiffundierten Elemente resultieren.
- k) Die erfindungsgemässe Thermodiffusion ist frei von Schwermetallen oder anderen toxischen Stoffen; es werden ausschliesslich umweltfreundliche Prozesse zugrunde gelegt; es entstehen keine Abwasser- oder Abluftproblematiken; es werden keine organischen Lösungsmittel eingesetzt; die Prozesse laufen wasserstofffrei ab.
- l) Wie oben bereits kurz angetönt, weist die erfindungsgemässe Thermodiffusion gegenüber den herkömmlichen Beschichtungsverfahren zum Zwecke eines Korrosionsschutzes, beispielsweise durch Feuerverzinken, den Vorteil auf, dass eine deutlich bessere Verschleiss- und Korrosionsfestigkeit angeboten werden kann, weil unter anderen mit einer verhältnismässig niedrigen Prozesstemperatur gearbeitet wird, wodurch die Behandlungsmöglichkeit von Sonderteilen, wie Federn, etc., ohne Verlust ihrer mechanischen und physikalischen Eigenschaften und Festigkeiten, möglich ist.

Kurze Beschreibung der Zeichnung

[0117] Nachstehend wird die Erfindung unter Bezugnahme der Figuren der Zeichnung näher dargestellt. Alle für das unmittelbare Verständnis der Erfindung nicht wesentlichen Elemente sind weggelassen worden. Gleiche Elemente sind in den verschiedenen Figuren mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

In der Zeichnung zeigt:

[0118]

- Fig. 1 eine integrale Gesamtansicht einer Anlage;
- Fig. 2 eine Draufsicht der Anlage nach Fig. 1;
- Fig. 3 den Aufbau eines Prozessaggregats bei der Abführung der Wärme aus dem Reaktor;
- Fig. 4 den als rohrförmigen Behälter ausgebildeten Reaktor in einer dreidimensionalen Ansicht;
- Fig. 5 den Behälter nach Fig. 4, worin die integrale Anordnung der Thermoelemente ersichtlich ist;

- Fig. 6 einen Schnitt durch den Behälter nach Fig. 4 und 5;
- Fig. 7 den Einbau eines Thermoelementes für die Messung der Wandtemperatur des Behälters;
- Fig. 8 einen Querschnitt durch den Behälter, worin der Einbau eines für die Temperaturmessung in der Prozesskammer ersichtlich ist;
- Fig. 9 einen durch die Thermoelemente gemessenen Temperaturverlauf zur Erstellung der Sollhaltetemperatur in der Prozesskammer;
- Fig. 10 einen Verlauf der durch die Thermoelemente gemessenen Abkühlungsvorgang betreffend die Prozesskammer des Reaktors;
- Fig. 11 den Einbau der Heizelemente im Ofen;
- Fig. 12 eine graphische Darstellung Spannung/Dehnung eines durch Thermodiffusionsprozess behandelten Produktteils;
- Fig. 13 einen sich im Einsatz befindlichen Ofen;
- Fig. 14 eine Station für die Vornahme des Kühlvorganges beim Reaktor nach Beendigung des Thermodiffusionsprozesses;
- Fig. 15 eine erste Etappe zur Entladung des Reaktors;
- Fig. 16 eine weitere Etappe zur Entladung des Reaktors.

Ausführungsbeispiele der Erfindung

[0119] Bei der nachfolgenden Beschreibung der Figuren wird der rohrförmige Behälter, in welchem die physikalischen und chemischen Reaktionen betreffend die zugrundeliegende Thermodiffusion stattfindet, auch mit der Denomination «Reaktor» beschrieben.

[0120] Fig. 1 zeigt eine integrale Ansicht einer Anlage 100, welche bestimmungsgemäss die Voraussetzung bildet, ein Verfahren zur Aufbringung einer Oberflächenbeschichtung auf eine metallische, nichtmetallische oder intermetallische Oberfläche eines Substrats hinsichtlich mindestens eines mechanisch belasteten Produktteils in einem gesteuerten und/oder geregelten Reaktor durchzuführen.

[0121] Im Wesentlichen setzt sich die Anlage 100 aus folgenden Hauptstationen zusammenfassen:

- A. Station zur Reinigung der Oberfläche der zu behandelten Teile.
- B. Station zum Laden der zu behandelten Teile in einen vorzugsweise rohrförmigen Reaktor unter Beistellung der für die Durchführung der Thermodiffusion komplementär notwendigen Hilfselemente.
- C. Station für die Durchführung der Thermodiffusion unter Einbezug des Reaktors in einem Ofen in welchem Reaktor durch Wärmezufuhr die Aufheizung dessen Inhalt stattfindet.
- D. Vornahme einer gezielten Abkühlung des Reaktors in einer dafür ausgelegten Kühlvorrichtung.
- E. Überführung des Reaktors zu einer Entladestation.
- F. Anschliessende Vornahme einer Waschung und Passivierung der behandelten Teile innerhalb mindestens einer dafür ausgelegten Station.
- G. Recycling des wärmeleitenden Füllstoffes und/oder des Sättigungsgemisches aus dem vorangehenden Prozess und Einleitung derselben in B.

[0122] Der thermische Hauptbestandteil dieser Anlage wird durch ein Heiz/Kühl-Aggregat 110 (siehe oben C/D), das im Heiz- oder Vorheiz-Betrieb dargestellt ist. Der thermische Diffusionsprozess findet in einem Reaktor 120 statt. Dieser Reaktor weist die Form eines rohrförmigen Behälters auf, welcher in einem heizbaren Supportwagen (Laufwagen) 130 platziert ist. Der Supportwagen ist so ausgebildet, dass sich der rohrförmige Reaktor darin unbeschränkt frei drehen kann. Diese Drehbarkeit wird vorteilhaft auch während der Be- und Entladung beibehalten. Dieser Supportwagen mit dem eingelegten Reaktor weist Mittel auf, welche zunächst die Aufheizung des rohrförmigen Reaktors sicherstellen, wobei der Supportwagen 130 so konzipiert ist, dass er in ein nachfolgendes Prozessaggregat 140 eingeschoben werden kann, in welchem die effektive Aufheizung zur Durchführung des Thermodiffusionsprozesses stattfindet.

[0123] Nach beendetem Thermodiffusionsprozess kann in diesem Aggregat mindestens eine vorläufige Abkühlung des rohrförmig ausgebildeten Reaktors stattfindet, bevor dieser zu der Abkühlungsvorrichtung weiter transportiert wird. Mit dem Thermodiffusionsprozess finden im rohrförmigen Reaktor jene prozessorientierten thermisch geregelten Abläufe statt, bei welchen die behandelten Produktteile mit der bestimmungsgemässen Schutzschicht versehen werden.

[0124] Die Heizelemente 150 (siehe Fig. 2 und 4) im Supportwagen 130 für die Beistellung der Wärmezufuhr befinden sich gegenüber dem Reaktor vorzugsweise in der unteren Hälfte (siehe Fig. 10), wo sich die Substrate, also allgemein die Produktteile, auch auf Grund der Rotation des Reaktors allgemein befinden werden, es sei der Reaktor sei mit denn die Produktteilen maximiert prallgefüllt, oder die Produktteile seien im Reaktor fest verankert. In solchen Fällen müsste dann betreffend Wärmezufuhr nur noch auf die eingebrachten Verfahrensmaterialien (Zn, Zinkpulver, Eisen- und/oder Nichteisenmetallpulver, Granulate, Katalysatoren, etc.) Rücksicht genommen werden

[0125] Von daher ist eine Anordnung der beschriebenen Heizelemente in dem oberen Bereich des Reaktors nur bei Bedarf anzuordnen. Des Weiteren, sind solche Heizelemente allenfalls integral um den Reaktor anzuordnen, wenn sich durch die blosse unterseitige Aufheizung in der zum Reaktor gehörende Prozesskammer (siehe Fig. 7) keine gleichförmige Verfahrenstemperatur erreichen lässt. Die Heizelemente und die Isolierung müssen auch wartungsoptimal ausgelegt werden, und es ist eine einfache Austauschbarkeit derselben anzustreben.

[0126] Die Erreichung einer gleichförmigen Verfahrenstemperatur in der Prozesskammer lässt sich dadurch erreichen, dass der Reaktor während des ganzen Aufheizungsprozesses nach bestimmten Kriterien eine drehende oder oszillierende Bewegung ausführt. Die Drehrichtung und die Anzahl Umdrehungen pro Zeiteinheit lassen sich entsprechend programmieren. Versuche haben gute Resultate gezeigt, wenn bei mittlerer Füllung des Reaktors mit einer Drehzahl von 1–15 U/min operiert wird. Auch kann die Drehrichtung intermittierend geändert werden, und die jeweilige Drehrichtung kann intertemporär verschieden lang sein.

[0127] Für die Überwachung der thermischen Aufbereitung innerhalb der Prozesskammer des Reaktors wird diese mit verschiedenen Thermoelemente ausgestattet (siehe Fig. 5), welche sowohl an der Aussenwand des Behälters als auch in der Prozesskammer selbst angeordnet sind. Diese Sensoren überwachen die Temperaturverläufe und übermitteln die gemessenen Werte an eine zentrale Steuereinheit, welche die Steuerung und Regelung des Gesamtbetriebs der Anlage, und mithin auch die Wärmezuführung für die Aufheizung des Reaktors, sicherstellt.

[0128] Allgemein gilt, dass der Ofen anhand von Steuerungsprofilen betrieben wird, welche nach folgenden Kriterien operieren:

- a) Die Steuerung operiert mit abgelegten Steuerungsprofilen, welche bei der Eingabe des vorzunehmenden Betriebs des Ofens abgerufen werden;
- b) Die Steuerung weist Steuerungsprofile auf, welche mit vorgegebenen Regelungsfunktionen gekoppelt sind;
- c) Die Steuerung weist Steuerungsprofile auf, welche adaptiv regeln;
- d) Die Steuerung weist Steuerungsprofile auf, welche prädiktiv regeln;
- e) Die Steuerung operiert mit freiwirkenden Steuerungsprofile, welche sich auf Grund der von den Thermoelementen erfassten Informationen für den Betrieb des Ofens fortlaufend, adaptiv oder prädiktiv eingreifen.

[0129] Die Steuerung für den Betrieb des Ofens erfasst gleichzeitig auch den Betrieb des Reaktors, wobei beide Aggregate in einer engen thermischen Wirkverbindung zueinander stehen.

[0130] Typischerweise wird der Reaktor-Heizzyklus, insbesondere bei einer definierten Thermodiffusion, in drei Phasen unterteilt:

- Bei Schritt 1 wird ein schnelles Aufheizen bei maximaler Leistung bei einer berechneten Rampe auf Sollhaltetemperatur für eine berechnete Zeit zugrunde gelegt.
- Bei Schritt 2 ist ein Erhitzen bei reduzierter Leistung hinsichtlich der vordefinierten Sollhaltetemperatur (innerhalb der Sollhaltetemperatur-Toleranz) vorgesehen, mit dem Ziel, sich möglichst der zugrunde gelegten Temperatur innerhalb der berechneten Zeit zu nähern.
- Bei Schritt 3 geht es darum, die Aufrechterhaltung der vordefinierten Sollhaltetemperatur während des gesamten Thermodiffusionsprozesses zu sichern.

[0131] Der thermische Diffusionsprozess innerhalb der Prozesskammer des Reaktors erfolgt innerhalb eines vorzugsweise festgelegten Temperaturbereiches von 280° bis 380° C, und dies während einer Zeitdauer von < 30 bis mindestens 240 min. Eine typische Gesamtzyklusdauer beträgt mindestens oder > 90 Minuten. Wichtig in diesem Zusammenhang ist die Temperaturtoleranz während des Prozesses anzusehen, welche bei einer vorgegebenen Sollhaltetemperatur eine Toleranzspanne < 5 °C, maximal $\pm 5^\circ$ bis $\pm 20^\circ$ C betragen muss.

