



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
11.01.2023 Patentblatt 2023/02

(21) Anmeldenummer: **21184847.8**

(22) Anmeldetag: **09.07.2021**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
C23C 2/00 (2006.01) **C23C 2/02** (2006.01)
C23C 2/06 (2006.01) **C23C 2/18** (2006.01)
C23C 2/20 (2006.01) **C23C 2/28** (2006.01)
C23C 2/38 (2006.01) **C23C 2/40** (2006.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
C23C 2/02; C23C 2/003; C23C 2/024; C23C 2/06;
C23C 2/18; C23C 2/185; C23C 2/20; C23C 2/28;
C23C 2/38; C23C 2/40; C23C 2/51; C23C 2/521;
C23C 2/522; G05B 13/00

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(71) Anmelder: **Matro GmbH**
3500 Krems (AT)

(72) Erfinder:
• **Kompek, DI, Günther**
3500 Krems (AT)
• **Romberger, MSc, Johann**
3512 Mautern (AT)

(74) Vertreter: **Müller, Thomas**
Boschetsrieder Straße 20
81379 München (DE)

(54) **VERFAHREN UND ANLAGE ZUM VERZINKEN VON EISEN- UND STAHLWERKSTÜCKEN**

(57) Beschrieben wird ein Verfahren zum Verzinken von siliziumarmen Eisen- oder Stahlwerkstücken in einer Verzinkungsanlage (100), bei welchem die zu verzinkenden Werkstücke nach einer Vorbehandlung (2) durch Entfetten, Beizen und Behandlung mit Flussmittel in einem Trockenofen (3) getrocknet und in ein Zinkbad (4) getaucht werden, um danach in der Abstreifstation (6) und optional einer Ausblasstation (8) von überschüssigem Zink abgeblasen und ausgeblasen werden, und die

genaue Verweildauer (61) der Rohre im Zinkbad (4) mittels eines auf einem Prozessserver (13) hinterlegten Verfahrensmodells auf Basis zumindest eines ermittelten Werkstoffparameter (51) an der Eingangskontrolle (1) vorgegeben wird und vorzugsweise und mittels zumindest einem an der Endkontrolle (12) ermittelten Messwert, insbesondere Produkt-Zinkschichtdicke (55) angepasst wird.

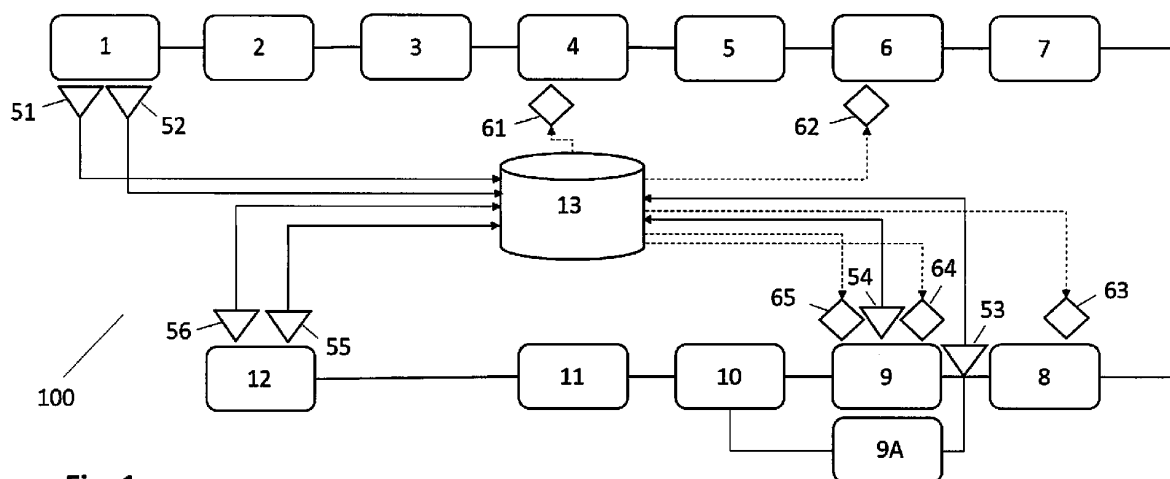


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verzinkungsverfahren für Eisen- und Stahlwerkstücke mit niedrigem Siliziumanteil, bei dem zum kontrollierten Wachstum einer Zinkschicht, ein vorgegebenes Verfahrensmodell mit vorgegebenen Prozessparametern, auf Basis kontinuierlich ermittelter Messwerte mit Korrekturwerten angepasst wird, die dazu erforderliche Anlage, sowie damit hergestellte Produkte.

[0002] Eisen- und Stahlwerkstücke werden üblicherweise verzinkt, um eine bessere Korrosionsbeständigkeit der Werkstücke zu erreichen. Die dazu erforderlichen Mengen an Zink und anderen Legierungsbestandteilen der Beschichtung richten sich nach den geforderten Zeiträumen über die diese Werkstücke die geforderte Korrosionsbeständigkeit aufweisen müssen.

[0003] Da moderne Stahllegierungen immer größere Reinheit aufweisen und einen geringen Siliziumgehalt aufweisen, erweist sich das Aufbringen von haltbaren Zinkschichten als zunehmend problematisch, da bei diesen Siliziumgehalten die Diffusionsprozesse während des Schmelztauchbades nachhaltig gehemmt sind. Eine reproduzierbare Einstellung in den erforderlichen Schichtdicken ist damit nicht mehr gewährleistet.

[0004] Da die Legierungen zur Herstellung der Schmelztauchbeschichtungen ein wesentlicher Kostenfaktor sind, ist eine Kontrolle des Schichtwachstums und der Schichtzusammensetzung von vordringlichem Interesse. Insbesondere Prozesse für eine Minimierung der benötigten Mengen, bei gleichzeitig ausreichender Schichtdicke und ausreichender Korrosionsschutzwirkung, sind also von besonderem Interesse.

[0005] Im Stand der Technik ist die Verzinkung von Werkstücken in Form von Rohren seit den 1930er Jahren grundlegend bekannt, es wird jedoch für Rohre üblicherweise ein nicht überwachter Stückprozess beschrieben bei dem die Werkstücke einfach in das geschmolzene Zink getaucht und anschließend abgetropft werden. Dies ist bei Werkstücken mit höherem Siliziumgehalt unproblematisch, bei den aktuell geforderten Werkstoffgüten mit sehr niedrigen Siliziumgehalten führt dies jedoch zu geringen Zinkschichten, da keine ausreichende Diffusion zwischen dem Substrat und der Zinkschicht mehr stattfinden kann.

[0006] Die EP0026757B1 zeigt ein Verfahren, bei dem auf die Problematik der Verfahrensführung eingegangen wird. In dieser Schrift werden jedoch Prozessparameter in gewissen Bereichen fix vorgegeben und sind unabhängig von Messgrößen. Darüber hinaus soll gemäß dieser Schrift für eine gewünschte Beschichtung das Verfahren als Nassverzinkung - bis heute weit verbreiteter Stand der Technik - durchgeführt werden. Besonders wird darauf hingewiesen, dass dadurch die Reaktion zwischen der Zinkbeschichtungslegierung und dem Eisensubstrat hintangehalten werden kann, also aufgrund der niedrigen Temperaturen praktisch eingefroren wird. Insbesondere bei niedrigsiliziumhaltigen Stählen würde dies zu einer unzureichenden Schichtdicke der Korrosionsschicht führen, da die Diffusionsprozesse bei der gegebenen Verweildauer im Zinkbad nicht ausreichend ablaufen können. Weiter gibt diese Schrift an, dass das Ausblasen und Abblasen der Rohre mit einer Mischung aus Pressluft und Wasserdampf erfolgen soll, dies führt jedoch zu ungleichmäßigen Zinkschichtdicken und Unebenheiten, insbesondere an der Rohrinneenseite.