[0132] Eine wichtige Interdependenz zwischen der für den Prozess bedingten Höchsttemperatur und Umfang der Beladung des Reaktors mit Substraten oder sonstigen Produktteilen besteht darin, dass die Diffusionstemperatur unbedingt

immer innerhalb kürzester Zeit erreicht werden sollte. Dies bedingt, dass die Beistellung der für die Thermodiffusion optimalen Temperatur stark von der Art und Weise, wie der Reaktor thermisch betrieben wird, also insbesondere hinsichtlich jener Fälle, in welchen die thermische Aufbereitung indirekt erfolgt, beispielsweise über Heizschlangen resp. Heizelemente, welche den Reaktor in einer bestimmten Konfiguration umgeben. In diesem Zusammenhang liegt es auf der Hand, dass die Wanddicke des Behälters einen wesentlichen Parameter für die thermische Aufbereitung darstellt.

[0133] Vorzugsweise soll für die Temperaturbeistellung im Ofen eine Halbkreisgeometrie sowohl hinsichtlich der Architektur der Heizelemente als auch betreffend die allgemeine Isolierung verwendet werden, dies um den Abstand zwischen den Heizelementen und der Aussenfläche des Reaktors zu optimieren (siehe Fig. 10). Wie bereits erwähnt, bleiben von diesem Grundmuster allenfalls jene Fälle ausgeschlossen, wenn durch sperrige Substrate eine vollumfängliche (pralle) Beladung des Reaktors vorliegen sollte.

[0134] Die durch die Thermodiffusion zu erzielende Schichtstruktur auf der Oberfläche der Teile wird aus wenigstens einer Lage oder aus mindestens zwei gleichen oder unterschiedlichen Lagen gebildet. Die Lagen folgen aufeinander und sie verlaufen parallel oder quasi-parallel zur Oberfläche des Teils oder zu einer vorangehenden Lage. Mindestens die Oberflächen der im Reaktor platzierten Teile müssen mit einer Wärmezufuhr beaufschlagt werden, wobei diese Wärmezufuhr nicht nur von aussen herangeführt, sondern auch direkt in die Prozesskammer des Reaktors eingeführt werden kann. Diese Wärmezuführung wirkt auch auf die metallischen und/oder intermetallischen Werkstoffe und/oder Legierungen, welche innerhalb des Reaktors eine Dampfphase bilden, welche dann thermodiffundierend die Erzeugung der Oberflächenbeschichtung auf die zu behandelnden Produktteile einleitet resp. bewerkstelligt.

[0135] Ist die Oberflächenbeschichtung durch mehrere Schichten charakterisiert, dann werden mindestens zwei der aufeinander folgenden Lagen durch eine gesteuerte und/oder geregelte Wärmezuführung im stationären Betrieb oder über einen Durchlaufbetrieb thermodiffundiert, wobei diese Schichten aus gleichen oder unterschiedlichen metallischen und/oder intermetallischen Werkstoffen und/oder Legierungen bestehen und gleiche oder unterschiedliche Schichtdicken aufweisen können. Mindestens die letzte aufgebrachte Lage weist physikalische und/oder chemische Eigenschaften auf, welche beim behandelten Teil einen maximierten Korrosionsschutz bilden, wobei mindestens die letzte aufgebrachte Schichtstruktur physikalische Werte gegen biegebedingte Rissbildungen oder Abblätterung oder gegen Verschleissabnützungen aufweist, und wobei mindestens die letzte aufgebrachte Schicht durch eine hohe Duktilität gekennzeichnet ist.

[0136] Des Weiteren weist die Anlage gemäss Fig. 1 noch die folgenden komplementären Aggregate auf:

[0137] Da ist zunächst ein mit Geräten ergänztes Karussell 160 ersichtlich, das als Ladestation fungiert, und gleichzeitig auch als Entladestation dient. Hier findet das Befüllen und Entleeren des rohrförmigen Behälters, also des Reaktors 120, mit Produktteilen statt. Der Reaktor wird daraufhin in Position gebracht, wobei dieser Behälter jene Infrastruktur aufweist, um später die Funktion eines Reaktors erfüllen zu können. Das Karussell bildet die Basis für die Aufnahme des Supportwagens 130 mit dem darin platzierten rohrförmigen Reaktor 120. Andere nicht näher gezeigte Anlagelayouts, beispielsweise Krane oder Robotics, können als komplementäre Hilfsmittel vorgesehen werden.

[0138] Links davon, also stromauf des Karussells 160, wirkt eine hier summarisch dargestellten Verladeeinrichtung 170, welche die Beschickung des Reaktors 120 mit Substraten und/oder Produktteilen vornimmt. Für eine nähere Darlegung des ganzen Beladungsvorgangs wird auf die Fig. 12 verwiesen.

[0139] In Wirkverbindung mit dem Wärme/Kühl-Aggregat, also dem eigentlichen Ofen 110, ist eine komplementäre Baugruppe 180 vorhanden, welche aus folgenden Sub-aggregaten besteht:

[0140] Aus einem Vibrationsgerät 181 und einem Separator 182, welche die Trennung der einzelnen Komponenten der Verfahrensmaterialien, bestehend beispielsweise aus AL-Granulaten, Füllmaterialien und Pulverresten, vornehmen. Diese Subaggregate 181/182 sorgen dafür, dass die Trennung der «verbrauchten» Verfahrensmaterialien effizient stattfindet. Es ist indessen vorteilhaft, vorzusehen, und bei Bedarf anzuwenden, dass mindestens eine weitere Trennungsoption der genannten verfahrensnotwendigen Materialien vorgesehen wird. Nach der endgültigen Trennung werden diese nunmehr «verbrauchten» Verfahrensmaterialien zu getrennten Behältern überführt. Ein Recycling ist indessen möglich.

[0141] Des Weiteren ist ein Vakuum-Absauger 183 vorhanden, der die Entstaubung aus den operationeell entstandenen Staub und Rauch aus den Aggregaten vornimmt. Zu diesem Zweck kommen zwei Hauben oder Kappen 184, 185 zum Einsatz, welche statisch selbsttragend sind und durch Automatik oder von Hand korrekt Positionierung werden können. Der Absauger muss für eine effiziente Staubabsaugung insbesondere des gebrauchten Zinkstaubes oder eines anderen eingesetzten Verfahrensmaterials ausgelegt sein. Als Richtwert für eine einwandfreie Staubabsaugung gilt die Menge von 10 Kg Staub pro Behälter.

[0142] In diesem Zusammenhang ist es aus Sicherheitsüberlegungen wichtig, sicherzustellen, dass keine örtlichen Zündquellen vorhanden sind, welche mit der Staubabsaugung in Berührung kommen könnten.

[0143] In Fig. 1 sind des Weiteren die strömungsführenden Leitungen ersichtlich, nämlich:

- a) Position 101 als Verbindungsleitung zwischen dem Vibrationsgerät 181 und dem Vakuum-Absauger 183;
- b) Position 102 als Verbindungsleitung zwischen dem Separator 182 und dem Vakuum-Absauger 183;

- c) Position 103 eine erste zu einer ersten Kappe 184 gehörende Leitung, welche mit dem Vakuum-Absauger 183 verbunden ist;
- d) Position 104 eine zweite zu einer zweiten Kappe 185 gehörende Leitung, welche mit dem Vakuum-Absauger 183 verbunden ist.

[0144] Fig. 2 zeigt eine Draufsicht der Anlage 100 nach Fig. 1. Hier sind die Heizelemente 150 besonders gut ersichtlich. Eine weitere körperliche Ansicht dieser Heizelemente geht aus Fig. 10 hervor. Die hier angebrachten Positionen stehen in Konkordanz mit Fig. 1 und haben den finalen Zweck, die einzelnen Aggregaten ganzheitlich wiederzugeben.

[0145] Im Einklang mit Fig. 3, muss der Aufbau dieses Prozessaggregats 140 so gestaltet sein, dass sie eine Infrastruktur aufweisen, welche die aus der Aufheizung des Reaktors erwärmte Luft im genannten Prozessaggregat abgeführt werden kann. Andererseits weist das Prozessaggregat 140 eine Infrastruktur auf, welche sicherstellt, dass nach Beendigung des Thermodiffusionsprozesses eine gezielte Kühlung des Reaktors nach vorgegebenen Parametern einsetzen kann, bevor der Reaktor zu einer Kühlungsvorrichtung transportiert wird (siehe Fig. 15).

[0146] Sowohl die Abführung der erwärmten Luft als auch die Zuführung des zur Kühlung benötigten Luftstromes sollen vorzugsweise über mehrere Ein-/Auslässe um den Reaktor stattfinden. Um die Kühlung des Reaktors von einer Prozess-temperatur (Sollhaltetemperatur) von beispielweise 350 °C auf 50° C während einer bestimmten Zeitspanne zu reduzieren (siehe oben), muss eine entsprechende Luftgebläse-Leistung zur Verfügung gestellt werden. Zu diesem Zweck lässt sich im Normalfall Umgebungsluft verwenden. Ansonsten ist die Einleitung einer gekühlten Luft vorzusehen.

[0147] Fig. 3 ist demnach als eine Seitenansicht der Anlage 100 nach Fig. 1 dargestellt, und sie zeigt prädominant das bei der Abkühlung des rohrförmigen Behälters eingesetzten Prozessaggregat 140. Um den Abkühlungsvorgang im Zusammenwirken mit der Beistellung der Kappe 185 effizienter zu gestalten, wird das Prozessaggregat 140 durch einen Deckel 141 erweitert, der dafür sorgt, dass die zur Verfügung gestellte Abkühlung den Reaktor 120 möglichst integral erfassen kann. Ist einmal der Reaktor in Wirkverbindung mit der Kühlungsvorrichtung gemäss Fig. 13 fertig gekühlt, erfolgt dann die Entleerung des Inhalts des Reaktors, d.h. der Prozesskammer.

[0148] Aus Fig. 4 geht in dreidimensionaler Ansicht die Konfiguration eines als Behälter ausgebildeten Reaktors 120 hervor. Der Behälter 120 wird während des gesamten Aufheizungszyklus langsam gedreht, wobei aus Durchmischungsgründen die Drehrichtung intermittierend gewechselt wird, und die jeweilige Drehrichtung kann intertemporär verschieden lang angesetzt sein. Der Zeitpunkt des Rotationswechsels, also des Drehrichtungswechsels, wird rezeptgesteuert, und er soll in der Regel alle 1 bis 4 min. erfolgen. Wenn von einer langsamen Drehung die Rede ist, so sind damit Umdrehungen des Behälters in der Grössenordnung von 1–15 U/min gemeint, ausgehend von einem Behälter mit einem Durchmesser von ca. 600 mm und einer Länge von ca. 2500 mm. Aus Durchmischungsgründen und um eine gezielte sektorielle Aufheizung zu erzielen, lässt sich die Rotation des Behälters in eine oszillierende Bewegung überführen.

[0149] Die hier gezeigte runde Form des Behälters 120 ist indessen nicht zwingend zu verstehen. Grundsätzlich wird ein Behälter in dieser Grösse in drei Zonen Z1, Z2, Z3 aufgeteilt. Diese Aufteilung hängt auch damit zusammen, dass der Behälter 120 in Längsrichtung intermediär runde konzentrisch und zueinander beabstandete vorstehende Ringe 122, 123 aufweist, welche in Verbindung mit den in den Ofen integrierten Rollen (siehe Fig. 10) die drehende, allenfalls oszillierende Bewegung des Behälters 120 ermöglichen, wobei sich die oszillierende Bewegungen über bestimmte Bogenmasse einpendelt kann. Vorliegend ist der Behälter 120 auf Grund seiner Länge mit zwei vorstehenden Ringen 122, 123 versehen, d.h., bei längeren Behältern lassen sich ohne weiteres eine grössere Anzahl solcher Ringe vorsehen.

[0150] Der Behälter 120 weist kopfseitig einen Verlängerungsstück 125 mit einem flanschartigen Abschluss 128 gegenüber dem übrigen Teil des Behälters 120 auf. Dieses Verlängerungsstück 125 ist als Wärmeisulationskörper ausgebildet, und verschliesst isolierend die Prozesskammer (siehe Fig. 6) gegenüber der Umgebung. Ein Verschlussdeckel 126 sorgt für den Abschluss des Behälters 120, wobei dessen Öffnungs- und Verschlussmechanismus verschiedentlich ausgebildet werden kann.

[0151] Der Behälter 120 ist des Weiteren in Längsrichtung mit einem Überführungsrohr 127 ergänzt, welches sich satt wandseitig (124) bis zum Verlängerungsstück 125 erstreckt, und in welchem die Thermosensoren (siehe Fig. 6, Pos. 401) der Thermoelemente für die Übertragung der gemessenen Temperaturen nach aussen geführt sind.

[0152] Die radiale Höhe der konzentrische verlaufenden Ringe 122, 123 wird gegenüber der äusseren Wand 124 des Behälters insoweit minimiert, damit die äussere Wand 124 des Behälters 120 maximiert an die Heizkörperaggregate des Ofens angenähert werden kann, damit diese indirekte Wärmeübertragung einen grösstmöglichen Wirkungsgrad entfalten kann. Diese Heizkörperaggregate weisen vorzugsweise die Form von Heizserpentinaen (siehe Fig. 10) auf, welche auf die freien Räume zwischen den einzelnen vorstehenden Ringen 122, 123 des Behälters 120 thermisch wirken.

[0153] Schliesslich geht aus Fig. 4 noch eine Abgriffvorrichtung 400 für die und Zusammenführung und Ausrichtung der Thermosensoren der einzelnen Thermoelemente. Diese Thermosensoren (siehe Fig. 6, Pos. 401) müssen so zusammengefasst werden, dass damit der Abgriff der Temperaturen während des oben bereits diskutierten kurzen Anhaltens des Behälters mit dem «Lesemechanismus» bewerkstelligt werden kann. Das Prinzip funktioniert wie ein grosser Stecker, dessen Ausbildung dem Fachmann geläufig ist.

[0154] Fig. 5 zeigt Verlauf und Anordnung der eingebauten Thermoelemente für die Abnahme der Temperaturen innerhalb der Wand des Behälters 120 und in der Prozesskammer (siehe Fig. 6). Diese Thermoelemente sind nach einer bestimmten Aufteilung entlang einer Ebene in Längsrichtung und/oder optional in Umfangsrichtung des Behälters 120 angeordnet. Andererseits teilen sich die zum Einsatz gelangenden Thermoelemente in mindestens zwei Kategorien und Teilmengen auf:

- a) Bei den Kategorien geht es darum, einerseits eine erste Anzahl Thermoelemente vorzusehen, welche die Temperatur in der Prozesskammer des Behälters messen (Innenraumthermoelemente), und andererseits eine zweite Anzahl Thermoelemente zu disponieren, welche die Wandtemperatur (Wandtemperaturthermoelemente) messen, wobei die letzteren vorzugsweise innerhalb der Behälterwand angeordnet sind. Beispielsweise bei einer Wandstärke von 8 mm werden die Wandtemperaturthermoelemente bis zu 4 mm, also bis zur Hälfte, darin eingelassen.
- b) Was die Teilmengen der zum Einsatz gelangenden Thermoelemente betrifft, so ist die Anzahl der ersten (Innenraumthermometer) und zweiten Wandtemperaturthermometer) Thermoelemente zueinander unterschiedlich gehalten, wobei die Anzahl der ersten Thermoelemente ist vorzugsweise kleiner als diejenige der zweiten Thermoelemente.
- c) Erfindungsgemäss wird des Weiteren disponiert, dass die ersten Thermoelemente, also diejenigen, welche die Temperatur in der Prozesskammer des Behälters messen (Innenraumthermoelemente), dort platziert werden, wo die grössten temperaturbedingten Perturbationen auf die zu behandelnden Teile zu erwarten sind, dies also sicher im Bereich des Anschlussstücks 128 des Behälters 120 und im Bereich mindestens eines vorstehenden Ringes 122, 123.
- d) Die übrigen zum Einsatz gelangenden zweiten Thermoelemente (Wandthermoelemente), werden vorzugsweise mittig innerhalb zweier benachbarter Ringe 122, 123 platziert, wobei ebenfalls Wandthermoelemente vorgesehen sind, welche speziell den Temperatureinfluss der vorstehenden Ringe auf die umliegenden Zonen bei der Drehung des Behälters 120 messen.

[0155] Vorliegend wird der Behälter mit acht Thermoelementen bestückt, wobei diese Konfiguration nicht als «numerus clausus» zu verstehen ist. Die Platzierung und Wirkung dieser Thermoelemente sind die folgenden:

[0156] Ein erstes Thermoelement TC1 ist im Bereich des Flanschs 128 angeordnet. Dieses Thermoelement TC1 misst die Temperatur in der Prozesskammer in diesem Bereich, und mitunter misst es den temperaturabhängigen Einfluss des Flanschs 128 auf die Substrate resp. Produktteile, welche sich innerhalb der Prozesskammer in dieser Gegend befinden.

[0157] Ein zweites Thermoelement TC2 misst die Temperatur der Wand 124 des Behälters 120, und dies mittig innerhalb einer ersten Zone Z1, welche sich zwischen dem Flansch 128 und dem ersten vorstehenden Ring 123 erstreckt.

[0158] Ein drittes Thermoelement TC3 misst wiederum die Temperatur der Wand 124 des Behälters 120 im Bereich des ersten vorstehenden Ringes 123 und erfasst insbesondere den temperaturabhängigen Einfluss dieses Ringes 123 in seiner Gesamtheit auf die Substrate resp. Produktteile, welche sich innerhalb der Prozesskammer in dieser Bereich befinden.

[0159] Ein viertes Thermoelement TC4 misst die Temperatur der Wand 124 des Behälters 120, und dies mittig einer zweiten Zone Z2, welche sich zwischen dem ersten 123 und dem zweiten vorstehenden Ring 122 erstreckt.

[0160] Ein fünftes Thermoelement TC5 misst die Temperatur in der Prozesskammer, dies im unmittelbaren Bereich des zweiten vorstehenden Ringes 122, und mitunter misst es den temperaturabhängigen Einfluss dieses Ringes auf die Substrate resp. Produktteile, welche sich innerhalb der Prozesskammer in dieser Bereich befinden.

[0161] Ein sechstes Thermoelement TC6 misst die Temperatur der Wand 124 des Behälters 120, und dies mittig einer dritten Zone (3), welche sich zwischen dem zweiten vorstehenden Ring 122 und dem antriebsseitigen Ende des Behälters 120 erstreckt.

[0162] Ein siebtes Thermoelement TC7 misst die Temperatur der Wand des Behälters 120 im Bereich des zweiten vorstehenden Ringes 122, und erfasst insbesondere den temperaturabhängigen Einfluss dieses Ringes 122 in seiner Gesamtheit auf die Substrate resp. Produktteile, welche sich innerhalb der Prozesskammer in dieser Bereich befinden.

[0163] Ein achttes Thermoelement TC8 misst die Temperatur der Wand 124 des Behälters 120, und erfasst insbesondere den temperaturabhängigen Einfluss des Flansches 128 in seiner Gesamtheit auf die Substrate resp. Produktteile, welche sich innerhalb der Prozesskammer in dieser Bereich befinden.

[0164] Aus dieser Fig. 5 geht des Weiteren einen Ersatzanschluss für ein weiteres Thermoelement TCn hervor, welches optional eingeführt wird, und welches auf Seite der Abgriffvorrichtung 400 des Behälters 120 angeordnet ist. Dieses Thermoelement TCn kann für die Messung der Temperatur der Wand 124 oder der Prozesskammer (121) ausgelegt sein.

[0165] Aus Fig. 6 geht einen Schnitt durch den Behälter nach Fig. 4 und 5 hervor. Hier ist insbesondere die Prozesskammer 121 und deren Rippen 129 ersichtlich, welche sich weitgehend über die ganze Länge des Behälters 120 erstrecken. Des Weiteren geht aus dieser Fig. 6 und die zwei Thermoelemente TC1 und TC5, welche die Temperatur in der Prozesskammer

121 messen. Ferner geht aus dieser Fig. 6 die Weiterführung der Thermosensoren 401 dem Überführungsrohr 127 bis zu der Abgriffvorrichtung 400 hervor. Diese Thermosensoren 401 bestehen aus je einer aus einem dünnen Draht aus einem Nickel/Chrom und Nickel, die dann ihrerseits in einem nicht dargestellten Trägerdraht umschlossen sind, dergestalt, dass diese Thermosensoren 401 gegen Temperatureinflüsse von aussen, insbesondere während der Aufheizung des Behälters, vollkommen abgeschirmt sind.

[0166] Aus Fig. 7 ist der Einbau eines Thermoelementes für die Messung der Wandtemperatur des Behälters ersichtlich. Der Durchmesser D1 der zu den Thermoelementen gehörenden Thermosensoren (401) beträgt hier bis ca. 2 mm und wird etwa bis in der Mitte der Wandstärke des Behälters eingelassen.

[0167] Fig. 8 zeigt einen Querschnitt durch den Behälter 120, worin der Einbau von Thermoelementen TC5 und TC7 ersichtlich sind, einerseits für die Messung der Temperatur in der Prozesskammer (TC5), und andererseits für die Messung der Wandtemperatur (TC7). Des Weiteren geht aus dieser Fig. 8 hervor, dass die Prozesskammer 121 an der Innenwand Rippen 129 aufweist, welche insbesondere bei Schüttgut die Durchmischung fördern. Diese Rippen haben eine Höhe L1 von ca. 20 mm, wobei deren Breite B1 ca. 10 mm beträgt. Aus dieser Fig. 8 sind ferner die Winkelanordnungen der Messstellen gegenüber dem Überführungsrohr 127.

[0168] Fig. 9 zeigt den geregelten Temperaturverlauf der gemäss Fig. 5 wirkenden Thermoelemente und der Heizelemente (siehe Fig. 10, Pos. 150) in den drei Zonen des Behälters 120 (siehe Fig. 4) zur Erstellung der Sollhaltetemperatur und deren Beibehaltung für die Dauer des Thermodiffusionsprozesses.

[0169] Fig. 10 zeigt den geregelten Temperaturverlauf bei der Abkühlung der Prozesskammer des Reaktors.

[0170] Fig. 11 zeigt die Heizelemente 150 für die Beistellung des thermischen Potentials des Ofens für den Reaktor 120, wobei diese Heizelemente 150 als Heizschlangen ausgebildet sind, welche einen integrierenden Bestandteil des Supportwagens 130. Ersichtlich ist hier des Weiteren ein von mehreren Rädern 131, welche die betriebliche Drehung des Reaktors 120 während der Wärmeübertragung sicherstellen. Damit wird eine gleichmässige thermische Aufbereitung des Inhalts des Reaktors 120 gewährleistet. Ist der Reaktor 120 mit einem aus Kleinteilen bestehenden Schüttgut beladen, so können die Drehbewegungen intermittierend oder richtungsändernd vorgesehen werden, damit diese Kleinteile umgewälzt und thermisch gleichmässig behandelt werden können.

[0171] Fig. 12 zeigt eine graphische Spannung/Dehnung-Darstellung eines thermisch behandelten Teils. Darin sind 3 Zustände erfasst:

Pos. 1 = Anlieferungszustand;

Pos. 2 = Bei 310 °C;

Pos. 3 = Bei 320 °C.

[0172] Bezogen auf die Schlussdehnungswerte sind die Unterschiede bei den drei Zuständen 1–3 absolut betrachtet nicht dramatisch, bezogen aber auf die erfindungsgemässe damit angestrebte Duktilität fallen diese Werte doch signifikant aus.

[0173] Fig. 13 zeigt eine Gesamtansicht des operierenden Ofens 110, bei welchem der Supportwagen/Laufwagen 130 inkl. Reaktor 120 (siehe Fig. 1–3) eingefahren ist.