[0007] Auch die CH340689 beschreibt das Abblasen und Ausblasen von Blechen und Rohren nach der Schmelztauchbeschichtung. Es wird hier im Detail die Bildung einer gleichmäßigen Zinkoxyd-Hydroxid-Schicht gefordert, welche sich unter dem Einfluss von wasserdampfhaltigen Fluiden bei der Restzinkentfernung bildet. Bei diesem Verfahren wird auch das Erfordernis eines Drucks von 15 bar gezeigt, dieser hohe Druck ist jedoch bezüglich der Lärmentwicklung an der Anlage extrem störend und erfordert extrem kostspielige Maßnahmen zur Lärmreduzierung. Weiter ist diese entstehende Zinkoxid-Hydroxid-Schicht nachteilig bei der nachfolgenden thermischen Behandlung und führt zu Unregelmäßigkeiten der Zinkschichtdicken.

[0008] Um nun ein automatisiertes Verfahren zu implementieren, greift die DE10256750A1 die allgemeine Möglichkeit der automatisierten und computergesteuerten Prozessführung bei Anlagen im Bereich der Stahlblechherstellung auf. Es wird hier sehr grundsätzlich die Verwendung von Messwerten für die Einstellung von Prozessparametern beschrieben. Die Schrift gibt jedoch keine Angaben für ein Schmelztauchbeschichten von Eisen- und Stahlrohren zur Herstellung von Korrosionsschutzbeschichtungen, da herkömmlicherweise in vielen Fällen auch heute noch in einem Stückverfahren erfolgt, bei dem einzelne Chargen manipuliert werden müssen.

[0009] Die Erfindung hat sich daher die Aufgabe gestellt, ein Verfahren der eingangs geschilderten Art derart zu gestalten, dass damit das kontrollierte Wachstum einer Korrosionsschutzschicht auf Basis einer Zinklegierung auf Substraten mit niedrigen Siliziumgehalten gewährleistet werden kann.

[0010] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch das Verfahren mit den Merkmalen gemäß dem unabhängigen Patentanspruch 1, welches den ersten Aspekt der Erfindung darstellt, das Produkt mit den Merkmalen gemäß dem unabhängigen Patentanspruch 14, welches den zweiten Aspekt der Erfindung darstellt, sowie durch die Anlage mit den Merkmalen gemäß dem unabhängigen Patentanspruch 15, welche den dritten Aspekt der Erfindung darstellt. Weitere Merkmale und Details der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen, der Beschreibung sowie den Zeichnungen. Dabei gelten Merkmale und Details, die im Zusammenhang mit einem der Erfindungsaspekte offenbart sind, vollumfänglich jeweils auch im Zusammenhang mit den beiden anderen Erfindungsaspekten, und umgekehrt, so dass hinsichtlich der Offenbarung der einzelnen Erfindungsaspekte stets vollinhaltlich auch Bezug auf die jeweils anderen

Erfindungsaspekte genommen wird.

[0011] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Verzinken, insbesondere zum Feuerverzinken, von Werkstücken. Bei einem Werkstück handelt es sich insbesondere um einen Gegenstand, der noch bearbeitet werden muss, wobei im vorliegenden Fall die Bearbeitung in Form einer Verzinkung erfolgt. Dabei ist die Erfindung nicht auf bestimmte Formen, Arten und Geometrien von Werkstücken beschränkt. Bei den Werkstücken kann es sich beispielsweise um Platten oder jede Form dreidimensionaler Körper handeln. In einer bevorzugten Ausführungsform handelt es sich bei dem Werkstück um ein Hohlprofilelement. Ein Hohlprofil ist insbesondere ein langgestreckter Hohlkörper, der jedoch nicht auf bestimmte Größen und Profilgeometrien beschränkt ist. In einer bevorzugten Ausführungsform, anhand derer die erfindungsgemäßen Zusammenhänge im Folgenden des Öfteren verdeutlicht werden, ohne dass die Erfindung auf dieses konkrete Ausführungsbeispiel beschränkt ist, handelt es sich bei dem Hohlprofilelement um ein Rohr.

[0012] Wird die Verweildauer der Rohre in einem Zinkbad mittels eines auf einer Servereinheit hinterlegten Verfahrensmodells und zusätzlich mit zumindest einem, an einer Eingangskontrolle, ermittelten Messwert Siliziumanteil und vorzugsweise durch zumindest einen weiteren an einer Endkontrolle ermittelten Messwert Produkt-Zinkschichtdicke vorgegeben und erfolgt gemäß einer bevorzugten Alternative eine Korrektur für den Prozessparameter Verweildauer, können dadurch Schwankungen in der Umgebung der Versuchsanlage ausgeglichen werden und das Endprodukt in ausreichender Standfestigkeit bezüglich der Korrosionsbeständigkeit hergestellt werden.

[0013] Die Nachführung der Prozessparameter auf Basis ermittelter Messwerte kann somit eine konstant gleichbleibende Qualität und Stärke der Produkt-Zinkschichtdicke gewährleisten. Im Verfahrensmodell sind vorzugsweise Wachstumskurven der zinkhaltigen Diffusionsschicht hinterlegt, welche abhängig sind von den Silizium- beziehungsweise den Silizium-Phosphoranteilen im Substratmaterial der Werkstücke, weiter kann das Verfahrensmodell die reaktionskinetischen Abhängigkeiten der einzelnen Messwerte und der Prozessparameter beinhalten, wodurch eine exakte und vor allem kontinuierliche Prozessregelung und -steuerung ermöglicht werden kann.

[0014] Ein Verfahrensmodell im Sinne der vorliegenden Erfindung ist insbesondere eine Abbildung des tatsächlichen, in der Wirklichkeit ablaufenden Verfahrens. Das Verfahrensmodell, das insbesondere auf einer Servereinheit abgelegt ist, umfasst vorzugsweise Wachstumskurven, insbesondere Schichtwachstumskurven, welche in einer bevorzugten Ausführungsform bei gegebener Substratdicke für die jeweiligen Siliziumanteile beziehungsweise für die Kombination der Silizium- und Phosphoranteile im Substrat, die zu erwartenden Schichtdicken nach einer bestimmten Verweildauer im Zinkbad und/oder die erforderlichen Roh-Zinkschichtdicken zur Erreichung der gewünschten End-Zinkschichtdicken die Wachstumszeit in der thermischen Behandlung vorgeben.

[0015] Gemäß einer ersten erfindungsgemäßen Alternative des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die Verweildauer der Werkstücke im Zinkbad durch das Verfahrensmodell, beispielsweise die hinterlegten Wachstumskurven in Abhängigkeit der Roh-Zinkschichtdicke vorgegeben. Gemäß dieser ersten Alternative wird die Verweildauer der Werkstücke im Zinkbad mittels eines auf einer Servereinheit hinterlegten Verfahrensmodells und zusätzlich mit zumindest einem, an einer Eingangskontrolle, ermittelten Messwert Siliziumanteil vorgegeben.