[0174] Zum Starten des Prozesses muss der Ofensteuerung eine Rezeptur (Prozessparameter) in Abhängigkeit des Beladungszustandes des Reaktors (Gewicht, Oberfläche, Material) zugewiesen werden.

[0175] Nach Fertigstellung der Rezeptureingabe wird der Ofen über die Steuereinheit gestartet. Der Laufwagen mit Reaktor wird automatisch in den Ofen gefahren, Ofendeckel senkt sich ab, Heizprozess und Reaktorrotation werden gestartet. Die zum Einsatz gelangenden Thermoelemente für die integrale Temperaturkontrolle und -Regelung sind bereits abgeschlossen. Am Ende des Programms werden alle diese Vorgänge umgekehrt durchgeführt.

[0176] Auf dem Steuerungsdisplay werden während des Prozesses die Nummer der Rezeptur, die Temperaturen TC1–TC8 (Heizleistung), die Rezepturzeit und die Temperatur des Temperaturkontrollthermoelements im Reaktor 120 angezeigt.

[0177] Die Kühloperation wird wie folgt betrieben: Die eigentliche Kühleranlage gemäss Fig. 14, hat eine Kapazität für fünf oder mehr Reaktoren, davon stehen zwei in Warteposition und die restlichen in der Kühl-Zone. Eine solche Kühleranlage wird im Automatikmodus bedient und gefahren. Im Kühler 300 selbst gibt es fünf Positionen, wo der zu kühlende Reaktor 120 positioniert werden kann: Die erste Position wird durch die Ladestation 301 aussen gebildet. Zweite, dritte und vierte Position befinden sich im Inneren 302 des Kühlers 300. Die fünfte Position ist die hier nicht näher ersichtliche Entladestation aussen. Jeweils nach 90 Minuten, unter Inanspruchnahme entsprechender Toleranzwerte, wird der Reaktor automatisch von einer Position auf die nächste freie gefahren. Der Abkühlvorgang dauert bei einem 90 Minuten-Takt demnach maximal 360 Minuten in der Summe. Der Minuten-Takt kann im Kühler-Display nach Bedarf verändert werden. Die Reaktor-Temperatur wird aus praktischen Überlegungen auf der vierten Position (letzte Position bevor der Container aus dem Kühler rausgefahren wird) gemessen. Indessen eine integrale Temperaturmessung über alle Positionen kann vorgesehen werden. Sobald der Container auf 50 °C abgekühlt ist, kann der Kühlprozess auch manuell unterbrochen werden.

[0178] Das Entladen wird wie folgt betrieben: Nach der Thermodiffusion und nach dem Abkühlen des Reaktors wird dessen Inhalt, namentlich: Aluminiumgranulat, Zink-Pulvermischung und die thermodiffundierten Bauteile, an der Entladesta-

tion entladen. Informativ wird hier auf Fig. 15 verwiesen, worin unter anderen die Hauben oder Kappen 184, 185 dargestellt sind, wobei die letztgenannte nur ansatzweise ersichtlich ist.

[0179] Nach dem Kühlvorgang wird der Reaktor mittels Kran auf die horizontal ausgerichtete Entladestation abgelegt und anschliessend während Rotation nach unten gekippt, damit das Granulat nach hinten rutschen kann. Vor Öffnen des Deckels soll unbedingt die Staubabsaugung eingeschaltet und diese über die Öffnung des Reaktors platzieren werden. Der Deckel wird abgenommen und abgelegt.

[0180] Wie aus Fig. 16 hervorgeht, wird der Reaktor über der Sortieranlage entleert. Von Zeit zu Zeit wird der Reaktor während der Rotation immer wieder leicht angehoben, bis er komplett entleert ist. Dabei werden die bearbeiteten Teile, das Granulat und das verbliebene Zinkpulver automatisch getrennt. Beim Entladen muss die Drehgeschwindigkeit des Reaktors und die Vibrationsstärke der Sortieranlage angepasst werden. Während des Sortierens soll regelmässig die auf der Seite der Sortieranlage stehenden Granulat Behälter in einen grossen Granulat-Trichter entleert werden. Vor dem Entladen des gesamten Reaktors wird ein Werkstück vorweg entnommen, gereinigt und mit dem mobilen Permascope die aus dem Thermodiffusionsprozess resultierende Zn-Schichtdicke kontrolliert.

Bezugszeichenliste

[0181]

100	Anlage
101	Verbindungsleitung zwischen 181 und 182
102	Verbindungsleitung zwischen 182 und 183
103	Verbindungsleitung zwischen 184 und 183
104	Verbindungsleitung zwischen 185 und 183
110	Kühl/Heiz-Aggregat, Ofen
120	Reaktor, Behälter
121	Prozesskammer
122	Vorstehender Ring
123	Vorstehender Ring
124	Wand des Behälters 120
125	Verlängerungsstück des Behälters, Isolationsteil
126	Verschlussdeckel
127	Überführungsrohr
128	Flansch zwischen Behälterende und Isolationsteil 125
129	Rippen
130	Supportwagen, Laufwagen
131	Räder
140	Prozessaggregat
150	Heizelemente
160	Karussell, Lade/Entladestation
180	Komplementäre Baugruppe
181	Vibrationsgerät
182	Separator
181/182	Subaggregate
183	Vakuum-Absauger

184	Haube, Kappe
185	Haube, Kappe
201	Beladestation
202	Rotationsmodus gekippt
203	Schrauben
204	Schrauber
300	Kühler
301	Erste Ladestation
302	Dritte oder vierte Ladestation
303	Granulat-Trichter
400	Abgriff
401	Thermosensoren
TC1–TC8	Thermoelemente
TCn	Ersatzanschluss für ein weiteres Thermoelement

Patentansprüche

1. Anlage zur Durchführung eines Verfahrens für die Aufbringung mindestens einer Oberflächenbeschichtung auf Substrate, welche teilweise oder ganz aus einem metallischen, nichtmetallischen, intermetallischen Werkstoff sowie aus Nichteisenmetalle bestehen, wobei die Anlage mindestens aus einem Reaktor (120) besteht, welcher mindestens eine Prozesskammer (121) aufweist, und welcher durch eine drehende und/oder oszillierende Bewegung betreibbar ist, wobei in der Prozesskammer eine Aufheizung der Substrate erfolgt, und welche Prozesskammer unter Hinzufügung mindestens eines für die Aufbringung der Oberflächenbeschichtung geeigneten Verfahrensmaterials beladbar ist, wobei durch den Einsatz von Thermoelementen (TC1–TC8, TCn) eine integrale Temperaturmessung des Reaktors während eines Prozessverlaufs zur Aufbringung einer Oberflächenbeschichtung durchführbar ist, wobei die operierenden Thermoelemente zwei Arten von Temperaturmessungen erfassen, mindestens ein erstes Thermoelement Erfassung der Wandtemperatur des Reaktors, mindestens ein zweites Thermoelement für die Messung der Temperatur der Prozesskammer des Reaktors, wobei die Aufheizphase und die darauf folgende Sollhaltetemperatur des Reaktors zwischen 200° und 500 °C, vorzugsweise zwischen 280° und 380 °C beträgt, und wobei die über den ganzen Prozessverlauf fortlaufend erfassten Prozesstemperaturen des Reaktors innerhalb einer vorgegebenen Toleranzbandbreite regelbar sind.
2. Anlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Anlage im Wesentlichen aus folgenden Aggregaten besteht:
 - a) Optional aus einer Station zur Reinigung der Oberfläche der zur Behandlung anstehenden Substrate;
 - b) aus einer Station zum Laden der Substrate in einen vorzugsweise rohrförmigen Reaktor;
 - c) aus einem Ofen für die thermische Durchführung der Thermodiffusion, unter Beistellung einer auf den Reaktor wirkenden thermischen Energie;
 - d) aus einem Aggregat für die Vornahme einer gezielten Abkühlung des Reaktors;
 - e) Optional aus einem Aggregat die Überführung des Reaktors zu einer Entladestation;
 - f) Optional aus mindestens einer Station für die anschliessende Vornahme einer Reinigung, und/oder Passivierung der Substrate;
 - g) Optional aus einem Aggregat zum Recycling der Verfahrensmaterialien und/oder der Sättigungsgemische.
3. Anlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Anzahl der ersten Thermoelemente und die Anzahl der zweiten Thermoelemente zueinander unterschiedlich gross sind.
4. Anlage nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Anzahl der ersten Thermoelemente, welche die Wandtemperatur des Reaktors erfasst, kleiner ist als diejenige der zweiten Thermoelemente, welche die Temperatur der Prozesskammer des Reaktors erfasst.
5. Anlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Reaktor aus einem rohrförmigen Behälter (120) besteht, die Temperaturmessung entlang der Länge und/oder in Umfangsrichtung des Behälters erfolgt, und der Behälter in

mindestens zwei Zonen (Z1, Z2, Z3) aufgeteilt ist, dass jede Zone mindestens ein für die Messung der Wandtemperatur und/oder der Prozesskammer ausgelegtes Thermoelement aufweist.

6. Anlage nach Anspruch 5, dass die Zonen in Längsrichtung des Behälters durch eine Anzahl von zueinander beabstandeten und gegenüber der äusseren Wand des Behälters vorstehenden Ringen (122, 123) gebildet sind.
7. Anlage nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Behälter in Längsrichtung mindestens zwei zueinander beabstandete und gegenüber der äusseren Wand des Behälters vorstehende Ringe aufweist.
8. Anlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Reaktor aus einem rohrförmigen Behälter besteht, der in Längsrichtung mindestens zwei zueinander beabstandete und gegenüber der äusseren Wand des Behälters vorstehende Ringe aufweist, welche den Behälter sonach in drei Zonen aufteilt, und dass eine diesbezügliche integrale Temperaturmessung nach folgenden Kriterien erfolgt:
 - a) Ein erstes Thermoelement (TC1) ist im Bereich des Deckels des Behälters angeordnet und misst die Temperatur der Prozesskammer in diesem Bereich, und mitunter misst es den temperaturabhängigen Einfluss des Deckels auf die Substrate in dessen Nähe;
 - b) Ein zweites Thermoelement (TC2) misst die Wandtemperatur vorzugsweise mittig innerhalb einer ersten Zone (Z1), welche sich zwischen Deckel und dem ersten vorstehenden Ring erstreckt;
 - c) Ein drittes Thermoelement (TC3) misst die Wandtemperatur im Bereich des ersten Ringes;
 - d) Ein viertes Thermoelement (TC 4) misst die Wandtemperatur vorzugsweise mittig einer zweiten Zone (Z2), welche sich zwischen dem ersten und dem zweiten vorstehenden Ring erstreckt;
 - e) Ein fünftes Thermoelement (TC 5) misst die Temperatur in der Prozesskammer im unmittelbaren Bereich des ersten und/oder zweiten vorstehenden Ringes, und mitunter misst es den temperaturabhängigen Einfluss dieser Ringe auf die Substrate in deren Nähe;
 - f) Ein sechstes Thermoelement (TC 6) misst die Wandtemperatur vorzugsweise mittig einer dritten Zone (Z3), welche sich zwischen dem zweiten vorstehenden Ring und dem Ende des Behälters erstreckt;
 - g) Ein siebtes Thermoelement (TC7) misst die Wandtemperatur im Bereich des vorstehenden Ringes zwischen der zweiten (Z2) und der dritten Zone (Z3);
 - h) Ein achttes Thermoelement (TC8) misst die Wandtemperatur, welches den temperaturabhängigen Einfluss des vorstehenden Ringes und des Deckels erfasst.
9. Anlage nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass entlang des Behälters an geeigneter Stelle mindesten ein weiteres Thermoelement (TCn) für die Messung der Wandtemperatur und/oder der Prozesskammertemperatur vorgesehen ist.
10. Anlage nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Thermoelement, welches die Messung der Wandtemperatur vornimmt, teilweise in der Wandstärke des Reaktors angeordnet ist.
11. Anlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Reaktor aus mindestens zwei Prozesskammern (121) besteht, dass in der ersten Prozesskammer eine erste Oberflächenbeschichtung mit mindestens einem ersten Verfahrensmaterial durchführbar ist, und dass in einer zweiten Prozesskammer eine darauffolgende zweite Oberflächenbeschichtung mit mindestens einem zweiten Verfahrensmaterial stattfindet.
12. Anlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Reaktor aus einem rohrförmigen Behälter besteht, welcher in Längsrichtung wandseitig mit einem Überführungsrohr (127) versehen ist, durch welches die Thermosensoren (401) der Thermoelemente für die Übertragung der gemessenen Temperaturen nach aussen geführt sind.
13. Anlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Reaktor zur Aufbringung der Oberflächenbeschichtung nach einem Thermodiffusionsverfahren betreibbar ist.
14. Anlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die gleichförmige Temperatur durch abgelegte Steuerungsprofile, durch eine adaptive oder prädiktive Regelung, oder durch eine beliebige Kombination der genannten Regelungen regelbar ist.
15. Anlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahrensmaterial für die Oberflächenbeschichtung aus einem festen, flüssigen, gasförmigen Werkstoff und/oder Werkstoffanteilen besteht.
16. Anlage nach Anspruch 15, dass der Verfahrensmaterial optional mit Füllmaterial und/oder Katalysatoren ergänzt ist.
17. Verfahren zum Betrieb einer Anlage nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass der Reaktor (120) durch eine Steuerung betrieben wird, nach folgenden Kriterien:
 - a) Die Steuerung operiert mit abgelegten Steuerungsprofilen, welche bei der Eingabe des vorzunehmenden Betriebs des Reaktors abgerufen werden;
 - b) Die Steuerung operiert mit freiwirkenden Steuerungsprofilen, welche sich auf Grund der von jeglicher Art erfassten Informationen für den Betrieb des Reaktors fortlaufend oder adaptiv anpassen;
 - c) Die Steuerung weist Steuerungsprofile auf, welche mit vorgegebenen Regelungsfunktionen gekoppelt sind;
 - d) Die Steuerung weist Steuerungsprofile auf, welche prädiktiv eingreifen.
18. Verfahren zum Betrieb einer Anlage nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass der beladene Reaktor mit einer inneren Temperatur zwischen 200° und 500 °C, vorzugsweise zwischen 280°

und 380 °C operiert, wobei der Sauerstoffgehalt der in dem Reaktor enthaltenen Atmosphäre auf weniger/gleich 10 Vol.-%, vorzugsweise auf weniger/gleich 5 Vol.-%, betrieben wird.

19. Verfahren zum Betrieb einer Anlage nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass während der Wärmebehandlung in dem Reaktor optional mindestens ein Gas zugeführt wird, welches so vorbehandelt wird, dass es einen Sauerstoffgehalt von maximal 100 ppm enthält.
20. Verfahren zum Betrieb einer Anlage nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine Lage der Oberflächenbeschichtung aus einem Beschichtungsmittel aus einem metallischen und/oder intermetallischen Ein-, Zwei- oder Mehrphasensystem gebildet wird.
21. Verfahren zum Betrieb einer Anlage nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine Lage der Oberflächenbeschichtung aus einem Beschichtungsmittel aus Zink, einer Zink-Staub-Mischung, einer Zink/Eisenlegierung, gebildet wird.
22. Verfahren zum Betrieb einer Anlage nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine Lage der Oberflächenbeschichtung aus einem Beschichtungsmittel aus einem metallischen Dreiphasensystem aus Al/Zn/Mg gebildet wird, wobei Zn als Hauptreaktionspartner einen Anteil > 60% aufweist, Al einen solchen von 1–39% aufweist, und Mg dann die Restanz zu 100% oder annähernd 100% bildet.
23. Verfahren zum Betrieb einer Anlage nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine Lage der Oberflächenbeschichtung aus mindestens einem Beschichtungsmittel mit einem zusätzlichen metallischen Phasensystem, mindestens aus Ti und/oder Sn gebildet wird.
24. Verfahren zum Betrieb einer Anlage nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine Lage der Oberflächenbeschichtung aus mindestens einem Beschichtungsmittel mit einem zusätzlichen metallischen Phasensystem, mindestens aus Al_3Ni_2 oder Al_3Ni gebildet wird.
25. Verfahren zum Betrieb einer Anlage nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass auf eine erste Zn-Thermodiffusionsbeschichtung eine weitere Phosphatierungsbeschichtung auf die Substrate aufgebracht wird.
26. Verfahren zum Betrieb einer Anlage nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass durch ein Thermodiffusionsverfahren die jeweilige(n) Oberflächenbeschichtung(en) auf Substrate aus Cu, AL, Ti, Mg, und deren Legierungen aufgebracht werden
27. Verfahren zum Betrieb einer Anlage nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine Lage aus mindestens einem intermetallischen Phasensystem besteht.
28. Verfahren zum Betrieb einer Anlage nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Phasensysteme zur Bildung der Lagen der Oberflächenbeschichtung während der Zuführung der Wärmemenge direkt oder indirekt mit mindestens einem wärmestabilisierenden Füllstoff ergänzt werden.
29. Verfahren zum Betrieb einer Anlage nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass bei einer viellagigen Oberflächenbeschichtung Zwischenschichten gebildet werden, welche unter prozessfortlaufender Wärmezufuhr aufgebracht werden, und welche aus einem haftungswirksamen Werkstoff gegenüber den benachbarten Zwischenschichten gebildet werden.
30. Verfahren zum Betrieb einer Anlage nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass der thermische Diffusionsprozess im Reaktors innerhalb eines festgelegten Temperaturbereiches zwischen 200° und 500 °C, vorzugsweise zwischen 280° und 380 °C, erfolgt, bei einer Gesamtzykluszeit zwischen < 30 bis mindestens 240 min.
31. Verfahren nach Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, dass die Gesamtzykluszeit 90 min ± mindestens 30 min beträgt, sowohl während des Aufheizungs- als auch während des Kühlvorganges.
32. Verfahren nach Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, dass der Gesamtzykluszeit eine Aufheizphase und eine Haltephase umfassen, wobei sich die Aufheizphase über einen Zeitraum von mindestens 0.5 h bis 2 h und die Haltephase über einen Zeitraum von mindestens 0 h bis 2 h erstrecken.
33. Verfahren nach Anspruch 32, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden Phasen, Aufheizphase und Haltephase, intertemporär regelmässig oder unregelmässig abgestuft aufeinander folgen.
34. Verfahren zum Betrieb einer Anlage nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Temperaturtoleranz während des ganzen Prozessverlaufs im Reaktor, oder innerhalb der einzelnen Schritte des Prozesses sowie gegenüber einer vorgegebenen Sollhaltetemperatur mindestens ± 5° bis ± 20 °C, vorzugsweise ± 5° bis ± 10 °C, insbesondere < 5 °C, beträgt.
35. Verfahren zum Betrieb einer Anlage nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine Schicht einzeln oder im Verbund mehrerer Schichten der Oberflächenbeschichtung durch eine Dicke von 1–120 µm, vorzugsweise 1–20 µm, insbesondere 1–5 µm, gebildet wird.

36. Verfahren zum Betrieb einer Anlage nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Substrate in der Prozesskammer des Reaktors einer Wärmebehandlung unterworfen werden, und welche durch Thermodiffusion eine Oberflächenbeschichtung erhalten, wobei in der Prozesskammer des Reaktors bei einer Betriebstemperatur zwischen 200° und 500 °C, vorzugsweise zwischen 280° und 380 °C, mit einem anfänglichen Sauerstoffgehalt von > 1 Vol. % verfahren wird.
37. Verfahren zum Betrieb einer Anlage nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Substrate nach dessen Wärmebehandlung und Oberflächenbeschichtung im Reaktor gekühlt, gereinigt, und bei mindestens 150°–250 °C während mindestens 0.5 –2h getempert werden.
38. Verfahren zum Betrieb einer Anlage nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass der Reaktor für die Durchführung der Thermodiffusion auf die Substrate komplementär je mit einer Menge Aluminiumgranulat und Zinkpulvermischung beladen wird.
39. Verfahren zum Betrieb einer Anlage der nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass der Reaktor für die Durchführung des Verfahrens wie folgt beladen wird:
 - a) Gewicht der Substrate: 220 Kg ± 50 Kg;
 - b) Gewicht des Aluminiumgranulats: 250 Kg ± 250 Kg;
 - c) Gewicht der Zinkpulvermischung: 7 Kg ± 5 Kg.
40. Verfahren zum Betrieb einer Anlage nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Beistellung der für den Thermodiffusionsprozess im Reaktor benötigten Temperaturen mindestens folgende Prozessschritte beinhaltet:
 - a) Bei einem ersten Prozessschritt wird ein schnelles Aufheizen bei maximaler Leistung entlang eines festgelegten und geregelten Verlaufs unter Einhaltung einer Toleranzbandbreite auf Sollhaltetemperatur gebracht;
 - b) Bei einem zweiten Schritt wird die Sollhaltetemperatur bei angepasster thermischer Leistung innerhalb einer Toleranzbandbreite über die dafür benötigte Zeit für die Implementierung des Thermodiffusionsprozesses aufrechterhalten.
41. Verfahren zum Betrieb einer Anlage nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass der Thermodiffusionsprozesses innerhalb des Reaktors mindestens durch folgenden Steuerungsprofilen betrieben wird:
 - a) Aufgrund mindestens eines Fertigungsauftrags, beinhaltend: Projektreihe; Laufnummer des Auftrags; Materials der Substrate oder Produktteile; Geometrie der Substrate oder Produktteile; Gewicht, Masse und Gesamtoberfläche der Substrate oder Produktteile; werden durch mindestens ein abgelegtes Steuerungsprofil für den Thermodiffusionsprozess der zugrundeliegenden Substrate oder Produktteile die folgenden Parameter festgelegt:
 - b) Sollhaltetemperatur;
 - c) Wärmehaltezeit;
 - d) Zugelassene Toleranzbandbreite der Sollhaltetemperatur;
 - e) Benötigte Zeit für das Hochfahren bis die Sollhaltetemperatur erreicht ist;
 - f) Benötigte Zeit für den Durchlauf innerhalb eines schnellen Aufheizens bei maximaler Leistung auf Sollhaltetemperatur entlang eines festgelegten und geregelten Verlaufs; für eine berechnete Zeit;
 - g) Benötigte Zeit für den Durchlauf innerhalb eines reduzierten Aufheizens bei reduzierter Leistung auf Sollhaltetemperatur unter Einhaltung einer Toleranzbandbreite;
 - h) Eingabe der maximalen operativen Temperatur für die folgenden Abläufe: Beim ersten Schritt des Anspruchs 32 wird ein schnelles Aufheizen bei maximaler Leistung entlang eines berechneten und geregelten Verlaufs auf Sollhaltetemperatur für eine berechnete Zeit innerhalb einer Toleranzbandbreite eingeleitet;
 - i) Beim zweiten Schritt des Anspruchs 32 wird ein Aufheizen bei reduzierter Leistung entlang eines berechneten und geregelten Verlaufs auf Sollhaltetemperatur für eine berechnete Zeit innerhalb Toleranzbandbreite eingeleitet;
 - j) Bei einem dritten Schritt 3 wird die Aufrechterhaltung der vordefinierten Sollhaltetemperatur während des gesamten Thermodiffusionsprozesses gesichert;
 - k) Datum und Uhrzeit des Laufes, Start- und Laufstopps;
 - l) Gesamtzykluszeit zwischen Lauf, Start- und Laufstopp;
 - m) Energieaufwand für den Heizkreislauf (in kWh);
 - n) Energieaufwand für den Kühlzyklus (in kWh);
 - o) Anfangsparameter für den Betrieb der übrigen Stationen des Systems, vorzugsweise mindestens bezogen auf den Reaktor, dessen Drehzahl, Neigungswinkel.
42. Verfahren zum Betrieb einer Anlage nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerung und Regelung des Reaktors in Wirkverbindung mit dem Betrieb des Ofens durchgeführt wird.
43. Verfahren zum Betrieb einer Anlage nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass der Reaktor mit einen Überdruck oder optional mit einem Unterdruck betrieben wird.
44. Verfahren zum Betrieb einer Anlage nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass der Reaktor kontinuierlich mit einem Überdruck zwischen 1,01 und 1.5 bar betrieben wird.