[0016] Gemäß einer zweiten erfindungsgemäßen Alternative des erfindungsgemäßen Verfahrens wird diese erste Alternative verknüpft mit einer Messung zur Bestimmung des Behandlungsendes. Gemäß dieser zweiten Alternative wird die Verweildauer der Werkstücke im Zinkbad mittels eines auf einer Servereinheit hinterlegten Verfahrensmodells und zusätzlich mit zumindest einem, an einer Eingangskontrolle, ermittelten Messwert Siliziumanteil vorgegeben. Zusätzlich erfolgt durch zumindest einen weiteren an einer Endkontrolle ermittelten Messwert Produkt-Zinkschichtdicke, eine Korrektur für den Prozessparameter Verweildauer. Besonders der Messwert der Produkt-Endzinkschicht und der Messwert Siliziumanteil, welcher sich nur auf den Anteil des Siliziums beziehen kann, oder auf die Kombination der Anteile von Silizium und Phosphor entsprechend der Formel $[Si] + 2,5 * [P]$, können die auslösenden Messwerte für eine Anpassung der Prozessparameter sein und kann Unterstützung finden durch Heranziehung des Messwerts Roh-Zinkschichtdicke. Durch diesen Regelkreis können die Ergebnisse am Produkt auch bei abweichenden Umgebungsbedingungen innerhalb der erforderlichen Werte gehalten werden und darüber hinaus kann so auch bei Anlagen mit Stückverfahren am Zinkbad in der weiteren Verarbeitung ein quasi-kontinuierliches Verfahren geschaffen werden.

[0017] Ist der ermittelte Messwert Siliziumanteil der Siliziumanteil oder eine Kombination der Anteile von Silizium und Phosphor, welcher bei der Eingangskontrolle der Werkstücke ermittelt wird und insbesondere für Silizium $[Si] \leq 0,030\%$ oder für $[Si] + 2,5 * [P] \leq 0,90\%$ ist und/oder das ein weiterer ermittelter Messwert Substratdicke die Materialdicke der Werkstücke ist, kann die Auswahl der relevanten Wachstumskurven aus dem hinterlegten Verfahrensmodell und entsprechende Steuerung der erforderlichen Prozessparameter besonders einfach erfolgen und eine gleichmäßige Produkt-Zinkschichtdicke kann gewährleistet sein.

[0018] Werden die Werkstücke in einem Trockenofen bei einer Oberflächentemperatur $\leq 100^\circ\text{C}$ getrocknet und vorgewärmt, kann durch eine Vorerwärmung der Rohre ein rascher Beginn der Diffusionsprozesse zwischen eisenhaltigem Substrat und Zinkschicht herbeigeführt werden. Eine rasch einsetzende Diffusion kann dadurch bewirkt werden und kann zu einem gleichmäßigen, ausreichendem Wachstum der Eisen-Zinkschicht und einer guten Schichthaftung führen.

[0019] Werden die Werkstücke vollständig in das Zinkbad getaucht und bei einer Temperatur zwischen 455°C und

460 °C und einer, vom Messwert Produkt-Zinkschichtdicke und dem Messwert Siliziumanteil abhängigen, variierenden Verweildauer zwischen 20 s bis 180 s oder 20 s/mm Wanddicke des Werkstücks verzinkt und mittels einem Auszieher mit einer Geschwindigkeit von > 0,8 m/s oder zwischen 0,5 m/min und 3 m/min aus dem Zinkbad gezogen, können Schwankungen in der Temperatur des Zinkbades besonders leicht ausgeglichen werden. Eine Geschwindigkeit > 8m/s wird bevorzugt bei Werkstücken, insbesondere geschlossenen Profilen, verwendet, welche im folgenden Verfahrensschritt abgestreift und/oder ausgeblasen werden. Die langsamere Geschwindigkeit findet bevorzugt Anwendung bei allen anderen Werkstücken.

[0020] Wird das überschüssige Zink an der Werkstückaußenseite in der Abstreifstation mit einer, vorzugsweise ringförmigen, Düse entgegen der Bewegungsrichtung des Werkstücks mit vorgeheizter, wasserdampffreier Pressluft abgeblasen und kann der Prozessparameter Druck Abstreif-Pressluft, zwischen 0,5 bar und 4 bar, in Abhängigkeit von zumindest einem Messwert Produkt-Zinkschichtdicke oder Messwert Schichtverhältnis-Reinzink, variiert werden und dauert die Manipulationszeit der Übergabe von der Abstreifstation zur Ausblasstation weniger als 10 s und/oder wird dabei ein Abstand zwischen Düsenöffnung und Oberfläche des Werkstücks von 5 mm bis 15 mm konstant eingehalten und/oder weist der Winkel des Austritts der, vorzugsweise ringförmigen, Düse in der Abstreifstation eine Neigung zur Senkrechten der Werkstückaußenwand zwischen 2° und 5° auf, kann dadurch eine sehr gleichmäßige und dünne Zinkschicht hergestellt werden. Dadurch kann trotz einer sehr dünnen Roh-Zinkschichtdicke eine verbesserte Homogenität dieser Schicht erzielt werden, wodurch beim folgenden Diffusionsprozess in einer späteren thermischen Behandlung ein rasches und gleichmäßiges Schichtwachstum eintreten kann. Die Anpassung des Prozessparameters Druck Abstreif-Pressluft in Abhängigkeit von den tatsächlich in der Endkontrolle erreichten Messwerten für Produkt-Zinkschichtdicke aus den zeitlich unmittelbar davor produzierten verzinkten Werkstücken, kann so eine gleichmäßigere Qualität erzielen und Abweichungen welche durch Temperaturschwankungen aus der Umgebung oder Unterschieden in den Manipulationszeiten bei den Übergaben können ausgeglichen werden.

[0021] In einer bevorzugten Ausführungsform handelt es sich bei den Werkstücken um Hohlprofil-Werkstücke, insbesondere um Rohre. In einem solchen Fall werden die Werkstücke nach dem Zinkbad bevorzugt in einer Ausblasstation ausgeblasen.

[0022] Wird in der Ausblasstation die Innenseite des verzinkten Hohlprofil-Werkstücks mit wasserdampffreier, zwischen 200 °C und 400 °C vorgeheizter Pressluft bei einem variablen Prozessparameter Druck Ausblas-Pressluft von 0,5 bis 4 bar von überschüssigem Restzink befreit, insbesondere mit einer Ausblaslanze mit Ringschlitz an ihrem vorderen Ende, wobei die Lanze mittels Führung auf der dem Zinkbad abgewendeten Seite vor dem Hohlprofil-Werkstückende zentriert wird und auf eine, von zumindest einem Messwert Produkt-Zinkschichtdicke abhängige, Schichtdicke gebracht wird und der Messwert Produkt-Zinkschichtdicke, in einer Endkontrolle einen Wert von im Bereich von 20 µm bis 77,5 µm, insbesondere 40 µm bis 55 µm liegt und eine Reinzinkphase an der Oberfläche aufweist, kann dadurch eine Bildung von Zinkoxid-Hydroxid Schichten weitgehend verhindert werden, wodurch eine gleichmäßigere Oberflächenstruktur an der Hohlprofil-Werkstück-Innenseite entstehen kann, welche beim fertigen Produkt eine verbesserte Korrosionseigenschaft aufweisen kann, da weniger Keim- und Fehlstellen an der Oberfläche für eine verbesserte Korrosionsbeständigkeit sorgen können. Überraschenderweise hat sich entgegen dem im Detail im Stand der Technik beschriebenen Methode der Mischung von Pressluft und Wasserdampf gezeigt, dass sich bei Verwendung einer vorgeheizten und insbesondere wasserdampffreien Pressluft eine gleichmäßigere Roh-Zinkschichtdicke einstellen kann und eine geringere Welligkeit der Zinkoberfläche ergeben kann.