45. Verfahren zum Betrieb einer Anlage nach Anspruch 44, dadurch gekennzeichnet, dass der Reaktor kontinuierlich mit einem Unterdruck zwischen 1 und 20 mbar betrieben wird.
46. Anlage zur Durchführung des Verfahrens nach einem oder mehreren der Ansprüche 17 bis 45, dadurch gekennzeichnet, dass die Anlage (100) im Wesentlichen durch eine Beladestation für den Reaktor (120), einen Ofen (110) zur Bereitstellung der Wärmezuführung für die Durchführung des Thermodiffusionsprozess im Reaktor (120), eine für die Kühlung des Reaktors ausgelegten Station (300) nach vollzogenem Thermodiffusionsprozess, eine Entladungsstation betrieben wird.
47. Anlage nach Anspruch 46, dadurch gekennzeichnet, dass vor der Beladestation eine Station zur Reinigung der dem Thermodiffusionsprozess zuführbaren Substrate vorgeschaltet ist.
48. Anlage nach Anspruch 46, dadurch gekennzeichnet, dass nach der Entladungsstation die durch Thermodiffusionsprozess behandelten Teile einer Waschoperation und Passivierung passieren.
49. Anlage nach Anspruch 46, dadurch gekennzeichnet, dass nach der Entladungsstation einen Recyclingvorgang betreffend die für den Thermodiffusionsprozess begleitenden Elemente stattfindet.
50. Erzeugnisse, welche unter Anwendung oder Verwendung eines oder mehrerer der Ansprüche 1 bis 43 hergestellt werden, dadurch gekennzeichnet, dass es sich bei den Erzeugnissen um Metalle oder Nichtmetalle oder Hochfeste Stahlbau- oder Al-Bauteile handelt, welche vorzugsweise für Kraftfahrzeuge, Anlagen, Verfahrensanlagen, Züge, Schiffe, Flugzeuge, Raketen, Plattformen, Windturbinen, Pipelines, Kraftwerke, bestimmt sind.