[0023] Ist die Spitze der Ausblaslanze austauschbar und insbesondere ein Restspalt zwischen der Düsenöffnung und der Hohlprofil-Werkstück-Innenwand mit einem Abstand von 2 mm bis 5 mm verbleibt, kann dadurch eine besonders gleichmäßige und glatte Oberfläche der Zinkschicht an der Innenseite des Hohlprofil-Werkstücks erreicht und schlechte Qualität durch die Abnutzung der Lanzenspitze vermieden werden.

[0024] Wird durch Ermittlung des Messwerts Roh-Zinkschichtdicke vor einer thermischen Behandlung die Weiterleitung in eine thermische Behandlung oder die Umgehung einer thermischen Behandlung bei bereits erreichter SOLL-Zinkschichtdicke ausgelöst, kann damit ein besonders zeiteffizientes Verfahren realisiert werden, wobei einerseits das Wachstum bei noch nicht erreichter Schichtdicke in der thermischen Behandlung erfolgen, oder jedoch die Verfahrensdauer durch eine direkte Weiterleitung zum Kühlbecken wesentlich abgekürzt und ein gesichertes Schichtwachstum hergestellt werden kann. Weiters kann so eine Diffusion von Eisen bis an die Oberfläche der Zinkschicht bei bereits fortgeschrittenem Wachstum der Zinkschicht hintangehalten werden.

[0025] Wird das verzinkte Werkstück einer thermischen Behandlung zugeführt, wobei die Temperatur zwischen 250 °C und 500 °C, insbesondere zwischen 350 °C und 500°C liegt und das Werkstück anschließend mittels einer Übergabe in einer Manipulationszeit von weniger als 5 s in ein Kühlbecken übergeben wird, kann dadurch eine zu starke Diffusion der Zinkschicht in das eisenhaltige Substrat und ein Durchreagieren der Zinkschicht bis an die Oberfläche verhindert werden, wodurch eine besonders standhafte Korrosionsschutzschicht an der Innen- und Außenseite des Werkstücks entstehen kann. Eine Manipulationszeit unter 5 s kann so eine Reinzinkschicht an der Oberfläche des Endprodukts ermöglichen. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform wird das Werkstück mittels der Übergabe in das Kühlbecken übergeben, wenn die durch das Verfahrensmodell vorgegebene Verweildauer des Werkstücks, die insbesondere auch

als Wachstumszeit wird, in der thermischen Behandlung erreicht ist. Alternativ oder in Ergänzung dazu wird gemäß einer anderen bevorzugten Ausführungsform der Messwert End-Zinkschichtdicke, und damit insbesondere das Schichtwachstum, kontinuierlich ermittelt und bei Erreichen der durch ein Verfahrensmodell festgelegten SOLL-Zinkschichtdicke das Werkstück mittels der Übergabe in das Kühlbecken übergeben.

[0026] Beispielsweise wird eine Roh-Zinkschichtdicke nach dem Prozess mit der SOLL-Zinkschichtdicke, die sich beispielsweise aus der Wachstumskurve ergibt oder hergeleitet werden kann, verglichen und aufgrund der Schichtwachstumskurven für die thermische Behandlung eine Anpassung der Prozessparameter Temperatur und Wachstumszeit vorgegeben, um die gewünschte End-Zinkschichtdicke zu erreichen.

[0027] Ein Abbruch des Verweilens des Werkstücks in der thermischen Behandlung kann somit, je nach Ausgestaltung, nach Messung und/oder nach Modell-Wachstumszeit erfolgen.

[0028] Beträgt die Temperatur des Kühlbeckens weniger als 70 °C, insbesondere weniger als 50 °C, oder weist eine Abkühlrate größer als 20 °C/s auf und/oder die Abwärme des Kühlbeckens wird zur Vorbehandlungsstation rückgeführt und weist insbesondere einen Fluid/Fluid-Wärmetauscher auf, kann damit in besonders effizienter Weise das Wachstum der Zinkschicht eingefroren und eine weitere Diffusion wirksam unterbunden werden. Damit kann eine Diffusion von Eisen bis an die Oberfläche wirksam unterbrochen und eine Reinzinkschicht gesichert erreicht werden.

[0029] Erfolgt die Einstellung eines Prozessparameters Druck Abstreif-Pressluft in einer Abstreifstation und/oder eines Prozessparameters Druck Ausblas-Pressluft einer Ausblasstation vom ermittelten Messwert Roh-Zinkschichtdicke und in Abhängigkeit von SOLL-Werten des Verfahrensmodells, in welchem die Substratdaten und/oder Prozessparameter, insbesondere Verweildauer des Zinkbads und/oder Schichtwachstumskurven in Abhängigkeit von der Größe des ermittelten Messwerts Siliziumanteil, insbesondere des Silizium- und Phosphoranteils im Substrat und/oder Größen für den ermittelten Messwert Schichtverhältnis-Reinzink festgelegt sind, können dadurch die Prozessparameter Verweildauer, Druck Abstreif-Pressluft, Druck Ausblas-Pressluft und Temperatur kontinuierlich auf die permanent veränderlichen Messwerte Roh-Zinkschichtdicke, Produkt-Zinkschichtdicke (55) und/oder Schichtverhältnis-Reinzink, welches definiert ist als Verhältnis der Schichtdicke der Eisen-Zink-Phase zur Schichtdicke der verbleibenden Reinzinkphase an der Oberfläche der zinkhaltigen Beschichtung, angepasst werden. Dadurch kann ein permanenter Regelkreis zur kontinuierlichen Steuerung der Prozessparameter der Verfahrensanlage hergestellt werden, welcher das Schichtwachstum dieser dünnen Schichten auf Substraten mit geringem Siliziumanteil bei gleichzeitig guter Schichtanbindung erst ermöglichen kann. Ist die Abstreifdüse einer Düsenöffnung von 3 bis 5 mm versehen, kann damit in besonders günstiger Weise der Luftstrom gesteuert werden.

[0030] Erfolgt bei Abweichung vom gewünschten und durch das Verfahrensmodell vorgegebenen SOLL-Wert des Messwertes Produkt-Zinkschichtdicke in einer Endkontrolle, eine Korrektur des Prozessparameters Verweildauer in einem Zinkbad, und/oder der Prozessparameter Temperatur in einer thermischen Behandlung, können dadurch in besonderer Weise allfällige Schwankungen in der Prozessumgebung entgegengewirkt und vorteilhafte Anpassungen zu den, aus dem Verfahrensmodell vorgegebenen Parametern bewirkt werden, eine dauerhaft gleichwertige Schichtdicke kann so erzeugt werden.

[0031] Wird die Abwärme des Zinkbads mittels Gas/Gas-Wärmetauscher dem Trockenofen zugeführt, kann dadurch in energieeffizienter Weise das Verfahren kostengünstiger ablaufen.

[0032] Beträgt der Anteil für Silizium $[Si] \leq 0,030\%$ oder für $[Si] + 2,5 \cdot [P] \leq 0,90\%$ im Substrat und der Messwert Produkt-Zinkschichtdicke, bei einer Endkontrolle liegt im Bereich von 20 µm bis 77,5 µm, insbesondere 40 µm bis 55 µm und eine Reinzinkphase an der Oberfläche, kann ein besonders hochwertiges Produkt erzeugt und eine ausreichend hohe Korrosionsfestigkeit der Werkstücke und gleichzeitig eine Einsparung der benötigten Zinkauflage erreicht werden. Insbesondere zeigt sich das Vorhandensein der Reinzinkschicht als besonders vorteilhaft, damit sich eine hervorragende Korrosionsschutzwirkung einstellen kann.

[0033] Liegen Daten eines Verfahrensmodells auf einer Servereinheit, welcher derart bereit gestellt ist, dass sie in der Lage ist, kontinuierlich eingehende Messwerte, insbesondere Substratdicke, Siliziumanteil, Roh-Zinkschichtdicke, End-Zinkschichtdicke, Produkt-Zinkschichtdicke, Schichtverhältnis-Reinzink, mit den SOLL-Prozessparametern des Verfahrensmodells zu vergleichen und bei Abweichung zumindest einen der Prozessparameter, insbesondere Verweildauer, Druck Abstreif-Pressluft, Druck Ausblas-Pressluft, Temperatur, nachzuregeln und ist eine Vorbehandlungsstation vorhanden, welche insbesondere Entfettung, Beizung und Behandlung der Werkstücke mit Flussmittel bei einer Temperatur von 30 °C bis 80 °C umfasst und ein Trockenofen in welchem das Rohr getrocknet und auf eine Oberflächentemperatur von 95 °C bis 100 °C vorgewärmt wird und ein Zinkbad, aufweisend einen Prozessparameter Verweildauer, insbesondere mit einer Temperatur zwischen 455 °C und 460 °C und einer Verweildauer von 20 s bis 180 s, ein Auszieher, insbesondere mit einer Manipulationszeit unter 5 s, eine Abstreifstation, aufweisend einen Prozessparameter Druck Abstreif-Pressluft, insbesondere zwischen 0,5 und 4 bar, eine Übergabe, insbesondere mit einer Manipulationszeit unter 10 s, optional eine Ausblasstation, aufweisend einen Prozessparameter Druck Ausblas-Pressluft, insbesondere zwischen 0,5 und 4 bar, eine Ermittlungseinrichtung eines Messwerts Roh-Zinkschichtdicke, eine thermische Behandlung, aufweisend einen Prozessparameter Temperatur und eine Ermittlungseinrichtung des Messwerts End-Zinkschichtdicke, insbesondere eine magnet-induktive oder Wirbelstrommessung, eine Übergabe, insbesondere mit einer Manipulationszeit unter 5 s

und einer optionalen Umgehung der thermischen Behandlung, eine Abkühlstation, insbesondere mit einer Temperatur des Kühlmediums unter 70 °C oder einer Kühlrate größer 20 °C/s und eine Endkontrolle, aufweisend eine Ermittlungseinrichtung zumindest eines Messwerts Produkt-Zinkschichtdicke und/oder eines Messwerts Schichtverhältnis-Reinzink, kann damit in besonders geeigneter Weise eine Anlage betrieben werden, welche eine Verzinkung von siliziumarmen Eisen- und Stahlwerkstoffen ermöglicht.

[0034] Eine erfindungsgemäße Abfolge eines solchen Verfahrens kann unter Bezugnahme auf die Figur 1, in der ein Ablaufschema eines erfindungsgemäßen Verfahrens gezeigt ist, folgendermaßen dargestellt werden. Bei dem dargestellten Verfahren wird ein Werkstück in Form eines Rohres verzinkt.

[0035] Figur 1 zeigt einen erfindungsgemäßen Verfahrensablauf, bei dem in der Eingangskontrolle (1) mehrere Messwerte - Substratdicke (51) und Siliziumanteil beziehungsweise Silizium- und Phosphoranteil (52) ermittelt werden. In der Vorbehandlung (2) erfolgen die Entfettung, Beizung und Behandlung der Rohre mit Flussmittel bei einer Temperatur von 30 °C bis 80 °C.

Im Trockenofen (3) wird das Rohr getrocknet und auf eine Oberflächentemperatur von 95 °C bis 100°C vorgewärmt, bevor es vollständig in das Zinkbad (4) getaucht wird. Die Temperatur im Zinkbad (4) beträgt zwischen 455 °C und 460 °C, um eine ausreichend hohe Reaktivität des siliziumarmen Substrats zu erreichen und eine Verweildauer von 20 s bis 180 s ist erforderlich.

[0036] Gemäß einer ersten Alternative des Verfahrens wird die Verweildauer im Zinkbad (4) durch das Verfahrensmodell, beispielsweise die hinterlegten Wachstumskurven in Abhängigkeit der Roh-Zinkschichtdicke (53) bestimmt. Gemäß dieser ersten Alternative wird die Verweildauer (61) des Rohrs im Zinkbad (4) mittels des Verfahrensmodells und zusätzlich mit zumindest einem, an einer Eingangskontrolle (1), ermittelten Messwert Siliziumanteil (52) vorgegeben. Gemäß einer zweiten Alternative des Verfahrens wird diese erste Alternative verknüpft mit einer Messung zur Bestimmung des Behandlungsendes. Gemäß dieser zweiten Alternative wird die Verweildauer der Werkstücke im Zinkbad (4) mittels des Verfahrensmodells und zusätzlich mit zumindest einem, an einer Eingangskontrolle (1), ermittelten Messwert Siliziumanteil (52) vorgegeben. Zusätzlich erfolgt durch zumindest einen weiteren an einer Endkontrolle (12) ermittelten Messwert Produkt-Zinkschichtdicke (55), eine Korrektur für den Prozessparameter Verweildauer (61).

[0037] Die Rückführung der Prozessabwärme vom Zinkbad (4) zum Trockenofen (3) ermöglicht eine besonders energieeffiziente Verfahrensweise. Das Rohr wird durch den Auszieher (5) mit einer Geschwindigkeit > 0,8 m/s ausgezogen und in der Abstreifstation (6) wird die überschüssige Zinkauflage mit einer Ringdüse, bei einem Prozessparameter Druck Abstreif-Pressluft (62) abgestreift. Die weitere Übergabe (7) erfolgt in einer Zeit unter 10 s an die Ausblasstation (8) in welcher der Prozessparameter Druck Ausblas-Pressluft (63) variabel und abhängig von mindestens einem Messwert Produkt-Zinkschichtdicke (55) oder Schichtverhältnis-Reinzink (56) eingestellt werden kann.

[0038] Der Messwert Roh-Zinkschichtdicke (53), welcher magnetinduktiv oder als Wirbelstrommessung erfolgt ist Basis für eine thermische Behandlung (9) oder eine Umleitung zum Kühlbecken (11).

[0039] In der thermischen Behandlung (9) erfolgt das kontrollierte Schichtwachstum bei einer Temperatur (64) zwischen 350 °C und 550 °C und einer Wachstumszeit (65) zwischen 20 s und 420 s, insbesondere bei geschlossenen Profilen, oder bis zu 35 min bei allen anderen Werkstücken, oder bis der Messwert End-Zinkschichtdicke (54) erreicht ist, und die Übergabe (10) auslöst, welche innerhalb von 5 s abgeschlossen ist. Die Rohre werden im Kühlbecken (11) rasch abgekühlt und Schichtwachstum und Diffusion werden somit eingefroren.

Die Abkühlung erfolgt bei einer Wassertemperatur von maximal 70 °C, bevorzugt jedoch unter 50 °C oder einer gesicherten Abkühlrate größer 20 °C/s.

Die Prozessabwärme aus der Abkühlstation (11) wird der Vorbehandlung (2) über Wärmetauscher zugeführt.

[0040] In der Endkontrolle (12) werden die Messwerte Zinkschichtdicke (55) und Verhältnis Eisen-Zinkschicht zu Reinzink-Schicht (56) bestimmt, welche die über das Verfahrensmodell (13) vorgegebenen Prozessparameter (65, 64, 63, 62, 61) im Detail variieren, um Schwankungen auszugleichen.