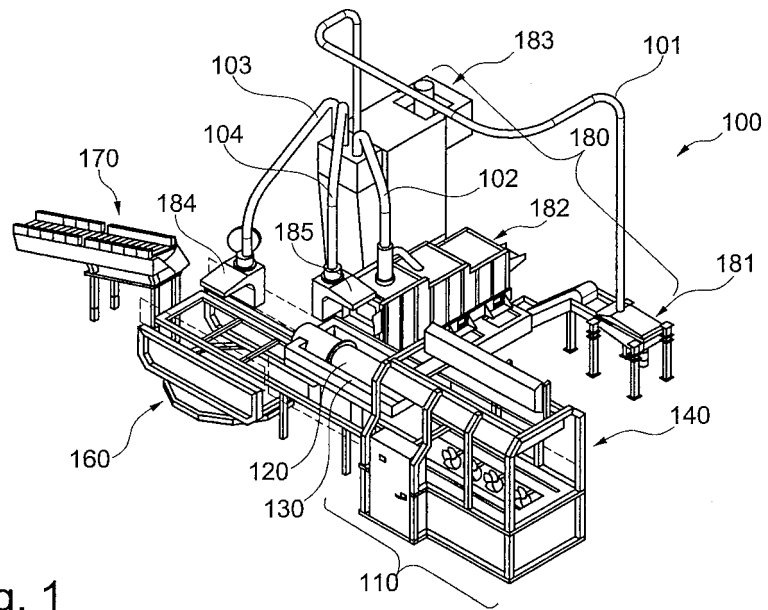


Fig. 1

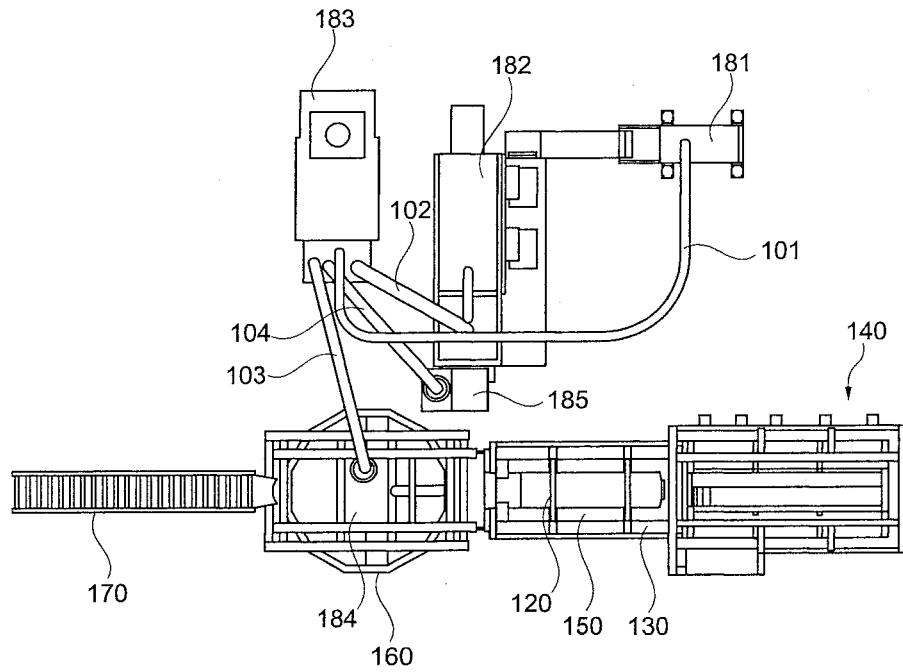


Fig. 2

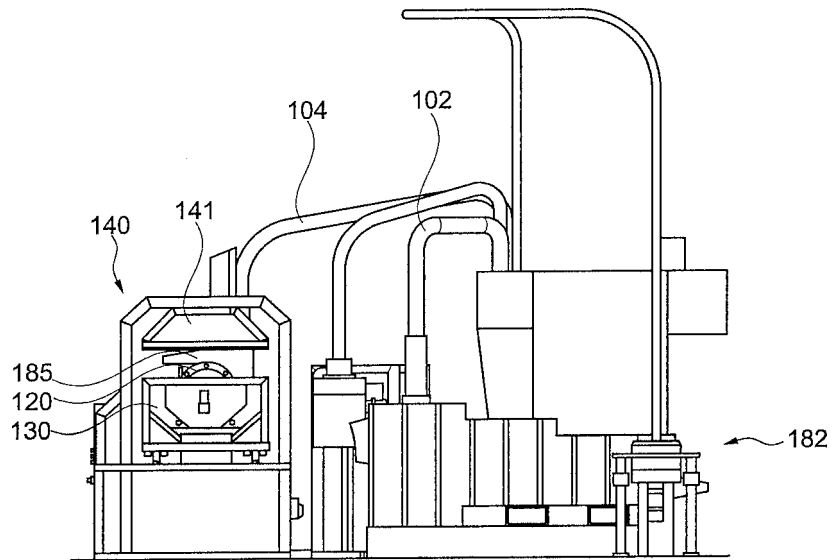


Fig. 3

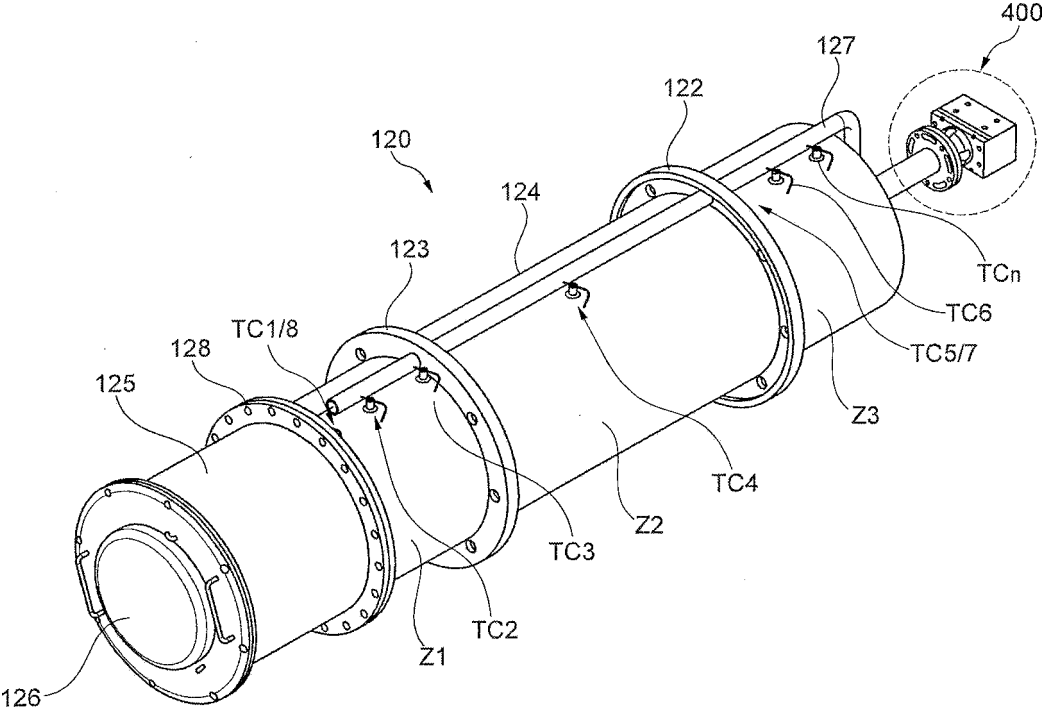


Fig. 4

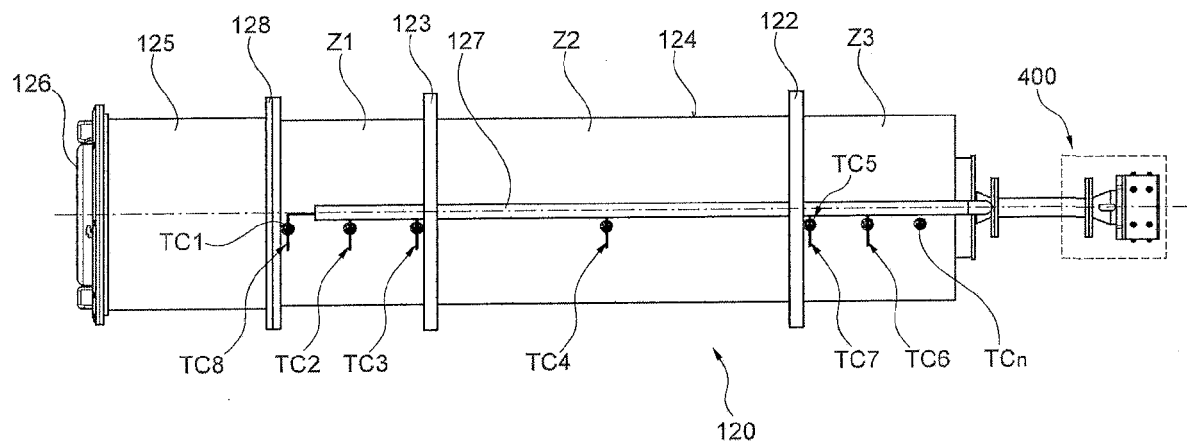


Fig. 5

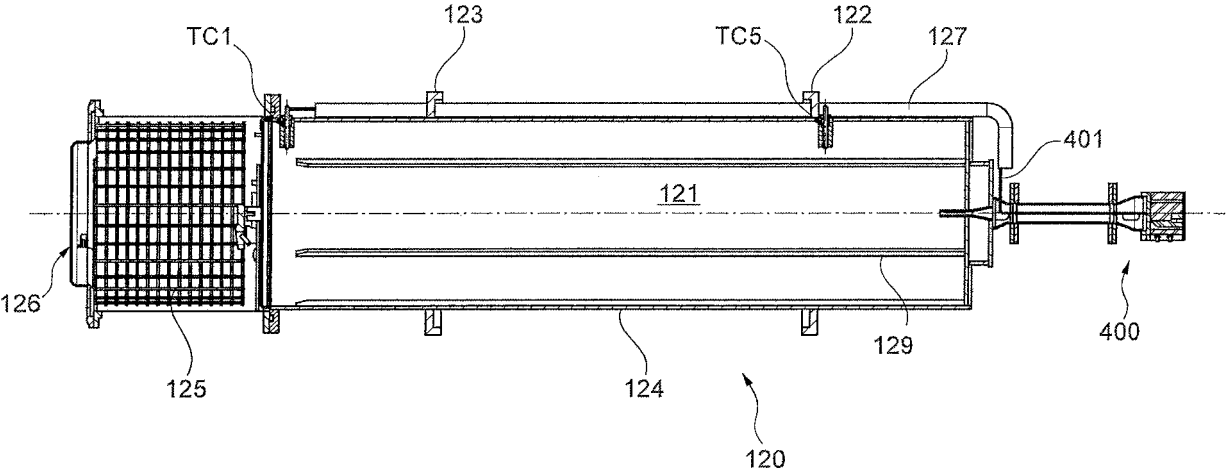


Fig. 6

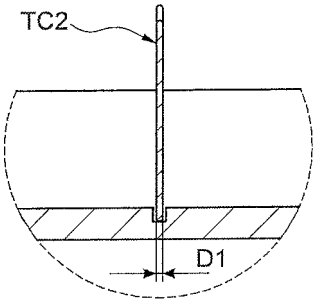


Fig. 7

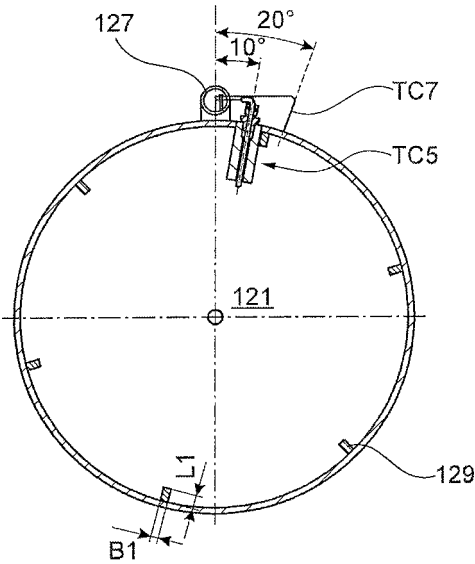


Fig. 8

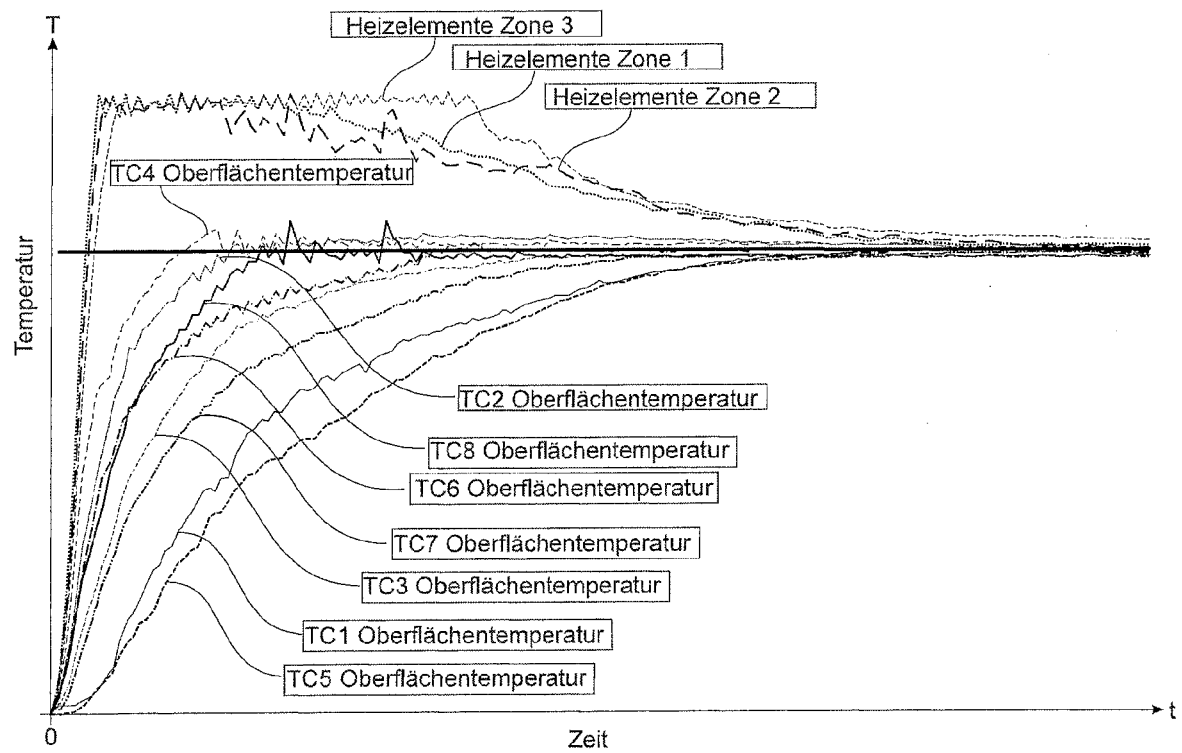


Fig. 9

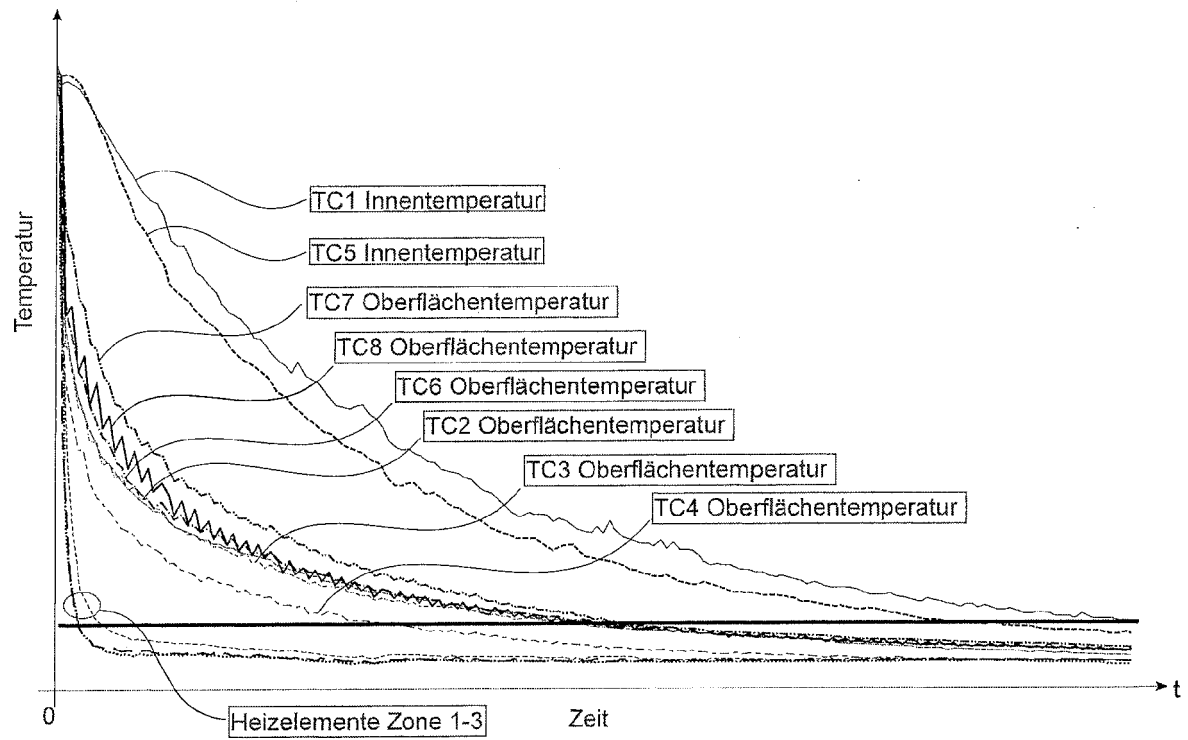


Fig. 10

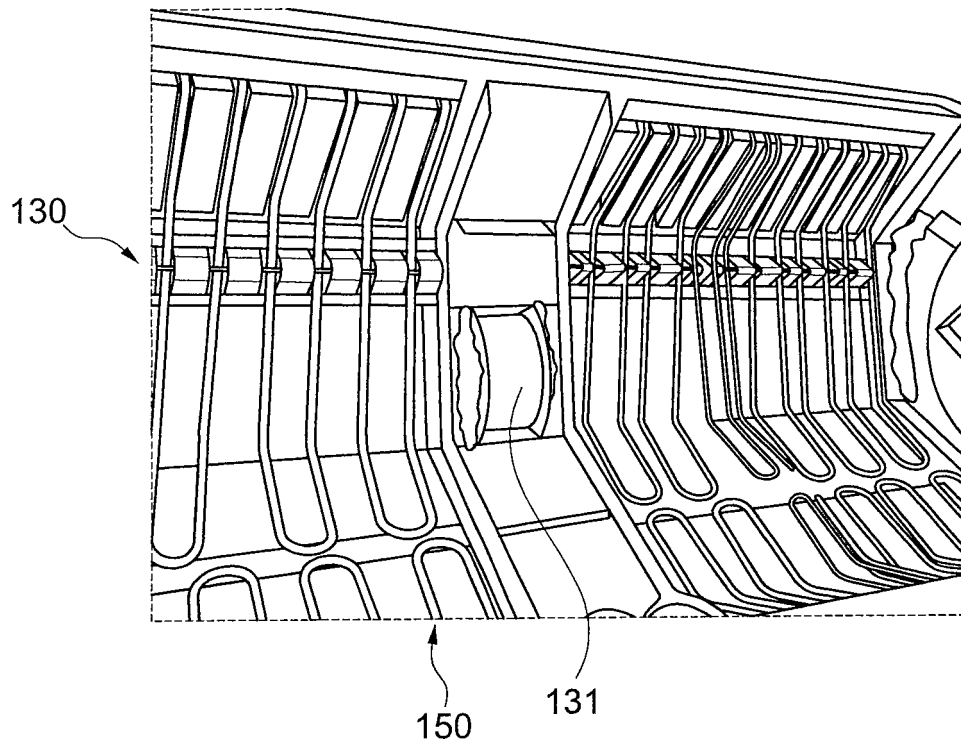


Fig. 11

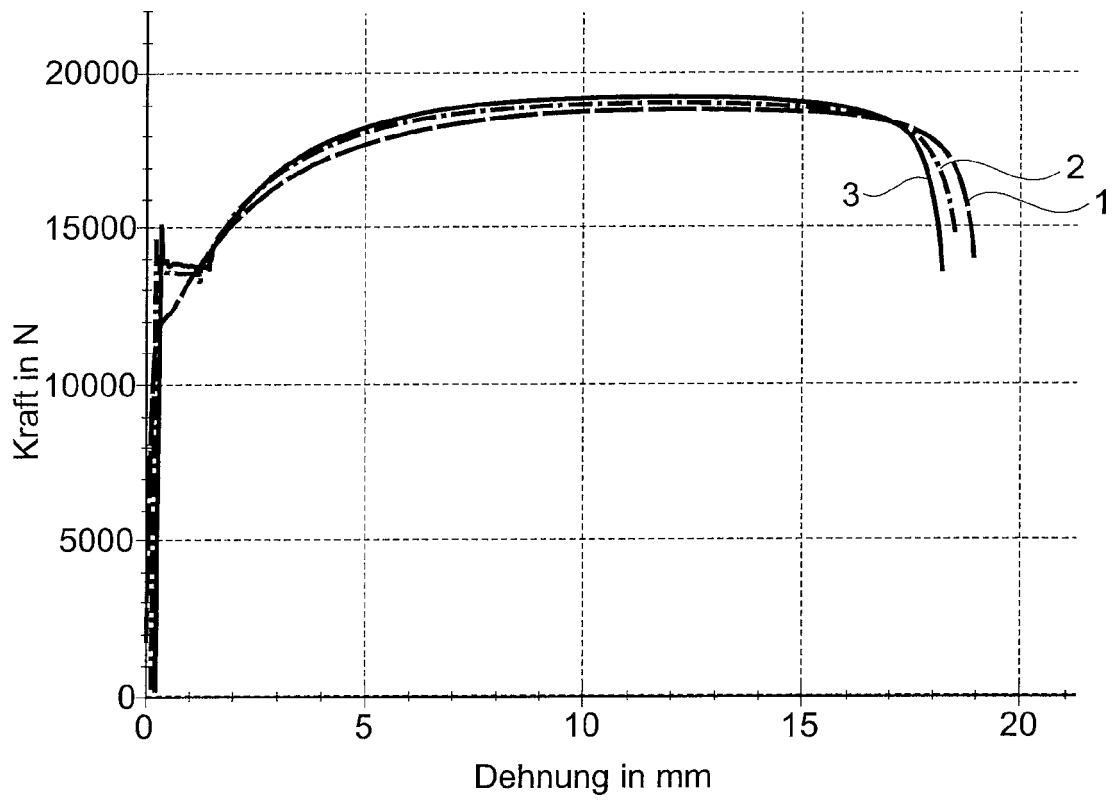


Fig. 12

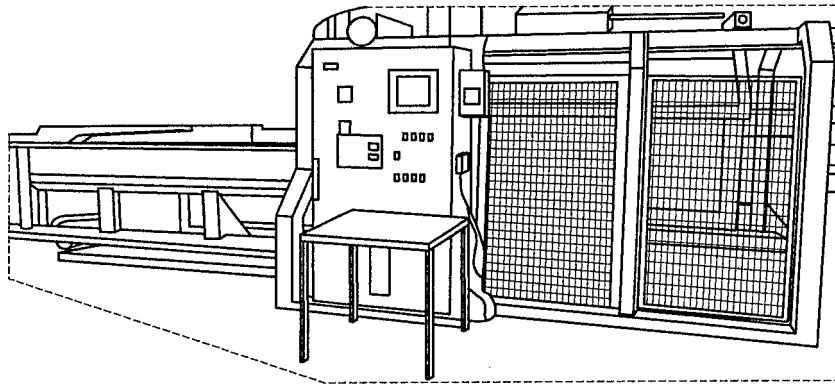


Fig. 13

110

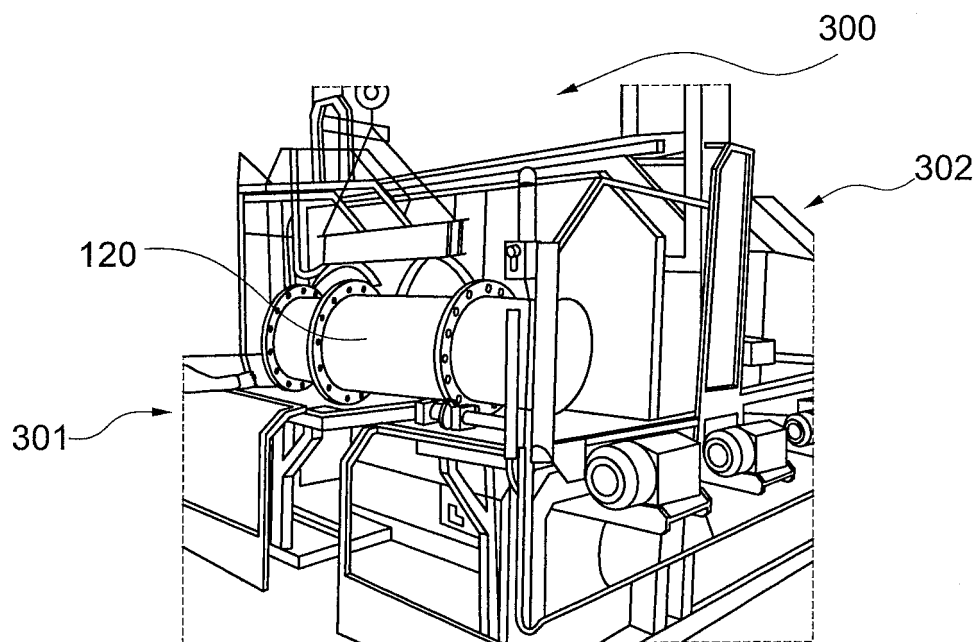


Fig. 14

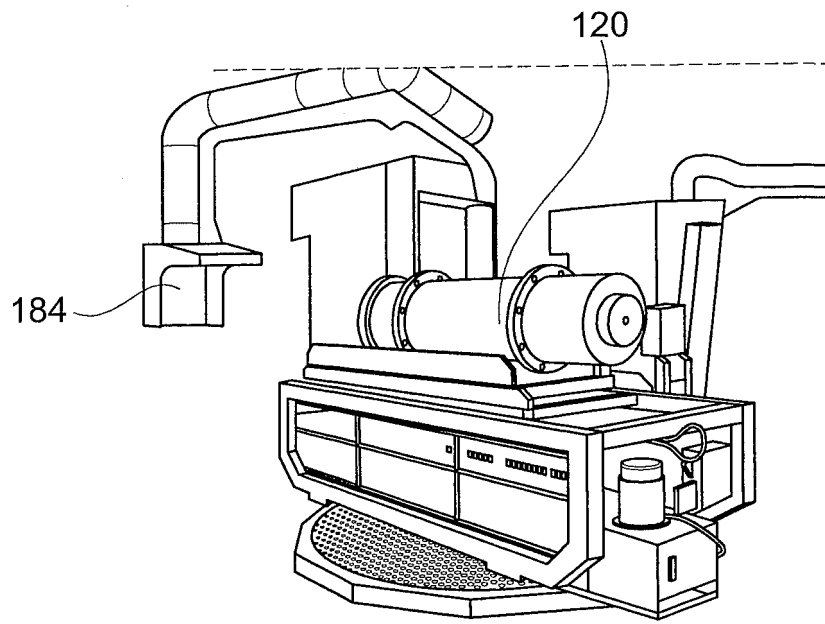


Fig. 15

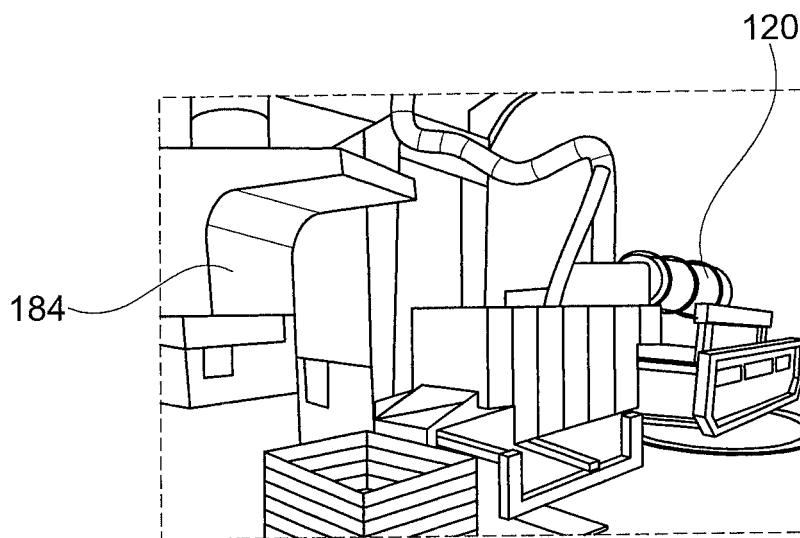


Fig. 16

**VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT
AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS**

BERICHT ÜBER DIE RECHERCHE INTERNATIONALER ART

KENNZEICHNUNG DER NATIONALEN ANMELDUNG		AKTENZEICHEN DES ANMELDERS ODER ANWALTS	
		THE 18/002 CH	
Nationales Aktenzeichen		Anmeldedatum	
4892018		17-04-2018	
Anmeldeland		Beanspruchtes Prioritätsdatum	
CH			
Anmelder (Name)			
Thermission AG			
Datum des Antrags auf eine Recherche internationaler Art		Nummer, die die internationale Recherchenbehörde dem Antrag auf eine Recherche internationaler Art zugeteilt hat	
03-08-2018		SN71731	
I. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDS (treffen mehrere Klassifikationssymbole zu, so sind alle anzugeben)			
Nach der internationalen Patentklassifikation (IPC) oder sowohl nach der nationalen Klassifikation als auch nach der IPC			
C23C10/28;C23C10/34;C23C10/02;C23C10/60			
II. RECHERCHIERTE SACHGEBIETE			
Recherchiertes Mindestprüfstoff			
Klassifikationssystem		Klassifikationssymbole	
IPC		C23C	
Recherchierte, nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Sachgebiete fallen			
III. ☐ EINIGE ANSPRÜCHE HABEN SICH ALS NICHT RECHERCHIERBAR ERWIESEN (Bemerkungen auf Ergänzungsbogen)			
IV. ☐ MANGELNDE EINHEITLICHKEIT DER ERFINDUNG (Bemerkungen auf Ergänzungsbogen)			

Formblatt PCT/ISA 201 a (11/2009)

BERICHT ÜBER DIE RECHERCHE INTERNATIONALER ART

Nr. des Antrags auf Recherche

CH 4892018

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSSUBJEKTES		
INV. C23C10/28	C23C10/34	C23C10/02 C23C10/60
ADD.		