[0041] Das Verfahrensmodell auf der Servereinheit (13) umfasst Schichtwachstumskurven, welche bei gegebener Substratdicke für die jeweiligen Siliziumanteile (52) beziehungsweise für die Kombination der Silizium- und Phosphoranteile im Substrat die zu erwartenden Schichtdicken nach einer bestimmten Verweildauer (61) im Zinkbad (4) oder die erforderlichen Roh-Zinkschichtdicken (53) zur Erreichung der gewünschten End-Zinkschichtdicken (54) Zeit in der thermischen Behandlung (9) vorgeben. Die Roh-Zinkschichtdicke (53) nach dem Prozess wird mit der SOLL-Zinkschichtdicke, die sich aus dem Verfahrensmodell ergibt oder herleiten lässt, verglichen und aufgrund der Schichtwachstumskurven für die thermische Behandlung eine Anpassung der Prozessparameter Temperatur (64) und/oder Wachstumszeit (65) vorgegeben, um die gewünschte End-Zinkschichtdicke (54) zu erreichen. Gemäß einer ersten Alternative wird das Werkstück mittels der Übergabe (10) in das Kühlbecken (11) übergeben, wenn die durch das Verfahrensmodell vorgegebene Wachstumszeit (65) des Werkstücks in der thermischen Behandlung (9) erreicht ist. Alternativ oder in Ergänzung dazu wird gemäß einer anderen Alternative der Messwert End-Zinkschichtdicke (54) kontinuierlich ermittelt und bei Erreichen der durch eines Verfahrensmodell festgelegten SOLL-Zinkschichtdicke das Werkstück mittels der Übergabe (10) in das Kühlbecken (11) übergeben. In Figur 1 sind beide Alternativen dargestellt, nämlich die Wachstumszeit (65), welche entweder durch die im Verfahrensmodell hinterlegten Wachstumskurve in Abhängigkeit der Roh-Zinkschichtdicke

(53) bestimmt wird, oder welche zusätzlich mit der Messung der End-Zinkschichtdicke (54) zur Bestimmung des Behandlungsendes erfolgt.

[0042] Korrelationen zwischen Roh-Zinkschichtdicke (53) und End-Zinkschichtdicken (54) erfolgen bei gegebener Temperatur (64), da die maximale Dauer bis zur gemessenen Erreichung der End-Zinkschichtdicke (54) in der thermischen Behandlung (9) limitiert ist.

[0043] Wird nun in einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens bei den verzinkten Rohren bei der Erfassung des Messwertes Produkt-Zinkschichtdicke (55) nach Vergleich mit dem Verfahrensmodell, welcher vorzugsweise automatisch in der Servereinheit erfolgt, eine Abweichung von den für die Produkte geforderten SOLL-Zinkschichtdicken ermittelt, kann durch unmittelbare Variation der Prozessparameter wie Verweildauer (61), Druck Ausblaspressluft (63), Druck Abstreifpressluft die Dicke der Roh-Zinkschichtdicke (53) in geeigneter Weise beeinflusst werden, damit sich bei ebenfalls variierbarer Temperatur (64) günstige Bearbeitungszeiten in der thermischen Behandlung (9) ergeben können, bevor der SOLL-Wert beim Messwert End-Zinkschichtdicke (54) erreicht wird.

[0044] Gegenüber herkömmlichen Verfahren kann so ein kontinuierliches oder quasi-kontinuierliches Verfahren geschaffen werden, bei dem Temperatureinflüsse aus der Umgebung oder Abweichungen in den Manipulationszeiten, jederzeit ausgeglichen werden können und so in geeigneter Weise eine gleichbleibende Qualität der Endprodukte gewährleisten kann.

[0045] Eine erfindungsgemäße Ausführung des Verfahrens kann sich wie folgt gestalten:

Stahl-Substrat mit Siliziumanteil: $[Si]$ bzw. $[Si] + 2,5 \cdot [P] = 0,056 \%$

Substratdicke:	D = 3,0 mm
Verweildauer im Zinkbad:	t = 90 s
Temperatur Zinkbad:	Y = 455 °C
Roh-Zinkschichtdicke:	a = 50 µm
SOLL-Zinkschichtdicke:	c = 55 µm
Dauer bis Erreichung der End-Zinkschichtdicke:	T = 15 min
Temperatur der thermischen Behandlung:	X = 400°C
End-Zinkschichtdicke:	b = 60 µm

Patentansprüche

1. Verfahren zum Verzinken, insbesondere Feuerverzinken, von Eisen- oder Stahlwerkstücken in einer Verzinkungsanlage (100), bei welchem die zu verzinkenden Werkstücke nach einer Vorbehandlung (2), insbesondere durch Entfetten, Beizen und Behandlung mit Flussmittel, in ein Zinkbad (4) getaucht, und in einer Abstreifstation (6) von überschüssigem Zink abgeblasen werden, insbesondere bei einer Zinkbadtemperatur zwischen 455 °C und 460 °C und insbesondere einer Verweildauer (61) der Werkstücke im Zinkbad zwischen 20 s und 180 s, **dadurch gekennzeichnet, dass**

die Verweildauer (61) der Werkstücke im Zinkbad (4) mittels eines auf einer Servereinheit (13) hinterlegten Verfahrensmodells und zusätzlich mit zumindest einem, an einer Eingangskontrolle (1), ermittelten Messwert Siliziumanteil (52) vorgegeben wird,

oder

dass die Verweildauer (61) der Werkstücke im Zinkbad (4) mittels eines auf einer Servereinheit (13) hinterlegten Verfahrensmodells und zusätzlich mit zumindest einem, an einer Eingangskontrolle (1), ermittelten Messwert Siliziumanteil (52) vorgegeben wird und durch zumindest einen weiteren an einer Endkontrolle (12) ermittelten Messwert Produkt-Zinkschichtdicke (55), eine Korrektur für den Prozessparameter Verweildauer (61) erfolgt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der ermittelte Messwert Siliziumanteil (52) der Siliziumanteil oder eine Kombination der Anteile von Silizium und Phosphor ist, welcher bei der Eingangskontrolle (12) der Werkstücke ermittelt wird und insbesondere für Silizium $[Si] \leq 0,030\%$ oder für $[Si] + 2,5 \cdot [P] \leq 0,90\%$ ist und/oder dass ein weiterer ermittelter Messwert Substratdicke (51) die Materialdicke ist.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Werkstücke in einem Trockenofen (3) bei einer Oberflächentemperatur ≤ 100 °C getrocknet und vorgewärmt werden.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Werkstücke vollständig in das Zinkbad (4) getaucht werden und bei einer Temperatur zwischen 455 °C und 460 °C und einer, vom Messwert

Produkt-Zinkschichtdicke (55) und dem Messwert Siliziumanteil (51) abhängigen, variierenden Aufenthaltsdauer zwischen 20 s bis 180 s verzinkt werden und mittels einem Auszieher (7) mit einer Geschwindigkeit von $> 0,8$ m/s oder zwischen 0,5 m/min und 3 m/min aus dem Zinkbad (4) gezogen werden.

- 5 **5.** Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Werkstücke als Hohlprofil-Werkstücke, insbesondere als Rohre, ausgebildet sind und dass die Werkstücke nach dem Zinkbad (4) in einer Ausblasstation (8) ausgeblasen werden.