Nach der internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERSCHIERTE SACHGEBIETE		
Fischereiverfahren Mindestprüfzeit (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)		
C23C		
Fischereiverfahren, aber nicht zum Mindestprüfzeit gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und erst verwendete Suchbegriffe)		
EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESSENTLICH ANGESEHENE VERÖFFENTLICHUNGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Seit. Anspruch Nr.
E	WO 2018/078484 A1 (THERMISSION AG [CH]) 3. Mai 2018 (2018-05-03) * das ganze Dokument *	1-50
X	US 2004/062859 A1 (SHTIKAN ISAAC [IL] ET AL) 1. April 2004 (2004-04-01) * Absätze [0002], [0003], [0016] - [0056]; Abbildungen 1-3; Beispiel 1 *	1-50
☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" Abstraktes Dokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelsfrei erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchebericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll, oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie angegeben) "D" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem Anmeldedatum, aber nach dem besprochenen Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist		
* T* Spätere Veröffentlichung, die nach dem Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis der Erfindung zugrundeliegenden Prinzipia oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung betrachtet wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "B" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des tatsächlichen Abschlusses der Recherche internationaler Art		Abmeldedatum des Berichts über die Recherche internationaler Art
15. Oktober 2018		22 OCT 2018
Name und Postanschrift der internationalen Rechercheinstitute European Patent Office, P.O. Box 2018, 8001 Zürich Tel. (+41-70) 340-2545 Fax (+41-70) 340-3015		Bevollmächtigter Beauftragter Tsipouridis, P

Formblatt PCT/ISA/201 (Stand 31. Januar 2004)

BERICHT ÜBER DIE RECHERCHE INTERNATIONALER ART

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören:

Nr. des Antrags auf Recherche

CH 4892018

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung	
WO 2018078484	A1	03-05-2018	CH 713979 A1	30-04-2018
			WO 2018078484 A1	03-05-2018
US 2004062859	A1	01-04-2004	US 2004062859 A1	01-04-2004
			WO 02052057 A1	04-07-2002

Formblatt PCT/98/001 (inlang Patentfamilie) (April 2006)