- 10 **6.** Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** das überschüssige Zink an der Werkstückaußenseite in der Abstreifstation (6) mit einer, vorzugsweise ringförmigen, Düse entgegen der Bewegungsrichtung des Werkstücks mit vorgeheizter, wasserdampffreier Pressluft abgeblasen wird und der Prozessparameter Druck-Abstreif-Pressluft (62), zwischen 0,5 bar und 4 bar, in Abhängigkeit von zumindest einem Messwert Produkt-Zinkschichtdicke (55) oder Messwert Schichtverhältnis-Reinzink (56), variiert wird oder werden kann und die Manipulationszeit der Übergabe (7) von der Abstreifstation (6) zur Ausblasstation (8) weniger als 10 s dauert und/oder dabei ein Abstand zwischen Düsenöffnung und Oberfläche des Werkstücks von 5 mm bis 15 mm konstant eingehalten wird und/oder der Winkel des Austritts der ringförmigen Düse in der Abstreifstation eine Neigung zur Senkrechten der Werkstückaußenwand zwischen 2° und 5° aufweist

- 20 **7.** Verfahren nach einem der Ansprüche 5 oder 6, soweit dieser auf Anspruch 5 rückbezogen ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** in der Ausblasstation (8) die Innenseite des verzinkten Hohlprofil-Werkstücks mit wasserdampffreier, zwischen 200°C und 400°C vorgeheizter Pressluft bei einem variablen Prozessparameter Druck Ausblas-Pressluft (63) von 0,5 bis 4 bar von überschüssigem Restzink befreit wird, insbesondere mit einer Ausblaslanze mit Ringschlitz an ihrem vorderen Ende, wobei die Lanze mittels Führung auf der dem Zinkbad (4) abgewendeten Seite vor dem Hohlprofil-Werkstückende zentriert wird und auf eine, von zumindest einem Messwert Produkt-Zinkschichtdicke (65) abhängige, Schichtdicke gebracht wird und der Messwert Produkt-Zinkschichtdicke (65), in einer Endkontrolle (12) einen Wert von im Bereich von $20\text{ }\mu\text{m}$ bis $77,5\text{ }\mu\text{m}$, insbesondere $40\text{ }\mu\text{m}$ bis $55\text{ }\mu\text{m}$ liegt und eine Reinzinkphase an der Oberfläche aufweist, und dass vorzugsweise die Spitze der Ausblaslanze austauschbar ist und insbesondere ein Restspalt zwischen der Düsenöffnung und der Hohlprofil-Werkstück-Innenwand mit einem Abstand von 2 mm bis 5 mm verbleibt.

- 30 **8.** Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** durch Ermittlung eines Messwerts Roh-Zinkschichtdicke (53) vor einer thermischen Behandlung (9) die Weiterleitung in eine thermische Behandlung (9) oder eine Umgehung (9A) der thermischen Behandlung (9) bei bereits erreichter SOLL-Zinkschichtdicke ausgelöst wird.

- 35 **9.** Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das verzinkte Werkstück einer thermischen Behandlung (9) zugeführt wird, um die End-Zinkschichtdicken (54) zu erreichen, wobei die Temperatur (64) zwischen 250°C und 550°C , insbesondere zwischen 350°C und 500°C liegt und das Werkstück anschließend mittels einer Übergabe (10) in einer Manipulationszeit von weniger als 5 s in ein Kühlbecken (11) übergeben wird, wobei vorzugsweise das Werkstück mittels der Übergabe (10) in das Kühlbecken (11) übergeben wird, wenn die durch das Verfahrensmodell vorgegebene Wachstumszeit (65) des Werkstücks in der thermischen Behandlung (9) erreicht ist und/oder indem der Messwert End-Zinkschichtdicke (54) kontinuierlich ermittelt wird und bei Erreichen der durch eines Verfahrensmodell festgelegten SOLL-Zinkschichtdicke das Werkstück mittels der Übergabe (10) in das Kühlbecken (11) übergeben wird.

- 45 **10.** Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Temperatur des Kühlbeckens (11) weniger als 70°C , insbesondere weniger als 50°C beträgt, oder eine Abkühlrate größer als 20°C/s aufweist und/oder die Abwärme des Kühlbeckens (11) zur Vorbehandlungsstation (2) rückgeführt wird und insbesondere einen Fluid/Fluid-Wärmetauscher aufweist.

- 50 **11.** Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Einstellung eines Prozessparameters Druck Abstreif-Pressluft (62) in einer Abstreifstation (6) und/oder eines Prozessparameters Druck Ausblas-Pressluft (63) einer Ausblasstation (8) vom ermittelten Messwert Roh-Zinkschichtdicke (53) und in Abhängigkeit von SOLL-Werten des Verfahrensmodells erfolgt, in welchem die Substratdaten und/oder Prozessparameter, insbesondere Verweildauer (61) des Zinkbads (4) und/oder Schichtwachstumskurven in Abhängigkeit von der Größe des ermittelten Messwerts Siliziumanteil (52), insbesondere des Silizium- und Phosphoranteils im Substrat und/oder Größen für den ermittelten Messwert Schichtverhältnis-Reinzink (56) festgelegt sind.

12. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei Abweichung vom gewünschten und durch das Verfahrensmodell vorgegebenen SOLL-Wert des Messwertes Produkt-Zinkschichtdicke (55) in der Endkontrolle (12), eine Korrektur des Prozessparameters Verweildauer (61) im Zinkbad (4) und/oder der Prozessparameter Temperatur (64) und/oder Wachstumszeit (65) in einer thermischen Behandlung (9) erfolgt.
13. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Abwärme des Zinkbads (4) mittels Gas/Gas-Wärmetauscher dem Trockenofen (3) zugeführt wird.
14. Produkt hergestellt mit einem Verzinkungsverfahren (100), insbesondere nach einem der der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Anteil für Silizium $[Si] \leq 0,030\%$ oder für $[Si] + 2,5 * [P] \leq 0,90\%$ im Substrat beträgt und der Messwert Produkt-Zinkschichtdicke (55), bei einer Endkontrolle (12) im Bereich von 20 μm bis 77,5 μm , insbesondere 40 μm bis 55 μm liegt und eine Reinzink-Phase an der Oberfläche aufweist.
15. Anlage zur Durchführung eines Verzinkungsverfahrens (100), insbesondere nach einem der der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** Daten eines Verfahrensmodell auf einer Servereinheit (13) liegen, welche derart bereit gestellt ist, dass sie in der Lage ist, kontinuierlich eingehende Messwerte, insbesondere Substratdicke (51), Siliziumanteil (52), Roh-Zinkschichtdicke (53), End-Zinkschichtdicke (54), Produkt-Zinkschichtdicke (55), Schichtverhältnis-Reinzink (56), mit Soll-Prozessparametern des Verfahrensmodells zu vergleichen und bei Abweichung zumindest einen der Prozessparameter, insbesondere Verweildauer (61), Druck Abstreif-Pressluft (62), Druck Ausblas-Pressluft (63), Temperatur (64), nach zu regeln, weiterhin aufweisend eine Vorbehandlungsstation (2), welche insbesondere Entfettung, Beizung und Behandlung der Werkstücke mit Flussmittel bei einer Temperatur von 30 °C bis 80 °C umfasst, einem Trockenofen (3) in welchem das Rohr getrocknet und auf eine Temperatur von 95 °C bis 100°C vorgewärmt wird, einem Zinkbad (4), aufweisend einen Prozessparameter Verweildauer (61), insbesondere mit einer Temperatur zwischen 455 °C und 460 °C und einer Verweildauer von 20 s bis 180 s, einen Auszieher (5), insbesondere mit einer Manipulationszeit unter 5 s, eine Abstreifstation (6), aufweisend einen Prozessparameter Druck Abstreif-Pressluft (62), insbesondere zwischen 0,5 und 4 bar, eine Übergabe (7), insbesondere mit einer Manipulationszeit unter 10 s, optional eine Ausblasstation (8), aufweisend einen Prozessparameter Druck Ausblas-Pressluft (63), insbesondere zwischen 0,5 und 4 bar, eine Einrichtung zur Ermittlung eines Messwerts Roh-Zinkschichtdicke (53), eine thermische Behandlung (9), aufweisend einen Prozessparameter Temperatur (64), einen Prozessparameter Wachstumszeit (65) und eine Ermittlungseinrichtung des Messwerts End-Zinkschichtdicke (54), insbesondere durch eine magnet-induktive oder Wirbelstrommessung, eine Übergabe (10), insbesondere mit einer Manipulationszeit unter 5s und eine optionale Umgehung (9A) der thermischen Behandlung (9), eine Abkühlstation (11), insbesondere mit einer Temperatur des Kühlmediums unter 70 °C oder einer Kühlrate größer 20 °C/s und eine Endkontrolle (12), aufweisend eine Ermittlungseinrichtung zumindest eines Messwerts Produkt-Zinkschichtdicke (55) und/oder eines Messwerts Schichtverhältnis-Reinzink (56).

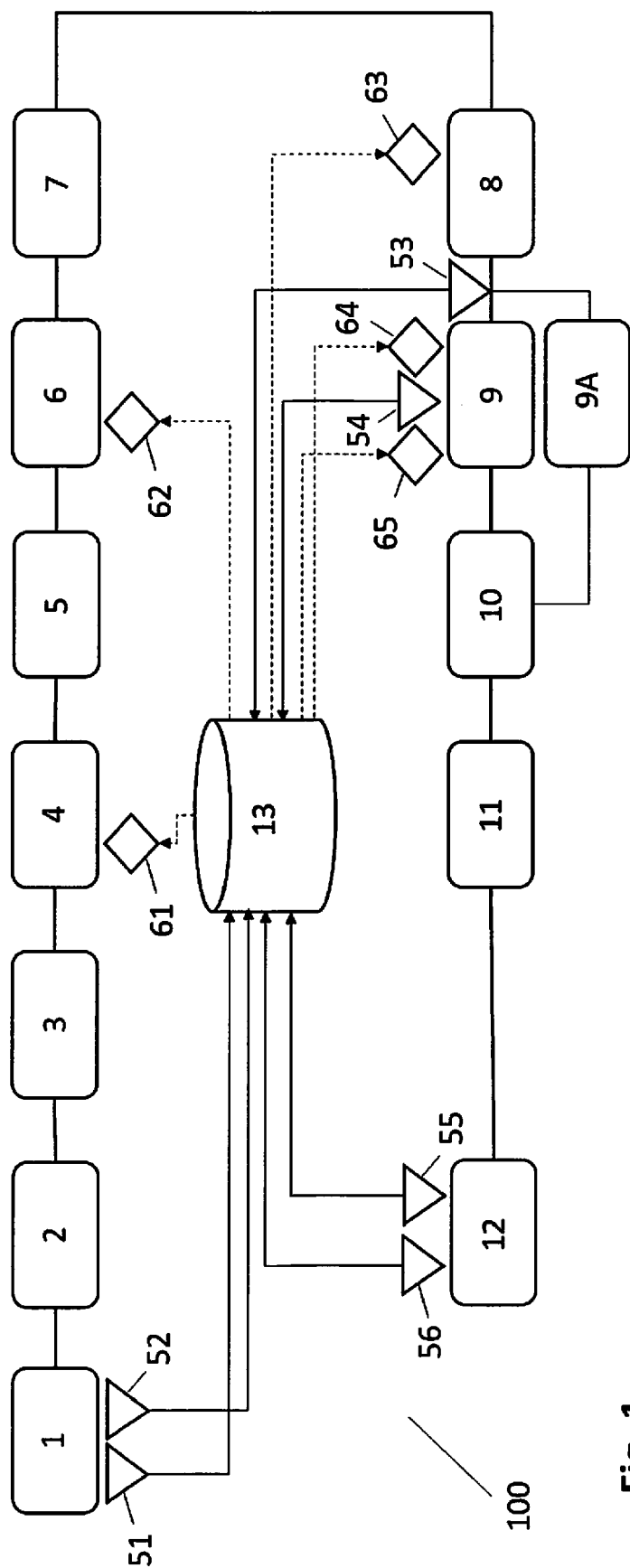


Fig. 1



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 21 18 4847

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	SEPPER S ET AL: "The role of silicon in the hot dip galvanizing process", PROCEEDINGS OF THE ESTONIAN ACADEMY OF SCIENCES, Bd. 65, Nr. 2, 31. Dezember 2016 (2016-12-31), Seite 159, XP055862586, ISSN: 1736-6046, DOI: 10.3176/proc.2016.2.11	14	INV. C23C2/00 C23C2/02 C23C2/06 C23C2/18 C23C2/20 C23C2/28 C23C2/38 C23C2/40
Y	* Absatz "2. Materials and Methods"; Seite 160 * * Absatz "3.2"; Seite 161 - Seite 163 * * Absatz "3.3"; Seite 163 * * Abbildungen 5,6, 8 * * Tabellen 1, 2 *	2	
X,D	EP 0 026 757 B1 (VOEST ALPINE AG [AT]) 20. Februar 1985 (1985-02-20)	15	
Y	* Seiten 1-5; Abbildungen 1-5 * * letzter Absatz; Seite 7 * * Ansprüche 1-12 *	4-7,9,10	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) C23C
A	OTTERSBAACH W: "MODERNE FEUERVERZINKUNGSANLAGEN. ÖMODERN HOT-DIP GALVANIZING PLANTS", STAHL UND EISEN,, Bd. 113, Nr. 8, 16. August 1993 (1993-08-16), Seiten 67-73, 145, XP000397518, ISSN: 0340-4803 * Seite 68 * * Seite 71 * * Abbildung 5 *	1-15	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 24. November 2021	Prüfer Neibecker, Pascal
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 21 18 4847

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	EP 0 564 437 A1 (VOEST ALPINE IND ANLAGEN [AT]; VOEST ALPINE STAHL [AT]) 6. Oktober 1993 (1993-10-06)	1,3,8, 11-13	
Y	* Seite 5, Zeile 35 - Seite 6, Zeile 50 * * Abbildungen 1-4 * * Ansprüche 1-13 *	2,4-7,9, 10	
A	----- CN 103 469 137 B (ANGANG STEEL CO LTD) 18. November 2015 (2015-11-18) * Zusammenfassung * * Anspruch 1 * -----	1-15	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 24. November 2021	Prüfer Neibecker, Pascal
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

 1
EPO FORM 1503 03/82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 21 18 4847

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

24-11-2021

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
	EP 0026757	B1	20-02-1985	AT	365243 B	28-12-1981
				CS	212726 B2	26-03-1982
				DD	153135 A5	23-12-1981
15				EP	0026757 A1	08-04-1981
				HU	183217 B	28-04-1984

	EP 0564437	A1	06-10-1993	AT	128191 T	15-10-1995
				AT	397814 B	25-07-1994
20				EP	0564437 A1	06-10-1993
				JP	H06207296 A	26-07-1994

	CN 103469137	B	18-11-2015	KEINE		

25						
30						
35						
40						
45						
50						
55						

EPO FORM P0461

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 0026757 B1 [0006]
- CH 340689 [0007]
- DE 10256750 A1 [0008]